

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas
de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

Por

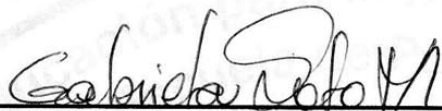
André George

Turrialba, Costa Rica, 2006

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

FIRMANTES:



M.Sc. Gabriela Soto Muñoz

Consejero Principal



Ph.D. Fernando Casanoves

Miembro del Comité Consejero



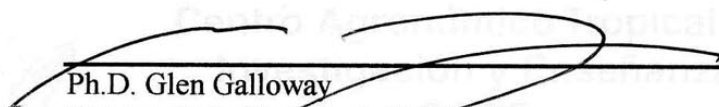
M.Sc. Ana Cecilia Tapia Fernández

Miembro del Comité Consejero



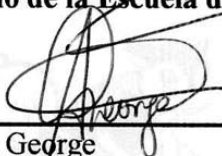
M.Sc. Cesar Guillén

Miembro del Comité Consejero



Ph.D. Glen Galloway

Decano de la Escuela de Posgrado



André George

Candidato

DEDICATORIA

A mi padre que no está conmigo para compartir este momento de profunda satisfacción. A mi esposa Ulrike, por haber sido una fuente de inspiración durante los momentos más difíciles y a mi hija Kaela que trajo mucha alegría y estrés en nuestra vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haber concederme la disciplina y buena salud necesaria para completar mis estudios. A mi profesora consejera M.Sc. Gabriela Soto por sus comentarios oportunos y por ser no solamente una buena profesora sino una verdadera amiga.

Agradezco la Organización de los Estados Americanos (OEA) por otorgarme la beca para realizar **mis sueños** y al gobierno de Santa Lucía por su apoyo para conseguir la beca. Al Dr. Fernando Casanoves por su paciencia, ayuda en el análisis estadístico y sus comentarios constructivos en la revisión del manuscrito. A la M.Sc. Ana Tapia de la UCR Turrialba por su aporte de ideas, revisión del manuscrito y por el uso del laboratorio para establecer los experimentos; al biólogo M.Sc. Cesar Guillén por sus ideas acerca de la extracción y por la identificación de los colémbolos.

A la Dra. Ulrike Krauss por su valiosa aporte de ideas, consejos y por las cepas de *Fusarium*, *Rosellinia* y *Phytophthora* y a la Dra. Vera Sánchez por la cepa de *Mycena citricolor* y el personal de los laboratorios de fitoprotección, fitopatología y suelos del CATIE. A la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT), a Buenaventura y a todos los productores que participaron en el estudio. Se agradece el ICAFE que a través de su servicio a los caficultores facilitó los análisis químicos de suelo para el presente estudio. También agradezco a Guillermo Ramírez (ICAFE, Regional Turrialba) por el suministro de información sobre la clasificación de los suelos de la zona, a Martín Hidalgo y Carlos Cordero por las discusiones constructivas y aporte de ideas y a Ronald Solano por las visitas a las fincas en la zona de Santa Teresita.

A María, Juan José y Jorge del laboratorio de biología UCR Turrialba, al ICE por los datos de precipitación, a Marcela Porras, Elena Florian, al personal de la Biblioteca Orton y todos los demás personas que de una forma u otra me ayudaron a cumplir esta meta. Gracias a todos.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO	V
RESUMEN	IX
SUMMARY	XI
ÍNDICE DE CUADROS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS	XVII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Hipótesis del estudio	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Definición de agricultura orgánica	4
2.1.1 Regulaciones	4
2.1.2 Productividad en las fincas de café orgánico	5
2.1.3 Café con sombra	5
2.2 El sistema suelo	7
2.3 La calidad y salud del suelo	7
2.3.1 La materia orgánica del suelo	7
2.3.2 Los nematodos	9
2.3.3 Los actinomicetes	10
2.3.4 Las lombrices de tierra	12
2.3.5 Los colémbolos	13
2.3.6 Los micoparásitos	14
2.3.7 El rol de los microorganismos del suelo	14
3 MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Área de ubicación del estudio y condiciones edafoclimáticas	17

3.2	Proceso de reconocimiento de fincas	17
3.3	Selección de fincas.....	18
3.4	Tratamientos seleccionados	18
3.5	El área de muestreo	19
3.6	Muestreo y análisis de variables	21
3.6.1	Época y sitio de muestreo	21
3.6.2	Variables	21
3.6.3	Muestreo y análisis de las variables químicas	21
3.6.4	Muestreo y análisis de las variables físicas	22
3.6.4.1	Densidad aparente	22
3.6.4.2	Resistencia a la penetración y textura	22
3.6.5	Muestreo y análisis de las variables biológicas	23
3.6.5.1	Nematodos	23
3.6.5.2	Actinomicetes	24
3.6.5.2.1	Muestreo.....	24
3.6.5.2.2	Preparación de la muestra	24
3.6.5.2.3	Inoculación del medio y la cuantificación de las poblaciones de actinomicetes	25
3.6.5.3	Lombrices de tierra	25
3.6.5.4	Colémbolos	25
3.6.5.5	Micoparásitos	27
3.7	Índice de la calidad del suelo	28
3.7.1	Índice de calidad de suelo aditivo.....	28
3.8	Caracterización de las fincas de café	29
3.9	Diseño y análisis estadístico.....	29
4	RESULTADOS	31
4.1	Condiciones climáticas durante el estudio	31
4.2	Variables químicas	32
4.2.1	pH y acidez	34
4.2.2	Magnesio.....	34
4.2.3	Nitrógeno	35
4.2.4	Materia orgánica y carbono orgánico	35
4.2.5	Otros elementos	36

4.2.6	Conductividad eléctrica	36
4.2.7	Humedad	37
4.3	VARIABLES FÍSICAS	38
4.3.1	Resistencia a la penetración	38
4.3.2	Densidad aparente	39
4.3.3	Textura	39
4.4	VARIABLES BIOLÓGICAS	40
4.4.1	Nematodos	40
4.4.2	Actinomicetes	41
4.4.3	Lombrices de tierra	43
4.4.4	Colémbolos	45
4.4.5	Micoparásitos	47
4.4.6	Índice de diversidad de nematodos, colémbolos y micoparásitos	49
4.5	Índice de calidad de suelo	50
4.5.1	Análisis de componentes principales	51
4.5.2	Análisis de las encuestas	53
4.5.2.1	Manejo de fertilidad y malezas en el cultivo de café	53
4.5.2.2	Principales enfermedades y plagas del cultivo de café y su manejo ..	54
4.5.2.3	Agrobiodiversidad	57
4.5.2.4	La productividad de las fincas de café orgánico, convencional y de pleno sol en la zona de Turrialba	59
4.5.2.5	Caracterización del manejo de las fincas de café	59
5	DISCUSIÓN	60
5.1	VARIABLES QUÍMICAS	60
5.2	VARIABLES FÍSICAS	64
5.3	VARIABLES BIOLÓGICAS	66
5.3.1	Nematodos	66
5.3.2	Actinomicetes	68
5.3.3	Lombrices de tierra	68
5.3.4	Colémbolos	70
5.3.5	Micoparásitos	72
5.4	Caracterización de las fincas de café	73
5.5	Análisis de componentes principales y el índice de calidad de suelo aditivo	74

6	CONCLUSIONES.....	75
7	RECOMENDACIONES.....	77
8	BIBLIOGRAFÍA.....	78
9	ANEXOS.....	88

RESUMEN

Este estudio realizado en Turrialba, Costa Rica entre enero y julio de 2005, comparó indicadores de calidad de suelo a nivel biológico, químico y físico en veinticuatro fincas de café orgánico y convencional bajo sombra diversificada, y en tres fincas de café en pleno sol y en tres bosques. El objetivo del estudio fue la identificación de variables físicas, químicas y especies claves del suelo que podrían ser usadas como indicadores de la calidad de los suelos de los cafetales de Turrialba. Las variables comparadas fueron: poblaciones de nematodos, lombrices de tierra, actinomicetes, colémbolos y presencia de micoparásitos; densidad aparente del suelo (DA), textura, resistencia a la penetración (RP), porcentaje de humedad (% H), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), N, P, K Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe. La producción y el número de plantas de sombra en los cafetales fueron usados como covariable en las comparaciones.

Las fincas están ubicadas en la misma zona geográfica y comparten el mismo orden de suelo (Inceptisol). Las fincas orgánicas fueron certificadas por un mínimo de dos años. Dos muestras fueron tomadas en el tiempo; una en la época seca (marzo-abril) y la otra en la época lluviosa (junio). Tres bosques y tres fincas de café sin sombra fueron usados como testigos. Se utilizó un diseño completamente al azar, con tipo de manejo y época como factores y diez tratamientos, los cuales fueron definidos por diferentes combinaciones de tres plantas de sombra, (banano (*Musa* sp.), poró (*Erythrina* sp.) y laurel (*Cordia alliodora*)) con el café. Los tratamientos fueron: Café-*Erythrina* Orgánica (CEO), Café -*Erythrina-Cordia* Orgánica (CECO), Café -*Erythrina-Musa* Orgánica (CEMO), Café-*Musa*-Orgánica (CMO), Café-*Erythrina* Convencional (CEC), Café-*Erythrina-Musa* Convencional (CEMC), Café-*Musa* Convencional (CMC), Café-*Erythrina-Cordia* Convencional (CECC), Café en Pleno sol (PS) y Bosque (B).

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos para las siguientes variables: *actinomicetes* (P=0.0016), *lombrices de tierra* (P=0.0001), *DA* (P=0.0227), *RP* (P=0.0069) y *magnesio* (P=0.0074). En las comparaciones entre el manejo orgánico y el manejo convencional, las variables *actinomicetes*, *lombrices de tierra*, *DA*, y *RP* también fueron significativamente diferentes entre los dos tipos de manejo. El pH del suelo, la acidez,

el N, la MO, el Ca, el Cu, el Zn, el Mn y el Fe no fueron significativamente diferentes entre tratamientos, sin embargo las fincas orgánicas presentaron valores de Ca y pH más altos que las fincas convencionales. Las fincas orgánicas presentaron las relaciones de C/N más bajas y como consecuencia el nitrógeno disponible para las plantas fue mayor en estas fincas.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos y tipo de manejo para las poblaciones individuales de nematodos. Los nematodos de vida libre fueron más abundantes en las fincas orgánicas y en los bosques. Diferencias significativas no fueron encontrados entre tratamientos para los micoparásitos excepto para *Clonostachys sp.* No obstante, las comparaciones de época demostraron diferencias significativas para tres especies de *Trichoderma* (TR1, TR 2, TR3), *Clonostachys sp* y *Penicillium sp.* Las especies de *Trichoderma* y *Clonostachys* tuvieron mayor presencia en la época seca mientras que *Penicillium* fue favorecida por la época lluviosa. *Clonostachys sp.*, TR1 y TR2 fueron más abundantes en las fincas orgánicas.

Un análisis de diversidad usando el índice de Shannon-Weiner demostró que las poblaciones de nematodos y colémbolos eran más diversas en los bosques y en las fincas de café orgánico, mientras que los micoparásitos fueron más diversos en las fincas orgánicas, seguidas por las fincas de café convencional, los bosques y las fincas de pleno sol. El análisis de componentes principales demostró una asociación positiva entre el pH del suelo, Mg, los indicadores biológicos y el manejo orgánico. Las variables DA, RP, Zn, Cu, P, y K fueron asociadas positivamente al manejo convencional.

Se calculó un índice de calidad de suelo aditivo (ICSA) para comparar la calidad de los suelos bajo los diferentes sistemas de manejo, usando la producción biológica como el objeto principal de la calidad del suelo. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0.0016$) y entre el manejo orgánico y convencional ($P = 0.001$).

Bajo las condiciones del estudio, los resultados sugieren que las fincas bajo el manejo orgánico son más propensas para sostener mayor producción biológica y mantener las funciones básicas del ecosistema que las fincas bajo el manejo convencional y de pleno sol. Mayores estudios son requeridos en el tema para establecer un índice de calidad de suelo más completo para los cafetales de la zona de Turrialba.

Palabras clave: índice de calidad de suelos, bioindicadores, nematodos, actinomicetes, lombrices de tierra, colémbolos, micoparásitos.

SUMMARY

This comparative field study was carried out in Turrialba, Costa Rica between January and July 2005. Twenty seven coffee farms and three forests were compared for differences in biological, chemical and physical soil quality indicator variables. The objective of the study was to identify key soil physical and chemical variables and bioindicators which can be used as soil quality indicators in the coffee farms of Turrialba. The variables compared were: nematode, earthworm, actinomycete, collembolan and mycoparasite populations; soil bulk density, texture, soil resistance, moisture content, electrical conductivity, soil organic matter content, N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, and Fe. The number of shade trees and farm yields were used as co-variables. Coffee farms were grouped as organic and conventional according to management practices. All farms were located in the same geographical region and shared the same soil order (Inceptisol). Organic farms were under organic management for at least 5 years (certified for a minimum of two years).

Two samples in time were taken; one during the wet season and the other in the dry season. Three forests and three un-shaded coffee farms were used as controls. A complete random design was used, with *type of management* and *season* as factors and ten treatments which were defined by various combinations of three types of shade trees/plants (banana (*Musa* sp.), poró (*Erythrina* sp.) and salmwood (*Cordia alliodora*) associated with the coffee plants in the experimental area. The ten treatments were: Organic Coffee-*Erythrina* (CEO), Organic Coffee-*Erythrina-Cordia* (CECO), Organic Coffee-*Erythrina-Musa* (CEMO), Organic Coffee-*Musa* (CMO), Conventional Coffee-*Erythrina* (CEC), Conventional Coffee-*Erythrina-Musa* (CEMC), Conventional Coffee-*Musa* (CMC), Conventional Coffee-*Erythrina-Cordia* (CECC), Unshaded coffee (PS) and Forest (B).

Significant differences were found between treatments for the following variables: actinomycetes ($P = 0.0016$), earthworms ($P = 0.0001$), bulk density ($P = 0.0227$), soil resistance ($P = 0.0069$) and Mg ($P = 0.0074$). All the above mentioned variables except Mg, were significantly different between organic and conventional management. Soil pH, acidity, N, P, K, Ca, Cu, Zn, Mn, and Fe were not significantly different between treatments ($P < 0.05$) and between organic and conventional management, however organic farms had higher Ca and pH

values than conventionally managed farms. Organic farms had the least carbon/nitrogen ratios and as a result, available nitrogen was highest on these farms.

No significant differences were found between conventional and organic management for individual nematode populations. However, when nematodes were grouped as plant parasites and none parasitic, populations of the latter were more abundant in the forests and on organic farms. A diversity analysis using the Shannon Weiner index showed that collembolan and nematode populations were more diverse in the forests and on the organic farms compared to conventional and un-shaded coffee farms.

Mycoparasite species were more diverse on organic farms. Significant differences were found between treatments for *Clonostachys* sp. However, significant differences were observed between seasons for three Trichoderma species (*TR1*, *TR2* and *TR3*), *Clonostachys* sp and *Penicillium* sp. The mycoparasites *TR1*, *TR2* and *Clonostachys* sp were more frequent on organic farms. Results of a principal component analysis (PCA) showed a positive association between soil pH, Mg, the biological indicators and organic management. On the other hand, bulk density, soil resistance, Zn, Cu, P, and K were positively associated with conventional management.

An additive soil quality index (ADDSQI) was used to compare the soil quality of the different management systems, with biological production as the major objective of soil quality. Significant differences were found between treatments ($P=0.0016$) and organic and conventional management ($P=0.001$). Overall, organic farms had a higher index score than conventional farms. It is concluded that the ADDSQI can be used to effectively compare soil quality indicators in the coffee farms of Turrialba. Under existing experimental conditions, the results suggest that organic farms are more likely to sustain higher biological production and maintain basic ecological functions than conventionally managed farms. The biological indicators used in this study are quite promising and further research in this field plus in-depth analyses of other variables such as (but not limited to) functional diversity and biomass of bacteria, fungi and protozoa in more coffee farms in the same region is necessary to fine tune the additive soil quality index used in the present study.

Key words: soil quality index, bioindicators, actinomycetes, collembolans, earthworms, mycoparasites, nematodes.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos usados en el estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en cafetales con sombra diversificada en Turrialba, CR.....	19
Cuadro 2. Características químicas y análisis de la varianza de las variables de los suelos de tres bosques y fincas de café con sombra diversificada en la zona de Turrialba (cada dato es el promedio de 3 repeticiones).....	33
Cuadro 3. Valores de variables químicas del suelo promediadas por tipo de manejo y los niveles críticos usados por el ICAFE (basado en Carvajal, 1984).....	34
Cuadro 4. Comparación del porcentaje de carbono orgánico y la relación de carbono/nitrógeno en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba.....	35
Cuadro 5. Efecto de la concentración de sales sobre el rendimiento de los cultivos de acuerdo con la conductividad eléctrica del extracto de saturación.....	37
Cuadro 6. Interpretación de los valores de conductividad eléctrica encontrados en suelos de bosques, cafetales en pleno sol y en cafetales bajo el manejo orgánico y convencional con sombra diversificada en la zona de Turrialba.....	37
Cuadro 7. Resistencia a la penetración en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en dos épocas en la zona de Turrialba.....	38
Cuadro 8. Densidad aparente en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba.....	39
Cuadro 9. Tipos de textura de suelos predominantes en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba.....	40
Cuadro 10. Poblaciones de nematodos en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba.....	41

Cuadro 11. Poblaciones de actinomicetes en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba.....	42
Cuadro 12. Contrastes ortogonales de las poblaciones de actinomicetes en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba.	43
Cuadro 13. Poblaciones de lombrices de tierra en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en dos épocas en la zona de Turrialba.....	44
Cuadro 14. Contrastes ortogonales de las poblaciones de lombrices de tierra en suelos de bosques y en fincas de café en pleno sol y café orgánico y convencional con sombra diversificada en la zona de Turrialba.	45
Cuadro 15. Frecuencia absoluta y relativa de las familias de colémbolos encontrados en tres bosques y fincas de café bajo tres sistemas de manejo en la zona de Turrialba.....	46
Cuadro 16. Poblaciones de colémbolos encontradas en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en dos épocas en la zona de Turrialba.....	47
Cuadro 18. Presencia de <i>Clonostachys</i> sp. en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba.....	48
Cuadro 19. Efecto de épocas sobre la presencia de <i>Penicillium</i> sp. en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba	49
Cuadro 20. Comparación del índice de diversidad de tres variables biológicas de los suelos de tres bosques y cafetales bajo diferentes tipos de manejo en la zona de Turrialba.....	50
Cuadro 21. Cuadro de análisis de la varianza de la suma de los valores del índice de calidad de suelo.....	50
Cuadro 22. Comparación de los valores medias del índice de calidad de suelo por tratamiento	51
Cuadro 23. Comparación de los valores medias del índice de calidad de suelo para los bosques y fincas de café bajo el manejo orgánico, convencional y en pleno sol ...	51

Cuadro 24. Comparación de las prácticas de manejo implementadas en las fincas orgánicas y convencionales	54
Cuadro 25. Comparación del manejo de plagas y enfermedades en las fincas de café orgánico y café convencional según datos recopilados de productores encuestados	57
Cuadro 27. Caracterización de fincas de café orgánico, convencional y de pleno sol en la zona de Turrialba de acuerdo a las prácticas de manejo implementadas.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de las fincas que fueron usadas en el presente estudio dentro del mapa del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez.....	20
Figura 2. Puntos de muestreo de suelo para el análisis de los actinomicetes.	24
Figura 3. Arreglo de los embudos de Berlese-Tüllgren para la extracción de los colémbolos.	26
Figura 4. Arreglo de los platos de Petri de detección para asociaciones microbiales de la rizósfera de café (var. Caturra) utilizando como hongos cebo <i>Fusarium</i> sp., <i>Rosellinia</i> bunodes, <i>Mycenia</i> citricolor y <i>Phytophthora</i> palmivora.	27
Figura 5. Variación de precipitación en las zonas bajo estudio del octubre 2004 a junio de 2005 (CATIE 2005).	31
Figura 6. Tendencia de la temperatura acumulada mensual de octubre 2004 a junio de 2005 en Turrialba, Costa Rica (CATIE 2005).	32
Figura 7. Gráfico del análisis de componentes principales para las diferentes variables de indicadores de calidad de suelos comparadas en suelos de bosques y fincas de café con sombra diversificada en Turrialba.	52
Figura 8. Enfermedades presentes en los cafetales orgánicas y convencionales en la zona de Turrialba, según la percepción de los productores encuestados.....	55
Figura 9. Principales plagas presentes en los cafetales bajo el manejo orgánico y el manejo convencional en la zona de Turrialba según percepción de productores encuestados.....	56
Figura 10. Proporción de fincas que realizan análisis de suelo, encalado y el opinión de los productores sobre el manejo de las fincas de café orgánico y convencional en la zona de Turrialba.....	58

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ADE:	Agua estéril destilada
B:	Bosque
CABI:	<i>Centre for Agriculture and Bioscience International</i>
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CEC:	Café-Erythrina-Convencional
CECC:	Café-Erythrina- Cordia- Convencional
CECO:	Café-Erythrina-Cordia-Orgánica
CEMC:	Café-Erythrina-Musa-Convencional
CEMO:	Café-Erythrina-Musa-Orgánica
CEO:	Café-Erythrina-Orgánica
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas (de la UCR)
CMC:	Café-Musa-Convencional
CMO:	Café-Musa-Orgánica
CO:	Carbono orgánico
DA:	Densidad aparente
GLASOD:	<i>Global Assessment of Soil Degradation</i>
FAO:	<i>Food and Agriculture Organisation</i>
ICAFE:	Instituto de Café de Costa Rica
ICSA:	Índice de calidad de suelo aditivo
IFOAM:	<i>International Federation on Organic Agriculture Movements</i> (Federación internacional sobre el movimiento de agricultura orgánica)
MO:	Materia orgánica
PDA:	<i>Potato Dextrose Agar</i> (Papa dextrosa agar)
PS:	Pleno sol
RP:	Resistencia a la penetración
UCR:	Universidad de Costa Rica
UFC:	Unidades formadores de colonias
UNEP:	<i>United Nations Environment Programme</i>
SSSA:	<i>Soil Science Society of America</i>

1 INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los países centroamericanos, la tecnificación de los sistemas de producción del café (*Coffea arabica* L) ha producido buenos resultados en términos de rendimientos y calidad del producto. Por ejemplo, entre 1955 y 1973 la producción por área se duplicó en Costa Rica, llegando a 900kg de café oro/ha. Al finalizar los años setenta, los rendimientos costarricenses habían ascendido a 1279kg café oro/ha, el nivel más alto en el istmo (Samper 1999).

Sin embargo, la intensificación de la producción ha traído consecuencias negativas. En muchas zonas de Costa Rica y en Centroamérica se encuentran monocultivos intensivos de café en áreas montañosas, donde los suelos están totalmente expuestos a los factores erosivos del ambiente. Además, las grandes cantidades de agroquímicos aplicados en los sistemas intensivos contribuyen a la contaminación de las aguas, disminución de la diversidad biológica del suelo (Muschler 2004) y favorecen la aparición de plagas secundarias y cepas resistentes a pesticidas (Guharay *et al.* 1999).

Los altos rendimientos logrados en las décadas de los setentas no han sido sostenidos en el tiempo debido a la pérdida en la fertilidad de los suelos, alzas en los precios de los insumos, sobre producción a nivel mundial y consecuentemente bajos precios por el producto de exportación (ICAFFE 2004). En Turrialba, por ejemplo, la producción de café disminuyó en casi 50 % durante el período de 1991-2002, pasando de un total de 307,000 a 145,000 fanegas¹ (79,206- 37,410tm) de café cereza (Hidalgo 2003). Para la cosecha de 2003-2004 se estima una producción total de 126,510 fanegas (32,640tm) (ICAFFE 2004), lo cual también refleja la tendencia de menor producción en la zona de Turrialba. Frente a esta crisis, muchos productores han abandonado sus cafetales o están buscando otras alternativas. Esta situación es muy grave, dado que miles de familias en Costa Rica dependen directamente de la industria de café (Samper 1999) y además es un generador de divisas muy importante para el país. Hidalgo (2003) estimó que en el período 2000-2003 la zona de Turrialba perdió alrededor de 700 puestos de trabajo directamente relacionados a la actividad cafetalera.

Una de las alternativas que ha sido promovida por diversas instituciones tales como el Instituto de Café de Costa Rica (ICAFFE) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), es el manejo orgánico del café. Este sistema de manejo promueve el

¹ 1 fanega = 258 kg (Guillermo Ramírez, 2005. ICAFFE, Regional Turrialba. Comunicación personal).

establecimiento de poli-cultivos para mitigar los riesgos del mercado y para incrementar la biodiversidad en general. La conservación y mejoramiento del recurso suelo y el menor uso posible de insumos externos son fundamentales para los sistemas orgánicos. En términos generales, los rendimientos de estos sistemas podrían ser entre 10 y 50 % menores que los del sistema convencional o sistema integrado (Sosa *et al.* 2004), pero es generalmente aceptado que la producción es más sostenible (sostenibilidad en este sentido se refiere a la perdurabilidad del sistema de producción a través del tiempo, con menos efectos negativos posibles sobre el ambiente natural); además, el sobreprecio ofrecido para el producto final es considerado suficiente para mitigar la pérdida de rendimiento.

Muchos estudios han demostrado el valor de sistemas de café orgánico multi-estratificados (Lynbaek *et al.* 2001) y sistemas agroforestales en la conservación del suelo, la biodiversidad y manejo de enfermedades (Schroth *et al.* 2001). Sin embargo, hay una carencia de datos cuantitativos para respaldar las generalizaciones acerca de los efectos de las prácticas de manejo orgánico sobre el componente biológico del suelo. Mediante este estudio comparativo, se procurarán datos cuantitativos sobre grupos de variables claves del suelo (que son considerados como indicadores de la calidad del suelo) y tratará de determinar su relación con las diferentes prácticas de manejo efectuadas en las diversas fincas.

El trabajo contribuirá a la comprensión de los factores que influyen las diferentes prácticas de manejo en los agroecosistemas de café y su efecto sobre los diferentes componentes del suelo. Además se identificarán especies claves que pueden ser usadas como indicadores biológicos en la determinación de la calidad de los suelos de la región bajo estudio, con el fin de lograr el diseño y mantenimiento de agroecosistemas sostenibles.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo General

Determinar el efecto de las prácticas de manejo de los sistemas orgánicos y convencionales sobre las poblaciones de especies claves de microorganismos y micro y mesofauna del suelo en el área de estudio y determinar cuales son los mejores indicadores de la calidad de los suelos de los agroecosistemas bajo estudio.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar las características físicas y químicas del suelo de sistemas de producción de café orgánico y convencional.
- Cuantificar y comparar las poblaciones de actinomicetes, nematodos, micoparásitos (*Trichoderma*, *Clonostachys* etc.), lombrices de tierra y colémbolos de fincas orgánicas y convencionales.
- Caracterizar las estrategias de manejo de los diferentes agroecosistemas.

1.2 Hipótesis del estudio

- La diversidad y el nivel de las poblaciones de los microorganismos y la micro y mesofauna del suelo bajo el manejo orgánico no difieren de las poblaciones en el sistema convencional.
- Las variables químicas y físicas no varían entre los sistemas de producción de café orgánico y convencional

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Definición de agricultura orgánica

De acuerdo a la FAO (2003) el término agricultura orgánica tiene varios sinónimos: ecológica, biológica, etc. según los idiomas. Los principios de la agricultura orgánica están en armonía con los principios de la agricultura biodinámica y la permacultura. Se puede definir la agricultura orgánica como un proceso que utiliza métodos que respetan el ambiente, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento. La producción orgánica no solo se ocupa del producto, sino también de todo el sistema que se usa para producir y entregar el producto al consumidor final (FAO 2003).

Las Normas Básicas de la Federación Internacional del Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) del 2002, define la agricultura orgánica como "un enfoque integral basado en un conjunto de procesos que resulta en un ecosistema sostenible, alimentos seguros, buena nutrición, bienestar animal y justicia social. La producción orgánica es, por lo tanto, mucho más que un sistema de producción que incluye o excluye un determinado insumo" (FAO 2003).

De acuerdo con el *Codex Alimentarius*, "la agricultura orgánica se basa en un sistema de manejo holístico de la producción que promueve y mejora la salud del ecosistema, incluyendo los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo" (FAO 2003). Lo característico de la agricultura orgánica, es que se basa en el uso mínimo de insumos externos, evita los fertilizantes y plaguicidas sintéticos, y se utilizan métodos para reducir al mínimo la contaminación del aire, suelo y el agua. Éste sistema de producción no permite las prácticas de irradiación de los cultivos y el uso de ingeniería genética en el mejoramiento genético de plantas y animales (Sosa *et al.* 2004).

2.1.1 Regulaciones

Los diferentes niveles de la cadena de producción se rigen por normas que mantienen la integridad de los productos orgánicos. Las directivas del *Codex Alimentarius* para la producción, procesamiento, etiquetado y comercialización de los alimentos producidos orgánicamente y las del IFOAM son las dos fuentes principales de principios y requisitos que rigen la agricultura orgánica en el nivel internacional. El IFOAM es una organización

internacional del sector privado que cuenta con 750 organizaciones miembros en más de 100 países. IFOAM define y revisa periódicamente, en estrecha consulta con sus miembros, las normas básicas que determinan el término "orgánico".

2.1.2 Productividad en las fincas de café orgánico

La producción de café es limitada por varios factores tales como plagas, enfermedades, baja disponibilidad de nutrientes, pobre control de malezas etc. Muchos de estos factores pueden ser corregidos por las aplicaciones de agroquímicos en las fincas convencionales para asegurar la cosecha. Bajo el manejo orgánico no existe esta opción de efecto inmediato y como consecuencia, la producción bajo este sistema podría ser entre 10 y 50 % menor que la producción convencional o integrada (Sosa *et al.* 2004). El fundamento detrás del uso de agroquímicos es siempre la relación costo-beneficio. Bajo el sistema convencional, los beneficios económicos derivados del uso de agroquímicos son generalmente mayores a los costos que implica su uso. Sosa *et al.* (2004) afirman que el precio pagado por el producto orgánico final debe ser mayor, para que los sistemas de producción orgánica sean tan rentables como los sistemas de producción que emplean agroquímicos.

2.1.3 Café con sombra

Los dos especies de café de mayor importancia económica son *C. arabica* y *C. canephora* y ambas especies evolucionaron bajo el dosel de los bosques de África (Haarer 1962). El centro de origen de *C. arabica* es Etiopía (Abyssinia) (Ukers 1922) entre los 1300 y 2000msnm, mientras que *C. canephora* se encuentra más dispersada en África tropical por debajo de los 1000msnm (Wintgens 2004). El café puede tolerar temperaturas bajas; además requiere sombra cuando es cultivado en zonas cálidas y bajas pero crece muy bien sin sombra en las zonas elevadas (Ukers 1922). Aunque el café es considerado como un cultivo de sombra, la floración es mayor cuando las plantas son expuestas directamente a la luz solar. Si las condiciones ambientales son óptimas y la fertilización es adecuada, la exposición al pleno sol puede aumentar la producción hasta 30 % y ocasionalmente a corto plazo puede ser mayor (Muschler 2004).

El uso de árboles de sombra en los cafetales se remonta desde la cultivación comercial del café (Lock 1888) y en estos sistemas tradicionales, predominaba una sombra intensa bajo el dosel de diversos árboles nativos. De acuerdo a Muschler (2004) la mayoría de las

plantaciones de café en América Latina incluye especies arbóreas leguminosas tales como *Inga*, *Erythrina*, y *Glyricidia* no solamente para proveer sombra sino también como fuente de abono verde. En Costa Rica, la poda de los árboles de sombra en los cafetales es una práctica multipropósito. La disminución de la sombra sirve para bajar la incidencia de enfermedades y estimular la floración y maduración de los frutos.

Durante los últimos 50 años, la intensificación de la producción del café en América latina resultó en la adopción de un paquete tecnológico que promovió el empleo de diversos agroquímicos, una disminución en el número de árboles de sombra en los cafetales, mayor densidad de plantas de café y la poda controlada de los árboles de sombra. Muschler (2004) afirma que ésta última práctica es efectuada en varias zonas de Costa Rica y ha sido uno de los principales factores que contribuyó al aumento en la productividad de este país.

La decisión entre sombra o no sombra no es simple, porque depende de las condiciones edafoclimáticas, el objetivo del sistema de producción, las fuentes de insumos disponibles y la situación socioeconómica del productor. Muschler (2004) presenta un buen resumen de los factores que influyen en la decisión de cultivar el café bajo sombra o no. Las ventajas y desventajas de los árboles de sombra en los sistemas agroforestales con cultivos perennes es bien discutido en los trabajos de Beer (1987) y Beer *et al.* (1998).

La selección y el manejo del árbol de sombra es sumamente importante dado que puede existir competición excesiva entre el café y el árbol o efectos alelopáticas entre los dos. Los árboles de sombra ofrecen algunas ventajas al cultivo de café que se encuentran bajo condiciones edafoclimáticas sub-óptimas. Bajo condiciones óptimas, los árboles de sombra podría ser no necesarios. La sombra puede disminuir el estrés hídrico, prolongar la vida del cultivo de café, reducir pérdidas de frutos, disminuir los requerimientos de insumos, proteger los recursos naturales tales como el suelo, el agua y la biodiversidad y mejorar la calidad del grano de café (Muschler 2004). Otras ventajas mencionadas por Beer (1987) que se refieren tanto a café como el té y cacao son: supresión de malezas, diversificación de productos de la finca (árboles maderables, frutales etc), reducción en el ataque de plagas y enfermedades y el reciclaje de nutrimentos. Los principales desventajas citadas por el mismo autor son: hay requerimientos de mano de obra adicional para la poda de los árboles de sombra, el daño al cultivo de interés debido a la caída de ramas o la cosecha de madera, competencia por agua y nutrimentos durante la época seca y oxígeno durante la época lluviosa, efectos alelopáticos entre el árbol de sombra y el cultivo, reducción en el rendimiento del cultivo debido a menor

cantidad y calidad de luz, la mayor humedad que puede promover enfermedades fungosas y los árboles de sombra pueden ser hospederos alternos de plagas y enfermedades.

En Turrialba, los principales árboles de sombra en los cafetales son poró (*Erythrina poeppigiana*), laurel (*Cordia alliodora*) y eucalipto (*Eucalyptus deglupta*). El banano y el plátano (*Musa* spp.) son cultivos usados tanto para sombra como para suplementar el ingreso de los productores. En muchas fincas se puede encontrar varias combinaciones de árboles de sombra en los cafetales².

2.2 El sistema suelo

El sistema suelo esta constituido por tres fases; sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida es dominante y consiste en partículas de diferentes tamaños rodeadas por agua y gases, cuyas cantidades y composición fluctúan en el espacio y en el tiempo. En términos de peso, los componentes del sistema suelo son divididos de la siguiente forma: materia inorgánica (45%), agua (20-30%), aire (20-30%) y MO (5%) (Brady y Weil 1996). Los poros libres de agua son ocupados por aire y otros gases y volátiles (Stozky 1997). Según Doran *et al.* (1994) hay un intercambio continuo de moléculas e iones entre las tres fases, mediados por procesos físicos, químicos y biológicos. El balance dinámico de estos procesos es fundamental para mantener la salud y calidad del suelo.

2.3 La calidad y salud del suelo

2.3.1 La materia orgánica del suelo

De acuerdo a Magdoff (1995) y Schnitzer (1982) generalmente se pueden encontrar tres diferentes tipos de MO en los suelos: 1) organismos vivos, 2) MO activa muerta y 3) materiales bien descompuestos (humus) y relativamente estables. El componente vivo de la MO del suelo esta formado por varios grupos de organismos, incluyendo los virus, los hongos, los protozoarios, las bacterias, los pequeños y medianos artrópodos, las lombrices de tierra, los nematodos, siendo algunos de estos organismos fitoparásitos. La mayoría de los organismos del suelo se alimentan de los residuos de las plantas, materiales orgánicos u otros organismos

²Observación personal durante un recorrido a más de 85 fincas en la zona de Turrialba entre enero y marzo de 2005.

del suelo y no causan problemas en los cultivos. De hecho son muy importantes en los procesos de ciclaje de nutrimentos, control de plagas, fortalecimiento de los agregados del suelo y la producción de humus (Magdoff 1995).

Los organismos del suelo ocupan diferentes posiciones en la cadena trófica. Las fuentes de alimentos y los hábitos de consumo crean una interdependencia entre los organismos en los diferentes niveles de la cadena trófica. Así tenemos consumidores primarios, secundarios y terciarios. Los consumidores primarios del suelo son los primeros organismos que utilizan los residuos orgánicos como fuente de energía. Muchos hongos, bacterias, nematodos y algunas lombrices de tierra son considerados como consumidores primarios. La actividad alimenticia de estos consumidores facilita el consumo de los residuos por los consumidores secundarios. Por ejemplo, los excrementos de las lombrices de tierra son mucho más ricos en nutrimentos que el suelo circundante, y por lo tanto representa una fuente de nutrimentos para los organismos ubicados en el nivel superior de la cadena trófica (Magdoff 1995).

Los consumidores secundarios son aquellos que generalmente se alimentan de los consumidores primarios. Este grupo incluye protozoarios, nematodos, colémbolos y ácaros, los cuales son bien conocidos como depredadores de bacterias y hongos. De acuerdo a Habte y Alexander (1978), la presencia de poblaciones activas de consumidores de bacterias y hongos puede ayudar a mantener la diversidad de poblaciones de estos organismos en el suelo. Cuando los protozoarios y nematodos se alimentan de las bacterias, el exceso de nitrógeno es convertido en amonio y excretado en la solución del suelo y por lo tanto estos organismos son considerados contribuidores importantes en el ciclo del nitrógeno (Magdoff 1995). Los consumidores terciarios incluyen los escarabajos de suelo, cien pies, hormigas, pseudo-escorpiones, etc. La dieta principal de este grupo son otros microorganismos del suelo.

La fracción de humus forma asociaciones de enlaces con partículas de arcilla, las cuales incrementan la agregación del suelo y la formación de micro-poros. Una estructura mejorada del suelo resultará en mayor capacidad de infiltración y de retención del agua, limita la erosión superficial y previene el desecamiento y contracción del suelo (Vasst y Snoeck 1999). La presencia de la MO del suelo favorece la actividad de la macrofauna, dado que sirve como fuente de alimento para las lombrices y muchos artrópodos.

Los contenidos de MO en el primer metro de los suelos tropicales no difieren mucho de los suelos de las zonas templadas (Sanchez 1976). Anteriormente el contenido de MO fue relacionado al color de los suelos pero ahora se sabe que no hay una relación directa entre el color del suelo y el contenido de MO. Sanchez (1976) hizo una compilación de varios reportes de contenidos de MO en diversos suelos del trópico y afirman que muchos Oxisoles y Ultisoles presentan valores altos de MO. Los Inceptisoles con características ándicas (Andepts) como grupo tienen el contenido de MO más alto de los suelos minerales. La alofana que predomina en estos suelos reacciona con los ácidos orgánicos para formar complejos que son relativamente resistentes a la mineralización. Como consecuencia la MO tiende a acumularse en estos suelos.

2.3.2 Los nematodos

Los nematodos del suelo son animales generalmente vermiformes de tamaños variados desde 0.3 a 5.0mm de largo. Estos animales junto con otros de la microfauna (colémbolos, protozoarios y ácaros) forman un enlace crítico entre los descomponedores primarios y la fauna de mayor tamaño en la cadena alimenticia en el suelo. La microfauna es el principal agente que libera los nutrientes inmovilizados por la microflora del suelo (Gupta y Yeates 1997). Los nematodos son clasificados en diferentes niveles tróficos de acuerdo a sus hábitos de alimentación. Así tenemos bacteriófagos, fungívoros, omnívoros, depredadores y fitoparásitos. Son organismos hidro-dependientes que requieren poros llenos de agua o una capa continua de agua para su actividad y movimiento. Están presentes en todo tipo de suelo, en forma abundante y taxonómicamente diversos.

Los nematodos están involucrados en diferentes procesos de los ecosistemas incluyendo la descomposición y tasa de cambio de la MO, mineralización de nutrientes, regulación de la densidad de las poblaciones de la microflora incluyendo fitopatógenos y la descomposición de agroquímicos. También pueden afectar directa o indirectamente la absorción de nutrientes por las plantas mediante su efecto sobre la salud de las plantas; por ejemplo, los fitonematodos que se alimentan de las raíces de las plantas impiden el flujo de nutrientes en las plantas y por lo tanto disminuye la producción. Los nematodos de vida libre que alimentan de fitonematodos, hongos micorrízicos, bacterias fitopatogénicas y las bacterias con potencial de control biológico regulan las poblaciones de estos microorganismos y consecuentemente sus relaciones con los cultivos de interés (Gupta y Yeates 1997).

Este grupo de organismos posee características generales para ser usados como bioindicadores de la salud de los suelos de acuerdo a la propuesta de Elliot (1997), que sugirió que la elección de un indicador en particular debe ser determinada por las condiciones locales y además, su medición debe reflejar su efecto sobre variables motoras de procesos y funciones del ecosistema. Gupta y Yeates (1997) apuntaron que el indicador ideal debe tener las siguientes características: 1) tener un papel crítico en el funcionamiento del suelo; 2) estar presente en cantidades medibles y bien distribuidos; 3) deben existir técnicas adecuadas para su cuantificación y 4) deben ser sensibles a cambios en las prácticas de manejo dentro de un tiempo definido.

Además, existe mucha información sobre la taxonomía y hábitos de alimentación de este grupo de microorganismos, lo cual es muy importante para su identificación y para establecer su rol dentro de la cadena alimenticia (Neher 2001). Se han empleado nematodos como biomonitores ambientales para sistemas acuáticos desde los años setenta. Por ejemplo, *Panagrellus redivivus* ha sido utilizado como biomonitor para detectar concentraciones de toxinas que afectan la muda y el tamaño de los organismos, y en sí sirve como un bioensayo rápido y muy barato. Este nematodo ha sido utilizado para determinar los efectos tóxicos de más de 400 productos químicos individuales (Samoiloff 1987).

Gupta y Yeates (1997) sugirieron el uso de la diversidad funcional o trófica de los nematodos y protozoarios como el mejor atributo para ser usado como indicador de la salud del suelo. Ellos mencionaron que la identificación a nivel de especies podría ser el factor limitante, pero a la vez sustentaron que estudios de diversidad han demostrado que la identificación a nivel de género y familia es suficiente para estudios relacionados a la salud del suelo, dado que los patrones de diversidad y abundancia son similares a los de estudios a nivel de especies.

2.3.3 Los actinomicetes

Los actinomicetes constituyen un grupo de organismos que morfológica y fisiológicamente se encuentran entre bacterias verdaderas y los hongos (Allison 1973). Son considerados como bacterias filamentosas y es un grupo muy variable debido a diferencias en su morfología y fisiología. Los actinomicetes presentan un micelio unicelular con hifas ramificadas que pueden desarrollarse en el suelo o en la superficie. Es muy común que el micelio aéreo se fragmente en pedazos que se parecen a las bacterias. Las hifas ramificadas

producen muchas esporas asexuales, denominadas conidios. Tanto los conidios como los pedazos del micelio pueden crecer y formar nuevas colonias, y eso dificulta la evaluación de las actividades del organismo bajo condiciones específicas. En este sentido, una colonia de actinomicetes en un medio de cultivo puede ser formado por una mezcla de micelio aéreo y vegetativo (Allison 1973). La apariencia de la superficie del medio puede indicar la presencia o ausencia de micelio aéreo. Si hay formación de micelio aéreo entonces la superficie del medio adquiere un aspecto algodonoso; un aspecto brillante significa la ausencia del micelio aéreo.

En términos generales los actinomicetes son aeróbicos, y crecen muy bien en suelos neutros o alcalinos. Un pH de 5.0 es considerado como el límite inferior crítico para su crecimiento. Crecen muy bien sobre los materiales en descomposición y en condiciones de humedad muy baja donde las bacterias y hongos no pueden competir efectivamente. En condiciones de alta humedad no pueden competir efectivamente con las bacterias y hongos de crecimiento rápido. Existen grupos de especies mesofílicas y termofílicas, el grupo termofílico crece mejor en condiciones de temperaturas de 50-60°C, pero algunos de ellos son termófilos facultativos y pueden crecer perfectamente a temperatura ambiental (Allison 1973, Alexander 1977).

Los actinomicetes son caracterizados por su capacidad para producir antibióticos. Varios antibióticos tales como estreptomina, terramicina, aureomicina, ciclohexamida, cloramfenicol y neomicina que son empleados en la medicina actual son extraídos de los actinomicetes. Aparte de su importancia en la medicina, éste grupo de microorganismos juegan un papel importante en la formación de humus debido a su capacidad para degradar una gran diversidad de materiales resistentes (lignina, quitina, queratina, hemicelulosa, celulosa y otros polisacáridos) y convertirlas en ácido húmico. Como los hongos, crecen muy bien en presencia de poco nitrógeno. Durante el proceso de degradación de los materiales orgánicos, los primeros colonizadores son bacterias y hongos, y conforme disminuye la disponibilidad de proteínas, carbohidratos y humedad, aumenta la población de los actinomicetes, debido a una mejor capacidad para degradar materiales resistentes y tolerar condiciones de baja humedad que las bacterias y hongos (Allison 1973, Alexander 1977).

2.3.4 Las lombrices de tierra

Las lombrices de tierra al igual que los nematodos responden a las perturbaciones en el suelo e influyen de manera significativa en los procesos del suelo, y por esta razón podrían ser usados como especies indicadoras útiles en el asesoramiento de los efectos de diversas prácticas de manejo de suelos o impactos antropogénicos sobre la calidad del suelo (Blair *et al.* 1996). Los dos grupos de invertebrados participan en diferentes niveles de la cadena alimenticia e influyen en el ciclaje de nutrientes y cambios estructurales del suelo a diferentes escalas y reflejan diferentes niveles de perturbación en el ambiente físico y químico del suelo. La presencia y diversidad de estos dos grupos puede indicar la calidad y fertilidad de suelo. Los nematodos reflejan cambios a nivel de micrositio (poros, agua del suelo y población microbial) mientras que las lombrices reflejan cambios en estos factores y también en factores a gran escala tales como la perturbación a nivel de física de suelo (labranza) y reducciones en la cantidad de MO presente (Blair *et al.* 1996).

Mediante sus actividades de alimentación y amadrigado, las lombrices alteran significativamente la estructura del suelo y sus propiedades hidrológicas, y aportan sustancialmente a la mineralización de los nutrientes del suelo. Linden *et al.* (1994) afirman que los túneles formados por las lombrices resultan en una mayor capacidad de infiltración y mejor aireación de los suelos y los macroporos creados sirven como vías de exploración para las raíces de las plantas en el suelo. En suelos con problemas de compactación, estas vías son muy útiles para la captación de nutrientes en los diferentes horizontes del suelo. Materiales orgánicos e inorgánicos son ingeridos, transportados y excretados por las lombrices y como consecuencia las propiedades del suelo son afectadas por estas actividades (Lavelle 1988).

Son organismos relativamente grandes y fáciles de muestrear. Muchas especies de lombrices de tierra dejan signos físicos de su presencia en el suelo, los cuales puede ser útiles para determinar su importancia en un sistema en particular. Sin embargo, uno de los limitantes de las lombrices de tierra como indicadores es su ausencia en ciertos tipos de suelos, tal como los suelos de ecosistemas áridos. En estos sistemas Blair *et al.* (1996) especularon que el uso de nematodos como indicadores podría ser el más apropiado.

Paoletti *et al.* (1998) también propusieron el uso de las lombrices de tierra como bioindicadores de la salud del suelo. Ellos encontraron que diferentes especies y grupos de lombrices responden diferencialmente a las prácticas agrícolas y además demostraron que los

residuos de fungicidas (Cu y Zn) y la labranza, afectan negativamente el número de especies y la biomasa de las lombrices de tierra.

2.3.5 Los colémbolos

Los colémbolos son pequeños (0.12-10mm) hexápodos apterygotas (sin alas) (Bellinger *et al.* 2006, Palacios-Vargas 1990) que se encuentran en diversas habitats con poblaciones muy variadas. Existe aproximadamente 7500 especies descritas a nivel mundial (Bellinger *et al.* 2006) y son los artrópodos de mayor abundancia en los ecosistemas terrestres superados únicamente por los ácaros. En los suelos de los bosques pueden llegar a densidades mayores que 100,000 individuos por m² (Coleman y Crossley 1996). No obstante su tamaño, son importantes descomponedores de la materia orgánica vegetal y otros detritus y así reciclan los nutrientes en el suelo (Palacios-Vargas 1990, Vásquez y Palacios-Vargas 2004, Moore *et al.* 1987) y esto resulta en una mejor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Los colémbolos se alimentan de diversos materiales tales como bacterias, hongos, nematodos y materia orgánica vegetal y animal (Hunt *et al.* 1987, Palacios-Vargas 1990).

El uso de colémbolos como indicador de la calidad y salud del suelo ha sido recomendado por varios autores (Frampton 1997, Kopeszki 1997, Van Stralen y Verhoef 1997). Kopeszki (1997) utilizó el método de bio-indicación activa para comparar la dinámica poblacional de dos especies de colémbolos durante un período de 6 meses, en Viena, Austria. En su experimento, micro-recipientes plásticos que contenían las colémbolos y una fuente de alimento (follaje) fueron enterrados en el suelo de interés. El crecimiento de las poblaciones y la actividad de descomposición fueron evaluados. Se observó una disminución en el crecimiento y abundancia de las poblaciones, debido a la presencia de ácidos (SO₄⁻), metales pesados y exceso de fertilizantes nitrogenados en los suelos. Como consecuencia, la tasa de descomposición de la MO fue menor. La tasa de crecimiento de la población de colémbolos y la tasa de descomposición reflejan el grado de contaminación en el suelo por contaminantes hidrosolubles, y también sirven como un bioindicador del estado de salud o calidad del suelo.

Igualmente, Frampton (1997) encontró que las aplicaciones de pesticidas, especialmente insecticidas organofosforados, afectan negativamente la abundancia de los colémbolos. Posiblemente la disminución de las poblaciones de colémbolos en el experimento de Frampton se debió a una disminución de las poblaciones de los hongos del suelo, los cuales sirven como alimento para muchos colémbolos. Reddy (1986) también sugiere el posible uso

de colémbolos y ácaros como bioindicadores de la calidad ambiental y la contaminación del aire.

2.3.6 *Los micoparásitos*

Los micoparásitos son hongos que parasitan otros hongos (Hawksworth *et al.* 1983) y pueden ser facultativos u obligatorios (Jefferies y Young 1994). Especies de *Trichoderma* y *Gliocladium* (*Clonostachys*) son consideradas como facultativas porque crecen bien tanto en presencia de un hospedero como en su ausencia. Los micoparásitos obligados no pueden sobrevivir sin sus hospederos. Los micoparásitos pueden ser aislados de diversos materiales (rastrajo, suelo, hoja etc.) provenientes del campo. Varios autores (Elad *et al.* 1981, Lewis y Papavizas 1987, Krauss *et al.* 1998) han demostrado la posibilidad de utilizar micoparásitos en el control biológico de hongos patógenos de diferentes cultivos. Ricard (1981) describió el desarrollo de un micofungicida basado en *Trichoderma* spp. en el control de la enfermedad de hoja plateada en árboles frutales. El producto fue comercializado como BINAB T o BINABT WP (polvo mojable). La eficacia del producto en el campo fue demostrado por Corke (1978).

Los micoparásitos pueden regular las poblaciones de hongos patógenos dentro de los agroecosistemas, y así reducir las pérdidas que éstos causen. Además ofrecen una alternativa a los fungicidas químicos, y por tanto el agroecosistema será favorecido debido a la posible reducción en la cantidad de fungicidas aplicados y el menor efecto negativo sobre la biota del suelo. En este contexto, son buenas alternativas para la producción en los sistemas orgánicos donde sean factibles. Su presencia en los sistemas disturbados es asumida como un factor importante para mantener la salud de los cultivos y así contribuir a la calidad de los suelos. Por tal motivo serán considerados como parte de un grupo de variables que pueden reflejar la calidad del suelo.

2.3.7 *El rol de los microorganismos del suelo*

La actividad biológica en el suelo se concentra en las capas superficiales del suelo, cuya profundidad puede variar de unos pocos centímetros hasta 30cm. En la capa superficial, los componentes biológicos ocupan una pequeña proporción (0.5 %) del volumen total del suelo y menos de 10 % de la MO total. Los microorganismos forman una gran parte de estos componentes biológicos del suelo y a pesar de su pequeño volumen son fundamentales para el

ciclaje de nitrógeno, azufre, fósforo y la descomposición de MO. Por lo tanto, ellos afectan el ciclaje de nutrientes y carbono en la escala global (Pankhurst *et al.* 1997).

La descomposición de la MO animal y de plantas provee la energía necesaria para el funcionamiento del ecosistema suelo. De tal modo, los residuos orgánicos son convertidos en biomasa o mineralizados a CO₂, H₂O, N mineral, P y otros nutrientes. Los nutrientes inmovilizados en la biomasa microbiana son subsecuentemente liberados cuando los microbios son consumidos por micro-herbívoros tales como protozoarios y nematodos (Bloem *et al.* 1997, citado por Nielsen y Winding 2002). También se ha demostrado que los microorganismos son asociados con la transformación y degradación de materiales desechos y compuestos orgánicos sintéticos (Torstensson *et al.* 1998).

Además de su efecto sobre el ciclaje de nutrientes, los microorganismos también afectan las propiedades físicas y químicas del suelo. Elliot *et al.* (1996) afirmaron que la producción de polisacáridos extracelulares y otros detritos celulares por los microorganismos ayudan en mantener la estructura del suelo, porque estos materiales funcionan como agentes cementantes, los cuales estabilizan los agregados del suelo. Por lo tanto ellos también afectan otros variables de los suelos tales como la tasa de infiltración de agua, la capacidad de campo, la erosividad y la susceptibilidad a la compactación.

Según Kennedy *et al.* (1995) y Pankhurst *et al.* (1995) los microorganismos son dotados con la capacidad para dar una medida integrada de la salud del suelo en un momento dado. Ellos aluden que éste aspecto no puede ser obtenido mediante el análisis del componente físico y químico del suelo o la diversidad de organismos superiores de la cadena alimenticia. Ellos creen que los microorganismos responden rápidamente a cambios y por tanto se adaptan igualmente rápido a las condiciones ambientales. Esta adaptación potencialmente permite que los análisis microbianos puedan ser discriminantes en el asesoramiento de la salud del suelo y las variaciones en las poblaciones y actividades de los microorganismos pueden funcionar como excelentes indicadores de cambios en la salud del suelo.

Pankhurst *et al.* (1995) reportaron que comparado a otros organismos más altos en el nivel trófico, los microorganismos responden de manera rápida al estrés ambiental, porque tienen una estrecha relación con sus alrededores debido a su alta relación superficie-volumen. En algunos casos, cambios en las poblaciones microbianas o sus actividades pueden preceder cambios detectables en las propiedades físicas y químicas del suelo, y por lo tanto podrían ser

usados como indicadores tempranos de la degradación o mejoramiento de los suelos. La tasa de cambio de la biomasa microbiana es un buen ejemplo. Carter *et al.* (1999) reportaron que ésta tasa es mucho más rápida (1-5 años) que el cambio en el contenido total de la MO del suelo.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de ubicación del estudio y condiciones edafoclimáticas

La zona de estudio se ubica en el Corredor Biológico Turrialba-Jiménez en el cantón de Turrialba (Figura 1). La investigación se llevó a cabo en dos fases, una en condiciones de campo y la otra en condiciones de laboratorio. La fase de campo se desarrolló en 3 fincas de café sin sombra, 3 bosques primarios intervenidos y en sistemas agroforestales de café conformados por 12 fincas de café orgánico y 12 fincas de café convencional, distribuidos en diferentes zonas del cantón Turrialba (Santa Teresita, San Juan Sur, San Pablo de Tres Equis, Chitarría, Pavones, La Suiza, El Recope, Catie, Tayutic y Grano de Oro).

Los suelos bajo estudio son del orden Inceptisol (ICAFE-CIA 2001) y se ubican a diferentes altitudes (desde 640 hasta 1250msnm) (Anexo 1). Dos fincas (B1 y CO69) de los tratamientos Bosque y Pleno sol respectivamente, provienen de la zona de Santa Teresita y son diferentes a los demás suelos por poseer características ándicas [Andic Dystrudepts], (ICAFE-CIA 2001). La zona de Turrialba se caracteriza por la presencia de humedad relativa alta (88 %), precipitación media de 2700mm año⁻¹, temperatura media de 21.8°C y una evapotranspiración potencial total anual de 1143.5mm (CATIE 2006). La zona de vida de las áreas bajo estudio se clasificó como Bosque Muy Húmedo Pre-montano (Holdridge 1978). No hay una estación marcada de precipitación, pero es generalmente aceptada que la época lluviosa esta comprendida entre mayo y noviembre y la época seca de diciembre a mayo.

3.2 Proceso de reconocimiento de fincas

Para la selección de fincas, se hizo un recorrido en las fincas de café orgánicas pertenecientes a la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT) y en fincas de café convencional aledañas o junto a las fincas orgánicas de la zona de Turrialba con el fin de reconocer la zona, coleccionar datos agronómicos del cultivo de café así como sobre el arreglo espacial de las plantas de sombra en los cafetales, para crear una base de datos sobre la producción de café en la zona y para localizar las fincas dentro de un mapa digital (1:15000) del Corredor Biológico Turrialba- Jiménez. Un GPS (Garmin, GPS 12 XL) fue usado para tomar las coordenadas de cada finca. La recolección de los datos de las fincas y la confección del mapa fue posible gracias a la colaboración del programa *Integrative Graduate Education*

Research Traineeship (IGERT) establecido entre la Universidad de Idaho y el CATIE y el apoyo del personal del laboratorio de Sistema de Información Geográfica (SIG) del CATIE.

3.3 Selección de fincas

Los criterios de selección de las fincas orgánicas fueron: 1) tener cinco años bajo el manejo orgánico (tres años de transición más dos años certificado orgánico) 2) tener la variedad de café caturra como cultivo principal y en producción, 3) tener algún tipo de sombra y 4) tener el mismo orden de suelo. Para el punto 4, se utilizó el mapa del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez para seleccionar las fincas que reunieron estos requisitos y el informe del ICAFE-CIA sobre la caracterización de los suelos cafetaleros de la región de Turrialba (ICAFE-CIA 2001) como referencia. Las fincas convencionales fueron seleccionadas por su proximidad a las fincas orgánicas, por tener la misma variedad de café y orden de suelo, la misma estructura de sombra y por el interés demostrado por los productores para participar en el presente estudio.

3.4 Tratamientos seleccionados

Las fincas fueron caracterizadas de acuerdo al manejo del cultivo y el tipo de plantas de sombra en los cafetales. Los siguientes cuatro grandes grupos fueron los más frecuentes y presentaron números suficientes para tres repeticiones bajo los dos tipos de manejo identificados y como consecuencia fueron seleccionados para el estudio: *Café -Erythrina*, *café-Musa*, *Café-Musa-Erythrina* y *Café-Erythrina-Cordia* (Cuadro 1). Las fincas de café orgánico y café convencional comparten condiciones socioeconómicas y biofísicas similares, debido a sus proximidades.

Cuadro 1. Tratamientos usados en el estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en cafetales con sombra diversificada en Turrialba, CR.

Agroecosistema	Manejo	Tratamientos	Nº de fincas
<i>Café-Erythrina</i>	Orgánico	<i>Café-Erythrina</i> orgánico (CEO)	3
	Convencional	<i>Café-Erythrina</i> convencional (CEC)	3
<i>Café-Erythrina-Musa</i>	Orgánico	<i>Café-Erythrina-Musa</i> orgánico (CEMO)	3
	Convencional	<i>Café-Erythrina-Musa</i> convencional (CEMC)	3
<i>Café-Musa</i>	Orgánico	<i>Café-Musa</i> orgánico (CMO)	3
	Convencional	<i>Café-Musa</i> convencional (CMC)	3
<i>Café-Erythrina-Cordia</i>	Orgánico	<i>Café-Erythrina-Cordia</i> orgánico (CECO)	3
	Convencional	<i>Café-Erythrina-Cordia</i> convencional (CECC)	3
Café pleno sol	Testigo	Café-pleno sol (PS)	3
Bosque	Testigo	Bosque (B)	3
Total		10	30

3.5 El área de muestreo

En cada finca se estableció una parcela de 1000m² (50 x 20m) como área de muestreo. Dada la variación de distancias de siembra tanto para el café como los árboles de sombra que existe en las distintas fincas, se decidió establecer un área de muestreo que contenía un mínimo de 10 % de la población de plantas de café y árboles de sombra en un hectárea (tomando un promedio de 5000 plantas ha⁻¹ para el café y 250 árboles de sombra como base de referencia). Cada parcela fue marcada con cinta plástica de color rosada para delimitar el área de muestreo y facilitar la identificación del sitio en visitas posteriores.

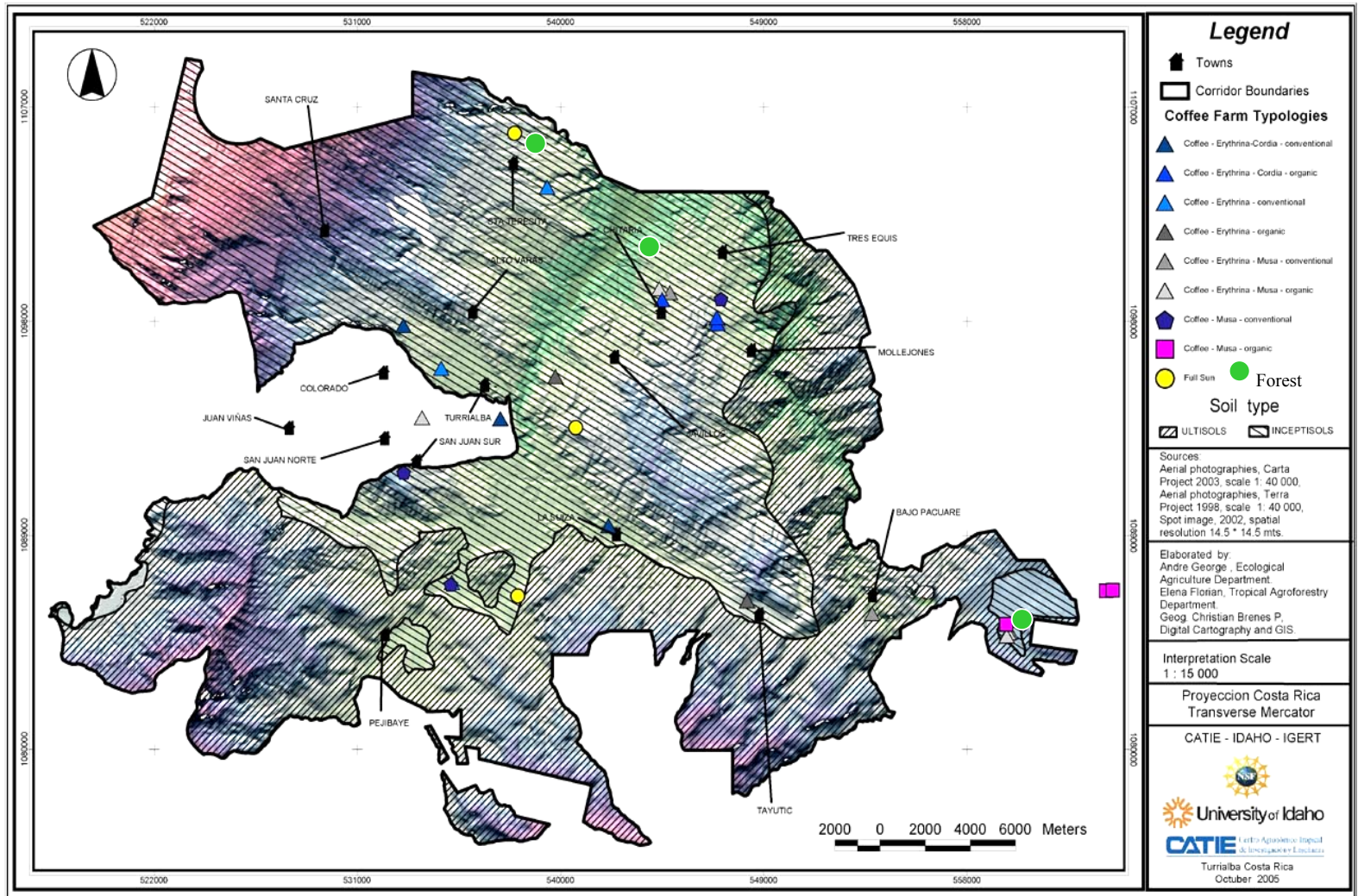


Figura 1. Ubicación de las fincas que fueron usadas en el presente estudio dentro del mapa del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez.

3.6 Muestreo y análisis de variables

3.6.1 Época y sitio de muestreo

Se muestreó un total de 30 sitios (27 fincas de café y 3 bosques). El muestreo para las variables químicas y físicas (excepto la resistencia a la penetración, la cual se determinó dos veces) fue efectuado una sola vez (marzo-abril, 2005). Las variables biológicas y la resistencia a la penetración fueron evaluadas dos veces en el tiempo (abril y junio, 2005) para contemplar las variaciones que se pueden presentar en las poblaciones de los microorganismos del suelo por efecto del clima. El método de muestreo varió para cada variable. Se evaluaron tres bosques (primarios intervenidos) en tres sitios diferentes para establecer una línea base para las comparaciones. Se encuestaron los productores para recopilar datos sobre el manejo e historial de las fincas.

3.6.2 Variables

Las variables evaluadas se dividen en tres grupos: químicas, físicas y biológicas. Las variables evaluadas en el componente químico fueron: pH, acidez, conductividad eléctrica (CE), MO, N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe. En el componente físico fueron: densidad aparente (DA), textura y resistencia a la penetración (RP). En el componente biológico fueron: poblaciones de nematodos (de vida libre y fitoparásitos), actinomicetes, micoparásitos, colémbolos y número de lombrices de tierra.

3.6.3 Muestreo y análisis de las variables químicas

Las muestras de suelo fueron compuestas y tomadas al azar en un recorrido en forma de zig-zag, entre las hileras de café a una profundidad de 30cm. Utilizando un barreno se tomó 20 submuestras de suelo por cada sitio. En cada sitio las 20 submuestras fueron colocadas sobre un saco y posteriormente mezcladas y cuarteadas y el exceso de suelo eliminado, dejando aproximadamente 500g de suelo. Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas bien rotuladas con la fecha, código de la finca y propósito y posteriormente llevadas al respectivo laboratorio.

Las variables de fertilidad fueron evaluadas mediante los métodos estándares del laboratorio del ICAFE. Para el análisis de P, K y elementos menores (Cu, Zn, Fe y Mn), se utilizó el método del Olsen modificado, pH 8.5. Las lecturas de K y elementos menores fueron mediante absorción atómica. La lectura del P fue por el método colorimétrico que utiliza el azul de molibdeno como indicador. La extracción de Ca y Mg fue con KCl 1M y la lectura se realizó por absorción atómica. El N y la materia orgánica (MO) fueron determinados mediante los métodos de Kjeldahl y Walkley y Black respectivamente. Se determinó el contenido de carbono orgánico (CO) en los suelos resolviendo la ecuación $CO (\%) = MO (\%)/1.724$ (Kass, 1996). Con los datos de CO se determinó la relación carbono/nitrógeno (C/N) en los diferentes suelos. El pH de los suelos fue determinado con un pH-metro en agua. La conductividad eléctrica fue evaluada en el laboratorio de suelos del CATIE.

3.6.4 Muestreo y análisis de las variables físicas

3.6.4.1 Densidad aparente

En la determinación de la DA de los suelos, cilindros metálicos de 5cm de diámetro con 5cm de altura fueron usados para sacar las muestras de suelo no disturbado. Los cilindros fueron numerados y bien rotulados con el código de cada finca. Se sacaron tres muestras por lote en un recorrido en forma triangular, empleando un mazo y un bloque de madera para introducir el cilindro en el suelo. Una pala y un cuchillo fueron usados para sacar el cilindro y eliminar el exceso de suelo. Las muestras rotuladas fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica donde se anotó el peso húmedo y fueron colocadas en bolsas de papel y secadas a 110°C por 24h en una estufa. La DA se obtuvo dividiendo el peso seco de cada muestra entre el volumen del cilindro al que corresponde. Se determinó el contenido de agua de las muestras, secando 100g de suelo de cada una. El porcentaje de humedad se determinó por diferencia entre el peso húmedo inicial y el peso seco final de la muestra.

3.6.4.2 Resistencia a la penetración y textura

Se empleó un penetrómetro marca Chantillon para evaluar la RP de los suelos de cada sitio. Se calibró el penetrómetro antes de introducirlo en el suelo previo a cada lectura. La superficie del suelo fue liberada de piedras y material vegetal antes de efectuar el muestreo y se tomaron diez lecturas por cada sitio (Henríquez y Cabalceta 1999). Los datos de las lecturas fueron

convertidos de lbs/pulg² a kilopascales (KPa) (1 KPa = 0.1450389 lbs/pulg²). Las muestras de suelo para el análisis de textura fueron las mismas usadas para el análisis químico. La textura del suelo fue determinada en el laboratorio de suelos del CATIE mediante el método granulométrico de Bouyoucos.

3.6.5 Muestreo y análisis de las variables biológicas

Para las variables biológicas, las muestras fueron de tipo compuestas, sistematizadas y tomadas dos veces en el tiempo: una vez en la época seca (marzo-abril) y otra vez en la época lluviosa (junio) para cada sitio experimental. Todas las muestras para los análisis biológicos fueron colocadas en bolsas plásticas bien rotuladas con el código de la finca, fecha y tratamiento y guardadas en una hielera con hielo (marca Coleman) para evitar la desecación de la muestra y la muerte de los organismos bajo estudio. No se tomaron datos de temperatura dentro de la hielera, pero se estima una temperatura entre 10 y 12°C.

3.6.5.1 Nematodos

Se tomaron cinco sub-muestras (400g cada una) de suelo a nivel de la rizósfera (0-15cm) de cinco plantas de café para las evaluaciones de nematodos. Las cinco submuestras fueron mezcladas para formar una muestra compuesta, de la cual se tomó 250g para el análisis de nematodos.

La extracción de los nematodos fue mediante una modificación del método de embudo de Baermann descrito por Hooper (1990). Se agregó agua del grifo a 250g de suelo esparcido sobre una hoja de papel toalla (papel Scott) en un tamiz ubicado en un plato plástico hondo, hasta que el suelo quedó totalmente cubierto. Se dejó la mezcla en reposo por 72h para asegurar la precipitación de los nematodos en el fondo del recipiente. Al cabo de los 72h se eliminó el papel toalla con el suelo y el agua del recipiente fue pasada por un tamiz (# 400) de 0.38µm. Los nematodos retenidos en el tamiz fueron recolectados mediante un cuidadoso lavado con una pizeta. Se lavó el tamiz por detrás y se colectó el lavado en un tubo de ensayo de 25ml. La solución recolectada fue llevada a 20ml en cada tubo de ensayo. Los tubos de ensayo fueron llevados al laboratorio de nematodos de la UCR en San José para la identificación a nivel de género. Se analizaron los datos de número de nematodos mediante una prueba de análisis de varianza (ANDEVA) y el índice de diversidad de Shannon-Weiner fue usado para comparar la diversidad de los nematodos bajo los diferentes tipos de manejo.

3.6.5.2 Actinomicetes

3.6.5.2.1 Muestreo

Se utilizó una pala para sacar las muestras; cinco sub-muestras de suelo (círculo rojo en la Figura 2) fueron tomadas al azar en los primeros 10cm de suelo para las evaluaciones de los actinomicetes. Las muestras fueron tomadas a una distancia de 30cm de las plantas de café, y también donde hubo influencia de las plantas de sombra. La zona de influencia se describe como el área cercana de la planta de café donde se observa la proyección de sombra y la acumulación de material vegetal (hojas, ramas etc.) por la planta de sombra.

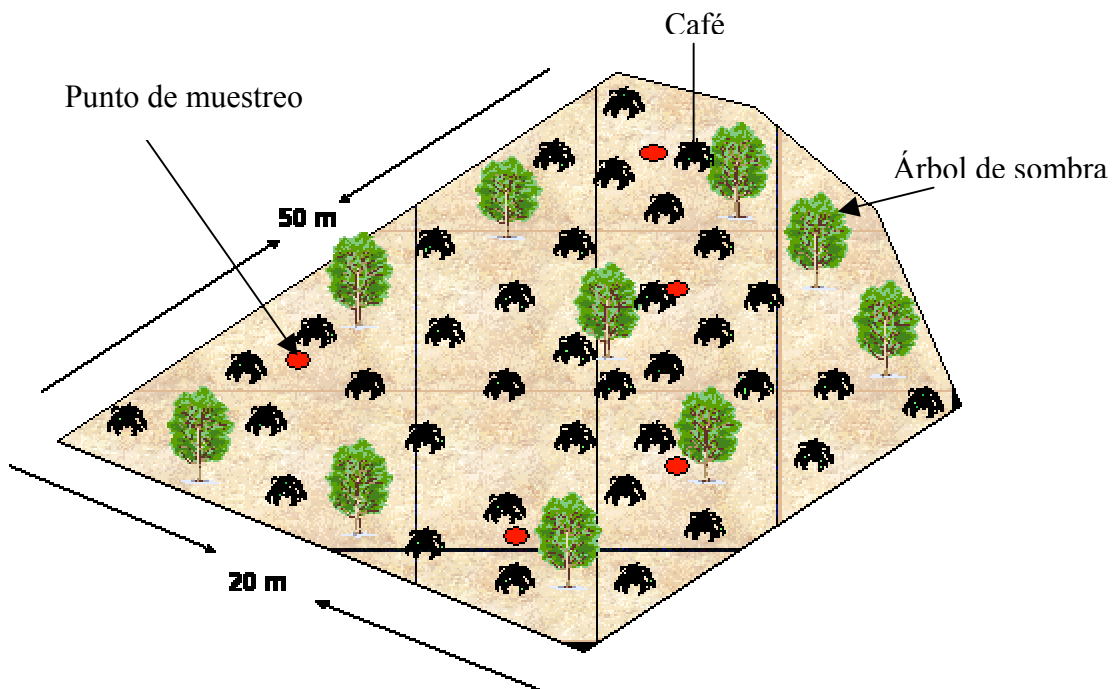


Figura 2. Puntos de muestreo de suelo para el análisis de los actinomicetes.

3.6.5.2.2 Preparación de la muestra

Los actinomicetes fueron evaluados mediante el método de dilución y recuento en platos. De la muestra compuesta de suelo se tomó 5g de suelo y a este se le agregó 45ml de agua destilada estéril (ADE) para producir la solución madre que se consideró como la primera dilución (10^{-1}). La mezcla fue agitada por 30 minutos en un agitador (Hottech Orbital shaker, model 721-2T) a 125rpm. En una cámara de flujo laminar, se realizaron más diluciones hasta 10^{-5} . Para ello se tomó 1ml de la solución madre y se agregó a 9ml de ADE en un tubo de ensayo para producir la segunda dilución. De la segunda dilución se tomó 1ml de solución y le

pasó a un tubo de ensayo con 9ml de ADE. Se repitió este procedimiento con cada dilución sucesiva hasta llegar a una concentración de 10^{-5} . Tres submuestras fueron usadas para las evaluaciones de cada sitio.

3.6.5.2.3 Inoculación del medio y la cuantificación de las poblaciones de actinomicetes

Para aislar los actinomicetes, se utilizó un medio de cultivo específico (Actinomycete Isolation Agar, Difco Lab. Ref # 212168). Los ingredientes del medio son: 2.0g caseinato de sodio, 0.1g asparagina, 4.0g propionato de sodio, 0.5g fosfato dipotásio, 0.1g sulfato de magnesio, 0.001g sulfato ferroso y 15g de agar. El pH fue ajustado a 8.0. Las diluciones evaluadas fueron 10^{-4} y 10^{-5} , observándose el mejor crecimiento en la concentración de 10^{-4} . Se utilizó un total de 180 platos (30 sitios x 3 submuestras x 2 muestreos en el tiempo) para la evaluación final. A cada plato se le agregó 0.1ml de solución de suelo de la concentración de 10^{-4} . Los platos fueron incubados invertidos por 7 días, y posteriormente se anotó el número de unidades formadoras de colonias (UFC) en cada plato. El número total de UFC g^{-1} suelo fue calculado de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Total de UFC} = N^{\circ} \text{ UFC} \times C/PS$$

donde: N° UFC = número de UFC observado en el plato, C = concentración de la dilución y PS = peso seco de la muestra de suelo.

3.6.5.3 Lombrices de tierra

Las lombrices de tierra fueron evaluadas mediante un recuento físico en un área de $0.25m^2$ (50 x 50cm) a una profundidad de 10cm; se realizó 3 muestreos por lote utilizando una pala para excavar el suelo y una zaranda de 50 x 50cm para sacudir el suelo. Las muestras fueron tomadas en una formación triangular. Se anotó el número total de lombrices encontrados en cada punto de muestreo y las lombrices fueron reintegradas al suelo después de cada conteo. El promedio de lombrices encontradas en los tres puntos fue la variable usada para el ANDEVA.

3.6.5.4 Colémbolos

En cada sitio, se tomaron dos muestras ($2000cm^3$) de suelo y hojarasca a una profundidad de 10cm en un área de $0.25m^2$ para las evaluaciones de los colémbolos. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos de la UCR en la Sede del Atlántico en

Turrialba, donde fueron evaluados mediante una modificación del método del embudo de Berlese-Tüllgren³ (Edwards 1991).

Se establecieron 24 embudos metálicos (28cm de diámetro) sobre una mesa, los cuales fueron usados para la extracción de los colémbolos. Las muestras de suelo y hojarasca fueron colocadas sobre una malla dentro de cada embudo con una fuente de luz (bombillas de 25 Watts) ubicada a 20cm de la superficie de la muestra y un frasco de etanol (95%) rotulado en la parte inferior del embudo para recolectar los especímenes que cayeron adentro (Figura 3). Al cabo de seis días se retiraron los frascos con los especímenes. Se utilizó un estereoscopio (marca Olympus) para separar los colémbolos del material vegetal y otros organismos presentes en los frascos. Los especímenes fueron identificados a nivel de especie por el biólogo (M.Sc.) Cesar Guillén de la UCR en San José, el cual utilizó las guías de Christiansen y Bellinger (1980) y Palacios-Vargas (1990) entre otros.



Figura 3. Arreglo de los embudos de Berlese-Tüllgren para la extracción de los colémbolos.

³ Guillén-Sánchez, C. 2004. Muestreo y extracción de colémbolos. San José, CR, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa (comunicación personal).

3.6.5.5 Micoparásitos

El muestreo de suelo para las evaluaciones de los micoparásitos fue igual al muestreo para los nematodos. Se midió la capacidad de parasitismo de los micoparásitos encontrados en los suelos de cada finca, empleando una modificación de la técnica de cebos de Foley y Deacon (1985), utilizando platos precolonizados con cuatro hongos fitopatógenos como cebos (*Rosellinia bunodes* (RB 1), *Mycena citricolor* (My LS 002), *Phytophthora palmivora* (C13 Phy) y *Fusarium* sp. (AMR12). Las cepas de *Rosellinia*, *Phytophthora* y *Fusarium*, provienen de las colecciones del proyecto CABI-CATIE, y son almacenadas en nitrógeno líquido para conservar sus propiedades originales. La cepa de *Mycena* forma parte de la colección del laboratorio de Fitopatología del CATIE y se almacena como los hongos anteriores.

Cada cepa de hongo cebo fue inoculada sobre un medio de papa dextrosa agar (PDA) en 25 platos Petri. Los platos inoculados fueron incubados a 25°C por dos semanas o hasta que fueron completamente colonizados alternando entre 12h luz y 12h de oscuridad. Posteriormente, cada plato cebo totalmente colonizado fue dividido en cuatro (Figura 4).

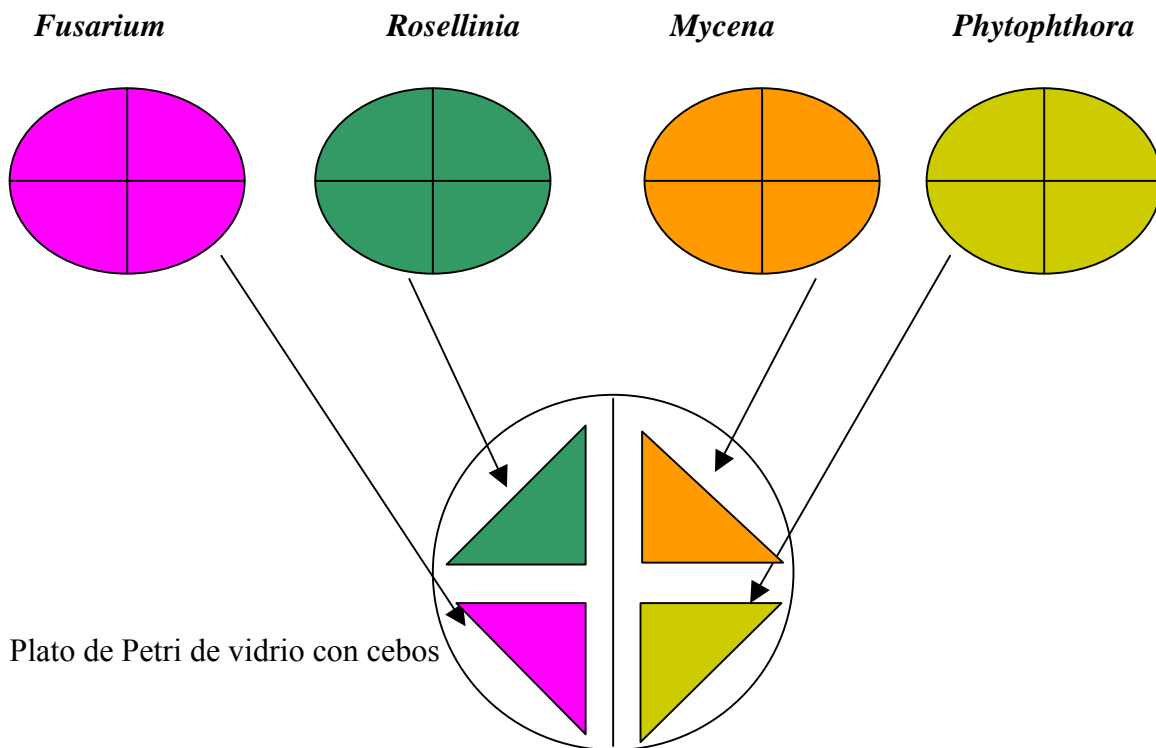


Figura 4. Arreglo de los platos de Petri de detección para asociaciones microbianas de la rizósfera de café (var. Caturra) utilizando como hongos cebo *Fusarium* sp., *Rosellinia bunodes*, *Mycena citricolor* y *Phytophthora palmivora*.

Un cuadrante de cada plato de los cuatro cebos fue colocado en un plato de vidrio previamente esterilizado, así, cada hongo cebo fue representado en cada plato de vidrio. Este procedimiento fue llevado a cabo en una cámara de flujo laminar.

Sobre cada cuadrante se puso 0.05g de suelo secado al aire proveniente de cada tratamiento. Los platos fueron sellados e incubados a 25°C por 9 días alternando 12h luz y 12h de oscuridad, después del cual fueron evaluados usando un microscopio. Se observó cada plato bajo el microscopio y se anotaron la presencia o ausencia de micoparásitos sobre cada cuadrante de cebo. Se efectuaron tres repeticiones por cada finca en dos épocas. Los datos de presencia o ausencia fueron transformados a porcentajes para facilitar el análisis de varianza.

3.7 Índice de la calidad del suelo

El índice de calidad de suelo usado en el presente trabajo se basa en el trabajo de Andrews *et al.* (2002). Para obtener el índice de calidad de suelo, las observaciones de cada variable fueron transformadas a una escala de 0-1. Las variables indicadores fueron agrupadas en forma ascendente o descendente de acuerdo al efecto que el valor alto de un índice puede tener sobre la función del suelo. Si el efecto fue considerado "bueno", entonces se agruparon las variables en "mayor es mejor" y si el efecto fue considerado "malo", entonces se agruparon en "menor es mejor" (Anexo 2). Para los valores de las variables consideradas como "mayor es mejor", cada observación fue dividida por el valor más alto observado de tal manera que el valor del índice más alto observado fue 1.0. Para las variables consideradas como "menor es mejor", el valor más bajo (numerador) observado fue dividido por cada observación, (denominador) de tal modo que el valor más bajo recibió el puntaje de 1.0.

3.7.1 Índice de calidad de suelo aditivo

El índice de calidad de suelo aditivo (ICSA) fue la sumatoria de las puntuaciones de las variables. La sumatoria de las puntuaciones fue analizada mediante un ANDEVA para determinar diferencias entre tratamientos y manejo. Se asumió que una puntuación alta significaba una mejor calidad de suelo.

3.8 Caracterización de las fincas de café

Se encuestaron los productores que participaron en el presente estudio, recopilando datos sobre las prácticas de manejo del cultivo de café y las plantas de sombra, el historial de las fincas, problemas de manejo etc. Las fincas de café convencionales fueron agrupadas en tres categorías (Bajo insumo, Semi-tecnificada y Tecnificada) mientras que las fincas orgánicas fueron agrupadas en cuatro categorías (Natural, Bajo insumo, Semi-tecnificada y Tecnificada).

La asignación de categorías fue una modificación de la propuesta de Galloway y Beer (1997), la cual se basa en el nivel de tecnología usada en las fincas. La categoría *Natural* se caracteriza por una baja densidad (< 2000 plantas ha^{-1}), variedad de porte bajo (Caturra, Catuai) con trazo irregular, cero aplicaciones de fertilizantes o abonos, escaso manejo técnico así como escaso manejo de plagas, enfermedades, malezas y las plantas de sombra. Las características de la categoría *Bajo insumo* son las mismas de la categoría *Natural* con la excepción de que se aplica abonos o fertilizantes ($< 250kg ha^{-1} año^{-1}$) y hay poca regulación de la sombra. En la categoría de *Semi-tecnificada* las variedades sembradas son de porte bajo, la densidad de siembra ($3500 - 4500$ plantas ha^{-1}) y la fertilización ($250-500kg ha^{-1} año^{-1}$) son mayores que la categoría anterior, la sombra es regulada o las plantas están en plena exposición solar, el trazo es uniforme, y hay buen control de plagas, enfermedades y malezas. En la categoría *Tecnificada* las variedades sembradas son las mismas de la categoría *Semi-tecnificada*, pero la densidad de siembra ($f 5000$ plantas ha^{-1}) y los niveles de fertilización ($500-1000kg ha^{-1} año^{-1}$) son mayores. Hay un uso más intensivo de herbicidas y plaguicidas en el control fitosanitario y generalmente las plantas de café se encuentran en plena exposición solar.

3.9 Diseño y análisis estadístico

El ensayo fue conducido bajo un diseño completo al azar con un arreglo bi-factorial dado por el tipo de manejo (10 tratamientos) y la época (seca, lluviosa) del año, y con tres repeticiones por tratamiento. Los diez tratamientos son presentados en el Cuadro 1. El muestreo de suelos para el análisis químico fue sistemático con arranque aleatorio, de 20 submuestras que formaron parte de una muestra compuesta. El modelo de análisis correspondió a un diseño bifactorial dado por los tratamientos y la época. Se realizó un ANDEVA para el modelo

propuesto para determinar si existen diferencias entre tratamientos y época. El modelo propuesto es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + E_j + TE_{(ij)} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ij} = la respuesta del i-ésimo tratamiento en j-ésimo repetición

μ = media general

T_i = efecto de la variable en el i-ésimo tratamiento

E_j = efecto de la variable en el j-ésimo época

$TE_{(ij)}$ = efecto de la interacción entre T_i y E_j

ε_{ijk} = error experimental.

4 RESULTADOS

4.1 Condiciones climáticas durante el estudio

La zona de Turrialba está caracterizada por una época seca (diciembre-abril) y una época lluviosa (mayo-noviembre). Durante el período del estudio se observó una fuerte aumento en la precipitación en el mes de enero (Figura 5) y una reducción significativa para el mes de marzo, la más baja para el período de octubre de 2004 a junio de 2005.

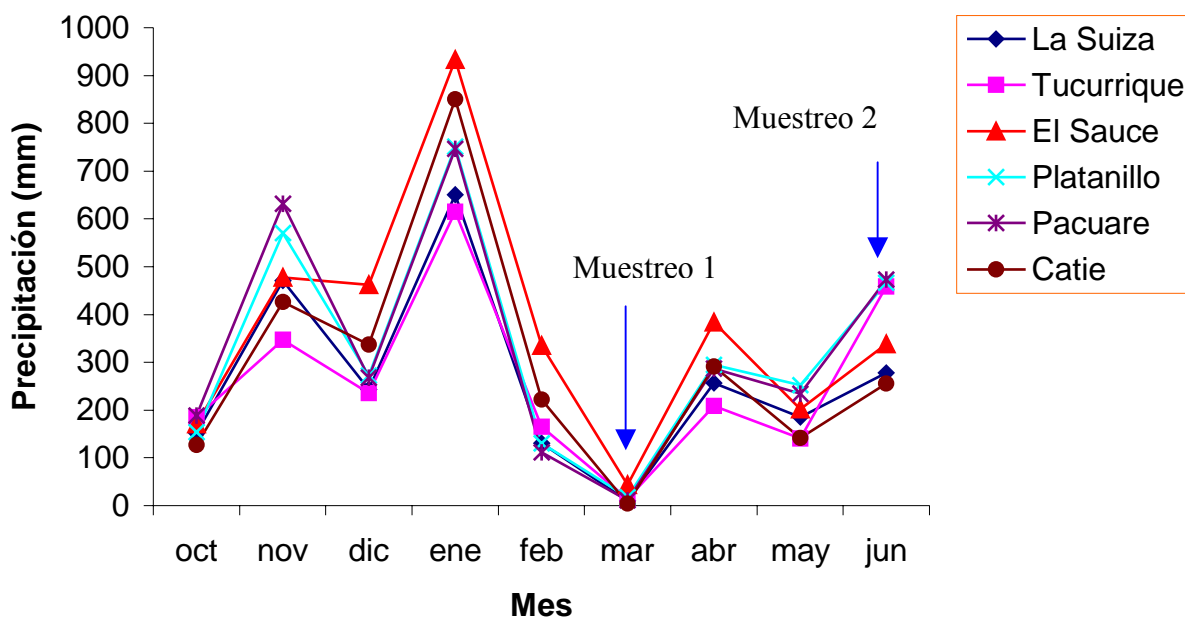


Figura 5. Variación de precipitación en las zonas bajo estudio del octubre 2004 a junio de 2005⁴ (CATIE 2005).

Los primeros tres meses antes del primer muestreo (Figura 5) la precipitación promedio fue de 414mm comparada con 166mm para el mismo período antes del segundo muestreo para las seis zonas. Sin embargo, la precipitación promedio para el mes de marzo fue 16.92mm (primer muestreo) y para junio (segundo muestreo) fue 378.17mm. La época seca fue húmeda antes del muestreo, pero seca en el momento del muestreo, mientras que la época lluviosa fue menos húmeda antes que durante el momento de muestreo.

⁴ICE, 2005. Precipitación en la zona de Turrialba (Correspondencia personal). San José, CR..

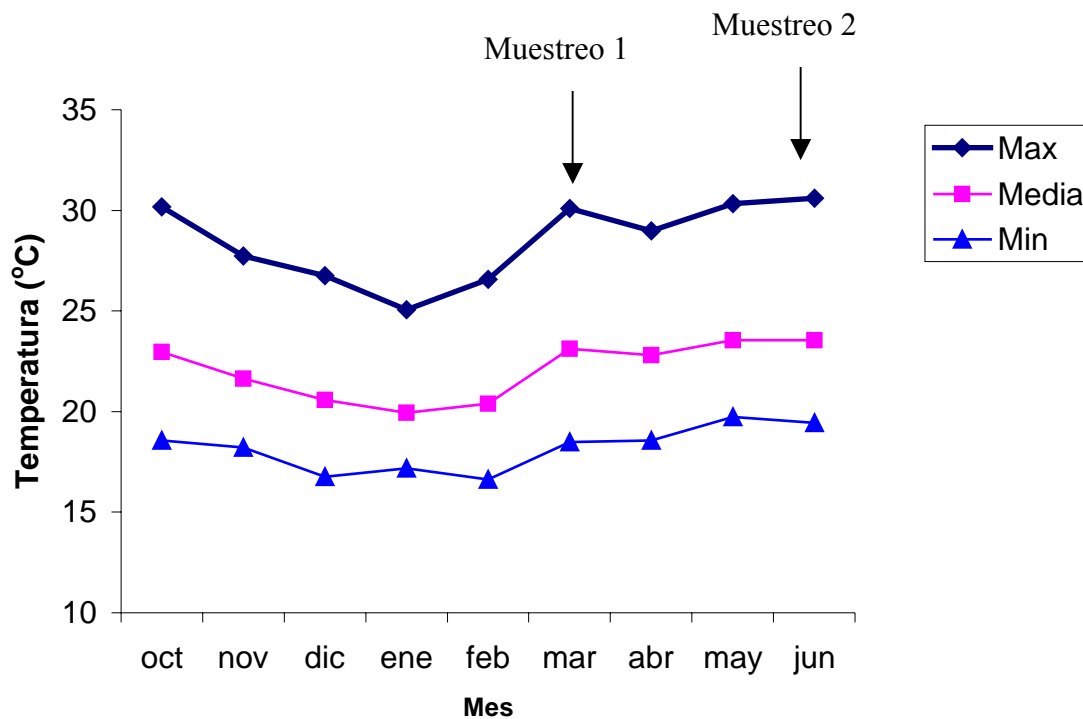


Figura 6. Tendencia de la temperatura acumulada mensual de octubre 2004 a junio de 2005 en Turrialba, Costa Rica (CATIE 2005).

De igual modo los promedios de las temperaturas (Figura 6) durante los tres meses que preceden cada muestreo, fueron diferentes; el comportamiento de la temperatura fue inverso a la precipitación. Para el período de tres meses antes del primer muestreo (diciembre-febrero), las temperaturas registradas fueron: 16.77 °C (mínima), 20.30 °C (media) y 26.13 °C (máxima). Para el mismo período antes del segundo muestreo (marzo-mayo) las temperaturas mínimas, medias y máximas fueron 18.49, 23.16 y 29.81°C respectivamente. La diferencia entre las temperaturas de las dos épocas fueron 1.73, 2.86 y 3.68°C respectivamente. Las temperaturas (mínima, media, máxima) para los dos meses de muestreo (marzo y junio) fueron similares.

4.2 Variables químicas

Las características químicas de los suelos bajo estudio presentaron pocas diferencias entre tratamientos (Cuadro 2). Las diferencias entre tratamientos fueron observadas solamente para la variable Mg. Con respecto a las necesidades químicas del cultivo de café, la mayoría de los

elementos minerales se encuentran por debajo de los niveles críticos (Cuadro 3) establecidos por el ICAFE.

Cuadro 2. Características químicas y análisis de la varianza de las variables de los suelos de tres bosques y fincas de café con sombra diversificada en la zona de Turrialba (cada dato es el promedio de 3 repeticiones)

Variables	Tratamientos										Valor P	
	CEO	CEMO	CMO	CECO	CEC	CEMC	CMC	CECC	PS	B		
pH	4.89	5.04	5.28	4.77	4.85	5.23	4.79	4.75	4.67	4.71	0.363	
Acidez(cmol/L)	1.04	0.51	1.13	1.08	1.48	1.20	1.19	2.15	1.50	2.33	0.910	
K(meq/100ml)	0.20	0.10	0.37	0.08	0.48	0.22	0.35	0.45	0.39	0.20	0.250	
Ca(meq/100ml)	7.33	9.77	17.8	4.08	6.92	16.99	8.03	4.77	2.87	1.57	0.133	
Mg*(meq/100ml)	1.20 ^{ab}	1.87 ^{ab}	3.66 ^c	1.00 ^{ab}	0.84 ^{ab}	2.27 ^{bc}	1.20 ^{ab}	1.20 ^{ab}	0.48 ^a	0.55 ^a	0.007	
P(mg/ml)	6.10	4.63	4.57	4.47	29.20	8.93	14.73	13.37	11.15	2.90	0.251	
Cu (mg/ml)	12.00	8.33	4.67	11.67	10.33	8.00	8.33	8.67	11.17	5.00	0.265	
Zn (mg/ml)	1.47	1.37	1.33	1.43	1.87	5.50	1.63	2.87	1.87	0.93	0.400	
Mn (mg/ml)	22.00	21.00	15.00	25.67	9.33	24.0	13.67	26.00	17.00	13.67	0.479	
Fe (mg/ml)	142.3	119.3	111.00	99.33	114.00	105.30	114.30	212.00	108.67	186.3	0.653	
M O (%)	5.54	5.38	7.59	4.70	5.98	5.18	5.19	7.68	11.92	14.08	0.141	
N (%)	0.26	0.26	0.34	0.26	0.25	0.24	0.19	0.36	0.52	0.57	0.206	
Humedad* (%)	34.45	36.91	42.06	34.07	28.36	29.84	32.31	24.82	37.84	52.38	0.060	
C E (dS/m)	0.96	0.99	0.87	1.16	1.42	1.16	1.08	1.06	1.76	1.81	0.272	

* Datos en filas con letras distintas implican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, $P < 0.05$).

**Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café- erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

Cuadro 3. Valores de variables químicas del suelo promediadas por tipo de manejo y los niveles críticos usados por el ICAFE (basado en Carvajal, 1984)

Variable Nº de fincas	Orgánico (12)	Convencional (12)	Bosque (3)	Pleno sol (3)	Nivel Crítico	
					Inferior	superior
pH	5.00	4.91	4.71	4.67	5.5	
Acidez (cmol/L)	0.94	1.51	2.33	1.30		1.5
K (meq/100ml)	0.19	0.38	0.20	0.32	0.2-0.4	3.0
Ca (meq/100 ml)	9.79	9.18	1.57	2.46	2.2-4.0	36.0
Mg (meq/100ml)	1.93	1.38	0.55	0.48	1.2 -2.0	18.0
P(mg/ml)	4.94	16.56	2.90	9.08	12 -20.0	80.0
Cu (mg/ml)	9.17	8.83	5.00	10.50	1 -3.0	20.0
Zn (mg/ml)	1.40	2.97	0.93	1.80	3-6.0	36.0
Mn (mg/ml)	20.92	18.25	13.67	14.00	5 - 10.0	100.0
Fe (mg/ml)	118.00	136.42	186.33	94.75	10- 20.0	80.0
N (%)	0.28	0.26	0.57	0.52		
MO (%)	5.80	6.01	14.08	11.92		

4.2.1 pH y acidez

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0.3633$) con respecto al pH (Cuadro 2). Sin embargo el pH fue ligeramente mayor bajo el manejo orgánico (Cuadro 3) y el mayor pH fue registrado en el tratamiento CMO (pH 5.28) (Cuadro 2). Todos los valores de pH fueron menores que el nivel crítico inferior (pH 5.50) establecido para la mayoría de los cultivos.

Para la variable acidez, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0.9104$) (Cuadro 2). La menor acidez fue observada en los tratamientos bajo el manejo orgánico mientras que la mayor acidez fue registrada en los tratamientos bajo el manejo de bosque seguido por los tratamientos convencionales y pleno sol (Cuadro 3).

4.2.2 Magnesio

El contenido de Mg en el suelo presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0.0074$) (Cuadro 2). La concentración de Mg en el tratamiento pleno sol fue significativamente menor ($P = 0.0382$) que el promedio de los tratamientos orgánicos y convencionales. Dentro los tratamientos orgánicos, la comparación del tratamiento de café-musa (CMO) con los tratamientos con árboles de sombra demuestran diferencias altamente significativas ($P = 0.0007$) (Anexo 3). CMO también difiere del tratamiento con la combinación de *Erythrina* y

Musa (CEMO) ($P=0.0194$). Las fincas bajo el manejo orgánico presentaron los mayores niveles de Mg ($1.93 \text{ meq}100\text{ml}^{-1}$), mientras que los tratamientos de pleno sol presentaron los niveles más bajos ($0.48 \text{ meq}100\text{ml}^{-1}$) (menor que el nivel crítico inferior).

4.2.3 Nitrógeno

No se observaron diferencias significativas ($P=0.2056$) en el porcentaje de nitrógeno entre los tratamientos (Cuadro 2). Sin embargo, los bosques presentaron los mayores niveles (0.57 %) de este elemento seguido por los tratamientos en pleno sol (0.52 %). El nivel de nitrógeno en los suelos bajo el manejo orgánico (0.28 %) no difiere del nivel de los suelos bajo el manejo convencional (0.26 %).

4.2.4 Materia orgánica y carbono orgánico

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P=0.1412$) para la variable MO (Cuadro 2). Sin embargo, el porcentaje de MO fue mayor en los suelos de los bosques (14.08 %) seguido por los suelos de PS (11.92 %). El promedio de MO de los suelos bajo el manejo orgánico fue 5.80 % el cual no fue diferente al promedio de los suelos bajo el manejo convencional (6.01 %) (Cuadro 3). El porcentaje de carbono orgánico (CO) en los suelos siguió el mismo patrón del contenido de MO bajo los distintos tipos de manejo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación del porcentaje de carbono orgánico y la relación de carbono/nitrógeno en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Manejo	Tratamientos	Medias			
		MO (%)	CO (%)	N (%)	C/N
Orgánico	CECO	4.70	2.73	0.26	10.5
	CEMO	5.38	3.12	0.26	12.0
	CEO	5.54	3.21	0.26	12.4
	CMO	7.59	4.40	0.34	12.9
Promedio		5.80	3.36	0.28	12.0
Convencional	CEMC	5.18	3.00	0.24	12.5
	CMC	5.19	3.01	0.19	15.8
	CEC	5.98	3.47	0.25	13.9
	CECC	7.68	4.46	0.36	12.5
Promedio		6.01	3.49	0.26	13.4
Pleno sol	PS	11.92	6.92	0.52	13.3
Bosque	B	14.08	8.17	0.57	14.3

Los tratamientos orgánicos presentaron valores de CO similares a los tratamientos convencionales, mientras que los tratamientos de pleno sol presentaron valores de CO menores que los bosques, los cuales presentaron los valores más altos de CO (8.92 %).

La relación C/N fue mayor en los suelos de los bosques (14.3). Las fincas convencionales y en pleno sol presentaron relaciones de C/N similares (13.4 y 13.3 respectivamente), mientras las fincas orgánicas presentaron la relación de C/N más baja (12.0).

4.2.5 Otros elementos

El contenido de potasio (K) no fue significativamente diferente entre tratamientos ($P = 0.2497$), sin embargo el nivel de K en las fincas convencionales fue el doble del nivel de las fincas orgánicas. Las fincas orgánicas presentaron los valores más bajo de este elemento (Cuadro 3). De igual modo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en los contenidos de calcio ($P = 0.1326$), fósforo ($P = 0.2511$), cobre ($P = 0.265$), zinc ($P = 0.400$), manganeso ($P = 0.479$) y hierro ($P = 0.653$) (Cuadro 2).

Para la variable Ca, las fincas orgánicas presentaron el mayor nivel de este elemento, mientras que los bosques presentaron niveles por debajo del nivel crítico. Llama la atención los altos niveles de calcio en los cafetales orgánicos, lo que puede ser el resultado del encalado. El % de fósforo (P) fue mayor en las fincas bajo el manejo convencional y menor en los bosques. El nivel promedio de P en los suelos bajo el manejo convencional fue tres veces mayor que el promedio de los suelos bajo el manejo orgánico (Cuadro 3).

4.2.6 Conductividad eléctrica

El análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas ($P = 0.2717$) entre tratamientos (Cuadro 2). Los valores de CE del tratamiento PS fueron mayores a los tratamientos orgánicos y convencionales. Es posible que el material de origen (las cenizas volcánicas) influya en esta diferencia observada, dado que un bosque (B1) y una finca del tratamiento PS (CO69) (Anexo 1) presentaron características ándicas; además estos dos suelos presentaron los niveles de CE más altos que cualquier otro suelo. Sin embargo, en términos agronómicos no hay diferencias entre los tipos de manejo y los valores de CE registrados

tienen poco efecto sobre los cultivos (Cuadro 5) y por tanto los suelos son clasificados como no salinos (Cuadro 6).

Cuadro 5. Efecto de la concentración de sales sobre el rendimiento de los cultivos de acuerdo con la conductividad eléctrica del extracto de saturación

Rangos de CE (dS/m) a 25°C	Efecto sobre el cultivo	Clasificación
0 - 2.0	Despreciables	No salino
2.0 - 4.0	Afectados cultivos muy sensibles	Poco salino
4.0 - 8.0	Afectados muchos cultivos	Salino
8.0 - 16.0	No afectados sólo cultivos tolerantes	Muy salino
> 16	No afectados sólo cultivos muy tolerantes	Extremadamente salino

Fuente Henríquez y Cabalceta (1999).

Cuadro 6. Interpretación de los valores de conductividad eléctrica encontrados en suelos de bosques, cafetales en pleno sol y en cafetales bajo el manejo orgánico y convencional con sombra diversificada en la zona de Turrialba

Manejo	CE (dS/m)	*Clasificación
Orgánico	1.00	No salino
Convencional	1.18	No salino
Pleno sol	1.76	No salino
Bosque	1.81	No salino

*De acuerdo a Henríquez y Cabalceta (1999).

4.2.7 Humedad

La humedad del suelo fue evaluada una sola vez en la época seca y los valores no fueron significativamente diferentes entre tratamientos ($P = 0.0599$) (Cuadro 2), sin embargo se puede observar que el promedio del porcentaje de humedad fue mayor en los suelos de los bosques (52.38 %), seguidos por las fincas orgánicas (36.9 %) y las fincas convencionales (28.83 %).

4.3 Variables físicas

4.3.1 Resistencia a la penetración

La resistencia del suelo a la penetración fue significativamente diferente entre tratamientos ($P=0.0069$) y épocas ($P=0.0001$) (Cuadro 7). No hubo interacción entre épocas y tratamientos. Los contrastes ortogonales (Anexo 4) revelan diferencias significativas ($P=0.0048$) entre el tratamiento bosque versus los demás tratamientos. El suelo del bosque presentó una menor resistencia a la penetración (21.29KPa) que los demás suelos. El contraste entre el manejo orgánico y el manejo convencional también mostró diferencias significativas ($P=0.0014$); los tratamientos orgánicos presentaron valores de resistencia menores (32.31KPa) que los tratamientos convencionales (46.20KPa). Dentro del manejo orgánico, no hubo diferencias significativas entre tratamientos, mientras que dentro de los convencionales el tratamiento CEC presentó valores de resistencia significativamente menores ($P=0.0391$) que el tratamiento CECC.

Cuadro 7. Resistencia a la penetración en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en dos épocas en la zona de Turrialba

*Tratamientos RP (KPa)	Época		¹ Medias (KPa)
	Seca	Lluviosa	
CEO	36.08	25.40	30.74 ^{AB}
CEMO	38.61	24.36	31.49 ^{AB}
CMO	34.59	22.18	28.38 ^{AB}
CECO	50.22	27.00	38.61 ^{ABC}
CEC	42.98	35.51	39.24 ^{ABC}
CEMC	58.95	34.13	46.54 ^{BC}
CMC	55.30	29.65	42.49 ^{BC}
CECC	67.80	45.28	56.54 ^C
PS	44.70	35.12	39.91 ^{ABC}
B	24.36	18.21	21.29 ^A
² Promedio	45.36^b	29.68^a	

* Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café-erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

1: Datos en columnas con letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (prueba LSD de Fisher, $P < 0.05$).

2: Datos en filas con letras minúsculas distintas indican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, $P < 0.05$).

4.3.2 Densidad aparente

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P=0.0277$) para la variable densidad aparente (DA) (Cuadro 8). Como es una variable que no cambia a corto plazo, fue medida una sola vez (marzo, época seca), por lo tanto el dato se utiliza para inferencias en ambas épocas.

Cuadro 8. Densidad aparente en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Variable	¹ Tratamientos								PS	B	Valor P
	Orgánico				Convencional						
	CEO	CEMO	CMO	CECO	CEC	CEMC	CMC	CECC			
² DA (g cm ⁻³)	0.8 ^{bc}	0.8 ^{bc}	0.66 ^{ab}	0.79 ^{bc}	0.94 ^c	0.91 ^{bc}	0.88 ^{bc}	0.97 ^c	0.78 ^b	0.44 ^a	0.0227

¹ Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café-erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

². Datos en filas con letras distintas indican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, $P < 0.05$).

Los contrastes ortogonales (Anexo 5) muestran diferencias altamente significativas ($P=0.0006$) entre el tratamiento bosque (B) respecto a los demás; éste tratamiento presentó la menor DA (0.44g cm⁻³). También hubo diferencias significativas ($P=0.0184$) entre el manejo orgánico versus el manejo convencional. Los tratamientos orgánicos presentaron una menor DA (0.76g cm⁻³) que los tratamientos convencionales (0.93g cm⁻³) y de pleno sol (PS) (0.78g cm⁻³).

4.3.3 Textura

Los suelos bajo estudio presentaron texturas similares. Tres texturas predominan en los suelos bajo estudio: franco (9 fincas), franco arenoso (7 fincas) y franco arcilloso arenoso (6 fincas) (Cuadro 9). Las texturas franco y franco arcillo arenoso representan 50 y 75 % de los suelos orgánicos y convencionales respectivamente. Estas texturas no son consideradas como impedimento para la actividad microbiana o para el movimiento de agua en los primeros 30cm (profundidad de muestreo) de los suelos bajo estudio. El análisis de la varianza del porcentaje de arena, limo y arcilla revelan diferencias significativas entre tratamientos para el contenido

de arcilla ($P=0.0369$) y limo ($P=0.0500$) (Anexo 6). No hubo diferencias entre el manejo orgánico y convencional.

Cuadro 9. Tipos de textura de suelos predominantes en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Textura	Manejo (N° de fincas)			Bosque
	Orgánico	Convencional	Pleno sol	
Arcilloso	2	1	0	0
Arcillo arenoso	1	0	0	0
Arenoso franco	0	0	1	1
Franco	4	5	0	0
Franco arcilloso	1	0	1	0
Franco arcillo arenoso	2	4	0	0
Franco arenoso	2	2	1	2
Total de fincas	12	12	3	3

4.4 Variables biológicas

4.4.1 Nematodos

Los nematodos fitopatógenos encontrados en las diferentes fincas pertenecen a los géneros: *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Trichodorus* y *Criconemella*. La mayoría fueron del género *Helicotylenchus*. Los nematodos de vida libre no se identificaron a nivel de género, sino que se agruparon como Saprozoicos (Cuadro 10).

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos y épocas para las variables *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Criconemella* sp. y *Trichodorus* sp. (Cuadro 10). Se observó *Criconemella* sp. únicamente en los suelos bajo el manejo orgánico y en los suelos de los bosques; no fue encontrado en los suelos de las fincas convencionales ni en las fincas de pleno sol. *Trichodorus* sp. estuvo presente solamente en el tratamiento bosque.

Cuadro 10. Poblaciones de nematodos en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Variables (ind.100g ⁻¹ suelo)	¹ Tratamientos										Valor P
	CEO	CEMO	CMO	CECO	CEC	CEMC	CMC	CECC	PS	B	
<i>Helicotylenchus</i> sp.	8.67	0.83	2.00	8.83	1.33	11.50	8.83	0.50	0.33	7.17	0.425
<i>Tylenchus</i> sp.	9.50	0.50	1.50	1.83	0.33	1.17	2.00	0.17	0.67	1.17	0.092
<i>Criconemella</i> sp.	2.33	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0.33	0.482
<i>Trichodorus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0.456
Saprozoicos	15.17	9.67	23.67	5.33	4.00	7.17	10.33	2.00	5.00	7.67	0.064
Total	35.67	11.00	27.17	15.66	5.66	19.84	21.16	2.67	6.00	16.51	

¹Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café- erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

En el caso de los Saprozoicos, tampoco se observaron diferencias significativas entre tratamientos (P=0.0640) (Cuadro 10), sin embargo, se puede notar que fueron más abundantes en los suelos bajo el manejo orgánico comparados a los suelos bajo el manejo convencional (Anexo 7). Dentro de los tratamientos bajo el manejo convencional, el tratamiento café-*Musa* (CMC) registró el mayor número de saprozoicos (Cuadro 10). No hubo diferencias significativas entre los tratamientos bajo el manejo orgánico.

4.4.2 Actinomicetes

Para la variable actinomicetes, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (P=0.0033) (Cuadro 11). Aunque no hubo diferencias entre épocas (P=0.3754), la interacción entre tratamientos y épocas fue significativa (P=0.0103). Los tratamientos CMO y B respondieron al cambio de época y se puede notar un descenso en las poblaciones de actinomicetes en el tratamiento CMO en la época lluviosa y un aumento en el tratamiento B en la misma época.

Cuadro 11. Poblaciones de actinomicetes en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

¹ Tratamientos	² Época		³ Medias de Tratamientos (ufc/g suelo)
	Seca	Lluviosa	
CEO	1.13 x 10 ⁵ abc	2.10 x 10 ⁵ bc	1.62 x10 ⁵ <i>BCD</i>
CEMO	1.69 x 10 ⁵ abc	1.34 x 10 ⁵ abc	1.52 x10 ⁵ <i>BCD</i>
CMO	4.39 x 10 ⁵ d	8.29 x 10 ⁴ ab	2.60 x10 ⁵ <i>D</i>
CECO	6.93 x 10 ⁴ ab	8.57 x 10 ⁴ ab	7.70 x10 ⁴ <i>ABC</i>
CEC	3.89 x 10 ⁴ a	6.86 x 10 ⁴ ab	5.38 x10 ⁴ <i>AB</i>
CEMC	1.22 x 10 ⁵ abc	5.62 x 10 ⁴ ab	8.90 x10 ⁴ <i>ABC</i>
CMC	1.14 x 10 ⁵ abc	7.50 x 10 ⁴ ab	9.47 x10 ⁴ <i>ABC</i>
CECC	3.23 x 10 ⁴ a	3.92 x 10 ⁴ a	3.59 x10 ⁴ <i>A</i>
PS	5.63 x 10 ⁴ ab	5.42 x 10 ⁴ a	5.53 x10 ⁴ <i>AB</i>
B	1.25 x 10 ⁵ abc	2.50 x 10 ⁵ c	1.87 x10 ⁵ <i>CD</i>

1. Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café- erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

2. Datos en columnas con letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada época (prueba LSD de Fisher, P< 0.05).

3. Medias con letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, P< 0.05).

En los contrastes ortogonales (Cuadro 12), no se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento bosque y el promedio de los demás tratamientos. La población más baja (3.59×10^4 UFCg⁻¹ suelo) fue registrada en el tratamiento CECC mientras que la población más alta (2.6×10^5 UFCg⁻¹ suelo) fue observada en el tratamiento CMO. Las diferencias entre los tratamientos orgánicos y convencionales fueron bien marcadas (P=0.0013); los tratamientos orgánicos presentaron una mayor población de actinomicetes que los tratamientos convencionales. Las fincas orgánicas presentaron poblaciones desde 7.7×10^4 hasta 2.6×10^5 UFC g⁻¹ suelo mientras que el valor máximo de las fincas convencionales fueron 9.47×10^4 UFC g⁻¹ suelo. Dentro los orgánicos, hubo diferencias significativas entre tratamientos, siendo el más alto el tratamiento café-Musa (CMO), donde la población de actinomicetes fue significativamente mayor (P=0.0058) a los tratamientos con árboles de sombra (CEO y CECO). Dentro de los convencionales, no se encontraron diferencias significativas (P> 0.05) entre los tratamientos.

Cuadro 12. Contrastes ortogonales de las poblaciones de actinomicetes en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba.

Contrastes	SC	GL	CM	F	Valor P
Bosque vs. Resto	3.3 x10 ¹⁰	1	3.3 x10 ¹⁰	3.69	0.0618
PS vs. Resto	1.9 x10 ¹⁰	1	1.9 x10 ¹⁰	2.16	0.1492
Convencional vs. Orgánico	1.0 x10 ¹¹	1	1.0 x10 ¹¹	11.99	*0.0013
Árbol vs. Musa sola en orgánico.	7.6 x10 ¹⁰	1	7.6 x10 ¹⁰	8.50	*0.0058
Erit vs. Erit + Cordia en orgánico	2.5 x10 ¹⁰	1	2.5 x10 ¹⁰	2.82	0.1009
Musa vs. Erit + Musa en orgánico	3.6 x10 ¹⁰	1	3.6 x10 ¹⁰	3.98	0.0530
Árbol vs. Musa sola en convencional	5.5 x10 ⁹	1	5.5 x10 ⁹	0.62	0.4367
Erit vs. Erit + Cordia en convencional	9.7 x10 ⁸	1	9.7 x10 ⁸	0.11	0.7447
Musa vs. Erit + Musa en convencional	9.6 x10 ⁷	1	9.6 x10 ⁷	0.01	0.9183
Total		9		3.42	0.0033

Erit = *Erythrina* sp; Cordia = *Cordia alliodora*; Musa = *Musa* sp.; PS = café en pleno sol.

* Indican diferencias significativas (P< 0.05).

4.4.3 Lombrices de tierra

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza para lombrices (Cuadro 13), hubo diferencias significativas entre tratamientos (P = 0.0001) y épocas (P = 0.0258), pero no hubo interacción significativa entre época y tratamientos (P = 0.8609). Las poblaciones de lombrices en general fueron mayores en la época lluviosa. Los contrastes ortogonales (Cuadro 14) mostraron diferencias significativas entre el tratamiento pleno sol y el promedio de los demás tratamientos (P = 0.0073). Los tratamientos orgánicos presentaron el mayor número de lombrices de tierra, mientras que la población más baja fue registrada en los tratamientos de PS.

Cuadro 13. Poblaciones de lombrices de tierra en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en dos épocas en la zona de Turrialba

¹ Tratamientos	² Época		³ Medias (lombrices m ⁻²)
	Seca	Lluviosa	
CEO	195.56	264.89	230.22 ^{BC}
CEMO	268.89	234.22	251.56 ^C
CMO	197.34	236.44	216.89 ^{BC}
CECO	195.12	327.11	261.12 ^C
CEC	79.99	94.22	87.11 ^A
CEMC	113.79	152.00	132.89 ^{AB}
CMC	120.00	156.00	138.00 ^{AB}
CECC	68.89	98.67	83.78 ^A
PS	60.44	104.44	82.44 ^A
B	98.67	184.00	141.33 ^{AB}
²Total	139.87^a	185.20^b	

1. Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café-erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

2. Datos en filas con letras minúsculas distintas indican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, P < 0.05)

3. Datos en columnas con letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, P < 0.05).

Se encontraron diferencias altamente significativas (P < 0.0001) entre el manejo orgánico y convencional (Cuadro 14), pero no se encontraron diferencias significativas entre los tipos de sombra dentro de un sistema de manejo.

Cuadro 14. Contrastes ortogonales de las poblaciones de lombrices de tierra en suelos de bosques y en fincas de café en pleno sol y café orgánico y convencional con sombra diversificada en la zona de Turrialba.

Contrastes	SC	gl	CM	F	Valor P
Bosque vs. resto	2996.60	1	2996.60	0.52	0.4745
PS vs. Resto	45883.01	1	45883.01	7.98	*0.0073
Conv. Vs. Orgánico	201254.66	1	201254.66	35.01	*<0.0001
Árbol vs. Musa sola en orgánico	4252.11	1	4252.11	0.74	0.3949
Erit vs. Erit + Cordia en orgánico	1636.34	1	1636.34	0.28	0.5966
Musa vs. Erit + Musa en orgánico	3604.99	1	3604.99	0.63	0.4331
Árbol vs. Musa sola en conv.	6073.86	1	6073.86	1.06	0.3101
Erit vs. Erit + Cordia en conv.	33.17	1	33.17	0.01	0.9398
Musa vs. Erit + Musa en conv.	78.18	1	78.18	0.01	0.9077
Total	272501.61	9	30277.96	5.27	0.0001

Conv. = convencional; Erit = *Erythrina* sp.; Cordia = *Cordia alliodora*; Musa = *Musa* sp.; PS = café en pleno sol.

4.4.4 Colémbolos

Se encontraron catorce morfotipos diferentes de colémbolos; cuatro fueron identificados a nivel de familia y el resto fueron identificados a nivel de género. Las catorce morfotipos se agrupan en ocho familias (Cuadro 15). La familia Entomobryidae predomina en términos de número de especies.

En las fincas orgánicas, los géneros predominantes son *Lepidocyrtus* sp., *Trogolaphysa* sp. e *Isotomorus* sp. en orden descendente. Para las fincas convencionales, las familias Neanuridae y Onychiuridae y el género *Lepidocyrtus* sp. presentaron los mayores poblaciones en orden descendente. La familia Neanuridae representó el 52.3 % del total de colémbolos para las fincas convencionales mientras que el género más dominante de las fincas orgánicas (*Lepidocyrtus* sp.) representó el 36.7 % del total de las fincas orgánicas (Cuadro 15). Los géneros, *Camphylthorax* y *Salina* no fueron encontrados en las fincas convencionales, sino únicamente en las fincas orgánicas y en los bosques. En las fincas de pleno sol, cinco géneros (*Entomobrya*, *Campylthorax*, *Heteromurus*, *Salina*, *Seira*,) y una familia de colémbolos (Poduridae) estuvieron ausentes.

Cuadro 15. Frecuencia absoluta y relativa de las familias de colémbolos encontrados en tres bosques y fincas de café bajo tres sistemas de manejo en la zona de Turrialba

Familias	Especimenes	*Org	%	*Conv.	%	Bosque	% Pleno sol	%
Entomobryidae	<i>Dicranocentrus</i> sp	275	15.24	374	7.58	8	5.20	53 13.38
Entomobryidae	<i>Lepidocyrtus</i> sp.	662	36.70	704	14.27	20	13.00	105 26.52
Entomobryidae	<i>Entomobrya</i> sp	6	0.33	1	0.02	4	2.60	0 0.00
Entomobryidae	<i>Heteromurus</i> sp	12	0.67	6	0.12	5	3.25	0 0.00
Entomobryidae	<i>Seira</i> sp.	1	0.06	2	0.04	0	0.00	0 0.00
Subtotal		956	52.99	1087	22.03	37	24.04	158 39.90
Paronellidae	<i>Trogolaphysa</i> sp	298	16.52	310	6.28	61	39.61	23 5.81
	<i>Campylothorax</i> sp	2	0.11	0	0.00	3	2.00	0 0.00
	<i>Salina</i> sp.	3	0.17	0	0.00	1	0.65	0 0.00
Subtotal		303	16.80	310	6.28	65	42.21	23 5.81
Cyphoderidae	<i>Cyphoderus</i> sp	28	1.55	23	0.47	2	1.30	11 2.78
Isotomidae	<i>Isotomorus</i> sp	214	11.86	116	2.35	14	9.00	4 1.01
Sminthuridae	Sminthuridae	47	2.61	143	2.90	3	2.00	23 5.81
Neanuridae	Neanuridae	160	8.87	2579	52.27	11	7.10	168 42.42
Onychiuridae	Onychiuridae	96	5.32	667	13.52	21	13.64	9 2.27
Poduridae	Poduridae	0	0.00	9	0.18	1	0.65	0 0.00
Total		1804	100	4934	100	154	100	396 100

*Org = orgánico, Conv = convencional.

En los suelos de los bosques la familia Paronellidae tuvo mayor presencia (42.21 % del total de colémbolos bajo este tipo de manejo) pero dominada por el género *Trogolaphysa* sp. el cual representó el 39.61 % del total (Cuadro 15). El análisis de varianza de los números de cada morfotipo no revela diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 16), pero hubo diferencias entre épocas para *Cyphoderus* sp. (P = 0.0230) y *Lepidocyrtus* sp. (P = 0.0046). Las poblaciones de *Cyphoderus* fueron más abundantes en la época lluviosa mientras que las de *Lepidocyrtus* fueron más abundantes en la época seca. En el caso de *Dicranocentrus* sp., la diferencia entre épocas casi fue significativa (P = 0.0520) y se observa una clara preferencia hacia la época seca.

Cuadro 16. Poblaciones de colémbolos encontradas en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en dos épocas en la zona de Turrialba

Géneros/ Familias (ind ⁻¹ 2000cm ³ suelo)	Orgánico		Convencional		Bosque		Pleno sol		Valor P		CV
	Seca	Lluv	Seca	Lluv	Seca	Lluv	Seca	Lluv	Trat	Época	
<i>Camphylothorax</i>	0	2	0	0	2	1	0	0	0.073	0.685	379.5
<i>Cyphoderus</i>	1	27	0	23	0	2	5	6	0.490	*0.023	192.2
<i>Dicranocentrus</i>	190	85	312	62	0	8	45	8	0.264	*0.052	209.2
<i>Entomobrya</i>	4	2	1	0	4	0	0	0	0.491	0.201	379.2
<i>Heteromurus</i>	5	7	2	4	5	0	0	0	0.390	0.891	245.2
<i>Isotomorus</i>	165	49	39	77	10	4	4	0	0.164	0.276	177.2
<i>Lepidocyrtus</i>	580	82	558	146	6	14	86	19	0.209	*0.005	167.9
Neanuridae	119	41	2450	129	6	5	127	41	0.446	0.297	624.9
Onychiuridae	33	63	567	100	5	16	3	6	0.421	0.456	548.6
Poduridae	0	0	0	9	0	1	0	0	0.474	0.276	701.4
<i>Salina</i>	2	1	0	0	0	1	0	0	0.734	>0.999	387.3
<i>Seira</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	0.638	0.534	447.2
Sminthurididae	26	21	99	44	1	2	22	1	0.680	0.425	355.9
<i>Trogolaphysa</i>	121	177	206	104	31	30	17	6	0.283	0.725	183.5
Total	1246	558	4235	699	70	84	309	87			

* Indican diferencias significativas entre las dos épocas (prueba LSD de Fisher, P< 0.05); Lluv = lluviosa, Trat = tratamientos.

4.4.5 Micoparásitos

Un total de diez micoparásitos fueron observados: tres especies de *Trichoderma* (*TR1*, *TR2* y *TR3*), *Clonostachys* sp., *Penicillium* sp. y cinco hongos no identificados (*B*, *Bls*, *CKS*, *Ct*, *Bsp*) que fueron agrupados como el grupo "Otros" debido a su poca presencia en los platos de detección. El porcentaje de colonización de los cebos por especímenes fue sometido a un ANDEVA para detectar diferencias entre tratamientos. Diferencias significativas fueron encontradas entre tratamientos (P = 0.0283) solamente para *Clonostachys* sp.

Diferencias significativas entre épocas fueron observados para *TR1* (P<0.001), *TR2* (P= 0.01), *TR3* (P= 0.004), *Clonostachys* sp. (P=0.005 y *Penicillium* sp. (P= 0.0002). Los micoparásitos *TR1*, *TR2*, *TR3* (Cuadro 17) y *Clonostachys* sp. (Cuadro 18) presentaron mayores poblaciones en la época seca, mientras que las poblaciones de *Penicillium* sp. fueron mayores en la época lluviosa.

Cuadro 17. Efecto de épocas sobre la presencia de *Trichoderma* spp. en suelos de bosques, en fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Micoparásitos	*Época (% de colonización)	
	Seca	Lluviosa
TR1	66.11 ^b	33.06 ^a
TR2	29.17 ^b	12.50 ^a
TR3	25.92 ^b	12.78 ^a

Datos en filas con letras distintas indican diferencias significativas entre épocas (prueba LSD de Fisher, $P < 0.05$).

* Datos representan promedio de 3 submuestras por finca.

Cuadro 18. Presencia de *Clonostachys* sp. en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

¹ Tratamientos	Época (% de colonización)		³ Medias (% de colonización)
	Seca	Lluviosa	
CEO	19.44	11.11	15.28 ABC
CEMO	36.11	19.44	27.78 BC
CMO	30.55	36.11	33.33 C
CECO	30.56	8.33	19.45 ABC
CEC	13.89	11.11	12.50 AB
CEMC	27.78	5.56	16.67 ABC
CMC	11.11	0.00	5.56 A
CECC	11.11	2.78	6.94 A
PS	12.50	0.00	6.25 A
B	19.44	5.56	12.50 AB
² Promedio	21.25 ^b	10.00 ^a	

1. Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café-erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

2. Datos en filas con distintas letras indican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, $P < 0.05$).

3. Datos en columnas con distintas letras indican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, $P < 0.05$).

La interacción entre tratamiento y época fue significativa solamente para *Penicillium* sp. (Cuadro 19). Se observó un aumento en el porcentaje de colonización de *Penicillium* sp. durante la época lluviosa en todos los tratamientos excepto CEO y CMC, los cuales registraron una reducción en el porcentaje de colonización. Los contrastes ortogonales muestran diferencias significativas entre las fincas bajo el manejo orgánico y convencional

para la presencia de *Clonostachys* sp. ($P = 0.0025$), siendo los suelos orgánicos con la mayor presencia (Anexo 8).

Cuadro 19. Efecto de épocas sobre la presencia de *Penicillium* sp. en los suelos de bosques, fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y en fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

¹ Tratamientos	³ Época (% de colonización)	
	Seca	Lluviosa
CEO	19.44 ^{bcd}	11.11 ^{abc}
CEMO	5.55 ^{ab}	22.22 ^{cd}
CMO	11.11 ^{abc}	11.11 ^{abc}
CECO	5.55 ^{ab}	16.66 ^{abcd}
CEC	5.55 ^{ab}	22.22 ^{cd}
CEMC	11.11 ^{ab}	13.89 ^{abc}
CMC	25.00 ^{cd}	19.44 ^{bcd}
CECC	2.78 ^a	44.44 ^e
PS	5.55 ^{ab}	25.00 ^{cd}
B	19.45 ^{bcd}	30.55 ^{de}
² Promedio:	11.11^A	21.67^B

1. Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café-erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

2. Datos en filas con letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

3. Datos con letras minúsculas distintas indican diferencias significativas para la combinación de tratamientos y épocas ($P \leq 0.05$).

4.4.6 Índice de diversidad de nematodos, colémbolos y micoparásitos

Se observaron diferencias significativas en los índices de diversidad de Shannon-Weiner entre tipos de manejo para las tres variables biológicas (Cuadro 20). Se puede observar que hubo mayor diversidad de nematodos en los bosques y en las fincas orgánicas. La menor diversidad de nematodos fue encontrada en los tratamientos de PS. En el caso de los colémbolos, las fincas orgánicas y los bosques presentaron poblaciones más diversas que las fincas convencionales y de pleno sol. Las poblaciones de micoparásitos fueron más diversas en las fincas bajo el manejo orgánico; las fincas convencionales presentaron mayor diversidad de poblaciones de micoparásitos que las fincas de pleno sol y los bosques.

Cuadro 20. Comparación del índice de diversidad de tres variables biológicas de los suelos de tres bosques y cafetales bajo diferentes tipos de manejo en la zona de Turrialba

Manejo	Variables					
	Nematodos		Colémbolos		Micoparásitos	
	(r)	(h)	(r)	(h)	(r)	(h)
Pleno sol	2.86	0.51 ^a	7.97	1.55 ^a	22.00	2.81 ^a
Convencional	3.00	0.91 ^b	11.55	1.50 ^a	26.00	2.91 ^b
Bosque	4.47	1.01 ^{bc}	12.35	1.95 ^b	22.00	2.78 ^a
Orgánico	4.00	1.02 ^c	12.05	1.81 ^b	31.00	2.97 ^c

Datos en columnas con la misma letra no difieren significativamente ($P < 0.05$). r = riqueza; h = diversidad.

4.5 Índice de calidad de suelo

El resultado del ANDEVA de la sumatoria de los datos transformados demostraron diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0.0016$) (Cuadro 21). Los contrastes ortogonales (Anexo 9) indican diferencias significativas entre el manejo orgánico y el manejo convencional ($P = 0.0010$).

Cuadro 21. Cuadro de análisis de la varianza de la suma de los valores del índice de calidad de suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor P	CV
Modelo	90.12	19	4.74	2.29	0.0134	14.61
Tratamiento	70.52	9	7.84	3.79	0.0016	
Época	4.75	1	4.75	2.30	0.1374	
Tratamiento *Época	14.84	9	1.65	0.80	0.6203	
Error	82.69	40	2.07			
Total	172.81	59				

En general, los tratamientos orgánicos presentaron valores de índice relativamente altos, mientras que los tratamientos de pleno sol presentaron los valores más bajos. El tratamiento de CMO fue el que presentó la máxima puntuación (11.35) (Cuadro 22). Las observaciones individuales de todas las variables de éste tratamiento también respaldan ésta posición.

Cuadro 22. Comparación de los valores medias del índice de calidad de suelo por tratamiento

*Tratamiento	Medias					
CEC	8.17	A				
PS	8.40	A	B			
CECC	8.88	A	B	C		
CECO	9.45	A	B	C	D	
CMC	9.51	A	B	C	D	
CEMC	10.02		B	C	D	E
CEO	10.53			C	D	E
B	10.96				D	E
CEMO	11.13				D	E
CMO	11.35					E

* Tratamientos: CEO = café-erythrina orgánica, CEMO = café-erythrina-musa orgánica, CMO = café-musa orgánica, CECO = café-erythrina-cordia orgánica; CEC = café-erythrina convencional, CEMC = café-erythrina-musa convencional, CMC = café-musa convencional, CECC = café-erythrina-cordia convencional, PS = café en pleno sol, B = bosque.

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (prueba LSD de Fisher, $P < 0.05$)

La comparación de los valores medias del ICSA demuestra que hay diferencias significativas entre los diferentes tipos de manejo (Cuadro 23). Los suelos de los bosques presentaron los valores del índice más altos, mientras los suelos bajo el manejo pleno sol presentaron los valores de índice más bajos. Los suelos bajo el manejo orgánico presentaron valores de índice más altos que los suelos bajo el manejo convencional y en pleno sol.

Cuadro 23. Comparación de los valores medias del índice de calidad de suelo para los bosques y fincas de café bajo el manejo orgánico, convencional y en pleno sol

Manejo	Medias	n			
Pleno sol	8.40	6	A		
Convencional	9.15	24	A		
Orgánico	10.61	24			B
Bosque	10.96	6			B

Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Fisher, $P < 0,05$).

4.5.1 *Análisis de componentes principales*

Los datos de las variables evaluadas fueron sometidos a un análisis de componentes principales (ACP) con el objetivo de detectar la existencia de relaciones entre las diferentes variables y el tipo de manejo. En el gráfico *Bi-plot* (Figura 7) se puede observar que la mayoría de las variables biológicas son asociadas positivamente con los tratamientos

orgánicos. Las variables DA, RP, P, K, Cu, Zn y Mn están asociadas negativamente con el bosque, pero a su vez están positivamente asociadas al manejo convencional. Estas relaciones indican que valores bajos de estas variables fueron observados en los suelos de los bosques, mientras que los valores altos fueron observados en los suelos bajo el manejo convencional.

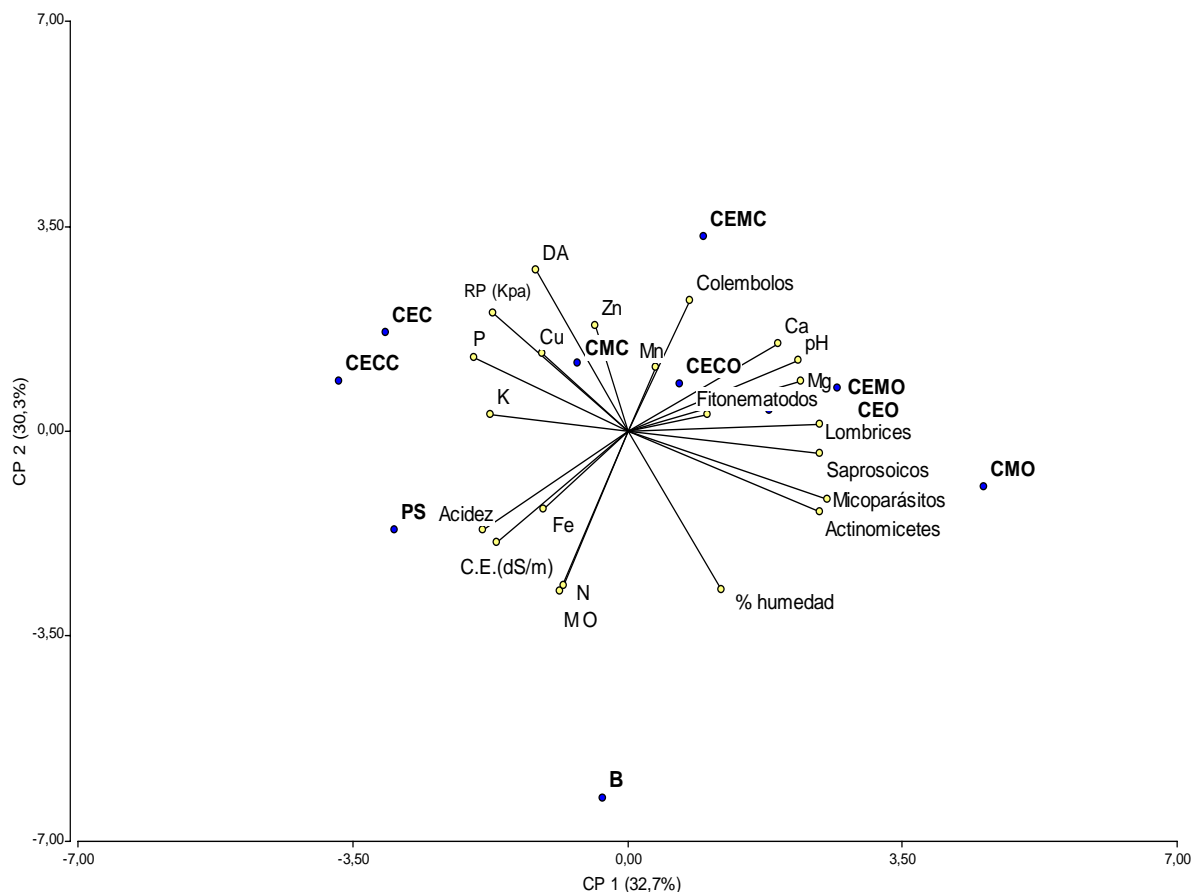


Figura 7. Gráfico del análisis de componentes principales para las diferentes variables de indicadores de calidad de suelos comparadas en suelos de bosques y fincas de café con sombra diversificada en Turrialba.

El 63 % de variabilidad que presentaron las variables es explicado por los dos primeros ejes (Figura 7). Las variables pH, Mg, Ca, nematodos, actinomicetes y lombrices de tierra están asociadas positivamente con el manejo orgánico, pero al mismo tiempo están negativamente asociadas al manejo convencional. En términos específicos, el Mg está fuertemente correlacionado con el tratamiento CEMO. Las variables MO, N y porcentaje de humedad se encuentran positivamente asociadas a los bosques, mientras que las variables Fe, CE y acidez son más ligadas al manejo PS. Los colémbolos se encuentran en el intermedio entre el manejo orgánico y el manejo convencional, sin embargo están más correlacionados al

tratamiento CEMC. Este resultado se debió a un gran número (2450) de una sola especie de colémbolos (Neanuridae) en una finca convencional (Cuadro 16).

4.5.2 Análisis de las encuestas

Una copia de la encuesta usada para recabar información sobre las prácticas de manejo implementadas y el historial de las diferentes fincas de café en la zona de Turrialba se encuentra en el Anexo 10.

4.5.2.1 Manejo de fertilidad y malezas en el cultivo de café

La variedad de café más importante para los productores del estudio es la Caturra. Los residuos del poró son usados como abono verde en 83 % de las fincas orgánicas y en 66.7 % de las fincas convencionales (Cuadro 24). La gallinaza y el KMag son los otros abonos de mayor importancia para las fincas orgánicas y son empleadas en 66.7 y 50 % de las fincas respectivamente. En el caso de las fincas convencionales los productos usados son más variados pero los fertilizantes nitrogenados (Urea, Nutrán) juegan un papel fundamental en los programas de fertilización.

Las fórmulas completas usadas en 90 % de las fincas convencionales también aportan una cantidad significativa de P, K, Mg y elementos menores. Existe otros productos que son usados en las diferentes fincas que no están incluidos en el Cuadro 24 debido a que su uso se restringe a solamente un productor o la cantidad aplicada fue poca y una sola vez. El control de malezas en las fincas orgánicas es principalmente por chapias y los residuos de estas malezas se quedan en el suelo y de esta manera aportan nutrimentos al suelo. En las fincas convencionales se aplican herbicidas (4 veces año⁻¹) como método principal de control de malezas.

Cuadro 24. Comparación de las prácticas de manejo implementadas en las fincas orgánicas y convencionales

Manejo	*Fertilización (tipo y dosis)	% de fincas	Control de malezas (tipo, producto y frecuencia)	Variedad	% de fincas
Orgánico	Gallinaza (1kg planta ⁻¹)	66.7	Chapia (3 veces año ⁻¹)	Caturra	75.00
	Lombricompost (150g planta ⁻¹)	16.7		Catuái R.	33.33
	Abono verde (poró)	8.3		Catuái A.	16.67
	Bocashi (150g planta ⁻¹)	8.3		CR 95	8.33
	Roca fosfórica	8.3			
	Kmag (150kg ha ⁻¹)	50			
	Caprinaza	8.3			
Convencional	KMag	8.3	Herbicidas (4 veces año ⁻¹) <i>Gramoxone, Roundup, Goal, Glifosato</i>	Caturra	83.33
	18-5-15-6-2 (350kg ha ⁻¹)	66.7		Catuái R.	33.33
	18-3-10-8-1,2 (300kg ha ⁻¹)	8.3		Catuái A	8.33
	Urea (300kg ha ⁻¹)	33.3			
	Nutrán (600kg ha ⁻¹)	58.3			
	10-30-10 (200kg ha ⁻¹)	8.3			
	31-3-18 (200 kg ha ⁻¹)	8.3			
	Foliar (B,Zn, Mg)	16.7			
	Abono verde	66.7			

*hay productores que aplican más de un producto mientras que otros no aplican nada.
Catuaí R. = Catuaí rojo; Catuaí A.= Catuaí amarillo.

4.5.2.2 Principales enfermedades y plagas del cultivo de café y su manejo.

Las principales enfermedades que afectan el cultivo de café bajo el manejo orgánico y convencional en la zona de Turrialba de acuerdo con los productores encuestados son ocho (Figura 8); entre ellas las más importantes son el ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y la roya (*Hemileia vastatrix*). El ojo de gallo está presente en casi 100 % de las fincas, mientras que la roya se presenta en aproximadamente el 60 % de las fincas. Las fincas convencionales presentan tres enfermedades más que las fincas orgánicas: la enfermedad rosada (*Corticium salmonicolor*), la llaga macana (*Ceratocystis fimbriata*) y la Maya (*Rosellinia bunodes*) (Figura 8).

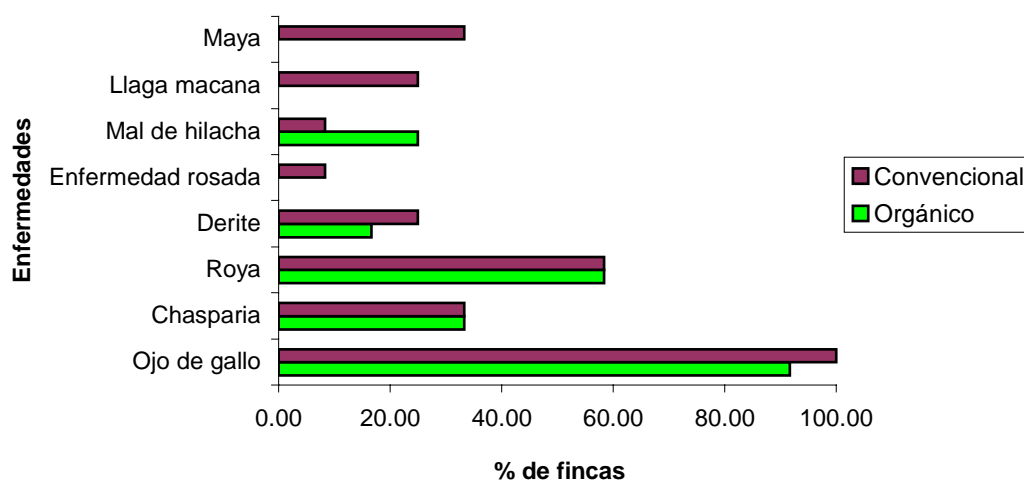


Figura 8. Enfermedades presentes en los cafetales orgánicas y convencionales en la zona de Turrialba, según la percepción de los productores encuestados.

Las observaciones personales durante las visitas a las fincas concuerdan con los datos reportados por los productores sobre las dos enfermedades más importantes para ambos sistemas. El ojo de gallo fue observado en todas las fincas en diferentes grados de severidad.

Entre las principales plagas (Figura 9) que afectan el cultivo de café en la zona de Turrialba está la broca (*Hypothenemus hampei*), que es la plaga principal en las fincas convencionales pero no fue reportada en las fincas orgánicas donde se realizó el estudio. Las plagas principales de las fincas orgánicas son los fitonematodos. Problemas con las taltuzas (*Orthogeomys* sp.), la cochinilla harinosa (*Planoccocus citri*) y gusanos cortadores (*Agrotis* spp.) no fueron reportados para las fincas convencionales, sin embargo entre 8 y 16 % de las fincas orgánicas presentaron problemas con estas tres plagas. Las zompopas (*Atta* spp.) fueron reportadas solamente en las fincas convencionales y su control es principalmente por aplicaciones de Mirex y Volatón (Cuadro 25).

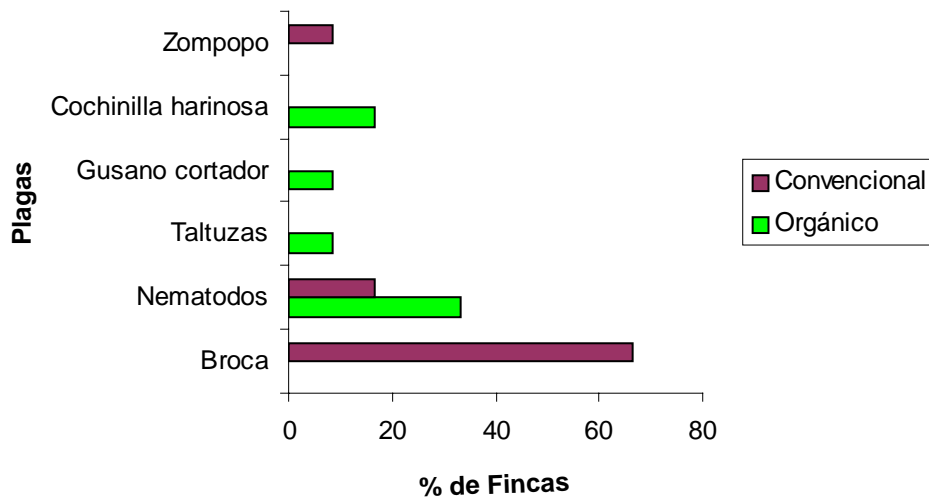


Figura 9. Principales plagas presentes en los cafetales bajo el manejo orgánico y el manejo convencional en la zona de Turrialba según percepción de productores encuestados.

La mayoría de los productores orgánicos (76 y 50 %) no efectúan ningún tipo de control de plagas y enfermedades (Cuadro 25), mientras que el 58.3 % de las fincas convencionales aplican productos químicos para controlar las enfermedades foliares y radicales y el 42 % emplean trampas de feromonas en el control de la broca. El 25 % de las fincas orgánicas y el 8.3 % de las fincas convencionales utilizan la poda del árbol de *Erythrina* sp. (poró) como práctica de control del ojo de gallo y la roya.

Cuadro 25. Comparación del manejo de plagas y enfermedades en las fincas de café orgánico y café convencional según datos recopilados de productores encuestados

Manejo	Control de enfermedades		Control de plagas	
	Prácticas efectuadas	% fincas	Prácticas efectuadas	% fincas
Orgánico	Ninguna práctica	50.0	Ninguna práctica	76.0
	Abonar	16.7	Cal (nematodos)	8.0
	Poda de poró (ojo de gallo, roya)	25.0	Purín de tabasco rojo (taltuzas)	8.0
	<i>Químico</i> : Caldo de bordes, caldo visosa (hongos)	8.3	Trampas (taltuzas)	8.0
Convencional	<i>Químico</i> : PCNB	58.3	<i>Químico</i> : Mirex, Volatón	8.0
	Crotonex, Temix		(Zompopas).	16.0
	Atemi, Benlate y Silvacur, (Hongos).		Endosulfan, Orisol y Carbolina (nematodos).	
	Ninguna práctica	25.0	Trampas (Broca)	42.0
	Poda de poró (ojo de gallo)	8.3	<i>Beauveria</i> sp. (Broca)	8.0
	Abonar	8.3	Recolecta de frutos dañados (Broca)	16.0
		Ninguna práctica	10.0	

4.5.2.3 Agrobiodiversidad

Se observaron más animales domésticos en las fincas orgánicas comparados a las fincas convencionales (Cuadro 26). Las gallinas y el ganado son los animales con mayor presencia en las fincas orgánicas. En las fincas orgánicas, la gallinaza que proviene de las gallinas es usada como abono en 66.7 % de las fincas, mientras que el estiércol del ganado, cabras, caballos y ovejas son usadas como materia prima de lombricompost 25 % de las fincas.

Cuadro 26. Número de fincas bajo el manejo orgánico y convencional con animales domésticos en la zona de Turrialba de acuerdo con productores encuestados

Animales	Fincas	
	Orgánicas	Convencionales
Ganado	85	4
Gallinas	236	0
Patos	16	0
Cerdos	17	0
Cabras	28	0
Caballos	5	0
Ovejas	38	0
Total	425	4

De acuerdo a la información recopilada de la encuesta, el 74 % de los productores convencionales y 58 % de los productores orgánicos consideran que el manejo que le dan al cultivo de café es adecuado. Aproximadamente 84 % de los productores convencionales realizan análisis de suelos, comparados con un 58 % de los productores orgánicos (Figura 10).

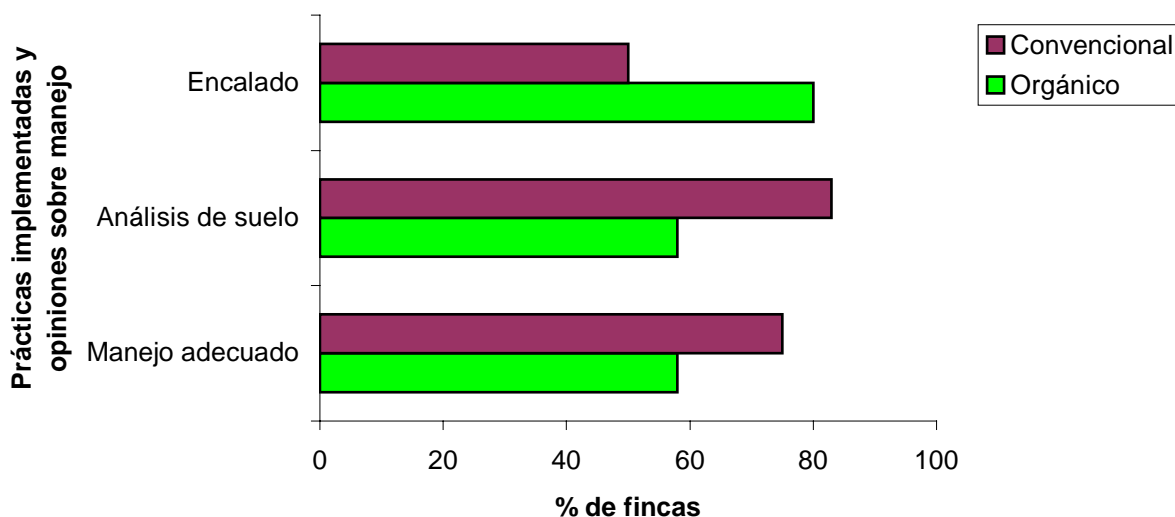


Figura 10. Proporción de fincas que realizan análisis de suelo, encalado y el opinión de los productores sobre el manejo de las fincas de café orgánico y convencional en la zona de Turrialba.

4.5.2.4 La productividad de las fincas de café orgánico, convencional y de pleno sol en la zona de Turrialba

La comparación de la productividad de las fincas de café no fue el objetivo principal del estudio, sin embargo es un parámetro de calidad de suelo muy importante para los productores ya que sus ingresos dependen de la productividad. En promedio, las fincas de pleno sol y convencionales presentaron valores de productividad similares ($5.92\text{tm ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y $5.58\text{tm ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de café cereza respectivamente), mientras que las fincas orgánicas presentaron el valor de productividad más bajo ($2.98\text{tm ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ café cereza) que representó el 53 % de la productividad de las fincas de pleno sol.

4.5.2.5 Caracterización del manejo de las fincas de café

La caracterización del manejo de las fincas de café, se basa en la información recopilada de la encuesta aplicada a los productores. Las fincas de café convencional son consideradas más tecnificadas que las fincas orgánicas debido al mayor nivel de tecnología empleada. Por ejemplo, hay mayor aplicaciones de fertilizantes sintéticos, herbicidas para el control de malezas y una mayor densidad de siembra ($>4000\text{ plantas}^{-1}\text{ ha}^{-1}$) en las fincas convencionales que en las fincas orgánicas. La mayoría de las fincas orgánicas utilizan pocos insumos y son menos tecnificadas que las fincas convencionales y las de pleno sol (Cuadro 27). Las fincas de pleno sol son las más grandes y son más tecnificadas que los demás fincas y hay mayores aplicaciones de fertilizantes nitrogenadas.

Cuadro 27. Caracterización de fincas de café orgánico, convencional y de pleno sol en la zona de Turrialba de acuerdo a las prácticas de manejo implementadas

Categoría	Manejo (% de fincas)		
	Orgánico	Convencional	Pleno sol
Tecnificada	16.7	50.0	100
Semitecnificada	8.3	33.3	0
Bajo insumo	50.0	16.7	0
Natural	25.0	0	0
Total	100.0	100.0	100

5 DISCUSIÓN

5.1 Variables químicas

En los suelos, la acidez afecta varios procesos ecológicos incluyendo la solubilidad y la capacidad de intercambio catiónico y las actividades de los microorganismos (Binkley y Richter 1987). La tasa de descomposición de los materiales orgánicos en los suelos de bosques puede ser lenta (Oades 1988), lo que también puede provocar una acumulación de materia orgánica en estos suelos bajo condiciones ácidas. Un estudio realizado por Motavalli *et al.* (1995) sugiere que bajos niveles de pH en suelos ácidos disminuyen la tasa de descomposición de materiales orgánicos frescos adicionados a los suelos. Esta condición fue confirmada en el presente estudio ya que los bosques presentaron el mayor porcentaje de acidez y MO.

Desde el punto de vista agronómico, un valor de acidez mayor que 1.50cmoles es un indicador de una baja capacidad de intercambio iónico y por ende la absorción de nutrientes por las plantas será afectada negativamente. Los tratamientos bajo el manejo orgánico no presentaron problemas de acidez. En general el porcentaje de saturación de acidez observado no representa mayor riesgo para el cultivo de café, dado que este cultivo puede tolerar hasta un 60 % de acidez (Bertsch 1998). Sin embargo, unas cuantas fincas convencionales presentaron niveles de acidez cercana o mayor que 60 %, y los propietarios pueden mejorar su manejo con prácticas tales como el encalado o el fraccionamiento de las aplicaciones de nitrógeno en estas fincas. El encalado no solamente sirve para aumentar el pH del suelo, sino también para evitar problemas de acidez relacionados a la absorción de nutrientes, la actividad microbiana y toxicidad de aluminio en las plantas.

Con respecto al pH, existe la tendencia de ser menos ácidos en las fincas orgánicas lo que puede deberse a que un mayor número de productores orgánicos aplican cal comparados con los productores convencionales (Figura 10). Este hecho también puede explicar el mayor contenido de Ca observado en los suelos de las fincas orgánicas. Además, las fincas convencionales han estado bajo el cultivo de café por más tiempo (promedio 20 años) que las fincas orgánicas (promedio 12 años) y es reconocido que las aplicaciones de altas cantidades de fertilizantes nitrogenados acidifican los suelos (Mokwunye y Hammond 1992). Estas dos razones pueden explicar las diferencias de pH entre las fincas orgánicas y convencionales. Todos los suelos presentaron niveles de pH menor que 5.50, nivel por debajo del cual se

podría presentar problemas en el suministro de nutrimentos debido a la fijación y formación de complejos insolubles y en las actividades de los microorganismos. A tal efecto, se ha reportado que condiciones de pH menor de 5.0 son perjudiciales para poblaciones de actinomicetos (Alexander 1977). Los elementos tales como Al, Mn y Fe se solubilizan en condiciones de pH menor de 5.50 y se vuelven tóxicos para los cultivos (Henríquez y Cabalceta 1999), mientras que nutrimentos tales como P y B se vuelven no disponibles para las plantas, ocasionando deficiencias.

El contenido de elementos minerales en los suelos bajo el manejo orgánico fue similar al contenido en los suelos bajo el manejo convencional. El Mg fue el único elemento que presentó diferencias significativas entre los tratamientos. Dentro de los tratamientos orgánicos, la comparación del tratamiento CMO con los tratamientos con árboles de sombra (CEO; CECO) muestra diferencias altamente significativas ($P = 0.0007$). El mismo tratamiento también difiere del tratamiento con la combinación de *Musa* y *Erythrina* (CEMO) ($P = 0.0194$). Esto sugiere que para Mg hay una relación positiva en la asociación de *Musa* spp. y el café. Estudios realizados por Twyford y Walmsley (1974) en las islas del Caribe Oriental demuestran que los elementos Ca y Mg se concentran en los tejidos meristemáticos del banano (*Musa* sp); además estos elementos se encuentran en concentraciones relativamente altas conforme que envejecen las plantas de banano. El estudio de Vargas y Flores (1995) en la zona Atlántica de Costa Rica, también demuestra que los residuos orgánicos (hojas, venas de hojas, pseudotallos, pinzotes) del cultivo de banano aportan una cantidad significativa de N, P, K, Ca, Mg y S al suelo. Ellos reportaron que cada tonelada de materia seca de los residuos mencionados aportan aproximadamente $6\text{kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, $0.3\text{kg P ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, $35\text{kg K ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, 4.5kg Ca y $1.4\text{kg Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. De acuerdo a la información citada, los residuos del banano que quedan en los suelos después de la cosecha aportan una cantidad significativa de Mg, lo que puede explicar el mayor contenido de este elemento en los suelos de los tratamientos con *Musa* sp.

Los tratamientos orgánicos en general presentaron niveles de P menores que los tratamientos convencionales, a pesar de que se han reportado mayores contenidos de P orgánico en sistemas agroforestales de café, que en sistemas de café convencional (Cardoso *et al.* 2002). La mayoría de los productores convencionales (90%) aplican fertilizantes completos que aportan una cantidad significativa de P, K y elementos menores (Cuadro 24), y esta práctica puede explicar el mayor contenido de estos elementos en las fincas convencionales.

Los resultados de CE reflejan la baja salinidad de los suelos. Se observó una mayor CE en los suelos con características ándicas (una finca del tratamiento PS y una del tratamiento Bosque) (ICAFE-CIA 2001). Es posible que el tipo de arcilla (Caolinita 1:1) y las cenizas volcánicas en estos suelos influyen en estos resultados. En términos agronómicos, los valores de CE de los diferentes tratamientos poseen pocos riesgos para el cultivo de café (Henríquez y Cabalceta 1999).

En el contexto de la calidad de los suelos, los resultados del análisis químico de los suelos reflejan que hay espacio para mejorar el manejo de los suelos. Por ejemplo, muchos elementos minerales fueron deficientes y el contenido de MO (Cuadro 3) fue similar en las fincas orgánicas y en las fincas convencionales. Este hecho puede ser atribuido a diferentes factores. Las encuestas mostraron la poca cantidad de abono orgánico que es aplicada en las fincas (Cuadro 24), especialmente en las fincas orgánicas donde se supone que las aplicaciones de MO deben ser fundamentales para sostener la producción. El abono verde que proviene de los árboles de *Erythrina* sp. es la principal fuente de MO para los suelos bajo estudio. Sin embargo su distribución en la finca no es homogénea y los árboles de café que están más cerca de los montículos donde se acumula el material de poda son los más beneficiados. A pesar de esta situación, se debe reconocer que el material de poda y la hojarasca de los árboles de *Erythrina* sp. pueden aportar hasta $340\text{kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Beer *et al.* 1998), y esto implica la reintegración de una cantidad significativa de N y otros elementos en los suelos con estos árboles. La hoja rasca y material de poda de los árboles de sombra y del cultivo de café representan una contribución de aproximadamente $5,000\text{-}20,000\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Beer 1988).

La poda de los árboles de *Erythrina* sp. se efectúa dos veces por año en las fincas orgánicas. De acuerdo a Beer (1988), cuando se poda el árbol *Erythrina* sp. dos o tres veces por año, el material de poda que queda en el suelo puede liberar una cantidad de nutrimentos que equivale al aporte de los fertilizantes inorgánicos aplicados en las fincas convencionales y esto puede explicar la no diferencia en el contenido de elementos minerales entre las fincas orgánicas y las fincas convencionales.

La mayoría de los elementos minerales se encuentran por debajo del nivel crítico inferior manejados por ICAFE. Mayor cantidad y aplicaciones de MO en el caso de las fincas orgánicas podrían mejorar este aspecto del suelo. Las fincas convencionales también pueden aplicar MO (preferible) o reevaluar su programa de fertilización para establecer una forma

más eficiente para aprovechar los fertilizantes químicos de acuerdo a la situación económica de los productores. Muchas de las fincas evaluadas se ubican en terrenos con fuertes pendientes (Anexo 1) o en zonas muy pedregosas con una delgada capa de suelo. Bajo las condiciones de fuertes lluvias en Turrialba, la lixiviación de elementos nutricionales del suelo podría ser significativa en las fincas de pleno sol.

En un estudio realizado en el Valle Central de Costa Rica, Babbar y Zak (1994) observaron que la tasa de mineralización de nitrógeno fue mayor en cafetales bajo sombra de *E. poeppigiana* ($148\text{kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$) que en cafetales sin sombra ($111\text{kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$) y concluyeron que el ciclaje de nitrógeno fue más eficiente en los suelos de los cafetales bajo sombra debido a una menor tasa de lixiviación de nitratos (NO_3^-) ($9\text{kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ versus $24\text{kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$), no obstante la mayor disponibilidad de nitrógeno en estos suelos. Esto significa que la disponibilidad de N en los suelos a pleno sol excede la demanda de las plantas de café, lo que puede deberse a las grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados (hasta $300\text{kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$) aplicadas en estos suelos (Babbar y Zak 1994).

En el presente estudio, el porcentaje de N y MO en los suelos de los cafetales a pleno sol fue mayor que los cafetales orgánicos y convencionales con sombra, pero este resultado fue influenciado por las características ándicas que presentó el suelo de una finca (CO 69, Anexo 1) del tratamiento PS. El contenido de MO es considerado como un índice que permite estimar las reservas de N y P en el suelo y su comportamiento en la dinámica de nutrimentos.

Los valores de N encontrados en el presente estudio se encuentran en el rango normal que ha sido reportado para Costa Rica, y los porcentajes de MO encontrados son clasificados como altos (Kass 1996). Contenidos de MO medios a altos en los suelos es una indicación de buena aireación, retención de humedad y reciclaje de nutrimentos. La relación C/N permite la estimación de los procesos que regulan la disponibilidad de N proveniente de la descomposición de la MO. Una relación C/N menor de 10 es considerada baja; entre 10 y 12 media y mayor de 12 alta (Kass 1996). En el presente estudio la relación C/N en los suelos orgánicos se califica como media, mientras que en los suelos de los demás tratamientos se califica como alta (> 12). Una relación C/N media indica que hay un suministro normal de nutrimentos a los suelos orgánicos, por la descomposición de la MO y en el caso de los suelos de los tratamientos convencionales, pleno sol y bosque, el aporte de nutrimentos al suelo como N, P y S por la descomposición de la MO es más lento (Kass 1996). La comparación de la disponibilidad de N para los diferentes tratamientos indica que las fincas orgánicas

presentaron la mayor cantidad de N disponible ($31,63\text{kg ha}^{-1}$) comparadas con las fincas de pleno sol (9.3 kg ha^{-1}), los bosques (9.0kg ha^{-1}) y las convencionales (5.31kg ha^{-1}).

El mayor porcentaje de humedad en las fincas orgánicas puede ser explicado por la presencia de mayor número de plantas asociadas al café y mayor cobertura en los suelos. La mayor sombra asociada al café orgánico implicaría una menor tasa de evaporación del agua del suelo.

Aunque entre 58 y 74 % de los productores consideran que el manejo de los cafetales es adecuado (Figura 10), éste no se refleja en los resultados de la fertilidad de los suelos. La mayoría de los suelos, tanto orgánico como convencional, presentaron deficiencias o niveles críticos de más de 4 elementos. Sin embargo, las producciones de las fincas convencionales y de pleno sol fueron mayores que la producción de las fincas orgánicas. Una gran proporción de las fincas orgánicas no tienen un plan de manejo establecido y en muchos casos no se aplica absolutamente nada a las plantas y de esta manera, el semi-abandono se convierte en "orgánico" para algunos productores.

A pesar de la poca aplicación de abonos, las fincas orgánicas presentaron valores de fertilidad similar a las fincas convencionales, los cuales aplican mayores cantidades de fertilizantes sintéticos. Esto es significativo porque se supone que las fincas convencionales deben seguir un programa de fertilización bien establecido, pero los resultados reflejan que la crisis de bajos precios esta afectando la capacidad de los productores para implementar muchas prácticas de manejo que son esenciales para sostener la producción. Estudios realizados por ICAFE (1995) revelan que el nivel tecnológico usado en las fincas no es constante y en la mayoría de los casos depende del precio del café, pues en periodos de precios bajos los productores tienden a reducir las aplicaciones de fertilizantes y otros agroquímicos usados en el control de plagas y enfermedades, y en condiciones de precios altos se intensifican el uso de fertilizantes y otros agroquímicos. Un análisis económico puede aclarar la situación actual de la rentabilidad de los dos sistemas de manejo en el contexto de producción sostenible.

5.2 Variables físicas

La DA es influenciada por el tipo de suelo, el clima, el pisoteo del ganado y las prácticas de manejo tales como la labranza. La baja DA registrada para el bosque es explicada por la poca

intervención humana en estas áreas y la acumulación de grandes cantidades de materia vegetal en el suelo. Los materiales vegetales acumulados pueden formar un tipo de colchón de MO, lo que se traduce en valores de DA bajos en las capas superficiales.

Las diferencias de DA y RP entre las fincas orgánicas y convencionales tienen relación con el manejo previo de las fincas, el % de humedad, el manejo de la MO y la micro y mesofauna del suelo. Las fincas orgánicas presentaron mayor humedad, más lombrices de tierra y más actinomicetes que las fincas convencionales. Las lombrices hacen túneles en el suelo, ayudando en el procesamiento de la MO y esta acción facilita la aireación y el movimiento del agua en los suelos (Linden *et al.* 1994). Como la DA es una función de masa y volumen, entonces un suelo con alta cantidad de MO, humedad adecuada en conjunto con buena cantidad de lombrices puede conducir a una baja DA. La relación con la RP es similar ya que ambas variables representan una medida del grado de compactación del suelo. La RP es aún más específica, dado que se simula el esfuerzo necesario de las raíces de las plantas para penetrar el suelo. La menor RP en los suelos orgánicos implica una menor inversión de energía por las plantas de café para penetrar el suelo, y esto significa un ahorro de recursos que puede ser invertido en otros procesos biológicos de la planta. Los resultados de DA registrados en este estudio no representan mayores problemas para el cultivo de café y se encuentran dentro del rango normal ($<1.60\text{g cm}^{-3}$) para inceptisoles⁵. En el contexto de calidad del suelo, para efectos de la producción, la variable DA es considerada muy importante, porque su evaluación proporciona información acerca de la dureza, el movimiento de agua y las restricciones en las actividades de los microorganismos del suelo.

La textura de los suelos no fue usada como una variable de comparación *per se*, sino para descartarla como un factor que puede explicar diferencias observadas en las otras variables y también para demostrar que el tipo de suelo fue similar en todas las fincas. Los resultados confirman la similitud entre los suelos de las diferentes fincas. La mayoría de los suelos fueron francos y franco arenosos. En general la textura de los suelos bajo estudio no es considerada como un impedimento para el cultivo de café. Los productores siembran el café en los sitios donde piensan que el suelo es mejor, independientemente de la textura que presenta el suelo. En este estudio, la poca diferencia entre texturas de 30 sitios diferentes es una indicación de que ésta variable no es un gran contribuyente para explicar las diferencias

⁵ Carlos Henríquez, 2005. Rangos de densidad aparente en inceptisoles en Costa Rica (comunicación personal). UCR, San Jose, CR.

observadas en las mediciones de las variables biológicas. Los suelos de los bosques presentaron el porcentaje más alto de arena (72,43 %) y el más bajo de limo (13,7 %) y arcilla (13,87 %) (Anexo 6).

5.3 Variables biológicas

5.3.1 *Nematodos*

Las bajas poblaciones de nematodos observadas (Cuadro 10) en los cafetales pueden ser explicadas por factores tales como agregación y regulación por depredadores. Una población de fitonematodos muy baja es buena desde el punto de vista de la producción, porque implicaría menos daños a las plantas de café y menos pérdidas en el rendimiento. Para la calidad del suelo, se supone que una mayor diversidad de nematodos de vida libre (saprozoicos) sería la situación ideal. Durante la prueba de micoparásitos, se observaron muchos nematodos invadiendo el medio de PDA. Esta población no fue reflejada en la extracción de los nematodos mediante el método de Baermann modificado (Hooper 1990). Por tal razón, este autor considera que tal vez este método no fue el más adecuado para la extracción de los nematodos, para llegar a una verdadera aproximación de las poblaciones presentes.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para las poblaciones de los nematodos de vida libre (saprozoicos) (Cuadro 9). Sin embargo, existe una tendencia muy clara denotada por el mayor número de individuos de éste grupo en las fincas orgánicas y específicamente en el tratamiento CMO. La ausencia de aplicaciones de nematicidas, la mayor humedad en los suelos orgánicos y el mantenimiento de una buena cobertura de materiales vegetales en el suelo son condiciones que pueden propiciar un ambiente más favorable para estos organismos.

Otra explicación podría ser la interacción entre los nematodos y las lombrices de tierra. En un estudio sobre el efecto de las lombrices de tierra sobre las poblaciones de nematodos, Senapati (1992) observó una reducción en las poblaciones de fitonematodos y un aumento en las poblaciones de nematodos de vida libre en sustratos de suelos con tejidos de lombrices muertos; además se observó un aumento en la tasa de descomposición de materiales orgánicos en presencia de lombrices de tierra. Se concluyó que las lombrices de tierra estimulan el

metabolismo del suelo mediante sus interacciones con nematodos y otros descomponedores y al mismo tiempo regulan las poblaciones de los fitonematodos. En el presente estudio, mayores poblaciones de saprozoicos ($53.84 \text{ ind.}100\text{g}^{-1}$ suelo) (Anexo 7) y lombrices de tierra fueron observadas en las fincas orgánicas y por tanto no se puede descartar la posibilidad del efecto regulatorio de las lombrices de tierra sobre los nematodos mencionado por Senapati (1992).

La supresión de las poblaciones de los nematodos por los fertilizantes amoniacales (Nutrán) aplicadas en las fincas de pleno sol y convencionales, podría ser otro factor importante que puede explicar las diferencias entre los diferentes tipos de manejo. A tal efecto, Rodríguez-Kabana (1986) señaló que los fertilizantes nitrogenados que liberan N en forma de amonio son muy efectivos para suprimir las poblaciones de nematodos y recomendó que se deben aplicar en dosis mayores que 150kg N ha^{-1} . En un trabajo sobre el efecto de enmiendas orgánicas y de urea sobre las poblaciones de nematodos y el crecimiento de las plantas, Akhtar (2000) encontró que urea en una dosis de $110\text{-}220\text{kg N ha}^{-1}$ más extractos de neem (*Azadirachta indica*) promovieron el crecimiento de las plantas y redujeron las poblaciones de fitonematodos tales como *Meloidogyne incognita*, *Helicotylenchulus indicus* y *Rotylenchulus reniformis*.

Las aplicaciones de diferentes pesticidas (fungicidas, herbicidas y nematicidas) en las fincas convencionales pueden tener efectos no intencionados sobre otros organismos que no son el blanco de las aplicaciones (Rodríguez-Kabana y Curl 1980). En este contexto hay informes sobre el efecto supresivo de fungicidas tales como PCNB (Murant y Taylor 1965), Benomyl (Miller y Taylor 1970) sobre poblaciones de nematodos tales como *Longidorus elongatus* y *Xiphinema diversicaudatum*. Algunas fungicidas no sistémicos pueden tener efectos estimulatorios o represivos sobre grupos específicos de nematodos. Por ejemplo, Clark y Shepherd (1965) observaron que fungicidas del grupo de los carbamatos (ditiocarbamato) estimulan la eclosión de los huevos de *Heterodera schachtii* mientras que Cook y York (1972) observaron una reducción en el desarrollo de larvas de *H. Avenae* después de aplicaciones de Benomyl. Estos ejemplos sirven para demostrar que los pesticidas aplicados en los suelos de las fincas convencionales podrían tener efectos secundarios sobre otros organismos en el suelo o inducir cambios fisiológicos en las plantas (Rodríguez- Kabana y Curl 1980) de café, y así crear un ambiente que puede ser favorable o desfavorable para los patógenos o el desarrollo de las enfermedades. Los resultados de las encuestas demuestran que hay aplicaciones de

fungicidas (PCNB, Benomyl [benlate] etc.), nematicidas y herbicidas y es muy probable que la interacción de estos pesticidas con las plantas y otros organismos del suelo pueda explicar la baja población tanto de fitonematodos como saprozoicos.

5.3.2 Actinomicetes

Las diferencias del tamaño de las poblaciones de actinomicetes en los diferentes tratamientos pueden estar asociadas a la diversidad de materia vegetal en el suelo. En general los tratamientos orgánicos presentaron mayores poblaciones que los tratamientos convencionales.

En un estudio de indicadores biológicos de suelos en el sur de Australia, Pankhurst *et al.* (1995) no encontraron diferencias entre poblaciones de actinomicetes en una comparación de cuatro tratamientos de labranza, tres tratamientos del manejo del rastrojo de trigo y cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada, pero notaron una mayor población de actinomicetes y hongos en los tratamientos donde se mantuvo el rastrojo del trigo en el suelo y donde se realizó cero labranza. En el presente estudio las poblaciones de actinomicetes fueron mayores en las fincas orgánicas y los bosques donde hay una mayor acumulación de diversos materiales orgánicos (hojas, ramas etc). Se ha confirmado que los actinomicetes degradan los materiales más resistentes (Allison 1973, Alexander 1977) tales como las ramas de los árboles de sombra y así contribuyen al aumento en la cantidad de MO del suelo.

La biomasa de materiales acumulada en el suelo no fue medida, pero por observación personal dentro de las fincas sí se notó que las fincas orgánicas presentaron una mayor cobertura de residuos de plantas en el suelo. Las condiciones de los suelos del presente estudio fueron diferentes a las condiciones del estudio de Pankhurst *et al.* (1995), sin embargo la tendencia que ellos observaron respecto a los actinomicetes fue confirmada en este trabajo. La interacción entre época y tratamiento reflejó en una disminución significativa en la población de actinomicetes para el tratamiento CMO en la época lluviosa, mientras que las poblaciones de los demás tratamientos permanecieron similares a la época seca.

5.3.3 Lombrices de tierra

En el presente estudio, las poblaciones de lombrices de tierra exhibieron variaciones entre épocas, con los máximos valores en la época lluviosa. Fragoso (1985) citado por Fragoso y

Lavelle (1992) encontraron el mismo patrón de distribución temporal de poblaciones de lombrices de tierra en Chajul, México.

Las fincas bajo el manejo orgánico presentaron la mayor población de lombrices de tierra. Es posible que los residuos de los agroquímicos (herbicidas, fungicidas etc.) aplicados en las fincas convencionales y la mala distribución de los materiales vegetales en el suelo disminuyeran las poblaciones de las lombrices de tierra. A tal efecto varios autores han reportado el efecto tóxico de glifosato (Springett y Gray 1992), pentaclorofenol *PCP* (Conrady 1986), insecticidas organofosforados y carbamatos (Edwards y Bohlen 1992) sobre las lombrices de tierra. Paoletti *et al.* (1998) han reportado disminuciones en las poblaciones de las lombrices de tierra endógenos (especies que viven en el suelo y se alimentan de la MO), *Allolobophora chlorotica* y *Aporrectodea caliginosa* debido al efecto negativo de residuos de fungicidas (Cu y Zn) y la labranza del suelo respectivamente. Ellos compararon la biomasa, abundancia y riqueza de lombrices de tierra en viñas y rodales de manzana, kiwi y melocotón y encontraron que hay mayor riqueza de lombrices de tierra en suelos con pocos insumos químicos sintéticos y diferentes especies o grupos ecológicos responden diferencialmente a las prácticas de manejo. Por lo tanto concluyeron que especies individuales o grupos ecológicos pueden ser usados como indicadores del efecto de cobre y la labranza en el suelo. Por ejemplo, el grupo de los endógenos es muy susceptible al efecto del cobre en el suelo (especialmente *A. chlorotica* que no es afectado por la labranza) y podría ser usado como indicador del contenido de Cu en los suelos. Pankhurst *et al.* (1995) han reportado que la eliminación del rastrojo de trigo reduce significativamente la biomasa y población de lombrices de tierra.

Según Fragoso y Lavelle (1992), la estructura de las comunidades de lombrices de tierra es determinada por varios factores jerárquicos, con temperatura en el nivel superior seguida por factores edáficos (estado nutricional, textura etc.) y ambientales (variación estacional). En el presente estudio, la temperatura no fue un factor tan importante para explicar diferencias observadas entre los tratamientos, pero las variaciones de precipitación y la cantidad de residuos de plantas acumuladas en el suelo pueden explicar estas diferencias.

El uso de lombrices de tierra como indicador de calidad de suelo descansa sobre su capacidad dentro de los agroecosistemas para convertir los residuos de plantas en materia orgánica. Las actividades de las lombrices son limitadas por las condiciones intrínsecas del suelo y la disponibilidad de residuos de plantas, y por lo tanto es un indicador de la cantidad de residuos o la tasa de la acumulación de MO en el suelo. Los residuos de plantas como

precursor de MO son considerados como uno de los indicadores más importantes de la calidad del suelo (Linden *et al.* 1994). El monocultivo extensivo, la labranza convencional y el uso de pesticidas son considerados como factores claves que reducen la diversidad y biomasa de las lombrices de tierra (Paoletti 1999).

5.3.4 Colémbolos

En el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas en el número de colémbolos entre los diferentes tratamientos, sin embargo se nota una tendencia en el número total de colémbolos entre los diferentes tipos de manejo. El mayor número de colémbolos fue encontrado en las fincas convencionales (4934), pero el 52.3 % de éste valor se debió a una sola especie de la familia Neanuridae que se concentró en una sola finca en el tratamiento CEMC. Los colémbolos son organismos que reaccionan rápidamente a cambios en el ambiente ya sea por efectos climáticos adversos o por depredación. Su comportamiento poblacional o su diversidad en un sitio específico puede ser un indicador de la calidad del ecosistema (Vásquez y Palacios-Vargas 2004).

De acuerdo a varios autores (MacArthur 1972, Coleman y Crossley 1996, Petersen 2002), muchos colémbolos son considerados como oportunistas y responden a un patrón típico de *r*-estratega, y por lo tanto son normalmente encontrados en agregaciones. Christiansen *et al.* (1992) sugieren la existencia de feromonas de agregación para explicar este comportamiento. La dominancia de la especie de Neanuridae en el tratamiento CEMC en el presente trabajo podría ser debido al efecto de agregación de la especie en el punto de muestreo o a un aumento en la población debido a la eliminación de competencia, enemigos o por aplicaciones de agroquímicos en los cafetales convencionales, donde el 58 % de los productores aplican fungicidas. Los fungicidas pueden disminuir las poblaciones de hongos que sirven como alimento para los colémbolos y de esta manera afectan indirectamente a las poblaciones de los colémbolos.

La importancia de los colémbolos dentro de los agroecosistemas no es fácil de valorar, pero sus grandes poblaciones y tasa de crecimiento rápido indican que ellos pueden tener un impacto significativo sobre la dinámica microbiana del suelo (Coleman y Crossley 1996). Muchas especies son fungívoras pero algunas sirven como presas para otros organismos (ácaros, escarabajos, hormigas etc.). La alimentación de hongos es selectiva, y por lo tanto pueden influir las comunidades de los hongos e indirectamente afectar la tasa de

descomposición de la hojarasca y el ciclaje de nutrimentos en los suelos (Moore *et al.* 1987). En este contexto, Curl y Truelove (1986) informaron sobre colémbolos como agentes de control biológico de *Rhizoctonia solani* en cultivos de algodón. En un estudio sobre el control biológico de *R. solani* en algodón, Lartey *et al.* (1994) observaron que el colémbolo *Proisotoma minuta* se alimentaba selectivamente sobre el micelio de *R. solani* y dejaba el micelio de otros hongos micoparásitos (*Trichoderma harzianum*, *Gliocladium virens* y *Laetisaria arvalis*) intactos. Según Gilmore (1972) los colémbolos podrían ser importantes en el control de las poblaciones de los nematodos, sin embargo la alimentación de nematodos no es selectivo; es decir ellos comen tanto saprófitos como fitoparásitos (Coleman y Crossley 1996). Estas observaciones demuestran que hay muchas interacciones importantes entre los colémbolos y otros organismos del suelo y la función de los colémbolos en los ecosistemas va más allá de descomposición de residuos orgánicos y podrían ser un grupo clave que influyen los procesos biológicos del suelo.

En un estudio comparativo de poblaciones de colémbolos en un bosque primario, un bosque secundario y un cafetal en Costa Rica, Guillen (2005) encontró la menor abundancia y mayor diversidad de colémbolos en el suelo del bosque primario. La mayor abundancia se presentó en el cafetal bajo el manejo convencional y fue dominado por una sola especie (*Isotomorus* sp.). La mayor diversidad encontrada en el bosque primario fue atribuida a una mayor diversidad de flora y organismos en el suelo del bosque que sirven como alimentos para los colémbolos. En el presente estudio se observó un patrón similar en cuanto a la abundancia y diversidad de colémbolos en los bosques y en las fincas de café bajo el manejo convencional y en PS, donde los bosques presentaron la mayor diversidad y la menor abundancia de colémbolos; además el análisis de índice de diversidad de Shannon-Weiner mostró diferencias significativas entre los distintos tipos de manejo (Cuadro 20).

Los colémbolos son afectados por diferentes propiedades del suelo tales como el pH, la DA, el contenido de humedad, el contenido de sales, la cantidad de MO y la concentración de metales pesados (Hale 1965, Hågvar y Abrahamsen 1984, van Straalen 1998). Los colémbolos se encuentran en diversas habitats con poblaciones muy variadas (Palacios-Vargas 1990, Bellinger *et al.* 2006) y por esta razón los efectos de las propiedades del suelo también son variados dependiendo de la especie y del ambiente. Los suelos ácidos con bajos pH favorecen especies tales como *Tullbergia yosii* y *Anurida pygmaea* mientras que condiciones alcalinas (pH alto) son favorables para poblaciones de *Isotoma notabilis*. De igual modo, condiciones secas favorecen especies de *Ctenocyrtinus* sp. y *Lepidocyrtus lanuginosus* mientras que

Setocerura sp. y *Proisotoma* sp. son más abundantes en condiciones húmedas (Hopkin 1997). El trabajo de Guillén-Sánchez (2005) también confirma que los efectos de pH, humedad, temperatura y la resistencia del suelo son variados dependiendo de las especies. En el presente estudio se notaron que los géneros *Cyphoderus*, *Dicranocentrus*, *Lepidocyrtus* y la especie de Neanuridae fueron más abundantes en la época seca. En el caso de *Lepidocyrtus*, la observación del presente estudio concuerda con Hopkin (1997). No se observó una relación positiva entre el contenido de MO y poblaciones totales de colémbolos, sin embargo la diversidad de colémbolos tuvo una relación positiva con ésta propiedad del suelo, pues fue mayor en los suelos de los bosques donde la MO también fue la más alta.

5.3.5 Micoparásitos

Los micoparásitos observados fueron más abundantes en las fincas con manejo orgánico y en los bosques. Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre tratamientos solamente para *Clonostachys* sp. La diferencia entre épocas para TR1, TR2, TR3 (Cuadro 17) y *Clonostachys* sp. (Cuadro 18) sugiere que la humedad afecta las actividades de éstos micoparásitos. Para estas cuatro especies el porcentaje de colonización fue mayor en la época seca. Para el mes de marzo (muestreo 1) la precipitación promedio fue muy baja (16.92mm) mientras que en junio (muestreo 2) fue 378.17mm. Esta diferencia de precipitación puede explicar la variación en las poblaciones de estos micoparásitos para las dos épocas. Al contrario *Penicillium* sp. prefiere las condiciones más húmedas (Cuadro 19).

Hubo mayor diversidad de micoparásitos en los suelos bajo el manejo orgánico y convencional comparado con el bosque (Cuadro 20). Este resultado parecer contradictorio a lo que se presume lógicamente. Normalmente se asume que el bosque como sistema no disturbado debe tener una mayor diversidad de micoparásitos que los sistemas agrícolas disturbados. En un trabajo de aislamiento de micoparásitos de siete sitios bajo diferentes tipos de manejo, Foley y Deacon (1985) también encontraron más micoparásitos en los sitios disturbados que en sitios menos disturbados. Ellos concluyeron que hay diferencia en el espectro de ocurrencia de los micoparásitos en el suelo y otros materiales. Por ejemplo, en el estudio de Foley y Deacon (1985), *Pythium oligandrum* fue encontrado más frecuente en suelos disturbados que no disturbados, mientras que *Trichoderma viride* fue encontrado igualmente en ambos sitios, pero fue muy común en los suelos ácidos de los bosques. Aunque este estudio no fue realizado bajo las condiciones tropicales, los principios básicos sobre el

comportamiento de los micoparásitos no cambian. Si se asume que el comportamiento de micoparasitismo se mantiene en la naturaleza, entonces la supervivencia de ellos dependerá de dos factores: 1) competencia entre ellos y 2) la existencia de nichos separados. La presencia de la mayoría de los micoparásitos en las diferentes fincas bajo estudio sugiere que la existencia de nichos separados es tal vez el factor que favoreció su abundancia sobre el bosque. Esto sería un buen escenario en cuanto al control de enfermedades en el cultivo de café; se asume que la coexistencia de diversos micoparásitos en un mismo suelo puede aumentar la eficiencia del control natural de las enfermedades fungosas. Sin embargo, las condiciones ideales deben ser proporcionadas para promover la colonización de estos micoparásitos. La mayor diversidad de micoparásitos en los suelos bajo el manejo orgánico (Cuadro 20) sugiere que las condiciones ahí son mejores para la proliferación de los micoparásitos comparadas con los suelos bajo el manejo convencional.

En un estudio sobre poblaciones de micoparásitos en la rizósfera de cacao y la resistencia genética de cacao a *Rosellinia*, Argyle *et al.* (2003) concluyeron que las poblaciones de micoparásitos en la rizósfera de cacao son independientes del germoplasma. Si el café se comporta de manera similar, esto implicaría que en las fincas donde hay variedades resistentes tales como CR 95 (resistente a la roya *Hemileia vastarix*) la resistencia genética del café y el control biológico puede tener efectos aditivos sobre en el control de las enfermedades del café. Una baja incidencia de enfermedades implicaría menores aplicaciones de pesticidas y como consecuencia, los efectos negativos sobre los microorganismos del suelo serán menores y esto puede favorecer la calidad del suelo.

5.4 Caracterización de las fincas de café

Las fincas de café convencional y café en pleno sol se caracterizan por el mayor nivel de tecnología empleada, la cual se refleja en el uso de variedades de porte bajo, una mayor densidad de siembra, fuertes aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y aplicaciones de pesticidas para regular las poblaciones de plagas, malezas y la incidencia de enfermedades. Por otro lado las fincas de café orgánico se caracterizan por los pocos insumos aplicados y las mínimas prácticas de manejo de plagas, enfermedades y malezas implementadas; algunas fincas orgánicas parecen semi-abandonadas. En este contexto la aplicación de abonos hecho en las fincas de cada productor podría ser una alternativa para suplementar las necesidades del cultivo de café. En varias fincas orgánicas se observaron plantas de café muy viejas con pocas

hojas y sombra excesiva. El manejo de la poda de las plantas de café y los árboles de sombra, junto con el abono adecuado de las plantas lograría mejores beneficios para los productores orgánicos.

5.5 Análisis de componentes principales y el índice de calidad de suelo aditivo

El resultado del ICESA confirma que existe una tendencia de mayor producción biológica (vegetal y animal) en las fincas orgánicas. El tratamiento CMO presentó el mayor puntaje del índice. Este dato es muy interesante y nos hace pensar que la asociación de *Musa* sp. con *C. arabica* es beneficiosa para mantener la calidad de los suelos. Desde este punto surgen varias preguntas. ¿En que forma contribuye la biomasa de *Musa* sp. a la calidad de los suelos cafetaleros? ¿Existe alguna relación entre la disponibilidad de Mg y la presencia de *Musa* sp. en los suelos cafetaleros? Las respuestas a estas preguntas podrían aclarar el efecto de *Musa* sp. sobre los suelos cafetaleros de Turrialba.

Las relaciones entre las variables y los diferentes tratamientos fueron mostrados en el gráfico *Bi-plot* del análisis de componentes principales. En términos generales las variables biológicas son asociadas positivamente a los tratamientos orgánicos y esto puede deberse a condiciones más favorables para la proliferación de este grupo. Las lombrices

6 CONCLUSIONES

- El índice de calidad de suelo aditivo (ICSA) mostró diferencias significativas entre los tratamientos, demostrándose como una herramienta útil para medir la calidad de los suelos cafetaleros en la zona de Turrialba.
- Hay concordancia entre los resultados del ANDEVA y las asociaciones entre las variables y los tratamientos demostradas en el gráfico *Bi plot* del análisis de componentes principales, y esto respalda la utilidad de esta herramienta en estudios de esta naturaleza.
- Las poblaciones de lombrices de tierra, actinomicetes y nematodos de vida libre son mayores en los suelos de los cafetales bajo el manejo orgánico.
- Hay mayor diversidad de nematodos, micoparásitos y colémbolos en las fincas de café bajo el manejo orgánico que en las fincas de café convencional; las poblaciones de colémbolos son más diversos en los suelos de los bosques.
- Los suelos de los bosques son menos compactados y presentan un mayor nivel de humedad, MO y N orgánico que los cafetales. Sin embargo la liberación de N por la descomposición de la MO es más rápida en las fincas bajo el manejo orgánico.
- Los suelos bajo el manejo convencional fueron más compactados que los suelos bajo el manejo orgánico, lo que implica un mayor esfuerzo por parte de las raíces de las plantas de café para penetrar el suelo en la búsqueda de agua y nutrientes.
- A pesar de la poca cantidad de abonos aplicados en las fincas orgánicas, su nivel de fertilidad no fue significativamente diferente de las fincas convencionales, donde hay mayores insumos de fertilizantes sintéticos.
- Los resultados sugieren que la asociación café- *Musa* bajo el manejo orgánico tiene efectos positivos sobre la calidad de los suelos cafetaleros en Turrialba.
- La producción de las fincas bajo el manejo orgánico es menor (47 %) que la producción bajo el manejo convencional y las fincas de pleno sol presentaron la mayor producción.
- Las plantas de sombra aportan MO al suelo, pero con base a la información aportada por los productores, la cantidad de abono orgánico aplicado en las fincas orgánicas por si sola, no es considerado suficiente para aumentar significativamente la producción del café, sin el buen manejo del cultivo.
- El manejo del café por parte de los productores orgánicos se fundamenta sobre todo en la mínima intervención posible en las fincas, mientras que los productores convencionales

emplean un mayor nivel de tecnología en las fincas y esta práctica es reflejada en el estado de las plantas y en la producción.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda más estudios sobre los siguientes indicadores biológicos de calidad de suelo: nematodos, micoparásitos, colémbolos, actinomicetes, lombrices de tierra, para afinar su utilidad como buenos indicadores de calidad de suelos cafetaleros.
- Un estudio en más detalle acerca del efecto de *Musa* sp. sobre la calidad de los suelos, sería otra recomendación, para entender mejor las interacciones entre el café, *Musa* y las variables del suelo.
- Se recomienda mejorar el manejo de las fincas orgánicas con el fin de aumentar la producción. Prácticas tales como la poda de las plantas de café vieja o la resiembra en algunas fincas podrían ser beneficiosas para los productores. En las fincas convencionales prácticas tales como el fraccionamiento de las aplicaciones de los fertilizantes pueden aumentar la eficiencia del producto y disminuir las pérdidas por lixiviación. Un suelo de buena calidad no implica automáticamente una buena producción. El manejo del cultivo es fundamental, y por esta razón los productores deben prestar más atención a las prácticas de manejo del cultivo de café.
- La asociación de café-banano parecer como una alternativa que además de suplementar el ingreso del productor también tiene efectos positivos sobre los microorganismos del suelo y el suministro de Mg. Esta asociación merece más atención en futuros estudios como una posible alternativa en condiciones adecuadas.
- Se recomienda un estudio de validación del ICESA en más fincas de café en la zona de Turrialba. Se deben incluir otras variables para medir diferentes componentes de la calidad de los suelos de la zona. Con estos datos se puede construir un índice de calidad más completo para los cafetaleros de Turrialba.
- El uso del ICESA como herramienta práctica requiere más estudios. Sin embargo se puede recomendar la comparación de tres parámetros que son relativamente fáciles para medir: poblaciones de lombrices de tierra, densidad aparente y la relación C/N. La mayoría de los productores de la zona realizan análisis de suelos por medio del ICAFE y sería muy fácil para obtener los datos sobre la relación C/N por la misma institución.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Acton, DF; Gregorich, LJ. 1995. Understanding soil health. *In*: Acton, DF; Gregorich, LJ. Eds. The health of our soils- toward sustainable agriculture in Canada. Ontario. CA. p. 5-10.
- Akhtar, M. 2000. Effect of organic and urea amendments in soil on nematode communities and plant growth. *Soil Biology and Biochemistry* 32:573-575.
- Argyle, T; George, A; Ten Hoopen, GM; Krauss, U. 2003. Independence of genetic tolerance towards *Rosellinia* and rhizosphere populations of antagonistic fungi in cocoa (*Theobroma cacao*). *In*: 4th INCOPEP Seminar, Accra, Ghana, 19-21 October, 2003.
- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2 ed. John Wiley and Sons Inc. USA. 467 p.
- Allison, FE. 1973. Developments in soil science 3; Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 437 p.
- Andrews, SS; Karlen, DL; Mitchell, JP. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture Ecosystems and Environment* 90:25-45.
- Babbar, LI; Zak, DR. 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agriculture Ecosystems and Environment* 48:107-113.
- Beer, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5:3-13.
- _____. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) in plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-114.
- _____; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Behan-Pelletier, VM. 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74:411-423.
- Bellinger, PF; Christiansen, KA; Janssens, F. 2006. Checklist of the Collembola of the World (en línea). Consultado 6 marzo 2006. Disponible en <http://www.collembola.org>.

- Bertsch, HF. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia de Suelos. San José, CR. 157 p.
- Binkley D; Richter, D. 1987. Nutrient cycles and H⁺ budgets of forest ecosystems. *In*: Mac Fadyen, A; Ford, ED. (eds.). *Advances in Ecological Research* 16:1-15.
- Blair, JM; Bohlen, PJ; Freckman, DW. 1996. Soil invertebrates as indicators of soil quality. *In*: *Methods for assessing soil quality*. Madison, WI. USA. Soil Science Society of America. p.273-291 (Special publication N° 49).
- Brady, NC; Weil, RA. 1996. *The nature and properties of soils*. 11 ed. Prentice Hall. USA. 740 p.
- Carter, MR; Gregorich, EG; Angers, DA; Beare, MH; Sparling, GP; Wardle, DA; Voroney, RP. 1999. Interpretation of microbial biomass measurements for soil quality assessment in humid temperate regions. *Canadian Journal of Soil Science* 79:507-520.
- Carvajal, JF. 1984. *Cafeto: cultivo y fertilización*. 2 ed. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 254 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), 2005. Datos meteorológicos (en línea). Consultado 2 nov. 2005. Disponible en <http://www.catie.ac.cr>.
- _____. 2006. Datos meteorológicos (en línea). Consultado 7 marzo 2006. Disponible en <http://www.catie.ac.cr>.
- Christiansen, KA; Bellinger, PF. 1980. *The Collembola of North America, North of the Rio Grande: a taxonomic analysis*. Grinnell College, Iowa, USA. 1518 p.
- _____; Doyle, M; Kahlert, M; Gobaleza, D. 1992. Interspecific interactions between collembolan populations in culture. *Pedobiology* 36:274-286.
- Clark, AJ; Shepherd, AM. 1965. The action of nabam, methansodium, and other sulfur compounds on *Heterodera schachtii* cysts. *Annals of Applied Biology* 57:241-255.
- Coleman, DC; Crossley, DA.Jr. 1996. *Fundamentals of soil ecology*. Academic Press. USA. 205 p.
- Conrady, D. 1986. Okologische Untersuchungen über die Wirkung von Umweltchemikalien auf die tiergemeinschaft eines Grunlandes. *Pedobiologia* 29:273-284.

- Cook, R; York, PA. 1972. The effects of benomyl on *Heterodera avenae* on barley. Plant Disease Reporter. 56:261-264.
- Corke, ATK. 1978. Microbial antagonists affecting tree diseases. Annals of Applied Biology 89:89-94.
- Curl, EA; Truelove, B. 1986. "The rhizosphere". Springer Verlag, Berlin. DE. 228 p.
- Dick, RP; Thomas, DR; Halvorson, JJ. 1996. Standardized methods, sampling and sample pretreatment. *In: Methods for assessing soil quality*. Madison, WI. USA. Soil Science Society of America. p.107-122 (Special publication N° 49).
- Doran, JW; Parkin, TB. 1994. Defining and assessing soil quality. *In: Doran JW; Coleman, DC; Bezdiceek, DF; Stewart, BA. (Eds), Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI, USA. Soil Science Society of America. p. 3-21 (Special publication N° 35).
- Edwards, CA. 1991. The assessment of populations of soil-inhabiting invertebrates. *Agriculture Ecosystems and Environment* 34:145-176.
- _____; Bohlen, PJ. 1992. The effects of toxic chemicals on earthworms. *Review of Environmental Contamination and Toxicology* 125:23-99.
- Ekelund, F; Ronn, R; Christiansen, S. 1994. The effect of three different pesticides on protozoan activity. *Pesticide science* 42:71-78.
- Elad, Y; Chet, I; Henis Y. 1981. Biological control of *Rhizoctonia solani* in strawberry fields by *Trichoderma harzianum*. *Plant and Soil* 60:245-254.
- Elliot, ET. 1997. Rationale for developing bioindicators of soil health. *In: Pankhurst, CE; Doube, BM; Gupta, VVSR. Eds. Biological indicators of soil health*. CAB International. UK. p. 49-78.
- Elliot, LF; Lynch, JM; Papendick, RI. 1996. The microbial component of soil quality. *In: Stotsky, G; Bollag, JM. Eds. Soil Biochemistry*. Marcel Dekker Inc. New York. p. 1-21.
- FAO, 2003. *Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria*. Roma, Italia. 253 p.
- Foissner, W. 1999. Soil protozoa as bioindicators; pros and cons, methods, diversity, representative examples. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74:95-112.

- Forge, TA; Berrow, ML; Darbyshire, JF; Warren, A. 1993. Protozoan bioassays of soil amended with sewage sludge and heavy metals, using the common soil ciliate *Coploida stenii*. *Biology and Fertility of Soils* 16:282-286.
- Fragoso, C; Lavelle, P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry* 24(12):1397-1408.
- Frampton, GK. 1997. The potential of collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. *Proceedings. Pedobiologia* 41(1-3): 179-184.
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Informe Técnico N° 285. CATIE, GTZ. Turrialba, CR. 168 p.
- Gilmore, SK. 1972. Colembola predation on nematodes. *Search Agriculture* 1:1-12.
- Guharay, F; Monterroso, D; Staver, C. 1999. Designing pest-suppressive multi-strata perennial crop systems. *In: Multi-strata agroforestry systems with perennial crops. Proceedings; International symposium on Multi-strata agroforestry systems with perennial crops (Feb 22-27 1999). CATIE, Turrialba, CR. p. 80-84.*
- Guillén-Sánchez, C. 2005. Diversidad de colémbolos de suelo y algunos posibles grupos Bioindicadores de alteración en tres ecosistemas de Costa Rica. Tesis de Magister Scientiae en Biología. UCR. San José CR. 90 p.
- Gupta, VVSR; Yates, GW. 1997. Soil microfauna as bioindicators of soil health. *In: Pankhurst, CE; Doube, BM; Gupta, VVSR. (eds.). Biological indicators of soil health. CAB International. UK. p. 201- 233.*
- Haarer, AE. 1962. *Modern coffee production*. London. Leonard Hill. UK. 495 p.
- Habte, M; Alexander, M. 1978. Protozoan density and the coexistence of protozoan predators and bacterial prey. *Ecology* 59(1): 140-146.
- Hågvar, S; Abrahamsen, G. 1984. Collembola in Norwegian coniferous forest soils. III. Reaction to soil chemistry. *Pedobiology* 27:331-339.
- Hale, WG. 1965. Collembola. *In: Burges, A; Raw, F. Soil Biology. Academic Press, London. p. 397-409.*

- Hawksworth, DL; Sutton, BC; Ainsworth, GC. 1983. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. 7 ed. CAB International, Wallingford UK. 445 p.
- Henríquez, HC; Cabalceta, AG. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Universidad de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia de Suelo. San José, CR. 112 p.
- Hidalgo, RM. 2003. Impacto de la crisis cafetalera. Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). Boletín informativo 3(2):4.
- Holdridge, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Trad. H Jiménez Saa. Editorial IICA. San José, CR. 216 p.
- Hooper, DJ. 1990. Extraction and processing of plant and soil nematodes. *In*: Luc, M; Sikora, RA; Bridge, J. (Eds.). Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. p. 45-68.
- Hopkin, SP. 1997. Biology of springtails (Insecta: Collembola). Oxford University Press, Oxford, UK. 333 p.
- ICAFFE, (Instituto de Café de Costa Rica) 1995. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San Jose, CR. 119 p.
- _____, 2004. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San Jose, CR. 70 p.
- _____-CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas), 2001. Caracterización de suelos cafetaleros en la región de Turrialba: informe de resultados. 46 p.
- Jefferies, P; Young, TWK. 1994. Interfungal parasitic relationships. CAB International. UK. 296 p.
- Karlen, DL; Mausbach, MJ; Doran, JW; Cline, RG; Harris, RF; Schuman, GE. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Journal of Soil Science Society of America. 61:4-10.
- Kass, DCL. 1996. Fertilidad de suelos. UNED. San José, CR. 233 p.
- Kennedy, AC; Papendick, RI. 1995. Microbial characteristics of soil quality. Journal of Soil and Water Conservation 50(3):243-248.
- Kopeszki, H. 1997. An active bioindication method for the diagnosis of soil properties using collembola. Proceedings. Pedobiologia 41:159-166.

- Krauss, U; Bidwell, R; Ince, J. 1998. Isolation and preliminary evaluation of mycoparasites as biocontrol agents of crown rot of banana. *Biological Control* 13:111-119.
- Lal, R. 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality and sustainability. *Soil Tillage and Research* 27:1-8.
- Larson, WE; Pierce, FJ. 1991. Conservation and enhancement of soil quality: evaluation for sustainable land management in the developing world. *IBSRAM Proceedings, Bangkok Thailand* 2(12):175-203.
- Lartey, RT; Curl, EA; Peterson, CM. 1994. Interactions of mycophagous collembola and biological control fungi in the suppression of *Rhizoctonia solani*. *Soil Biology and Biochemistry* 26(1):81-88.
- Lavelle, P. 1988. Earthworms activities and the soil system. *Biological Fertility of Soils* 6:237-251.
- Lewis, JA; Papavizas, GC. 1987. Reduction of inoculum of *Rhizoctonia solani* in soil by germlings of *Trichoderma hamatum*. *Soil Biology and Biochemistry*. 19(2):195-201.
- Linden, DR; Hendrix, PF; Coleman, DC; van Vliet, PCJ. 1994. Faunal indicators of soil quality. *In: Doran JW; Coleman, DC; Bezdiceek, DF; Stewart, BA. Eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, WI, USA. Soil Science Society of America. p. 91-106 (Special publication N° 35).*
- Lobry de Bruyn, LA. 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74:425-441.
- Lock, CGW. 1888. *Coffee its culture and commerce in all countries*. Spon, London. 264 p.
- Lynbaek, AE; Muschler, RG; Sinclair, FL. 2001. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53:205-213.
- Marc, P; Canard, A; Ysnel, F. 1999. Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74:229-273.
- Magdoff, F. 1995. Soil quality and management. *In: Altieri, MA. Ed. Agroecology; the science of sustainable agriculture. 2 ed. West View Press Inc. USA. p. 349-364.*

- _____. 2001. Concept, components, and strategies of soil health in agroecosystems. *Journal of Nematology* 33(4):169-172.
- MacArthur, RH. 1972. *Geographical ecology: patterns in the distribution of species*. Harper and Row, New York. 269 p.
- Miller, PM; Taylor, GS. 1970. Nematicidal control of *Heterodera tabacum*. *Phytopathology* 60:411-414.
- Mokwunye, AU; Hammond, LL. 1992. Myths and science of fertilizer use in the tropics. *In: Myths and science of soils of the tropics*. Madison, WI, USA. Soil Science Society of America. p. 121-134 (Special publication N° 29).
- Moore, JC; Ingham, ER; Coleman, DC. 1987. Inter-and intraspecific feeding selectivity of *Folsomia candida* (Willem) (Collembola, Isotomidae) on fungi. *Biology and Fertility of Soils* 5(1):6-12.
- Motavalli, PP; Palm, CA; Parton, WJ; Elliott, ET; Frey, SD. 1995. Soil pH and organic C dynamics in tropical soils: evidence from laboratory and simulation studies. *Soil Biology and Biochemistry* 27(12):1589-1599.
- Murante, AF; Taylor, CE. 1965. Treatment of soil with chemicals to prevent transmission of tomato blackring and raspberry ringspot viruses by *Longidorus elongatus* de Man. *Annals of Applied Biology* 55:227-237.
- Muschler, RG. 2004. Shade management and its effect on coffee growth and quality. *In: Wintgens, JN. Ed. Coffee: growing, processing, sustainable production*. Wiley- VCH verlag. p. 339-353.
- Neher, DA. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33(4):161-168.
- Nielsen, MN; Winding, A. 2002. *Microorganisms as indicators of soil health*. National Environmental Research Institute (NERI), Denmark. Technical Report N° 388. 82 p.
- Oades, JM. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5:35-70.
- Oldeman, LR. 1992. The global extent of soil degradation. *In: Greenland, DJ. Szabolcs, I. Eds. Soil Resilience and Sustainable Land Use. Proceedings. Symposium. Budapest, Hungary. 28 Sept-2 Oct, CAB International UK. p. 99-118.*

- Palacios-Vargas, JG. 1990. Diagnósis y clave para determinar las familias de Collembola de la región neotropical. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 15p.
- Pankhurst, CE; Hawke, BG; Mc Donald, HJ; Kirkby, C.A; Michelsen, P; O'Brien, KA; Gupta, VVSR; Doube, BM. 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35:1015-1028.
- _____; Doube, BM; Gupta, VVSR. 1997. Biological indicators of soil health: synthesis. *In: Biological indicators of soil health.* Pankhurst, CE; Doube, BM; Gupta, VVSR. Eds. CAB International. p. 419-435.
- Paoletti, MG. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74:137-155.
- _____; Sommaggio, D; Favretto, MR; Petruzzelli, G; Pezzarossa, B; Barbaferri, M. 1998. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* 10:137-150.
- Park, J; Cousins, SH. 1995. Soil biological health and agro-ecological change. *Agriculture Ecosystems and Environment* 56:137-148.
- Parr, JF; Papendick, RI; Hornick, SB; Myer, RE. 1992; Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:5-11.
- Petersen, H. 2002. General aspects of collembolan ecology at the turn of the millenium. *Pedobiology* 46:246-260.
- Power, JF; Myers, RJK. 1989. The maintenance or improvement of farming systems in north America and Australia. *In: Stewart, JWB. Ed. Soil quality in semi-arid agriculture. Proceedings.* Saskatoon, Canada. P. 273-292.
- Reddy, MV. 1986. Soil inhabiting arthropods as indicators of environmental quality. *Acta Biologica Hungarica* 37 (1):79-84.
- Reeves, DW. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43:131-167.

- Ricard, JL. 1981. Commercialization of a Trichoderma-based mycofungicide: some problems and solutions. *Biocontrol News and Information* 2:95-98.
- Rodríguez-Kabana, R. 1986. Organic and inorganic amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology* 18:129-135.
- _____; Curl, EA. 1980. Nontarget effects of pesticides on soilborne pathogens and disease. *Annual Review of Phytopathology* 18:311-332.
- Roper, MM; Ophel-Keller, KM. 1997. Soil microflora as bioindicators. *In: Pankhurst, CE; Doube, BM; Gupta, VVSR. Eds. Biological indicators of soil health. CAB International. p. 157-177.*
- Samoiloff, MR. 1987. Nematodes as indicators of toxic environmental contaminants. *In: Veech, JA; Dickson, DW. Eds. Vistas on nematology. Society of Nematologists. p. 433-439.*
- Samper, KM. 1999. Trayectoria y viabilidad de las caficulturas centroamericanas. *In: Bertrand, B; Rapidel, B. Eds. Desafios de la caficultura en Centroamérica. San José, CR. IICA; PROMECAFE; CIRAD; IRD; CCCR, Francia. p 1-68.*
- Sanchez, PA. 1976. Properties and management of tropical soils. John Wiley and Sons, Inc. NY, USA. 618 p.
- Schnitzer, M. 1982. Organic matter characterization. *In: Page, AL; Miller, RH. Keeney, DR. (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy. p. 581-594.*
- Schroth, G; Lehmann, J; Rodrigues, MRL; Barros, E; Macêdo, JLV. 2001. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 53:85-102.
- Senapati, BK. 1992. Biotic interactions between soil nematodes and earthworm populations. *Soil Biology and Biochemistry* 24 (12):1441-1444.
- Sikora, LJ; Stott, DE. 1996. Soil organic carbon. *In: Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America. SPN 49:157-167.*
- Sosa, LM; Escamilla, EP; Díaz, SC. 2004. Organic coffee. *In: Wintgens, JN. Ed. Coffee: growing, processing, sustainable production. Wiley- VCH verlag. DE. p. 339-353.*

- Springett, JA; Gray, RAJ. 1992. Effect of repeated low doses of biocides on the earthworm *Aporrectodea caliginosa* in laboratory culture. *Soil Biology and Biochemistry* 24(12):1739-1744.
- Torstensson L; Pell, M; Stenberg, B. 1998. Need of a strategy for evaluation of arable soil quality. *Ambio* 27:4-8.
- Twyford, IT; Wamsley, D. 1974. The mineral composition of the robusta banana plant: the concentration of mineral constituents. *Plant and Soil* 41:459-470.
- Ukers, WH. 1922. All about coffee. The Tea and Coffee Trade Journal Company. New York. USA. 796 p.
- Vaast, P; Snoeck, D.1999. Hacia un manejo sostenible de la MO y de la fertilidad biológica de los suelos cafetaleros. *In: Betrand, B; Rapidel, B. Eds. Desafios de la caficultura en Centroamérica. San José CR. IICA; PROMECAFE; CIRAD; IRD; CCCR, Francia. p. 139-169.*
- Vaast, P; Zasoski, RJ; Bledsoe, CS. 1998. Effects of solution pH, temperature, $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios, and inhibitors on ammonium and nitrate uptake by arabica coffee in short-term solution culture. *Journal of Plant Nutrition* 21(7):1551-1564.
- Van Stralen, NM; Verhoef, HA. 1997. The development of a bioindicator system for soil acidity based on arthropod pH preferences. *Journal of Applied Ecology* 34:217-232.
- Vargas, R; Flores, CL. 1995. Retribución nutricional de los residuos de hojas, venas de hojas, pseudotallo y pinzote de banano (*Musa AAA*) en fincas de diferentes edades de cultivo. *Revista Corbana* 20(44):33-47.
- Wintgens, JN. 2004. The coffee plant. *In Coffee: growing, processing, sustainable production. Wiley- VCH verlag. DE. p. 3-24.*
- Yeates, GW; Bongers, T. 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74:113-135.
- _____; Orchard, VA; Speir, TW; Hunt, JL; Hermans, MCC. 1994. Impact of pasture contamination by copper, chromium, arsenic timber preservative on soil biological activity. *Biology and Fertility of Soils* 18:200-208.

9 ANEXOS

Anexo 1. Altura, pendiente y ubicación de las fincas que fueron usadas en el presente estudio

Código de fincas	Tratamientos	Productor	Distrito	Comunidad	Altura (msnm)	Pendiente(%)
B1	B	La Saida SA.	Sta. Teresita	El Sauce	925	40
B2	B	Edgar Monge	Pavones	Chitaria	1100	60
B3	B		Chirripó	Moravia	1250	35
CO 61	CECC	Lucian Smith	La Suiza	La Suiza Centro	675	75
CO 80	CECC	Beneficio Sta. Rosa	Santa Rosa	Sta. Rosa Centro	854	35
CO 84	CECC	CATIE	Turrialba	CATIE	640	3
OR 17	CECO	Claudio Camacho	Pavones	La Flor	740	75
OR 3	CECO	Antonio Fuentes	Tres Equis	San Pablo		95
OR 4	CECO	Alvaro Fuentes	Tres Equis	San Pablo		45
CO 49	CEC	Zonex Internacional	La Suiza	Jurray Atirro	630	0
CO 74	CEC	Volcafe	Sta. Teresita	La Colima	688	10
CO 85	CEC	Tomas Guardia	Turrialba	El Repasto	650	0
OR 65	CEO	Jorge Fallas	Tayutic	Tayutic	942	50
OR 70	CEO	FRANCOSTA	Pavones	Pavones	735	10
OR 77	CEO	Alvaro Rojas	Chirripó	Grano de Oro	1143	3
CO 45	CEMC	Marco Tulio Rojas	Chirripó	Grano de Oro	1144	0
CO 8	CEMC	Enrique Montero	Tayutic	Bajo Pacuare	685	50
CO 9	CEMC	Maria de los Angeles Soto	Pavones	La Flor	741	5
OR 15	CEMO	Rigoberto Soto	Pavones	La Flor	703	45
OR 78	CEMO	Abelardo Rojas	Chirripó	Grano de Oro	1134	0
OR 79	CEMO	Cesar Elizondo	Chirripó	Grano de Oro	1144	0
CO 1	CMC	Mario Araya	Tres Equis	San Pablo		10
CO 26	CMC	Iris Tenorio	Turrialba	San Juan sur	1099	25
CO 50	CMC	Zonex Internacional	La Suiza	Jurray Atirro	627	0
OR 82	CMO	Maria Elena Jiménez	Chirripó	Grano de Oro	1133	0
OR 85	CMO	Nasario Garcia	Chirripó	Grano de Oro	1207	90
OR 86	CMO	Rueben Garcia	Chirripó	Grano de Oro	1130	15
PS 51	PS	Maquina Vieja	La Suiza	Atirro	646	5
PS 65	PS	Rancho Boyeros	Pavones	Sitio Mata	878	5
PS 69	PS	La Saida SA.	Sta. Teresita	El Sauce	915	10

OR= orgánico; CO= convencional; CEO= Café-Erythrina orgánica; CEMO = Café-Erythrina -Musa orgánica; CMO= Café-Musa orgánica; CECO= Café- Erythrina- Cordia orgánica; CEC= Café-Erythrina convencional; CEMC = Café-Erythrina -Musa convencional; CMC= Café-Musa convencional; CECC= Café- Erythrina- Cordia convencional.

Anexo 2. Agrupación de las variables bajo estudio según su efecto sobre el suelo y para la transformación de los valores a una escala de 0-1 para el índice de calidad de suelo aditivo

Efecto sobre el suelo	Variables
Bueno: <i>mayor es mejor</i>	Actinomicetes Lombrices de tierra pH (<5.50) N, P, K Ca, Mg, Zn, MO Humedad Colembolos Saprozoicos (nematodos) Micoparásitos
Malo: <i>menor es mejor</i>	DA RP Acidez Fe (límite >20<80 mg/ml) Mn (límite >10<100 mg/ml) CE (hasta 2 dS/m) Fitonematodos

Anexo 3. Contrastes ortogonales del contenido de Magnesio en suelos de tres bosques y fincas de café orgánico y convencional bajo sombra diversificada y café en pleno sol en la zona de Turrialba

Contrastes	SC	gl	CM	F	p-valor
Bosque vs. resto	2.54	1	2.54	3.40	0.0802
PS vs. resto	3.69	1	3.69	4.93	0.0382
Conv vs. Orgánico	1.88	1	1.88	2.51	0.1291
Árbol vs. Musa sola en orgánico.	11.96	1	11.96	15.97	0.0007
Erit vs. Erit + Cordia en orgánico	0.57	1	0.57	0.75	0.3952
Musa vs. Erit + Musa en orgánico	4.84	1	4.84	6.47	0.0194
Árbol vs. Musa sola en convencional	0.12	1	0.12	0.16	0.6902
Erit vs. Erit + Cordia en convencional	0.19	1	0.19	0.26	0.6160
Musa vs. Erit + Musa en convencional.	1.71	1	1.71	2.28	0.1468
Total	24.74	9	2.75	3.67	0.0074

Conv. = convencional; Erit = *Erythrina* sp; Cordia = *Cordia alliodora*; Musa = *Musa* sp.

Anexo 4. Contrastes ortogonales de la resistencia a la penetración del suelo de tres bosques y fincas de café orgánico y convencional bajo sombra diversificada y fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Contrastes	SC	Gl	CM	F	p-valor
Bosque vs. resto	1757.17	1	1757.17	8.91	0.0048
PS vs. resto	2.27	1	2.27	0.01	0.9151
Conv vs. Orgánico	2318.10	1	2318.10	11.76	0.0014
Árbol vs. Musa sola en orgánico.	122.96	1	122.96	0.62	0.4343
Erit vs. Erit + Cordia en orgánico	224.95	1	224.95	1.14	0.2918
Musa vs. Erit + Musa en orgánico	28.86	1	28.86	0.15	0.7040
Árbol vs. Musa sola en convencional	110.26	1	110.26	0.56	0.4589
Erit vs. Erit + Cordia en convencional	897.18	1	897.18	4.55	0.0391
Musa vs. Erit + Musa en convencional.	49.21	1	49.21	0.25	0.6201
Total	5441.85	9	604.65	3.07	0.0069

Conv. = convencional; Erit = *Erythrina* sp; Cordia = *Cordia alliodora*; Musa = *Musa* sp.

Anexo 5. Contrastes ortogonales de la densidad aparente de los suelos de tres bosques y fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Contrastes	SC	gl	CM	F	p-valor
Bosque vs. resto	0.42	1	0.42	16.78	0.0006
PS vs. resto	0.01	1	0.01	0.48	0.4973
Conv vs. Orgánico	0.16	1	0.16	6.59	0.0184
Árbol vs. Musa sola en orgánico	0.04	1	0.04	1.75	0.2008
Erit vs. Erit + Cordia en orgánico	3.6×10^{-4}	1	3.6×10^{-4}	0.01	0.9059
Musa vs. Erit + Musa en orgánico	0.03	1	0.03	1.19	0.2892
Árbol vs. Musa sola en convencional	0.01	1	0.01	0.29	0.5953
Erit vs. Erit + Cordia en convencional	8.2×10^{-4}	1	8.2×10^{-4}	0.03	0.8578
Musa vs. Erit + Musa en convencional	1.1×10^{-3}	1	1.1×10^{-3}	0.04	0.8378
Total	0.65	9	0.07	2.90	0.0227

Conv. = convencional; Erit = *Erythrina* sp; Cordia = *Cordia alliodora*; Musa = *Musa* sp.

Anexo 6. Comparación del contenido de arena, limo y arcilla en los suelos de tres bosques y fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Variable (%)	Tratamientos									P-valor	
	Orgánico			Convencional							
	CEO	CEMO	CMO	CECO	CEC	CEMC	CMC	CECC	PS		B
Arena	43.33	44.13	53.07	40.00	52.67	52.13	56.67	42.00	60.33	72.43	0.0558
Limo	26.27 ^{ab}	30.93 ^b	30.53 ^b	23.73 ^{ab}	27.60 ^{ab}	26.27 ^{ab}	27.20 ^{ab}	26.40 ^{ab}	22.20 ^{ab}	13.70 ^a	0.0500
Arcilla	30.40 ^{bc}	24.93 ^{abc}	16.40 ^a	36.27 ^c	19.73 ^{ab}	21.60 ^{ab}	16.13 ^a	31.60 ^{bc}	17.47 ^a	13.87 ^a	0.0369

Datos en filas con letras distintas indican diferencias significativas (prueba LSD de Fisher, $p < 0.05$).

Anexo 7. Contrastes ortogonales de los nematodos saprozoicos en los suelos de tres bosques y fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Variables	Manejo			
	Orgánico	Convencional	Bosque	Pleno sol
Saprozoicos (ind.100 g ⁻¹ suelo)	53.84	23.50	30.68	20.00

Anexo 8. Contrastes ortogonales de la presencia de *Clonostachys* sp. en suelos de tres bosques y fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Tratamiento	SC	gl	CM	F	p-valor
Bosque vs. resto	65.10	1	65.10	0.31	0.5826
PS vs. resto	638.02	1	638.02	3.01	0.0906
Conv vs. Orgánico	2200.25	1	2200.25	10.37	0.0025
Árbol vs. Musa sola en orgánico.	703.19	1	703.19	3.32	0.0761
Erit vs. Erit + Cordia en orgánico	17.33	1	17.33	0.08	0.7765
Musa vs. Erit + Musa en orgánico	92.63	1	92.63	0.44	0.5125
Árbol vs. Musa sola en convencional	188.99	1	188.99	0.89	0.3509
Erit vs. Erit + Cordia en convencional	92.63	1	92.63	0.44	0.5125
Musa vs. Erit + Musa en convencional.	370.41	1	370.41	1.75	0.1938
Total	4567.29	9	507.48	2.39	0.0283

Conv. = convencional; Erit = *Erythrina* sp; Cordia = *Cordia alliodora*; Musa = *Musa* sp.

Anexo 9. Contrastes ortogonales de los valores del ICSA de tres bosques y fincas de café orgánico y convencional con sombra diversificada y fincas de café en pleno sol en la zona de Turrialba

Contrastes	SC	gl	CM	F	p-valor
Bosque vs. resto	8.40	1	8.40	4.07	0.0505
PS vs. resto	11.74	1	11.74	5.68	0.0220
Conv vs. Orgánico	25.92	1	25.92	12.54	0.0010
Árbol vs. Musa sola en orgánico.	4.32	1	4.32	2.09	0.1563
Erit vs. Erit + Cordia en orgánico	7.58	1	7.58	3.67	0.0627
Musa vs. Erit + Musa en orgánico	0.15	1	0.15	0.07	0.7894
Árbol vs. Musa sola en convencional	1.05	1	1.05	0.51	0.4802
Erit vs. Erit + Cordia en convencional	1.48	1	1.48	0.71	0.4029
Musa vs. Erit + Musa en convencional.	0.80	1	0.80	0.39	0.5381
Total	70.52	9	7.84	3.79	0.0016

Conv. = convencional; Erit = *Erythrina* sp; Cordia = *Cordia alliodora*; Musa = *Musa* sp.

INFORMACIÓN SOBRE EL CAFÉ

Nombre _____ Teléfono _____
Finca _____ Fecha _____
Distrito _____ Área (has) _____
Comunidad _____ Altura (msnm) _____
Dirección _____ Coordenadas _____

1. Historial de la finca:

Que cultivos se sembraron antes del café en este suelo? _____

Hace labores de roza y quema Si No Cuando utiliza la quema? _____

Cuanto espera luego de la quema para sembrar? _____

Cual cultivo va primero? Porque? _____

Quema solo tierra nueva o también descansos? _____

Pertenece a alguna asociación de productores Si No Cual? _____

Recibe capacitación o asistencia técnica Si No de que institución? _____

Área Total de la Finca: _____ Área en Café: _____ Área en otros cultivos _____

Producción pecuaria:

Vacuna Aviar Porcina Caprina Mular Equina Ovina

Cantidad de animales por tipo de producción: _____

Agua: Acueducto Nacientes Tiene reservorios Si No

Cuál es el tipo de transporte que usa para sacar sus productos al mercado? _____

2. Datos del cafetal

No de plantas de café _____ Plantas Productivas _____ Altura del cafetal _____

Distancia de siembra _____

Variedad de café Caturra Costa Rica 95 Robusta
 Catuaí amarillo Catimor Híbrido
 Catuaí rojo Otro: _____

Edad del cafetal _____ Número de cosechas al año _____

Producción anual _____ En cuantos años baja la producción del cafetal? _____

Toma datos de insumos y de producción? Si No

Qué opina de la producción? Es Buena Regular Mala

Qué opina sobre la calidad de su suelo? Es Buena Regular Mala

Las plantas crecen bien? Si No Es fácil de sembrar Si No

En cuanto a la salud del suelo Tiene enfermedades Si No Cuales? _____
 Le falta nutrientes Si No
 Se encharca Si No

Resistentes a plagas o enfermedades (a cuales?) _____

Deficiencias nutricionales o baja producción, necesita de más cuidado? _____

3. Manejo del café

Tiene almácigo Si No en que época? _____
 Nace toda la semilla Si No
 Resiembraba Si No en que época? _____
 Riego Si No en que época? _____
 Deshija Si No en que época? _____
 Número de hijos por planta _____
 Poda Total Si No en que época? _____
 Poda sanitaria Si No en que época? _____
 Colecta del café Si No en que época? _____

Fertilización

Realiza análisis de suelos: Si No Cada cuanto? _____

Fertilizante	Dosis / ha	Época de aplicación
N, P ₂ O, K ₂ O, MgO y B ₂ O ₃		
18-5-15-6-2		
18-3-10-8-1,2		
20-7-12-3-1,2		
15-3-22-6-2		
Urea		
Gallinaza		
Kmag		
Bocashi		
Lombricompost		
Cereza de café composteada		
Nitrato de amonio		
Ácido bórico		
Poliboro		
Metalosato Multimineral		
Bayfolan		
Fetrilon Combi		
Otros		
Encalado		

Abonos

Transporta estiércol a ciertos lugares de la finca? _____

En cuales cultivos o lotes utiliza cada abono? Porque? _____

Cómo aplica el abono? Al voleo
 En surcos a cada planta

Qué hacen los abonos al suelo? _____

Fertilizantes

Porque los usa? _____

En cuales cultivos o lotes se usan fertilizantes químicos? Porque? _____

Conoce el significado de los grados de NPK (pe. 18 - 5 - 15 - 6 de fertilizantes? Si No

Cómo escoge el grado o tipo de fertilizante que usa? _____

Usa diferentes Grados o tipos de fertilizantes para diferentes cultivos o lotes? Si No Porque? _____

Cómo se aplica el fertilizante? Al voleo en los surcos de los cultivos En cada planta depende del cultivo o tipo de fertilizante?

Cantidad de fertilizante aplicado por lote _____ Kg. Cómo decide la cantidad necesaria? _____

Que hacen los fertilizantes al suelo? _____

Abonos verdes

Usa abonos verdes Si No

Plantas que ayudan a enriquecer el suelo? _____

Con que cultivos las usa? Porque? _____

Cuanto tiempo de trabajo gasta? _____

Cuanto tiempo permanece la tierra en abono verde? _____

Maneja residuos de cosecha Si No

Deja residuos de cosecha sobre el suelo? Si No Cuanto tiempo? _____

Son llevados a los animales? Si No

Que hace con el estiércol? _____

Incorpora los residuos frescos o secos? Si No

Tipos de abonos secos? _____

Cuando los incorpora? Antes de las primeras lluvias? Después de las primeras lluvias

Cuanto demora esta actividad? _____

Hace compostaje? Si No

Que tipo de compost hace? _____

Cómo lo hace?, Qué ingredientes usa? _____

Aplica compost selectivamente a ciertos cultivos? Cuales? _____

4. Labores de conservación de suelos

- | | | | |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Siembra en contorno | <input type="checkbox"/> | Canales de desviación |
| <input type="checkbox"/> | Barreras vivas | <input type="checkbox"/> | Prevención y corrección de cárcavas |
| <input type="checkbox"/> | Terrazas | <input type="checkbox"/> | Barreras rompevientos |
| <input type="checkbox"/> | Acequías de ladera | | |

A qué distancia tiene cada barrera? _____ Qué lotes o suelos usa barreras? _____

Cultivos donde usa barreras? _____

En que pendientes? _____

Son usadas como suplemento en la comida de animales? O que uso tienen? _____

Enfermedades

Enfermedad	Presencia	Tipo de control (orgánico, químico, dosis, frecuencia de aplicación)
Mal del talluelo		
Chasparria		
Ojo de Gallo		
Roya		
Derrite o quema		
Enfermedad rosada		
Mal de hilachas		
Llaga macana		
Maya		
Otras		

Plagas

Plagas	Presencia	Tipo de control (orgánico, químico, dosis, frecuencia de aplicación)
Raíz		
Jobotos o Gallina ciega		
Gusanos cortadores		
Grillo		
Piojillo o cochinillas de raíz		
Follaje		
Cochinilla harinosa		
Picudos del cafeto		
Áfidos		
Escama Verde y hemisférica		
Arañita roja		
Minador de la hoja		
Fruto		
Gorgojo del café		
Broca del fruto del café		
Nematodos		

Malezas

Qué tipo de maleza predomina en su finca?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Hoja ancha anual | <input type="checkbox"/> Bejuco anual |
| <input type="checkbox"/> Hoja ancha perenne | <input type="checkbox"/> Bejuco perenne |
| <input type="checkbox"/> Zacate anual | <input type="checkbox"/> Ciperáceas |
| <input type="checkbox"/> Zacate perenne | |

Maleza que es más difícil de controlar: _____

Control Mecánico

- Raspa
- Aporca
- Machetea
- Chapia o lumbrea
- Rodajea

Control Químico

- Paraquat
- Round up
- Glifosato
- 2,4 D
- Rothone
- Otros Cual? _____

Control Cultural

- Coberturas nobles
- Siembra de cobertura (¿cuál?) _____

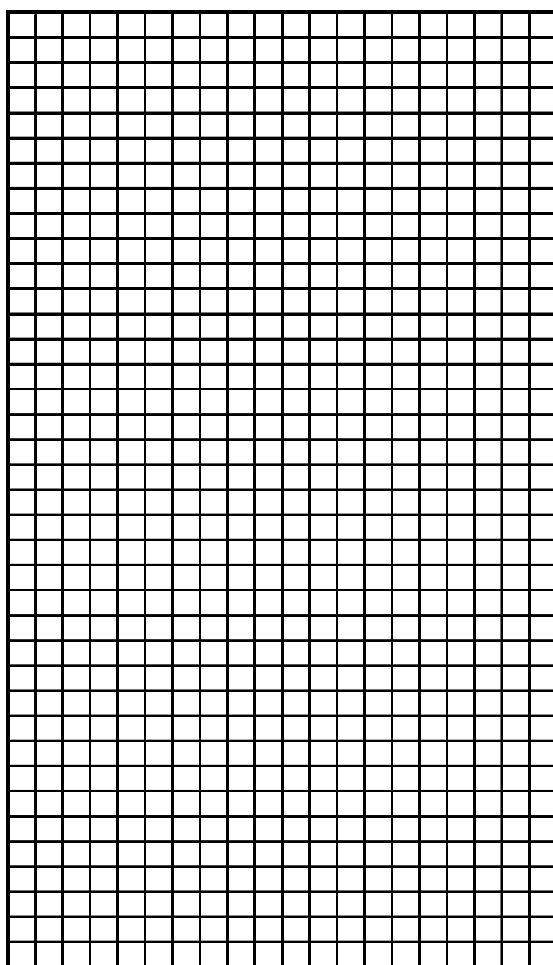
Dosis _____
Frecuencia de aplicación _____

5. Calendario de actividades

Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Control de malezas												
Fertilización												
Descumbra												
Poda												
Deshija												
Control de enfermedades												
Cosecha												

ÁRBOLES DE SOMBRA

Distribución espacial de la plantación y las especies de cobertura en la parcela.



Datos a tener en cuenta (nombre común, altura, DAP, copa (aprox. diámetro y forma) follaje, flor, fruto, usos, aspectos etnobotánicos.

1. Árboles presentes para cobertura arbórea

Árboles de sombra	Distancias de siembra
Erythrina	
Musa	
Cordia	
Guaba	
Otros	

Quando fueron sembrados?

2. Cada cuanto realiza podas _____ Poda total Poda de ramas Entresaca

3. Cada cuanto fertiliza _____

4. Qué beneficios obtiene de los árboles de sombra:

- Mejora el rendimiento de su cultivo
- Alimento para el hogar
- Alimento para los animales
- Sombra
- Otros _____

- Madera
- Leña
- Cercas Vivas
- Estabilización del suelo

5. Qué problemas observa con los árboles de sombra , con respecto a la sanidad del cultivo del café?

6, Porque tiene cultivos asociados al cultivo de café? _____

7, El manejo que en este momento le da al café es adecuado? Si No Porque? _____

Qué árboles o plantas de la región son buenas para:

Leña

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

Artesanía

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

Alimento

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

Madera

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

Postes

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

Medicina

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

Qué especies de árboles o plantas nacen luego de limpiar el terreno y son indicadores de fertilidad?

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

CONOCIMIENTO LOCAL DE SUELOS Y MANEJO

1. Uso de leña

Depende de leña para cocinar sus alimentos? Sí No

¿Qué cantidad consume semanalmente? _____

De donde obtiene la leña? _____

A que distancia de su finca? _____

Qué tipo de leña usa? _____

Cuál es la que más prefiere? Porque? _____

2. Mapa de la finca



Resaltar los tipos de suelo (mejores - intermedios - peores), pendiente de suelo, aquellos suelos que se secan más rápido o más lento, historia de uso y uso actual en relación a su ubicación en la pendiente, ubicación en los cultivos o barbechos, predominancia de ciertas malezas, organismos del suelo (hormigas, Lombrices).

3. Conocimiento de suelos

Existen diferentes clases de suelos en la región? En la finca? Sí No Cuantos? _____

Cómo se puede distinguir suelo X del suelo Y? (dependiendo de las clases de suelos anteriormente mencionadas)

Propiedades descriptivas de cada tipo de suelo identificado:

Cual es el color del suelo cuando esta seco, mojado?

Necesita el suelo poco o mucho abono? O puede sembrar sin abono? Sí No

Que tan profunda es la capa fértil del suelo? 3 dedos? 1 cuarta?

Es el suelo duro o polvoso en verano? Presentan terrones grandes? Sí No Piedras? Sí No

Es arenoso es pegajoso (arcilloso) Cuando llueve se acumula el agua en la superficie o penetra rápidamente?

Se seca el suelo rápida o lentamente después de las lluvias Es fácil de arar Sí No

ZOMPOPAS (ENTREVISTA)

1. Tiene Hormigas zompopas en su cafetal Si No
2. Cuantos nidos de hormigas zompopas hay en su finca 1 a 3 4 a 7 7 a 10 >10
3. Que daños causa la hormiga zompopa y los nidos en su cafetal _____

4. Que métodos usa para controlar los nidos de las hormigas
 Químicos Orgánicos Ambos Ninguno
5. Qué productos químicos utiliza para controlar las hormigas _____

6. Cuál es el tratamiento orgánico que utiliza para controlar las hormigas?
7. Cuál es la preferencia según la dimensión del nido para controlar los nidos de las hormigas zompopas
 Nidos de tamaño grande Nidos de tamaño mediano Nidos de tamaño pequeño
8. Cada cuanto realiza el control de las hormigas zompopas?
 Mensualmente Trimestralmente Semestralmente Anualmente Cuando los nidos son visibles
9. Costos anuales de las prácticas de control de las zompopas y sus nidos (en colones)

QUÍMICO <input type="checkbox"/> 1000-5000 <input type="checkbox"/> 5000 - 10000 <input type="checkbox"/> 10000 - 20000 <input type="checkbox"/> Más de 20000	ORGÁNICO <input type="checkbox"/> 1000-5000 <input type="checkbox"/> 5000 - 10000 <input type="checkbox"/> 10000 - 20000 <input type="checkbox"/> Más de 20000
--	---

10. Cuando controla los nidos de las hormigas, lo hace para evitar el daño actual o hacia futuro?

11. Porque razones usted estaría interesado (a) en otros métodos alternativos para el control de hormigas zompopas?

SOCIOECONÓMICA (ENTREVISTA)

1. Qué produjo mi cafetal

Producto	Cuanto produjo	Cuanto consumimos	Cuanto obtuvo de ingreso
Café (fanegas)			
Leña (m ³)			
Plátano, Banano (racimos)			
Frutas (unidades)			
Madera (pulgada tica)			
Hortalizas (kg)			
Otros			
Total de ingresos en el año (colones)			

2. Balance del café

Cuanto Invertí en el cafetal	
Mano de obra contratada	Días
Costo de la mano de obra	Colones
Costo Insumos	Colones
Costo total	Colones
¿Qué ingresos recibí?	
Venta de café	Colones
Venta de otros productos	Colones
Ingreso total	Colones
¿Cuánto ganamos?	
Diferencia entre costos e ingresos	Colones
Mano de obra familiar	Días
Ingreso neto por día trabajado de la familia	Colones/día

3. Comercio del Café

El café se vendió en (uva, pergamino u oro)? _____

A quien vendió el café? _____

A cuanto vendió el café? (colones/fanega) _____

Que ha hecho para dar valor agregado al café?:

- Cosecha solo café maduro
- Beneficia el café
- Produce café sostenible
- Produce café ecológico
- Produce café orgánico
- Produce café de comercio justo

Recibió algún premio por calidad o por ser especial? Si No Cuál y Cuanto? _____

4. Comercialización de otros productos de la finca

Producto	Volumen	Precio	A quien vendió