

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

**Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y  
convencional sobre las características de suelos en el Corredor  
Biológico Turrialba–Jiménez, 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

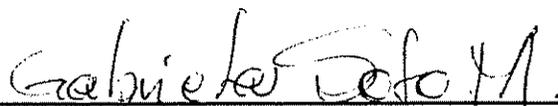
Claudia Marcela Porras Vanegas

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:**



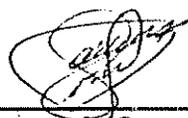
Gabriela Soto, M.Sc.  
**Consejero Principal**



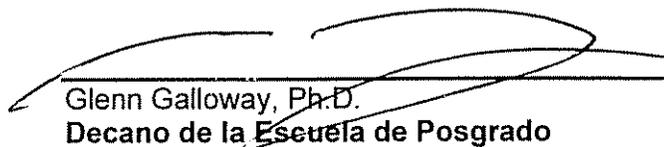
Elías de Melo, M.Sc.  
**Miembro del Comité Consejero**



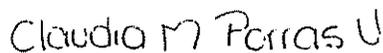
Ana Tapia, M.Sc.  
**Miembro del Comité Consejero**



Fernando Casanoves, Ph.D.  
**Miembro del Comité Consejero**



Glenn Galloway, Ph.D.  
**Decano de la Escuela de Posgrado**



Claudia Marcela Porras Vanegas, Ing.  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme dado la oportunidad de vivir esta experiencia.

A mis padres Eduardo y Graciela, por su apoyo, dedicación y por enseñarme a respetar las diferencias.

A mis hermanos Jorge, Hilda, David, René y Patricia por su apoyo incondicional en todos los momentos.

A mi abuela por su alegría, su entusiasmo y sus ganas de vivir.

A Leonardo el Hombre de Mi vida, por impulsarme a alcanzar mis metas, esperarme y hacerme feliz.

A mí amada Colombia, a la que sueño verla en paz.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la M.Sc. Gabriela Soto Muñoz, profesor investigador del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, por la acertada dirección de este trabajo.

Al M.Sc. Elías de Melo, profesor investigador del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE; a la M.Sc. Ana Tapia, profesora de fitopatología de la Universidad de Costa Rica, y al Dr. Fernando Casanoves, Jefe de la Unidad de Bioestadística del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, por las contribuciones dadas a este trabajo.

A Gloria Meléndez, profesora de suelos de la Universidad de Costa Rica; Nelly Vásquez y Diego Delgado profesores investigadores del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, por su valiosa asesoría.

Al Programa IGERT por la financiación de este proyecto.

Al grupo de ICAFE-Turrialba por su colaboración para la ejecución de este trabajo.

A la Dra. Celia Harvey y al Dr. Bryan Finegan por su apoyo y colaboración en momentos difíciles.

A los cafeteros turrialbeños, de los cuales y para los cuales es este estudio.

Al laboratorio de biología de la Universidad de Costa Rica, por su acogida y valiosa ayuda especialmente de Don Juan, Don Jorge y María.

A Arturito Ramírez por su sencillez y colaboración.

A Nixon, Douglas y Daniel por su colaboración en la fase de campo.

A Cristian Brenes por el diseño de mapas y a Rosita y Alexandra por la traducción de los resúmenes

A André George y al Grupo IGERT Turrialba por su apoyo en la realización de este trabajo.

A mi nueva familia Elena, Ruth y Mariu por reafirmar el sentido de lo que es la verdadera amistad.

A Julita, Gina, Blanca, Miguel, Danny, Fatima, Magali, Katherine y Jimmy por su compañía y apoyo en la recta final y en general a todas aquellas personas que contribuyeron a la culminación de esta tesis.

Al personal de la Biblioteca Orton, por su amabilidad y apoyo en todas las etapas de CATIE.

Por último a la Escuela de Postgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, por los conocimientos y experiencia impartidos.

## **BIOGRAFÍA**

La autora nació en Bogotá, Colombia, el primero de agosto de 1974. Realizó sus estudios de grado en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, graduándose como Ingeniera Agrónoma en el año de 1998. Desarrolló su experiencia profesional en el campo de Formulación de Proyectos Agropecuarios y en los últimos cuatro años se desempeñó en las áreas de Educación y Capacitación; y Desarrollo Rural y Medio Ambiente-Agricultura Orgánica, del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA-Colombia.

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
BIOGRAFÍA .....	VI
CONTENIDO .....	VII
RESUMEN .....	XI
SUMMARY .....	XIII
ÍNDICE DE CUADROS .....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	XIX
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos del estudio .....	1
1.1.1 <i>Objetivo general</i> .....	1
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	1
1.2 Hipótesis del estudio .....	2
2 MARCOS DE REFERENCIA .....	3
2.1 Marco contextual .....	3
2.2 Marco teórico conceptual .....	6
2.2.1 <i>Producción convencional</i> .....	6
2.2.2 <i>Concepto de sostenibilidad</i> .....	7
2.2.3 <i>Producción orgánica</i> .....	7
2.2.4 <i>Estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales</i> .....	8
2.2.5 <i>Tipificación de sistemas de producción cafeteros dados por estructura arbórea y tipo de manejo</i> .....	15
2.2.5.1 <i>Tipificación de cafetales por estructura arbórea</i> .....	15
2.2.5.2 <i>Tipificación de cafetales por tipo de manejo</i> .....	16
2.2.6 <i>Concepto de calidad y salud del suelo</i> .....	17
2.2.7 <i>Calidad de suelos en fincas orgánicas y convencionales</i> .....	19
2.2.8 <i>Calidad de suelos bajo sistemas agroforestales</i> .....	20
2.2.9 <i>Índices de calidad de suelos</i> .....	21
2.3 Marco conceptual metodológico .....	22
2.3.1.1 <i>Materia orgánica</i> .....	28

2.3.1.1.1	Fraccionamiento de materia orgánica.....	28
2.3.1.1.2	Biomasa microbiana .....	29
2.3.1.2	Riqueza de especies .....	29
2.3.1.3	Recuento de lombrices .....	30
3	ARTÍCULO 1. Comparación de sistemas de manejo en fincas de café orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba- Jiménez, Costa Rica .....	31
3.1	RESUMEN .....	31
3.2	INTRODUCCIÓN .....	33
3.2.1	<i>Objetivo</i> .....	34
3.2.2	<i>Hipótesis</i> .....	34
3.3	MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
3.3.1	<i>Localización del área de estudio</i> .....	34
3.3.2	<i>Selección de los sitios de estudio</i> .....	35
3.3.3	<i>Caracterización de las fincas</i> .....	38
3.3.3.1	Información de fuentes secundarias .....	38
3.3.3.2	Información de fuentes primarias .....	38
3.3.4	<i>Análisis de la información</i> .....	38
3.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.4.1	<i>Información del sistema de producción</i> .....	39
3.4.2	<i>Variedades cultivadas</i> .....	39
3.4.3	<i>Labores culturales asociadas al cultivo del café</i> .....	40
3.4.3.1	Almácigo y resiembra .....	41
3.4.3.2	Poda del cafeto .....	41
3.4.3.3	Deshija .....	42
3.4.3.4	Fertilización.....	43
3.4.3.5	Labores de conservación de suelos .....	45
3.4.3.6	Manejo de enfermedades .....	46
3.4.3.7	Manejo de plagas .....	48
3.4.3.8	Manejo de malezas.....	50
3.4.3.9	Manejo de la sombra .....	53
3.4.4	<i>Productividad de la actividad cafetera</i> .....	54
3.4.4.1	Época de cosecha .....	56
3.4.4.2	Transporte .....	56
3.4.4.3	Cafés diferenciados .....	57
3.4.4.4	Comercialización del café.....	58

3.4.5	<i>Capacitación y participación en organizaciones</i> .....	59
3.4.6	<i>Análisis de tipologías</i> .....	60
3.5	CONCLUSIONES.....	64
3.6	RECOMENDACIONES .....	64
4	Artículo 2: Indicadores de calidad de suelos físicos, químicos y biológicos en sistemas agroforestales de café, pleno sol y bosque dentro del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica. ....	66
4.1	RESUMEN .....	66
4.2	INTRODUCCIÓN .....	68
4.2.1	<i>Objetivo</i> .....	70
4.2.2	<i>Hipótesis</i> .....	70
4.3	MATERIALES Y MÉTODOS .....	70
4.3.1	<i>Localización del área de estudio</i> .....	70
4.3.2	<i>Selección de sitios de estudio</i> .....	71
4.3.3	<i>Delimitación de la parcela en estudio</i> .....	73
4.3.4	<i>Descripción de métodos de muestreo y análisis</i> .....	73
4.3.4.1	Caracterización de los sistemas agroforestales evaluados.....	73
4.3.4.1.1	Riqueza de especies arbóreas y porcentaje de sombra.....	73
4.3.4.1.2	Biomasa de la cobertura de hojarasca .....	74
4.3.4.2	Indicadores físicos .....	74
4.3.4.2.1	Densidad aparente.....	74
4.3.4.2.2	Textura.....	75
4.3.4.2.3	Profundidad efectiva .....	75
4.3.4.3	Indicadores químicos.....	75
4.3.4.4	Indicadores biológicos .....	75
4.3.4.4.1	Fraccionamiento de materia orgánica.....	75
4.3.4.4.2	Biomasa microbiana .....	76
4.3.4.4.3	Recuento de unidades formadoras de colonias de hongos, bacterias y actinomicetes .....	76
4.3.4.4.4	Riqueza de organismos .....	77
4.3.4.4.5	Recuento de lombrices .....	77
4.3.4.5	Índice de calidad de suelos .....	77
4.3.5	<i>Época de muestreo</i> .....	78
4.3.6	<i>Análisis de resultados</i> .....	78
4.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	79

4.4.1	<i>Caracterización de los sistemas agroforestales evaluados</i> .....	79
4.4.1.1	Diversidad de especies arbóreas .....	79
4.4.1.2	Porcentaje de sombra dentro de los cafetales .....	80
4.4.1.3	Biomasa de cobertura.....	81
4.4.2	<i>Indicadores físicos</i> .....	82
4.4.2.1	Textura.....	84
4.4.2.2	Densidad.....	84
4.4.2.3	Profundidad efectiva .....	85
4.4.3	<i>Indicadores Químicos</i> .....	85
4.4.4	<i>Indicadores Biológicos y Microbiológicos</i> .....	92
4.4.4.1	Fraccionamiento de materia orgánica .....	92
4.4.4.2	Biomasa microbiana .....	94
4.4.4.3	Unidades formadoras de colonias de actinomicetes, bacterias y hongos .....	97
4.4.4.3.1	Actinomicetes.....	98
4.4.4.3.2	Bacterias .....	98
4.4.4.3.3	Hongos.....	98
4.4.4.3.4	Riqueza de organismos .....	99
4.4.4.4	Recuento de lombrices .....	103
4.4.5	<i>Valoración de los indicadores para medir el impacto del manejo sobre el suelo</i> .....	105
4.4.6	<i>Índice de calidad de Diack y Stott</i> .....	106
4.5	CONCLUSIONES.....	108
4.6	RECOMENDACIONES .....	109
5	CONCLUSIONES GENERALES.....	111
6	RECOMENDACIONES GENERALES .....	112
7	LITERATURA CITADA.....	113
	ANEXOS .....	127

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en 27 fincas cafeteras ubicadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, donde se estudiaron comparativamente los sistemas de producción orgánica y convencional y su impacto en la calidad de suelos. Se caracterizó por medio de una encuesta el manejo de las fincas orgánicas como convencionales. Se desarrolló una clasificación por tipos de manejo y se ubicaron las fincas estudiadas. En fincas con manejo convencional la tipología predominante es la semitecnificada con un 66,7 % de las fincas evaluadas. Este tipo de manejo está caracterizado por densidades de siembra altas, sembradas con un trazo uniforme. Se realizan prácticas de resiembra, poda de cafetos, deshija, regulación de los árboles de sombra, fertilización y control de plagas, enfermedades y malezas de una manera menos intensa que la de un manejo tecnificado. El manejo de los cafetales orgánicos en el 75 % de los casos es tradicional que incluye bajas densidades de siembra, siembra con trazo irregular, las prácticas de manejo como la resiembra, las podas sanitarias, la deshija y la regulación de los árboles de sombra se hace de forma esporádica. Se usan niveles bajos de fertilización, no se hace manejo de plagas ni enfermedades y el control de malezas se hace con chapias. Este manejo se refleja en producciones bajas  $6,59 \text{ fan ha}^{-1}$  ( $303 \text{ kg oro año}^{-1}$ ) comparadas con las convencionales  $22,04 \text{ fan ha}^{-1}$  ( $1.014 \text{ kg oro año}^{-1}$ ). Este limitado manejo por parte de los productores orgánicos revela problemas en la adopción de tecnologías dadas por factores sociales, económicos, educativos, culturales y crea cuestionamientos acerca del rol de la producción orgánica con manejo limitado como una alternativa a la crisis que atraviesa el sector cafetero.

Para determinar el impacto de las prácticas de manejo sobre las características de suelo, se evaluaron indicadores físicos, químicos y biológicos. Se realizaron muestreos en época seca y lluviosa para encontrar diferencias entre indicadores físicos (densidad, textura, profundidad efectiva), químicos (pH, acidez, potasio, calcio, magnesio, fósforo, cobre, zinc, manganeso, hierro, carbono orgánico, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación de acidez) y biológicos (fraccionamiento de materia orgánica, biomasa microbiana, recuento de unidades formadoras de colonia de hongos, bacterias y actinomicetes, riqueza de organismos, número de lombrices). Se evaluaron sistemas de café bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* (E), *Musa* sp. (M) y *Cordia alliodora* (C), bajo dos tipos de manejo orgánico (O) y convencional (C) en la zona de Turrialba, Costa Rica. Los

tratamientos son CEC = Café–*Erythrina*–Convencional, CECC = Café–*Erythrina*–*Cordia*–Convencional, CECO = Café–*Erythrina*–*Cordia*–Orgánico, CEMC = Café–*Erythrina*–*Musa*–Convencional, CEMO = Café–*Erythrina*–*Musa*–Orgánico CEO = Café–*Erythrina*–Orgánico, CMC = Café–*Musa*–Convencional, CMO = Café–*Musa*–Orgánico. Los suelos de esos sistemas agroforestales se evaluaron contra sistemas de producción a plena exposición solar (PS) y bosques (B) cercanos a las fincas evaluadas. Se tomaron 3 replicas para cada tratamiento.

Las variables biomasa de cobertura de hojarasca, número de lombrices y biomasa de cobertura variaron entre las épocas seca y lluviosa. El análisis de componentes principales mostró que las variables biomasa microbiana y carbono orgánico correlacionaron con suelos bajo bosques, mientras que la población de lombrices en ambas épocas correlacionaron con los suelos bajo producciones orgánicas. La densidad aparente y el contenido de potasio correlacionaron con los suelos bajo producciones convencionales. En cuanto a cantidad de magnesio se evidenció que en producciones donde hay presencia de *Musa* se alcanzan valores más altos. Se determinó un índice de calidad y se evidenció diferencias de calidad de suelos entre bosques con respecto a los tratamientos, diferencias entre tratamientos orgánicos y convencionales y dentro de los convencionales hubo diferencias entre CECC y CEMC.

Se concluye que los indicadores propuestos pueden ser parte de una base de indicadores de calidad de suelos, ya que con ellos es fácil determinar el impacto del manejo en el suelo dentro de los sistemas agroforestales.

## SUMMARY

To compare organic and conventional coffee production systems and their impact on soil quality, 27 farms within the Turrialba-Jiménez Biological Corridor, in Costa Rica, were studied. A survey was done to characterize both the conventional and organic production systems. Farms were classified by type of management and 27 chosen for inclusion in the study. In conventional farms, the most common type of management was semi-technical (66.7% of evaluated farms). This type of management is characterized by high density planting in uniform rows. Replanting, pruning of major branches, shade tree regulation, fertilization, and pest, disease and weed management are done less intensely than in technical production. In 75% of organic farms, management is traditional, characterized by low planting densities, irregular rows, and sporadic management practices, such as replanting, sanitary pruning, pruning of primary branches and shade-tree management. Low levels of fertilizer are used, no disease or pest control is practiced, and weeds are cut back with machetes. This management is reflected in low yields of 6.59 fan ha<sup>-1</sup> (303 kg gold coffee year<sup>-1</sup>) compared to yields on conventional farms of 22,04 fan ha<sup>-1</sup> (1.014 kg gold coffee year<sup>-1</sup>). The limited management on the part of organic farmers reveals problems in the adoption of new technologies, due to social, economic, educational and cultural factors, which put in doubt the role organic production can have to counter the crisis in the coffee sector.

To determine the impact of management practices on soil characteristics, physical, chemical and biological indicators were evaluated. Samples were collected in the rainy and dry season to find differences between physical (density, texture, effective depth), chemical (pH, acidity, K, Ca, Mg, P, Cu, Zn, Mn, Fe, organic carbon, N, CICE, % acid saturation) and biological (organic matter fraction, microbial biomass, cfu of fungi, bacteria and actinomycetes, species richness and number of earthworms) characteristics of these soils. Systems evaluated included agroforestry systems with shade form *Erythrina poeppigiana* (E), *Musa* sp. (M) and *Cordia alliodora* (C), under organic (O) or conventional (C) management in the area of Turrialba, Costa Rica. Treatments were as follows: CEC = Coffee-*Erythrina*-Conventional, CECC = Coffee-*Erythrina*-*Cordia*-Conventional, CECO = Coffee-*Erythrina*-*Cordia*-Organic, CEMC = Coffee-*Erythrina*-*Musa*-Conventional, CEMO = Coffee-*Erythrina*-*Musa*-Organic, CEO = Coffee-*Erythrina*-Organic, CMC = Coffee-*Musa*-Conventional, CMO = Coffee-*Musa*-Organic. The soils of these agroforestry systems were compared to those from

coffee production systems under full sun (PS) and from forest fragments (B) close to evaluated farms. Three replicas were taken for each treatment.

Surface biomass values, the number of earthworms and cover biomass varied between dry and rainy season. The analysis of principal components revealed that microbial biomass and organic carbon were correlated to forest soils, while the number of earthworms was related to soils from organic production systems in both seasons. Apparent density and potassium content correlated to soils under conventional production, while soils from systems shaded with *Musa* had the highest magnesium contents. The quality index of soils was determined, and differences were observed between soils from forests and all other treatments, from organic and conventional treatments and from the CECC and CEMC conventional treatments.

The proposed indicators can be a part of a set of soil quality indicators, as the impact of management on soil within agroforestry systems can be easily determined through them.

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos de diversidad.	9
Cuadro 2. Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos de calidad de suelos.	10
Cuadro 3. Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos de manejo fitosanitario del cultivo.	13
Cuadro 4. Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos socioeconómicos.	14
Cuadro 5. Propiedades del suelo y del terreno como indicadores de calidad. (Storie 1970).	23
Cuadro 6. Listado de indicadores microbiológicos para el monitoreo de la salud del suelo.	26
Cuadro 7. Clasificación de suelos de los distritos incluidos en este estudio en el cantón de Turrialba según el ICAFE (ICAFE–CIA 2001).	35
Cuadro 8. Frecuencia de tipologías de sistemas agroforestales de café encontradas en la muestra tomada del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	37
Cuadro 9. Frecuencia (%) de las variedades de café encontradas en las fincas evaluadas por tipo de producción, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	40
Cuadro 10. Fertilización de los cafetales evaluados por tipo de producción orgánica y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	44
Cuadro 11. Frecuencia (%) de las labores de conservación de suelos por tipo de manejo orgánico y convencional en sistemas de producción cafetera evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	46
Cuadro 12. Número de podas realizadas a los árboles de sombra en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	54
Cuadro 13. Estadísticas descriptivas de los rendimientos (fanegas ha-1)(±EE) por tipo de producción orgánico y convencional y por elementos de vegetación que componen el sistema, dentro del Corredor Biológico Turrialba –Jiménez, Costa Rica, 2005.	55
Cuadro 14. Instituciones que prestan capacitación a los productores orgánicos y convencionales de las fincas estudiadas dentro del Corredor Biológico Turrialba –Jiménez, Costa Rica, 2005.	59
Cuadro 15. Asociaciones a las que pertenecen los productores orgánicos y convencionales de las fincas estudiadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	60
Cuadro 16. Tipologías de referencia para cafetales orgánicos y convencionales en la Zona del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	61

Cuadro 17. Tipologías de estructura de sombra encontradas con mayor frecuencia por tipo de manejo en la zona del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	72
Cuadro 18. Elementos de vegetación que componen la estructura arbórea de los sistemas agroforestales y condiciones de manejo establecidas como tratamientos a evaluar en este estudio, Costa Rica, 2005.	73
Cuadro 19. Riqueza de especies arbóreas ( $\pm$ EE) dentro de los sistemas agroforestales evaluados.	80
Cuadro 20. Promedio de porcentaje de sombra ( $\pm$ EE) dentro de los tratamientos evaluados.	81
Cuadro 21. Promedio de biomasa de cobertura ( $\text{g m}^{-2}$ ) ( $\pm$ EE) en época seca (BCI) y lluviosa (BC II) en 30 fincas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez	82
Cuadro 22. Valores de los indicadores físicos ( $\pm$ EE) encontrados en sistemas agroforestales con café dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	83
Cuadro 23. Indicadores químicos ( $\pm$ EE) medidos en los sistemas agroforestales con café evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	86
Cuadro 24. Potasio presente en los suelos evaluados en $\text{meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ , ( $\pm$ EE) datos transformados a rango.	90
Cuadro 25. Porcentaje de la fracción fina y la fracción gruesa de la materia orgánica y el contenido de carbono orgánico ( $\pm$ EE) para cada una de las fracciones para 30 fincas del estudio de calidad de suelos en Turrialba, Costa Rica, 2005.	92
Cuadro 26. Datos estudios de fraccionamiento de materia orgánica en Costa Rica en diferentes sistemas.	93
Cuadro 27. Relación de porcentaje de fracción fina sobre porcentaje de fracción gruesa de materia orgánica ( $\pm$ EE) en suelos bajo sistemas agroforestales dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	94
Cuadro 28. Géneros de hongos y bacterias que se encontraron en este estudio.	99
Cuadro 29. Valores de los índices de diversidad ( $\pm$ EE) para actinomicetes en época seca en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	100
Cuadro 30. Valores de los índices de diversidad para hongos ( $\pm$ EE) en época lluviosa en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	101
Cuadro 31. Valores de los índices de diversidad para bacterias ( $\pm$ EE) en época seca en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	102
Cuadro 32. Número de lombrices promedio por metro cuadrado ( $\pm$ EE) por tratamiento de las 30 fincas evaluadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba- Jiménez, Costa Rica, 2005.	103
Cuadro 33. Promedio del índice de calidad de suelos ( $\pm$ EE) por tratamiento	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento del precio internacional del café en la Bolsa de Nueva York. Periodo enero de 1999 a julio de 2005 (Fuente: ICAFE 2005a).	3
Figura 2. Producción y consumo mundial de café oro. Años 1998-2005. Fuente: OIC y FOLicht's citado por ICAFE 2005.	4
Figura 3. Distribución espacial de las fincas evaluadas por elementos de vegetación que componen el sistema y tipo de manejo orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	36
Figura 4. Frecuencia (%) del tipo de poda total practicada a los cafetos evaluados por tipo de manejo orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	42
Figura 5. Frecuencia (%) del tipo de poda sanitaria practicada a los cafetos evaluados por tipo de manejo orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	42
Figura 6. Número de hijos por planta que quedan después de la deshija en cafetales evaluados por tipo de manejo orgánico y convencional ubicados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	43
Figura 7. Frecuencia (%) de los elementos usados en la fertilización del café por tipo de manejo orgánico y convencional evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	45
Figura 8. Enfermedades predominantes en el cultivo del café según la percepción de los productores evaluados, por tipo de manejo orgánico y convencional, en sistemas de producción ubicados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	47
Figura 9. Prácticas de control de enfermedades comúnmente usadas en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	48
Figura 10. Plagas predominantes en el cultivo del café según la percepción de los productores evaluados, por tipo de manejo orgánico y convencional, en sistemas de producción ubicados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	49
Figura 11. Tipo de control de plagas más usado por los productores en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	50
Figura 12. Tipo de control de malezas más usado por los productores en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	51

Figura 13. Frecuencia de manejo de malezas en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	52
Figura 14. Tipo de malezas de más difícil control para los productores en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	53
Figura 15. Forma de transporte por el cual los productores evaluados envían su café al beneficio por tipo de producción orgánica y convencional, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	57
Figura 16. Actividades para dar valor agregado al café cosechado por tipo de producción orgánico y convencional evaluado dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	58
Figura 17. Forma en la cual se comercializa el café por productores orgánicos y convencionales estudiados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	59
Figura 18. Tipologías de manejo convencional de las fincas cafeteras evaluadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005	63
Figura 19. Tipos de manejo orgánico de las fincas cafeteras evaluadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	63
Figura 20. Registro de precipitación de las principales estaciones meteorológicas ubicadas dentro del sitio de estudio, las flechas indican las épocas en que se realizaron los muestreos.	78
Figura 21. Contenido de magnesio (meq 100 ml <sup>-1</sup> ) de los tratamientos evaluados en 30 fincas ubicadas dentro del Corredor Biológico Turrialba Jiménez, Costa Rica, 2005.	91
Figura 22. Promedios de biomasa microbiana en periodo seco (g CO kg <sup>-1</sup> suelo) en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	95
Figura 23. Promedios de biomasa microbiana en periodo lluvioso (g CO kg <sup>-1</sup> suelo) en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	96
Figura 24. Recuento se Lombrices en época seca (medias de individuos m <sup>-2</sup> ) en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	104
Figura 25. Recuento se Lombrices en época lluviosa (medias de individuos m <sup>-2</sup> ) en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	105
Figura 26. Análisis de componentes principales para las variables de calidad de suelos evaluadas y visualización de los tres grupos formados dentro del análisis de componentes principales dentro del estudio de sistemas agroforestales de café en el Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.	106

## **LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS**

APOT: Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba

CBTJ: Corredor Biológico Turrialba-Jiménez

DA: densidad aparente

fan: fanega, esta equivale a 46 Kg de café oro

ICAFFE: Instituto de Café de Costa Rica

IFOAM: International Federation of Organic Agriculture Movements

MJ: micro Julios

OIC: Organización Internacional del Café

ton: toneladas

# 1 INTRODUCCIÓN

La crisis que afronta el sector cafetero a nivel mundial, causada por la sobreoferta, las altas reservas de los países importadores y la baja en el precio internacional, repercute en forma negativa y directamente en los países productores generando disminución en la cantidad y calidad del producto. Organismos nacionales e internacionales plantean incentivos y sugieren alternativas a la crisis, una de estas estrategias es cambiar el sistema convencional de producción a orgánico, donde el sobreprecio pagado por los consumidores es atractivo para los productores. Este sobreprecio tiene como requisitos un producto de excelente calidad de taza y una producción bajo estándares de sostenibilidad que protejan al medio ambiente; con esta premisa se comercializa el producto, sin embargo existen pocos estudios en la zona que respalden esta protección al ambiente. Uno de los componentes de la sostenibilidad es la calidad del suelo, aspecto que se beneficia con el cambio del sistema de manejo. Con este estudio se pretende establecer qué tan sostenible es el manejo orgánico comparado con el convencional y si existe alguna diferencia dentro de los sistemas agroforestales de café evaluando indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelos dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez (CBTJ), en Costa Rica.

## 1.1 Objetivos del estudio

### 1.1.1 *Objetivo general*

Describir los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional y cuantificar el impacto sobre la calidad de suelos de sistemas agroforestales de café orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica.

### 1.1.2 *Objetivos específicos*

Caracterizar el manejo de los sistemas agroforestales en fincas de café orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez.

Comparar y cuantificar el impacto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional con respecto a indicadores de calidad de suelos físicos, químicos y biológicos.

## **1.2 Hipótesis del estudio**

Existen diferencias de manejo entre los sistemas agroforestales con café orgánico y convencional.

Existen diferencias entre los sistemas agroforestales orgánicos y convencionales en cuanto a sus indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelo.

## 2 MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1 Marco contextual

La crisis mundial de los precios del café tuvo muchas repercusiones en las fincas cafeteras. Según la Organización Internacional del Café (OIC) en la década de los años 80's el precio por libra de café en los mercados mundiales alcanzó un precio promedio de 120 centavos de dólar; desde el año de 1997 el café sufrió una caída vertiginosa llegando a obtener valores hasta de 45,59 centavos de dólar en el 2001 (OIC 2002) (Figura 1).

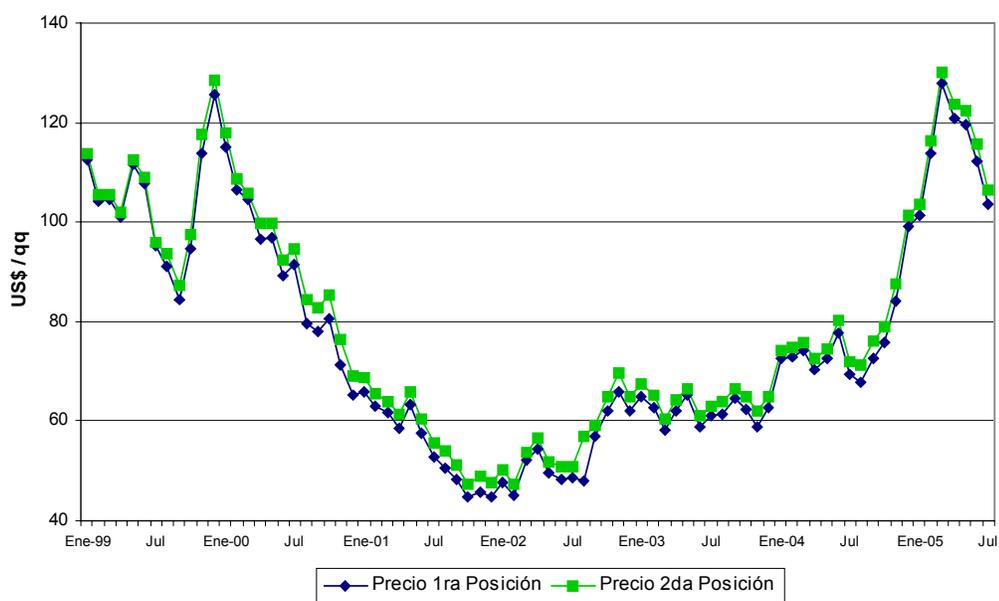


Figura 1. Comportamiento del precio internacional del café en la Bolsa de Nueva York. Periodo enero de 1999 a julio de 2005 (Fuente: ICAFE 2005a).

Entre los factores que incidieron en la caída de los precios está la sobre oferta, ya que durante cinco años consecutivos la producción excedió el consumo (Figura 2), esto debido a una mayor oferta por la expansión del cultivo en Vietnam y nuevas plantaciones en Brasil (OIC 2002, ICAFE<sup>1</sup> 2004).

<sup>1</sup> ICAFE: Instituto del Café de Costa Rica

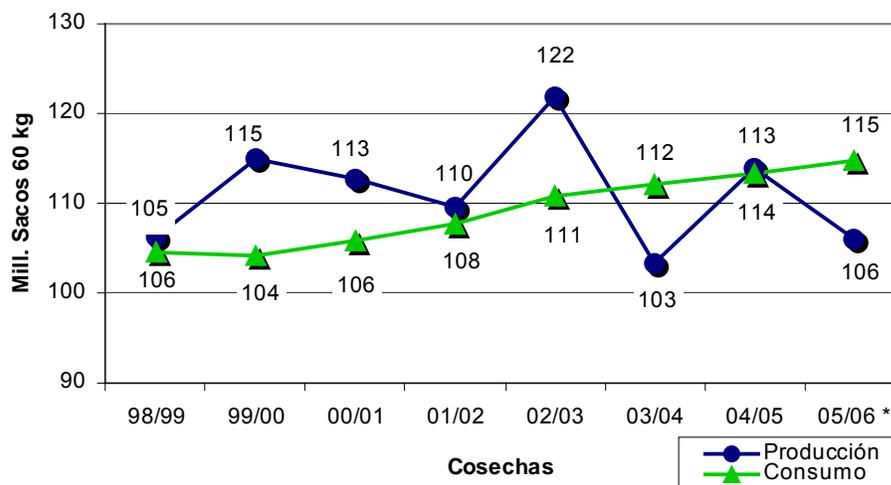


Figura 2. Producción y consumo mundial de café oro. Años 1998-2005. Fuente: OIC y FOLicht's citado por ICAFE 2005.

Nota: \*Pronósticos de cosecha

Otro factor fundamental es que los países importadores cuentan con grandes existencias, 20 millones de sacos para el año 2003 (ICAFE 2004), lo que ha provocado dificultades en el equilibrio de la oferta y la demanda y la imposibilidad de los países productores en incidir en la fijación del precio internacional (Gómez 2002). Este cambio en el precio del café ha provocado un impacto negativo en los países productores, generando diversas repercusiones, entre las más comunes están: el desempleo, el cambio del uso del suelo por alternativas más rentables, el desplazamiento de productores a otras zonas del país y el detrimento en el manejo o el abandono del cultivo (OIC 2002).

Este manejo deficiente del cultivo se refleja directamente en la calidad del café, ya que en países donde los cafés arábigos suaves son la producción predominante, los costos de producción son más altos comparados con la producción de otros cafés, por lo tanto, el precio cubre los costos de producción generando un menor manejo del cultivo. Por ejemplo, una práctica tan frecuente como la colecta del café ya no se realiza en tres pases como es lo común, sino en uno sólo mezclando granos verdes, maduros y sobre maduros en una misma cosecha disminuyendo la calidad del producto (OIC 2002).

Este panorama ha hecho que la OIC y otras instituciones cafeteras de países productores se planteen diferentes alternativas, entre las más comunes se identifican (OIC 2002, ICAFE 2005a):

- Mejorar la calidad del café, premiando a los productores que cosechen café con estándares de calidad definidos.

- Incrementar mercados, mejorando el posicionamiento del café en mercados no explorados.
- Diversificar el cultivo del café introduciendo otros cultivos, para proporcionar al productor otras alternativas económicas.
- Producir cafés especiales, como los orgánicos, *Rainforest Alliance* o *Starbucks*, obteniendo un sobreprecio por implementar prácticas de manejo sostenibles con el ambiente las cuales son certificadas por organismos especializados.

Para el caso de Costa Rica, donde el café representa el 3,1 % de las exportaciones FOB<sup>2</sup> y genera una quinta parte del empleo en el sector agrícola, se ha observado una disminución en la producción en 1 millón de fanegas (46.000 ton de café oro) desde el año 1999 al 2004. El Instituto de Café de Costa Rica (ICAFE) ha impulsando alternativas como incrementar la participación del café en mercados especiales como los de Japón y Estados Unidos y las de los cafés con valor agregado como los orgánicos o con sello sostenible (ICAFE 2005a). Esta última alternativa ha atraído a muchos productores, por ejemplo, en la cosecha del periodo 2003–2004 se registró un diferencial en precio del 72,10 % entre café convencional y café orgánico, esto genera expectativa en los productores (ICAFE 2004).

A principios de los años noventas en Costa Rica la sobreproducción de café provocó un gran impacto ambiental por la contaminación de los ríos, reflejando el alto consumo de agua en el proceso del beneficio del café, el vertido de los residuos provenientes del beneficio en las fuentes de agua y el mal manejo de la cereza descompuesta. Esto estimuló una respuesta activa de la ciudadanía, de las instituciones educativas y del gobierno creando estudios de impacto ambiental, políticas, legislaciones de control y sistemas de producción más sostenibles que permitan aminorar el impacto de la producción cafetera (Boyce *et al.* 1994).

El café certificado como orgánico es producido en condiciones especiales donde la protección del medio ambiente es el pilar fundamental, los nichos de mercado se encuentran especialmente en Europa, Estados Unidos y Japón (OIC 2005a). Los consumidores a los cuales llegan los cafés especiales, son personas que tienen conciencia socio ambiental y desean que al comprar el producto, se obtenga un beneficio adicional a quien lo produce, estableciendo una relación consciente entre productores y consumidores (Esguerra 2001).

---

<sup>2</sup> FOB: (free on board) libres de cargas antes del embarque.

Sin embargo, se plantean las siguientes preguntas: ¿el sello orgánico o sostenible garantiza en realidad un mejoramiento del medio ambiente?, ¿garantiza el mantenimiento o preservación de la biodiversidad, la fertilidad del suelo y la pureza del agua?, ¿mejora la calidad química, física y biológica del suelo y el reciclaje de los recursos naturales?, ¿valora el conocimiento tradicional de los productores o simplemente es una pauta publicitaria, o una serie de medidas paliativas cuyo efecto no ha sido aún cuantificado? El presente estudio busca conocer el impacto que ha tenido sobre el suelo este sistema de manejo en comparación con el café convencional.

## **2.2 Marco teórico conceptual**

### **2.2.1 Producción convencional**

La agricultura en su afán de suplir de alimento a la creciente población mundial, ha incrementado sus rendimientos gracias a los avances científicos e innovaciones tecnológicas como: el uso de nuevas variedades, fertilizantes, riego y plaguicidas para el control de plagas y enfermedades. Esta nueva agricultura se basa en: labranza intensiva del suelo para crear condiciones propicias para las raíces de las plantas, monocultivos para obtener mayores rendimientos por hectárea, riego para estabilizar la estacionalidad de la producción, la aplicación de fertilizantes inorgánicos los cuales son rápidamente absorbidos por la planta, el control químico contra plagas y enfermedades y por último la manipulación genética de las plantas para obtener mejores cosechas y protección contra condiciones adversas de clima y plagas. Todas estas prácticas favorecen la productividad a corto plazo comprometiendo así la de largo plazo.

Los recursos suelo, agua y diversidad genética han sido sobreutilizados y los resultados no se han hecho esperar: suelos salinizados por el exceso de riego, compactación por exceso de labranza, pérdida de la capacidad de permeabilidad de los suelos e incremento de escorrentía, contaminación de los suelos y aguas por plaguicidas, reducción de la calidad estructural del suelo por pérdida de materia orgánica y pérdida de la fertilidad e incremento de la erosión así como erosión genética por el uso de monocultivos (Gliessman 2002).

El cultivo del café no fue la excepción, este tipo de producción a partir de la segunda guerra mundial cambio la forma de producción de un sistema agroforestal con bajo impacto en el ambiente, a una caficultura con alto impacto ambiental, donde se usaron variedades

mejoradas, con mayores demandas de agroquímicos, sembradas a mayor densidad y con menos uso o eliminación total de árboles de sombra.

La eliminación de la sombra generó varios impactos negativos entre los cuales se pueden mencionar una mayor erosión del suelo por la pérdida de cobertura de la hojarasca proveniente de los árboles de sombra (Uribe 1971, Gómez 1992), un menor aporte de nutrientes al café por la falta de descomposición de esta misma hojarasca (Heuvelink *et al.* 1985, Gómez 1992, Montenegro 2005), cambios en el microclima del cafetal (Jaramillo 1982), un incremento de plagas y enfermedades (Samayoa 1999, Haggard y Staver 2001, Monterrey *et al.* 2001), perturbación del hábitat de especies como aves, mamíferos, insectos, anfibios y reptiles (Rice 1996, Moguel y Toledo 1999), menor diversidad funcional (Perfecto y Vandermeer *in press*, Schroth *et al.* 2004), y una menor longevidad de la planta de café por sobreexplotación de la misma (Galloway y Beer 1997).

### **2.2.2 Concepto de sostenibilidad**

El concepto de sostenibilidad implica una producción a largo plazo sin causar mayores daños al medio ambiente o agotar los recursos naturales (Benzing 2001). Se dice que la agricultura es sostenible cuando es ecológicamente segura, económicamente viable, socialmente justa y culturalmente apropiada, donde el medio ambiente y los recursos naturales son la base de la actividad económica. La agricultura sostenible preserva la biodiversidad, conserva el suelo, el agua y la energía, valora el conocimiento local, minimiza los insumos externos que el productor necesita para cultivar haciéndolo más autosuficiente (FAO 1992 citado por Labrador y Altieri 2001).

### **2.2.3 Producción orgánica**

La agricultura orgánica es un sistema productivo que excluye el uso de fertilizantes, pesticidas sintéticos (Altieri 1999), hormonas y reguladores de crecimiento para la producción agrícola (Cuchman y Riquelme 2000). Según la *Internacional Federation of Organic Agriculture Movements*, IFOAM (2003), la producción orgánica es “*un sistema holístico, basado en una serie de procesos que resultan en un ecosistema sostenible, alimentos seguros, buena nutrición, bienestar animal y justicia social*”, esta definición comprende una serie de principios como; mantener e incrementar la fertilidad y la actividad biológica del suelo; mantener y fortalecer la biodiversidad natural mediante la protección de hábitat; promover el uso responsable y la conservación del agua; evitar la contaminación y el

desperdicio de los recursos renovables; reconocer la importancia de aprender y proteger el conocimiento local y los sistemas tradicionales de producción, entre otros.

En este tipo de agricultura las prácticas más comunes son la rotación de cultivos, el uso de rastrojos vegetales, abonos animales, asocio con leguminosas, abonos verdes, rocas minerales, y el control biológico de plagas y enfermedades. Estas prácticas incrementan la fertilidad del suelo y ayudan en el control de malezas, enfermedades y plagas dentro del cultivo (Altieri 1999).

Según Cenicafe (2005) define café orgánico como “*el café producido y procesado en un sistema sostenible (ambiental, técnico, social y económicamente viable), sin la utilización de químicos de síntesis*”. Hay que tener presente que la producción de café orgánico no es sinónimo de cultivo abandonado, sino que este responde a recomendaciones técnicas bajo una conciencia orgánica (Boyce 1994).

Hay una serie de condiciones que debe cumplir un caficultor con potencial para producir café con certificado orgánico: 1) no usar productos de síntesis química en el manejo de la finca; 2) establecer prácticas de conservación de los recursos naturales; 3) poseer bases conceptuales sobre la producción orgánica (producción y certificación) (Ospina y Farfán 2003), además de las que exija individualmente el organismo certificador.

En Costa Rica en la década de los ochenta se comenzaron los cultivos de café orgánico. Café Britt y el Consorcio de Cooperativas de Caficultores de Guanacaste y Montes de Oro en la década de los noventa fueron los pioneros en la exportación del grano hacia mercados europeos y norteamericanos. Actualmente Costa Rica produce 763 ton de café oro, el cual tiene un precio *Premium* de US\$ 44,1 por quintal de café oro (US\$ 0,96 kg<sup>-1</sup>), o sea un 72,10 % más que el café convencional, siendo una excelente alternativa para los cafeteros costarricenses (ICAFE 2004).

#### **2.2.4 Estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales**

Se han realizado estudios comparativos entre agricultura orgánica y convencional donde se aprecian ventajas y desventajas de ambas producciones, en aspectos como diversidad, calidad de suelos, manejo fitosanitario, y aspectos socioeconómicos, entre otros (Cuadros 1 a 4).

Cuadro 1. Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos de diversidad.

Aspecto	Resultados	Autor
Diversidad de flora y fauna a escala de paisaje.	Tiende a incrementarse con un manejo orgánico.	Mansvelt <i>et al.</i> (1998)
Microorganismos de suelo	Hay diferencia en estructura de las comunidades de <i>Eubacteria</i> , Actinomicetes, oxidantes de amonio y <i>Archaea</i> entre orgánicos y convencionales	Kuffner <i>et al.</i> (2004)
	Alta cantidad y diversidad de microorganismos y fauna del suelo fueron observados en sistemas orgánicos de café.	Ricci <i>et al.</i> (2000)
Hongos del suelo	Mayor abundancia y diversidad en cultivos con manejo orgánico.	Tapia <i>et al.</i> (2005)
	El total de hongos y bacterias cultivables fueron más abundantes en suelos con manejo orgánico que con manejo convencional.	Bulluck III <i>et al.</i> (2002)
	<i>Penicillium</i> y <i>Gliocladium roseum</i> fueron más abundantes en fincas orgánicas, mientras <i>Trichoderma</i> fue más abundante en convencionales.	Elmholt y Labouriau (2005)
	Mayor abundancia de hongos en fincas orgánicas.	Shannon <i>et al.</i> (2002)
Actinomicetes	Mayor diversidad en orgánico que en convencional.	Drinkwater <i>et al.</i> (1995)
Insectos	Mayor abundancia de familias y morfoespecies en fincas orgánicas.	Ibarra-Nuñez <i>et al.</i> (1995)
Diversidad funcional (Polinizadores, predadores y parasitoides)	Mayor en sistemas orgánicos.	Pimentel <i>et al.</i> (2005), Drinkwater <i>et al.</i> (1995)

*Cuadro 2. Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos de calidad de suelos.*

<b>Aspecto</b>	<b>Resultados</b>	<b>Autor</b>
Manejo	Los abonos orgánicos y la rotación de cultivos mejoran la calidad del suelo.	Schjønning <i>et al.</i> (2002)
Espacio poroso	Mayor en producciones orgánicas.	Schjønning <i>et al.</i> (2002)
Densidad aparente	Menor en producciones orgánicas.	Bulluck III <i>et al.</i> (2002)
pH	Mayor en fincas orgánicas.	Reganold (1988), Drinkwater <i>et al.</i> (1995), Riffaldi <i>et al.</i> (2003), Theodoro <i>et al.</i> (2003), Soto <i>et al.</i> (2005)
Capacidad de intercambio catiónico	Mayor en fincas orgánicas.	Reganold (1988), Bulluck III <i>et al.</i> (2002), Theodoro <i>et al.</i> (2003)
Potasio extraíble	Mayor en fincas orgánicas.	Reganold (1988), Bulluck III <i>et al.</i> (2002), Theodoro <i>et al.</i> (2003), Soto <i>et al.</i> (2005)
	Mayor contenido de Potasio disponible en fincas convencionales debido a los periodos de rotación.	Scullion <i>et al.</i> (2002)

Cuadro 2 (Continuación). Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos de calidad de suelos.

Aspecto	Resultados	Autor
Fósforo y calcio	Mayores en fincas orgánicas.	Bulluck III <i>et al.</i> (2002), Theodoro <i>et al.</i> (2003), Soto <i>et al.</i> (2005)
	Mayor contenido en fósforo disponible en fincas convencionales debido a los periodos de rotación.	Scullion <i>et al.</i> (2002)
Magnesio	Bajos contenidos en fincas orgánicas.	Soto <i>et al.</i> (2005)
	Altos en fincas orgánicas.	Bulluck III <i>et al.</i> (2002)
Manganeso	Altos en fincas orgánicas.	Bulluck III <i>et al.</i> (2002)
Aluminio	Decreció en fincas orgánicas.	Theodoro <i>et al.</i> (2003)
Potencial de mineralización	Mayor en producciones orgánicas.	Drinkwater <i>et al.</i> (1995)
Nitrógeno inorgánico	Mayor en fincas convencionales.	Drinkwater <i>et al.</i> (1995)
Nitrógeno total	Mayor en fincas orgánicas.	Reganold (1988), Pimentel <i>et al.</i> (2005)
Lixiviación del N	Menor pérdida de N en praderas y cultivos de fincas orgánicas.	Stopes <i>et al.</i> (2002)
Carbono total	Menor en fincas orgánicas.	Bulluck III <i>et al.</i> (2002), Riffaldi <i>et al.</i> (2003)
Materia orgánica	Mayor en fincas orgánicas.	Reganold (1988), Bulluck III <i>et al.</i> (2002), Pimentel <i>et al.</i> (2005)
Actividad microbiana	Mayor en fincas orgánicas.	Drinkwater <i>et al.</i> (1995)
Contenido de polisacáridos	Mayor en fincas orgánicas.	Reganold (1988)
Niveles de enzimas	Mayor en fincas orgánicas.	Reganold (1988)

Cuadro 2 (Continuación). Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos de calidad de suelos.

Aspecto	Resultados	Autor
Biomasa microbiana	Es alta en cultivos orgánicos.	Reganold (1988), Drinkwater <i>et al.</i> (1995), Schjønning <i>et al.</i> (2002)
	La biomasa microbiana expresada en carbono y nitrógeno así como los rangos de la fracción fina y total en suelos con sistemas orgánicos son más altos que los sistemas convencionales.	Fließbach y Mäder (2002)
	Mayor biomasa en producciones convencionales con rotación de cultivos.	Scullion <i>et al.</i> (2002)
Lombrices	Mayores poblaciones en producciones orgánicas y estas varían con el manejo dado al cultivo, pudiendo encontrarse mayores poblaciones en determinadas rotaciones en sistemas convencionales.	Scullion <i>et al.</i> (2002)
Contenido de agua en el suelo	Mayor en fincas orgánicas.	Reganold (1988)
Conductividad eléctrica	Mayor en fincas orgánicas.	Drinkwater <i>et al.</i> (1995)

Cuadro 3. Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos de manejo fitosanitario del cultivo.

Aspecto	Resultados	Autor
Enfermedades	Menor incidencia de necrosis en tomate en fincas orgánicas. Mayor incidencia de <i>Pseudocercospora herpotrichoides</i> en fincas orgánicas. Mayor incidencia de <i>Fusarium</i> spp. en fincas convencionales	Jończyk y Solarska (2004)
	Menor incidencia de <i>C. coffeicola</i> , <i>Colletotrichum</i> sp. y <i>Phoma costarricensis</i> en café.	Samayoa (1999)
	Mayor incidencia de enfermedades en producciones convencionales	Drinkwater <i>et al.</i> (1995)
	En fincas con manejo orgánico las densidades de propágulos de <i>Phytophthora</i> y <i>Pythium</i> fueron menores.	Bulluck III <i>et al.</i> (2002)
Malezas	El número total de especies de malezas fue mayor en cultivos orgánicos. Las especies susceptibles a herbicidas como <i>Chenopodium album</i> fueron más abundante en producciones orgánicas que en convencionales.	Hyvönen <i>et al.</i> (2003)

Cuadro 4. Resultados de algunos estudios comparativos de producciones orgánicas y convencionales en aspectos socioeconómicos.

<b>Aspecto:</b> <b>socioeconómico</b>	<b>Resultados</b>	<b>Autor</b>
Producción	Menor producción dentro de los cultivos orgánicos.	Campos <i>et al.</i> (2000), De Melo <i>et al.</i> (2004)
	La producción orgánica de café puede alcanzar hasta un 23 % menos de producción que la convencional.	Lyngbæk <i>et al.</i> (1999)
	En condiciones ambientales extremas las fincas con manejo orgánico tienen mayor producción.	Altieri (1999), Lotter <i>et al.</i> (2003), Pimentel <i>et al.</i> (2005)
	Se plantea que la producción de café orgánico certificado puede ser una estrategia para la crisis que afecta el sector pero esta certificación debe ir unida a un cambio en la producción y en la calidad para que sea realmente una solución a la crisis.	Kilian <i>et al.</i> (2005)
	Luego de 12 años de producción orgánica esta no difiere de la convencional en cuanto a patrones de uso de suelo, producción del cultivo, estabilidad de la producción, riesgo e incertidumbre y seguridad alimentaria y plantea que lo más importante para la implementación de una producción orgánica es que haya un diferencial en precio.	Rasul y Thapa (2004)
	Los costos de producción son levemente mayores en fincas orgánicas que en convencionales	Sosa <i>et al.</i> (2004)
Producción	Rotaciones de cultivos de cereales es más rentable para cultivos orgánicos que convencionales.	Delate <i>et al.</i> (2003)
Mano de obra	Mayor en convencionales.	Altieri (1999)
Calidad de taza	El café orgánico posee carbohidratos (azúcares reductores, polisacáridos) y minerales en mayor proporción, que permiten obtener mayor cantidad de sólidos solubles y aromas que el café convencional.	Macías y Riaño (2002)

Según Ching (2002), la amplia variabilidad en el manejo dentro de la producción orgánica y convencional, dificulta la replicabilidad y el análisis de la información. Por lo tanto, cuando se realizan estudios comparativos entre producciones orgánicas y convencionales, se debe tener en cuenta que si estos estudios se realizan en fincas de productores, no tendrán la replicabilidad propia de un experimento científico, ya que cada uno de los historiales de uso del suelo, niveles de persistencia de pesticidas, vegetación circundante y el manejo son diferentes para cada finca (Drinkwater et al. 1995).

Sin embargo, el trabajo hecho en fincas de productores tiene un valor agregado por que involucra el conocimiento local del productor, este conocimiento esta influenciado por factores socioeconómicos, culturales y educativos, y se refleja en las decisiones de manejo que él toma. Aunque este aspecto hace más difícil el análisis dentro del estudio, estas son las condiciones reales a las cuales se ven enfrentados los productores e investigadores en campo, esta realidad provee información sobre si la estrategia de producir orgánicamente esta logrando en campo, los mismos resultados propuestos en la teoría mediante la validación y adopción de las tecnologías propuestas por parte de los investigadores.

## ***2.2.5 Tipificación de sistemas de producción cafeteros dados por estructura arbórea y tipo de manejo***

### **2.2.5.1 Tipificación de cafetales por estructura arbórea**

Los sistemas de producción de café en Latinoamérica tienen diversas composiciones estructurales, diferentes niveles y tipos de manejo, para el caso de Colombia las estructuras que se manejan son: el sombrío tradicional, donde los árboles para sombra son especies de árboles frutales, árboles para leña, árboles leguminosos y la densidad de siembra del café es menor; el sombrío diverso, donde se encuentran de dos a cuatro especies arbóreas sembradas con el café a distancias determinadas; y estructura simple o sombra plantada donde se emplea una sola especie arbórea (Cenicafe 2005a).

En el caso de México, Fuentes–Flores (1979) y Nolasco (1985) citados por Moguel y Toledo (1999), consideran cinco estructuras arbóreas en los cafetales:

- Tradicional o rústico: el café esta sembrado bajo el dosel del bosque con poca intervención.
- Policultivo tradicional está bajo sombrío de especies de uso medicinal, materiales de construcción y especies alimenticias (conocido como “jardín de café”);

- Policultivo comercial donde la sombra es dada por árboles no nativos, las especies más usadas son leguminosas y árboles para madera en el estrato superior y banano, cítricos y otros cultivos en el estrato intermedio;
- Monocultivo con sombra, la sombra es suministrada por una sola especie arbórea en este caso en especial por leguminosas como por ejemplo Inga.
- Monocultivo pleno sol, donde no existe cobertura arbórea.

En Costa Rica, en el área de Acosta-Puristal, Lagemann y Heuveldop (1983) citado por Beer (1989) encontraron cafetales asociados a árboles frutales (*Mangifera indica*, *Persea americana* y *Citrus* sp.), leguminosas (*Diphysa robinoides* e *Inga* sp.), y la especie maderable *Cedrela odorata*, en general, las especies más usadas para sombra son las ingas o guabas (*Inga* sp.) y el poró (*Erythrina poeppigiana*) (ICAFE 1998).

En cuanto a los tipos de producción orgánica, Benjamín (2004) estudió la diversidad dentro de cafetales orgánicos de la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT) donde encontró que los cafetales tienen de tres a cuatro estratos donde el primer dosel lo conforma el café, el segundo dosel está compuesto por musáceas (bananos, plátanos o guineos), arbustos o árboles para postes, como tercer dosel se encuentran frutales y maderables en crecimiento y como cuarto dosel maderables maduros con alturas superiores a 30m. En promedio Benjamín (2004) encontró 17 especies de árboles presentes en cafetales orgánicos en Turrialba, con un rango que varía entre 5 a 33 especies de árboles.

#### **2.2.5.2 Tipificación de cafetales por tipo de manejo**

Según Galloway y Beer (1997), en Costa Rica se tienen tres sistemas de manejo:

- El tradicional que corresponde al 10 % de los cafetales del país con densidades bajas (1400 a 1580 planta ha<sup>-1</sup>), trazo irregular, variedades de porte alto Bourbon, Híbrido, Mundo Novo o Típica. El manejo poco intensivo (escaso manejo técnico, exceso de sombra), niveles bajos de fertilización, poco uso de productos químicos.
- El 50 % de los cafetales tienen manejo semitecnificado con variedades de porte bajo como Catuai y Caturra, siembra de más de 4.260 plantas ha<sup>-1</sup>, sombra regulada o plena exposición, trazo uniforme, mayor grado de control sanitario y uso de fertilizantes, pero menos intensivo que en el caso de las fincas tecnificadas.

- Manejo tecnificado corresponde al 40 % de las producciones donde se usa variedades de porte bajo como Catuai y Caturra, generalmente a plena exposición, densidades de siembra de 5.700 plantas ha<sup>-1</sup>, trazo en curvas a nivel cuando es necesario, eficiente control sanitario, uso intensivo de fertilizantes (500 a 1.000kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), y control químico de malezas.

En Turrialba, Llanderal y Somarriba (1999) encontraron cuatro tipos de fincas cafeteras: cafetales de baja diversidad y manejo intensivo; cafetales diversificados y con manejo intensivo; cafetales diversificados con manejo intermedio y cafetales con manejo deficiente, estas tipologías se asociaron directamente con las condiciones socioeconómicas de los productores. Espinoza (1983) citado por Beer (1989), determinó que la diversidad del dosel decrece a medida que se incrementa el tamaño de la finca y la intensidad del manejo del cafetal.

El CATIE, con la colaboración de otras instituciones, está conduciendo el Ensayo de Sistemas Agroforestales con Café (estudio de largo plazo de relaciones agroecológicas en Turrialba, Costa Rica y Masatepe Nicaragua), en dicho experimento se está comprobando diferentes tipos y niveles de manejo (convencionales y orgánicos), se viene trabajando dos niveles de manejo orgánico (Intensivo y Bajo) (De Melo *et al.* 2005).

- Orgánico intensivo: 2 abonadas con gallinaza (10 ton ha<sup>-1</sup>), 1 abonada con KMAG (100 kg ha<sup>-1</sup>), 3 aplicaciones foliares de biofermentos con minerales, 4 chapias (selectiva en calle y baja en carril), 2 arrancadas de zacates, el control de enfermedades se realiza según la incidencia, 2 regulaciones fuertes de sombra y 2 leves en el año.
- Orgánico bajo: 1 abonada con gallinaza (7 ton ha<sup>-1</sup>), no se hacen prácticas para manejo de enfermedades, se realizan dos regulaciones de sombra fuertes y 2 regulaciones leves.

### **2.2.6 Concepto de calidad y salud del suelo**

El concepto de calidad de suelos ha variado a través del tiempo incorporando cada vez más aspectos. En 1987 la Sociedad de la Ciencia del Suelo de Estados Unidos (SSSA por sus siglas en inglés) definió calidad de suelos como: “*los atributos inherentes de los suelos que son inferidos desde las características del suelo o de observaciones indirectas (por ejemplo compactibilidad, erodabilidad y fertilidad)*”, en 1989 Power y Myers la definieron como “*la habilidad de un suelo para soportar el crecimiento de un cultivo incluyendo factores*

como grado de pendiente, agregación, contenido de materia orgánica, profundidad del suelo, capacidad de retención, tasa de infiltración, cambios de pH, contenido de nutrientes, entre otros” (Doran et al. 1994).

Luego, en 1991, Madison definió calidad de suelo como “*la capacidad de un suelo para funcionar de una manera sostenible mientras mantiene o mejora el recurso base, el ambiente y la salud de plantas, animales y hombres*”. Larson y Pierce en ese mismo año ampliaron la visión hacia el ecosistema definiendo calidad de suelo como “*la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema e interactuar positivamente con el ambiente externo al ecosistema*”. En 1992 Parr y colaboradores definieron la calidad de suelos desde el punto del consumidor final, como, “*la capacidad de un suelo para producir cultivos saludables y nutritivos de una manera sostenible por un largo tiempo y realzar la salud humana y animal sin dañar el recurso natural base o el ambiente*” (Doran et al. 1994).

En 1994 Doran y colaboradores determinaron que para definir calidad de suelos se deben tener en cuenta tres características: primera el suelo debe ser un medio para promover el crecimiento de plantas y animales (incluyendo humanos), regulando el flujo de agua en el ambiente; segunda el suelo debe ser un regulador ambiental que asimila y degrada componentes ambientalmente peligrosos; y tercera debe ser un factor que promueva la salud de las plantas y animales (incluyendo humanos) (Doran et al. 1994).

La definición de calidad de suelos propuesta por Doran et al. (1994) cita “*la capacidad de un suelo para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de las plantas y de los animales dentro de los límites del ecosistema*”.

Otro concepto ligado a la calidad del suelo es la salud, según Neienham y Winding (2002) y USDA (2004), la salud del suelo es la capacidad continua de un suelo para funcionar como un ecosistema vital dentro sus límites de uso, para sostener la productividad biológica, promoviendo la calidad del aire y ambientes acuáticos y manteniendo la salud de las plantas, animales y humanos.

Teniendo en cuenta estas definiciones, cuantificar la calidad y/o salud de un suelo se dificulta ya que existen múltiples indicadores físicos, químicos y biológicos que controlan procesos biogeoquímicos y que además varían en tiempo, espacio e intensidad (Doran et al. 1994). Para medir la calidad y/o salud de una manera que sea precisa aunque la medición de estos procesos no es posible hacerla de manera directa, se pueden usar propiedades específicas del suelo a las que se le denominan indicadores los cuales medidos en conjunto darán una idea más cercana de cómo se encuentra el suelo.

### **2.2.7 Calidad de suelos en fincas orgánicas y convencionales**

La calidad de suelos se ve influenciada directamente por el manejo (Henríquez *et al.* 2004). Cualquier práctica que se realice al suelo ya sea positiva o negativa hace que la actividad microbiana se vea afectada y por ende la calidad del suelo. (Ovreas y Torsvik (1998) citado por Schloter *et al.* 2003, Zamora *et al.* 2004, Herrera *et al.* 2004).

Varios estudios respaldan que un suelo bajo condiciones de manejo orgánico posee mejores características que uno bajo manejo convencional, en un estudio realizado por Theodoro *et al.* (2003a) encontraron que bajo manejo orgánico los suelos tienen un pH mayor, los valores de Ca, Mg, K, P, Zn y B son mayores, lo mismo que la CIC y la suma de bases, así como una disminución del aluminio intercambiable. Liebig y Doran (1999) encontraron que el carbono orgánico y el N total fue alto en fincas orgánicas comparadas con fincas convencionales, el mismo comportamiento se reflejo en la biomasa microbiana de C y N.

Adicionalmente Bending *et al.* (2004), encontraron que en producciones orgánicas existen altos contenidos de ATP (Trifosfato de adenosina), igualmente se incrementa el contenido de agua, polisacáridos, niveles de enzimas (fosfatasa ácida, proteasa y deshidrogenada) y biomasa microbiana. Hay baja ruptura de nódulos y la estructura del suelo es más granular y de consistencia más friable (Reganold 1988, Per Schjønning *et al.* 2002, Marinari *et al.* 2005).

Dentro de las producciones orgánicas se encuentra mayor abundancia y diversidad de microorganismos<sup>3</sup>, de predadores, de parasitoides<sup>4</sup> y crece mayor diversidad de malezas (Hyvönen *et al.* 2003), por esta razón la agricultura orgánica es un sustituto de indicador de biodiversidad (Büchs 2003). En contraste producciones convencionales a través de los años pueden cambiar las características de los suelos como; el grosor del horizonte superficial, la densidad aparente, la resistencia a la penetración, la tasa de infiltración y el grado de desarrollo estructural (Ávila *et al.* 2004), en este tipo de producción se encuentra una mayor incidencia de plagas y enfermedades (Workneh *et al.* 1993, Jończy y Solarska 2004).

Estas diferencias en calidad de suelos bajo estos dos tipos de manejo puede hacerse más evidentes cuando los cultivos requieren altos insumos como maíz o tomate, pero no en cultivos que requieren bajos insumos como trigo o cebada (Parisi *et al.* 2005). Sin embargo no siempre se da que el manejo orgánico es bueno para la calidad del suelo, por ejemplo, se

---

<sup>3</sup> (Bulluck III *et al.* 2002, Kuffner *et al.* 2004, Elmholt y Labouriau 2005)

<sup>4</sup> (Drinkwater *et al.* 1995, Schloter *et al.* 2003)

pueden encontrar desordenes nutricionales en plantaciones de café orgánico causadas por el uso excesivo de productos a base de cobre para el manejo de enfermedades. (Theodoro *et al.* 2003).

En general el uso de enmiendas orgánicas ya sea en producciones orgánicas o convencionales induce a cambios en la dinámica del nitrógeno, disminuye la acidez del suelo, mantiene el predominio de la capacidad de intercambio catiónico y mejora la actividad microbiana (Bulluck III *et al.* 2002, Hernández *et al.* 2004).

Fraser y colaboradores (1988) plantearon que las diferencias encontradas en propiedades biológicas de los suelos bajo manejo orgánico y convencional no fue directamente resultado de la aplicación de fertilizantes y pesticidas en si, aparentemente, resultaron del incremento en la disponibilidad de sustrato y mejores condiciones ambientales dadas con la adición de estiércoles o crecimiento de un cultivo en particular. Esto refuerza que el uso de abonos orgánicos incrementa la calidad del suelo independientemente del manejo que se le este brindando al cultivo.

### **2.2.8 Calidad de suelos bajo sistemas agroforestales**

Dentro de los sistemas agroforestales el componente arbóreo influye en variables físicas, biológicas, ambientales, las del sistema y las químicas, entre de las variables físicas están; densidad, porosidad, humedad y compactación<sup>5</sup>; entre variables biológicas las lombrices e invertebrados; entre las variables ambientales están la regulación del microclima del cultivo que evita el desecamiento y sobrecalentamiento del suelo; entre las variables del sistema están la producción, la calidad y la cantidad de la hojarasca (Schroth *et al.* 2001, Lavelle *et al.* 2003) y entre variables químicas está el incremento de la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, y la disponibilidad de N, P y K por la adición de hojarasca, raíces y tallos (Sadeghian *et al.* 1998) que a la vez afecta las variables microbianas incrementando la población de hongos que son los encargados de descomponer estos residuos (Julca-Otiniano *et al.* 2002).

En su gran mayoría las producciones de café se encuentran en zonas de ladera por lo tanto el manejo y la conservación de suelos debe ser lo más eficiente posible, una de las prácticas más comunes para ello es la siembra de árboles de sombrío. Los árboles de sombrío producen abundante hojarasca que protege al suelo del impacto de la lluvia y favorece la entrada del agua a través del perfil, disminuyendo el agua de escorrentía y por

---

<sup>5</sup> (Cardona y Sadeghian 2004)

ende la erosión (Gómez 1992). Un ejemplo de esto es lo encontrado por Uribe (1971) donde en café al sol desyerbado con azadón, la pérdida por erosión del suelo es de  $4.882 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras que en café con sombrío es de  $2.170 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

La cobertura arbórea puede proveer al sistema agroforestal de 5 a 20 toneladas de hojarasca y ramas dependiendo de la especie usada (Heuveldop *et al.* 1985). Según Guharay *et al.* (2001), la hojarasca es la base de nutrientes y energía de los organismos del suelo, afirma que la sombra protege a los microorganismos de altas temperaturas y cambios bruscos en humedad. Se ha encontrado que los sistemas agroforestales tienen mayor cantidad de hongos micorrícicos arbusculares comparados con sistemas de café en monocultivo, además de que su alta incidencia puede cambiar la dinámica del ciclo del fósforo en el suelo haciendo más disponible este nutriente para las plantas (Cardoso *et al.* 2003).

En cuanto a la dinámica de nutrientes en sistemas agroforestales Montenegro (2005) encontró que para el caso de *Erythrina poeppigiana* sembrada a una densidad de 500 árboles por hectárea y dos podas al año puede aportar al sistema  $12417 \text{ kg ha}^{-1}$  de biomasa (hojas y ramas) que contribuyen con  $286,19 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $183,87 \text{ kg ha}^{-1}$  de K,  $122,03 \text{ kg ha}^{-1}$  de Ca,  $42,80 \text{ kg ha}^{-1}$  de Mg, y  $24,35 \text{ kg ha}^{-1}$  de P.

El manejo de la poda influye directamente en el uso de estos nutrientes por el sistema, con la poda total del poró, se pueden alcanzar tasas de lixiviación en ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) 5,79 de N; 0,66 de P; 1,81 de K; 27,97 de Ca y 17,81 de Mg (Imbach *et al.* 1989). Además cuando el café se cultiva bajo sombra disminuye el requerimiento de fertilizantes (Gómez 1992) y reduce el potencial de pérdida de elementos dentro del sistema facilitando el ciclaje de nutrientes (Babear y Zak 1994). En Turrialba los sistemas agroforestales más predominantes dentro del paisaje cafetero son con especies de *Erythrina* y *Cordia*, normalmente las podas para *Erythrina* se realizan en los meses de agosto, diciembre y junio donde se colecta el 95 % de material vegetal y en el caso de *Cordia* éste bota las hojas desde enero hasta junio donde se colecta el 74 % del material vegetal, estos sistemas proveen la cantidad de nutrientes reciclados que proporcionan el nivel de fertilización que el café requiere para la producción (Glover y Beer 1986).

### **2.2.9 Índices de calidad de suelos**

Paralelo al desarrollo de metodologías para medir indicadores de calidad de suelos se han venido proponiendo índices para comparar suelos e identificar el de mejor calidad; sin

embargo, el índice que se puede sacar a partir de un trabajo de investigación es limitado a una determinada área y situación en particular (Gil-Sotres *et al.* 2005). A partir de 1985 la ISO<sup>6</sup> está desarrollando metodologías para monitorear la calidad del suelo, con el fin de estandarizar los métodos a nivel mundial para que los resultados de los estudios sean comparables entre países (Hortensius y Welling 1997, Nortcliff 2002).

Existen diversas metodologías para determinar índices de calidad, entre las más comunes se encuentran el análisis de componentes principales, la regresión múltiple, la regresión lineal y no lineal (Andrews *et al.* 2002). Además se realizan modelos de simulación por medio de Sistemas de información Geográfica (SIG) formando diagramas donde la calidad del suelo se puede ver reflejada a escala de paisaje (Hoosbeek y Bouma 1998). Wagenet y Hutson (1997) opinan que los futuros estudios de calidad de suelos se deberían realizar por periodos de tiempo más largos, evaluando otras condiciones como; labranza mínima, aplicación de abonos, y políticas de conservación con el fin de generar mayor información.

### **2.3 Marco conceptual metodológico**

Un indicador es un parámetro que se usa para medir, un indicador de calidad de suelos es *“una característica que permite definir el estado de las propiedades físicas, químicas y biológicas que hacen que un suelo sea apto o no para determinadas labores”* (Trejo *et al.* 1999). Algunas de las condiciones que deben cumplir los indicadores según Masera *et al.* (1999) son:

- Ser integradores
- Ser fáciles de medir, basados en información objetiva y fácil de reconocer
- Ser adecuados al nivel de análisis y del sistema estudiado
- Ser preferentemente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones
- Reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar
- Ser sencillos de entender
- Permitir cambios y diferencias entre sistemas
- Centrarse en aspectos prácticos y claros.

---

<sup>6</sup> ISO: (International Standards Organization) Organización Internacional de Normalización

Además de las características anteriores dentro de los atributos seleccionados como indicadores de calidad de suelos se encuentran que (Ramírez 2004):

- Deben ser sensibles a los cambios que sufre el suelo tanto en los procesos de degradación, como en los procesos de recuperación
- Debe haber una alta correlación con los procesos del ecosistema
- Integrar procesos físicos, químicos, y biológicos del suelo
- Deben ser relativamente fáciles de medir bajo condiciones de campo tanto por productores como por especialistas.

Teniendo en cuenta que el suelo es un ecosistema y que no solamente un factor determina su calidad y al haber interacción entre varios factores, no es posible que un sólo indicador provea una información completa, por lo tanto, nos basamos en indicadores físicos, químicos, biológicos, productivos y sociales para determinar la calidad y/o salud del suelo (Doran *et al.* 1994, Ramírez 2004).

Cuando se buscan los mejores indicadores para medir la calidad y/o salud del suelo, se encuentra que hay indicadores que tienen las acciones del hombre como punto de partida. Storie (1970) trabajó la calidad del suelo desde el punto de vista de las características para la clasificación y evaluación del terreno (Cuadro 5).

*Cuadro 5. Propiedades del suelo y del terreno como indicadores de calidad. (Storie 1970).*

<b>Grupo de propiedades</b>	<b>Propiedad individual</b>
I. Condiciones de la superficie	1. Posición fisiográfica, formación del suelo
	2. Pendiente del terreno
	3. Microrrelieve
	4. Erosión: depósito
	5. Drenaje externo; escurrimiento
II. Condiciones físicas del suelo	6. Color del suelo
	7. Profundidad del suelo
	8. Densidad del suelo; porosidad
	9. Permeabilidad del suelo
	10. Textura del suelo
	11. Pedregosidad

Cuadro 5 (continuación). Propiedades del suelo y del terreno como indicadores de calidad. (Storie 1970).

Grupo de propiedades	Propiedad individual
II. Condiciones físicas del suelo	12. Estructura del suelo
	13. Capacidad de labranza del suelo; consistencia
	14. Drenaje interno
	15. Capacidad de retención de agua
	16. Agua aprovechable por la planta
III. Condiciones químicas del suelo	17. Materia orgánica
	18. Nitrógeno
	19. Reacción, pH
	20. Carbonato de calcio, bases
	21. Capacidad de intercambio de bases
	22. Sales, Cl, SO <sub>4</sub> , Na
	23. Otras condiciones tóxicas; boro
	24. Fósforo asimilable
	25. Potasio asimilable
	26. Elementos menores: cinc, hierro
IV. Condiciones mineralógicas	27. Nivel de fertilidad
V. Clima	28. Composición mineralógica
	29. Precipitación pluvial
	30. Temperatura, temporada de desarrollo
VI. Cubierta vegetativa	31. Vientos
VII. Productividad de la tierra	32. Vegetación natural
	Dependiente de las propiedades enumeradas

Actualmente aunque la calidad del suelo se sigue midiendo con indicadores físicos y químicos, se está promoviendo el uso de indicadores biológicos (Bending *et al.* 2004), estos por su sensibilidad propia de los organismos vivos proveen información sobre el entorno en

el que se desarrollan. Así mismo, la presencia, ausencia y/o cantidad de estos organismos los convierte en un buen indicador para determinar la calidad de suelos.

Dentro de este tipo de indicadores biológicos están los que miden indirectamente la presencia de organismos o microorganismos como es la biomasa microbiana (Cuadro 6), o directamente la presencia de organismos vivos como el caso de lombrices, nemátodos o colémbolos. Aunque estos indicadores son muy completos y generan gran cantidad de información, existen problemas como la falta de estudios a nivel taxonómico que permitan identificar hasta el nivel de especie los microorganismos como actinomicetes, hongos y bacterias llegando solamente a nivel de grupos funcionales (Ramírez 2004).

Cuadro 6. Listado de indicadores microbiológicos para el monitoreo de la salud del suelo.

Parámetros	Indicador microbiológico	Métodos para el uso	Métodos futuros
Biodiversidad	Diversidad genética	PCR <sup>7</sup> -DGGE <sup>8</sup>	T- RFLP <sup>9</sup>
	Diversidad funcional	BIOLOG <sup>TM10</sup>	Patrones enzimáticos, diversidad de mRNA, oligo-/coplotrophs
	Marcadores de lípidos	PLFA <sup>11</sup>	
Ciclo del C	Respiración del suelo	Producción de CO <sub>2</sub> -o consumo de O <sub>2</sub>	
	Cociente metabólico	C <sub>resp</sub> /C <sub>biomasa</sub>	
	Descomposición de materia orgánica		Trozos de madera
	Actividad enzimática del suelo	Análisis enzimático	
	Oxidación del metano	Medición de metano	
	Metanotrofos	MPN <sup>12</sup> , PLFA	FISH <sup>13</sup>
Ciclo del N	Mineralización de N	Acumulación de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	Nitrificación	Análisis de oxidación de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	Desnitrificación	Análisis de inhibición de acetileno	
	Fijación de N: Rhizobium	Prueba en maceta	Métodos moleculares
	Fijación de N: Cianobacterias	MPN actividad de nitrogenasa	

<sup>7</sup> PCR: Reacción en cadena de la polimerasa.

<sup>8</sup> DGGE: (Denaturing gradient gel electrophoresis) variante de electroforesis en gel.

<sup>9</sup> T-RFLP: (Terminal restriction fragment length polymorphism) método que combina las técnicas de PCR y RFLP para identificar microorganismos presentes en una comunidad bacteriana.

<sup>10</sup> BIOLOG<sup>TM</sup>: Sistema que mide el metabolismo celular por medio de la degradación de compuestos de carbono colocados en un microplato, el microorganismo a analizar forma una "huella dactilar" por medio del patrón alimenticio dado en el microplato.

<sup>11</sup> PLFA: (Phospholipid fatty acid analysis)

<sup>12</sup> MPN:(most probable number)

<sup>13</sup> FISH:(Fluorescent in situ hybridization)

Cuadro 6 (continuación). Listado de indicadores microbiológicos para el monitoreo de la salud del suelo.

Parámetros	Indicador microbiológico	Métodos para el uso	Métodos futuros
Biomasa microbiana	Biomasa microbiana: métodos directos	Microscopio, PLFA	
	Biomasa microbiana: métodos indirectos	CFI <sup>14</sup> , CFE <sup>15</sup> , SIR <sup>16</sup>	
	Cociente microbial	$C_{\text{micro}}/C_{\text{org}}$	
	Hongos	PLFA, Ergosterol	
	Relación hongos-bacterias	PLFA	
	Protozoos	MPN	MPN-PCR
Actividad microbial	Síntesis de DNA bacterial	Incorporación de Thymidina	
	Síntesis de proteína bacterial	Incorporación de Leucina	
	Medición de RNA		RT-PCR <sup>17</sup> , FISH
	Crecimiento fisiológico comunitario	Producción de CO <sub>2</sub> o consumo de O <sub>2</sub>	
	Bacteriófagos		Análisis en placa de hospederos específicos
Especies clave	Micorrizas	Microscopio Prueba en maceta	Métodos moleculares
	Patógenos humanos	Planteo selectivo	Métodos moleculares/inmunológicos
	Suelos supresivos	Prueba en maceta	

<sup>14</sup> CFI: Cloroform-fumigation incubation technique

<sup>15</sup> CFE: Chloroform fumigation and extraction

<sup>16</sup> SIR: Substrate induced respiration

<sup>17</sup> Reverse transcription polymerase chain reaction

Cuadro 6 (continuación). Listado de indicadores microbiológicos para el monitoreo de la salud del suelo.

Parámetros	Indicador microbiológico	Métodos para el uso	Métodos futuros
Bio disponibilidad	Bacterias biosensoras	Remedios <sup>TM</sup> , Microtox <sup>®</sup>	Nuevas construcciones genéticas
	Bacterias que contienen al plásmido	Electroforesis en gel	
	Bacterias resistentes a antibióticos	Crecimiento selectivo	Métodos moleculares
	Incidencia y expresión de genes catabólicos	Crecimiento selectivo	Actividad, Métodos moleculares, Medida de RNA

Fuente: Líneas guía para la selección de indicadores microbiales, sacado de Neindam y Winding 2002.

### 2.3.1.1 Materia orgánica

La materia orgánica es uno de los indicadores de calidad de suelos más usados en el mundo ya que influye directamente en la agregación del suelo, la estructura, la friabilidad, la capacidad de retención de humedad, regulación del aire, conservación de nutrientes, existen varias metodologías para medir la calidad de la materia orgánica en sus diferentes componentes entre esos tenemos la macro materia orgánica, la fracción liviana, la biomasa microbiana y el C- mineralizable (Carter 2002, Castillo y Amésquita 2004).

#### 2.3.1.1.1 Fraccionamiento de materia orgánica

La materia orgánica está dividida en dos grandes componentes: 1) la fase viva formada por macro y microorganismos y raíces vivas de plantas; 2) La fase no viviente, formada por residuos o compuestos en proceso de descomposición y el componente húmico. La macromateria orgánica está sujeta a la actividad biológica asociada a los macroagregados del suelo mientras el componente húmico está más o menos estabilizado en el sistema, con poca actividad biológica, pero con importantes repercusiones químicas y físicas sobre el sistema (Theng *et al.* 1986 citado por Meléndez 2004).

Según el tiempo de descomposición la materia orgánica se divide en tres fracciones: activa, lenta y pasiva con tasas de reciclaje de <1 año, 5–25 años y 1.000 años, respectivamente. La fracción activa cuenta alrededor de 5–10 %, la lenta de 20–40 %, y la pasiva de 40–70 % de la materia orgánica total del suelo (Duxbury *et al.* 1989, Parton *et al.* 1987). La materia orgánica varía con el manejo del sistema de cultivo es mejor usar como indicadores las fracciones en las que se encuentra dividida (Lozano *et al.* 2004).

#### **2.3.1.1.2 Biomasa microbiana**

La biomasa microbiana representa la fracción activa de la materia orgánica del suelo responsable del ciclaje de nutrientes y energía, así como de la regulación de la transformación de la materia orgánica. Numerosos estudios han reportado una estrecha relación entre la biomasa microbiana, la tasa de descomposición y mineralización del nitrógeno y el incremento en la productividad del cultivo; lo que indica que existe una correlación positiva, es decir a mayor biomasa microbiana mayor tasa de descomposición y mayor producción de granos (Neiendam y Winding 2002). La biomasa microbiana constituye una de las fracciones de materia orgánica que es medible biológicamente y sensible al manejo (Kushwaha *et al.* 2000), a la polución presente en el medio (Powlson 1994 citado por Schloter *et al.* 2003) y a cambios en las condiciones ambientales (Schloter *et al.* 2003).

#### **2.3.1.2 Riqueza de especies**

La medición de la riqueza y diversidad microbiana ha sido tomada como medida de salud del suelo en programas de monitoreo, ya que los microorganismos son sensibles a cualquier cambio en el suelo (Brohon *et al.* 2001, Dacal *et al.* 2002, Crecchio *et al.* 2004). Una de las prácticas más comunes como es la adición de materia orgánica a los suelos aporta diversidad funcional proporcionando al suelo microorganismos antagónicos a los microorganismos patógenos (Degens 1998, Sadeghian *et al.* 2004).

La relación entre salud del suelo y biodiversidad no está completamente comprendida, pero un suelo altamente diverso es considerado generalmente como saludable. La diversidad genética de los microorganismos del suelo es un indicador del recurso genético donde se tiene en cuenta la abundancia y equidad de las especies (Neiendam y Winding 2002).

Dentro del ecosistema suelo, los hongos y las bacterias son los grupos más importantes, ya que contribuyen al flujo de energía, la transferencia y mineralización de nutrientes como son el P, Mn, Fe, Zn, Cu y la fijación simbiótica de N, promoviendo el

crecimiento de las plantas. Otras funciones son; el control biológico de enfermedades, plagas y malezas, así como la biodegradación de pesticidas sintéticos o contaminantes, incremento a la tolerancia a la sequía y mejora en la agregación de los suelos. (Richards 1987 citado por Schloter *et al.* 2003, Mawangji *et al.* 2004).

### **2.3.1.3 Recuento de lombrices**

La macrofauna del suelo es una parte integral de cada sistema y su abundancia y diversidad ha sido sugerida como un indicador de estatus funcional. Dentro de esta macrofauna existen especies denominadas ingenieros del ecosistema, que por medio de su manera de vivir, reconstruyen el hábitat y crean nuevos hábitats para especies que son más pequeñas como las lombrices (Tabu *et al.* 2004).

Las lombrices ayudan a mejorar las características físicas del suelo incrementando la porosidad, la aireación, la conductividad hidráulica, proveyendo así una mayor estabilidad estructural. A nivel químico ayudan a la dinámica de la materia orgánica y a la liberación de nutrientes (Jiménez *et al.* 2003). A nivel microbiológico incrementan la actividad microbial y estimulan el crecimiento vegetal.

Además, las lombrices son sensibles a la estructura del suelo, la compactación, la labranza, la presencia de metales pesados y de residuos de pesticidas, por lo cual son utilizadas como indicadores de calidad del suelo (Buchs 2003, Tabu *et al.* 2004). La abundancia de lombrices dentro del perfil del suelo esta determinada por los contenidos de materia orgánica, textura, profundidad, pH, precipitación, temperatura, residuos de cultivo, sistemas de labranza, predación y parasitismo (Jiménez *et al.* 2003). Las poblaciones varían en el espacio y en el tiempo y pudiendo cambiar según sea la disponibilidad de nutrientes, condiciones del ambiente y las especies vegetales involucradas (USDA 1999).

### **3 ARTÍCULO 1. Comparación de sistemas de manejo en fincas de café orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba- Jiménez, Costa Rica**

Porras Vanegas, CM. 2006. Comparación de sistemas de manejo en fincas de café orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba- Jiménez, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE.

#### **3.1 RESUMEN**

El presente estudio se realizó en 27 fincas cafeteras ubicadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, donde se estudiaron comparativamente los sistemas de producción orgánico y convencional considerando la producción orgánica como una alternativa a la crisis que atraviesa el sector cafetero. Las fincas orgánicas comparadas con las convencionales son de menor tamaño, tienen una producción más diversificada y poseen plantaciones más jóvenes. El manejo de las producciones convencionales es más intensivo en la poda del cafeto, la fertilización y el control de plagas y enfermedades que en las producciones orgánicas. La preparación del almácigo, la deshija, las labores de conservación de suelos, el manejo de malezas, el manejo de los árboles de sombra, época de cosecha y capacitación no presentan diferencias entre estos dos tipos de producción. Los productores orgánicos llevan su café a los beneficios usando transporte propio y los productores convencionales pagan a los beneficios para que lo recojan. El sobre precio dado a los productores orgánicos es del 38 %. El tipo de manejo de la producción convencional que predominó fue el semitecnificado 66,7 % de las fincas evaluadas. Este tipo de manejo está caracterizado por densidades de siembra altas, sembradas con un trazo uniforme. Se realizan prácticas de resiembra, poda de cafetos, deshija, regulación de los árboles de sombra, fertilización y control de plagas, enfermedades y malezas de una manera menos intensa que la de un manejo tecnificado. El manejo de los cafetales orgánicos en el 75 % de los casos es tradicional que incluyó bajas densidades de siembra, siembra con trazo irregular, las prácticas de manejo como la resiembra, las podas sanitarias, la deshija y la regulación de los árboles de sombra se hace de forma esporádica. Se usa niveles bajos de fertilización, no se hace manejo de plagas ni enfermedades y el control de malezas se hace con chapias. Este manejo se refleja en producciones bajas 6,59 fan ha<sup>-1</sup> (303 kg café oro año<sup>-1</sup>) comparadas con las convencionales 22,04 fan ha<sup>-1</sup> (1.014 kg café oro año<sup>-1</sup>). Este limitado manejo por parte de los productores orgánicos revela problemas en la adopción de

tecnologías dadas por factores sociales, económicos, educativos, culturales y crea cuestionamientos acerca del rol de la producción orgánica con manejo limitado como una alternativa a la crisis que atraviesa el sector cafetero.

**Palabras clave:** sistemas agroforestales, *Coffea arabica*, tipologías, rendimientos.

#### Abstract

To evaluate organic coffee production as a way out of the crisis experienced in the coffee sector, this study compared conventional and organic production systems on twenty-seven coffee farms, located within the Turrialba-Jiménez Biological Corridor. Compared to conventional farms, organic ones are smaller in size, have a more diversified production and contain younger coffee plants. In conventional production, pruning, fertilization, and control of diseases and pests is done more intensely than on organic farms. No differences were observed in seedling production, pruning of primary branches, soil conservation efforts, weed and shade tree management, and harvest and training times between conventional and organic farms. Organic farmers transported their coffee to processing plants themselves, while conventional farmers paid processors to pick their coffee up. A 38% surcharge is paid to organic farmers. The dominant management type in conventional production was semi-technical, observed for 66.7% of evaluated farms. This type of management is characterized by high density planting in uniform rows. Replanting, pruning of major branches, shade tree regulation, fertilization, and pest, disease and weed management are done less intensely than in technical production. In 75% of organic farms, management is traditional, characterized by low planting densities, irregular rows, and sporadic management practices, such as re-planting, sanitary pruning, pruning of primary branches and shade-tree management. Low levels of fertilizer are used, no disease or pest control is practiced, and weeds are cut back with machetes. This management is reflected in low yields of 6.59 fan ha<sup>-1</sup> (303 kg gold coffee year<sup>-1</sup>) compared to yields on conventional farms of 22,04 fan ha<sup>-1</sup> (1.014 kg gold coffee year<sup>-1</sup>). The limited management on the part of organic farmers reveals problems in the adoption of new technologies, due to social, economic, educational and cultural factors, which put in doubt the role organic production can have to counter the crisis in the coffee sector.

**Key words:** agroforestry systems, *Coffea arabica*, topologies, yields.

## 3.2 INTRODUCCIÓN

La crisis por la cual atraviesa últimamente el cultivo del café debido a la sobreoferta mundial y a los bajos precios, hace que los agricultores se incentiven a producir de forma orgánica como una alternativa viable para participar en mercados de café especiales, donde puedan encontrar mejores precios (OIC 2002, ICAFE 2005a).

La agricultura orgánica tiene un trasfondo sociológico donde se desea vivir en armonía con la naturaleza, producir alimentos sanos y económicamente sostenibles. Para muchos este sistema de producción es sólo una ideología (Trewavas 2001), para otros es un estilo de vida o una alternativa de producción que generará mejores dividendos (Kilian *et al.* 2005).

Desde los inicios de la agricultura orgánica se han generado una serie de investigaciones a nivel nacional e internacional donde se compararan las producciones orgánicas y convencionales evaluando: el ambiente (Pimentel *et al.* 2005), la biodiversidad (Pacini *et al.* 2003, Hole *et al.* 2005), el manejo (Ospina y Farfán 2003), los suelos (Bulluck III *et al.* 2002, Teodoro *et al.* 2003, Dorner y Németh 2004), la producción (Kilian *et al.* 2005), y el componente socioeconómico (Muñoz y Moreno 2001, Rasul y Thapa 2004, Pimentel *et al.* 2005, Kilian *et al.* 2005).

Investigaciones que comparan productividad muestran en algunos casos, una mayor producción bajo el sistema orgánico (Bulluck III *et al.* 2002) y otras muestran producciones similares en orgánico y convencional (Rasul y Thapa 2004). Estas investigaciones fueron hechas en condiciones de manejo controladas, en campos experimentales o en fincas de productores bajo un estricto manejo establecido por el investigador, lo que podría generar incertidumbre sobre las verdaderas ventajas y desventajas de la agricultura orgánica comparada con la convencional.

Cuando la investigación se realiza en las condiciones reales en las que se encuentra este tipo de agriculturas, el análisis se dificulta por la alta variabilidad en el manejo de cada finca, sin embargo, la investigación en fincas brinda información sobre las decisiones de manejo que están tomando los productores bajo las condiciones ambientales de la zona.

En la zona del Corredor Turrialba-Jiménez en Costa Rica se ha incentivado desde algunos años el cultivo de café orgánico como alternativa a la crisis cafetera, el objetivo de esta investigación es identificar las diferencias en el manejo del cultivo convencional y

orgánico dentro del corredor y comprobar si la producción de café orgánico puede ser una solución ambiental y económicamente sostenible para los agricultores de la zona.

### **3.2.1 Objetivo**

Realizar un diagnóstico comparativo de los sistemas de manejo orgánico y convencional en sistemas agroforestales de café dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez.

### **3.2.2 Hipótesis**

Existen diferencias de manejo en los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez.

## **3.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.3.1 Localización del área de estudio**

El presente estudio se llevó a cabo en el Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, el cual tiene como propósito reestablecer y mantener la conectividad biológica entre las áreas silvestres protegidas como son el Parque Nacional Volcán Turrialba, Monumento Nacional Guayabo, Zona Protectora de la Cuenca del Río Tuis y la Reserva Privada de Vida Silvestre La Marta (Canet 2003).

El Corredor esta ubicado en la provincia de Cartago, en los cantones de Turrialba y Jiménez. El corredor posee una altura mínima de 339 msnm en el distrito de Peralta (Turrialba) hasta los 3.340 msnm en el Volcán Turrialba. Comprende un área aproximada de 72.082,77 ha con siete zonas de vida y tres transiciones en cuatro pisos altitudinales, las zonas de vida predominantes son bosque húmedo tropical premontano, bosque pluvial tropical premontano y bosque muy húmedo tropical montano bajo con porcentajes del 53,26 %, 21,69 % y 5,31 % respectivamente (Canet 2003).

Dentro del corredor se tienen diversos usos de suelo entre los más frecuentes están: el bosque, con un área aproximada de 28.847,24 ha que representa un 40 % del Corredor; pastos con 17.337,893 ha (24,04 %) y café con 10.178,46 ha (14,11 %) (Florian 2005).

Las condiciones ambientales imperantes en la zona son: temperatura promedio de 21,8 °C, precipitación promedio mensual de 224,4 mm, humedad relativa promedio de 88,1

%, evapotranspiración potencial (Penman) de 83 mm, una radiación solar de 16,8 MJ m<sup>-2</sup>, brillo solar de 4,5 horas, la velocidad del viento promedio es de 0,81 m s<sup>-1</sup> (ICE 2005).

Las fincas evaluadas estuvieron dentro de un rango altitudinal entre 617 msnm hasta 1.207 msnm y desde la coordenada 1086700–1091600 Sur –Norte y 559760–538000 Este–Oeste en Coordenadas Mapa Proyección Costa Rica Transverse Mercator (Figura 3) dentro del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez.

No se posee un mapa de suelos detallado para la zona del corredor biológico aún así para este estudio se tomó el mapa de suelos generales de Costa Rica. Sin embargo en un estudio realizado por ICAFE-CIA (2001) se hizo un primer avance en la clasificación de suelos del Cantón de Turrialba encontrándose la presencia de Andisoles, Ultisoles e Inceptisoles (Cuadro 7).

*Cuadro 7. Clasificación de suelos de los distritos incluidos en este estudio en el cantón de Turrialba según el ICAFE (ICAFE–CIA 2001).*

Lugar	Clasificación
San Juan del Sur	Humic Hapludults
Tres Equis	Typic Hapludults
Pacuare	Typic Dystrudepts
Santa Teresita	Andic Dystrudepts
Valle de Tuis	Typic Dystrudepts
Pavones	Fluventic Eutrudepts

### **3.3.2 Selección de los sitios de estudio**

Se visitaron 198 fincas ubicadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez (Figura 3) (88 fincas orgánicas pertenecientes a miembros de la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba-APOT, y 110 fincas convencionales de la base de datos de ICAFE). A cada productor se le realizó una entrevista donde se tomaron datos de ubicación como: distrito, comunidad y dirección, además el área de la finca dedicada al cultivo del café. Por medio de un GPS (Garmin 12XL) se determinaron las coordenadas en latitud, longitud y altura (msnm). La pendiente del terreno fue medida utilizando un clinómetro. Se estimó visualmente las diferentes estratificaciones en altura de los elementos de vegetación que componen el sistema agroforestal y su homogeneidad en distribución espacial de estas especies en la finca.

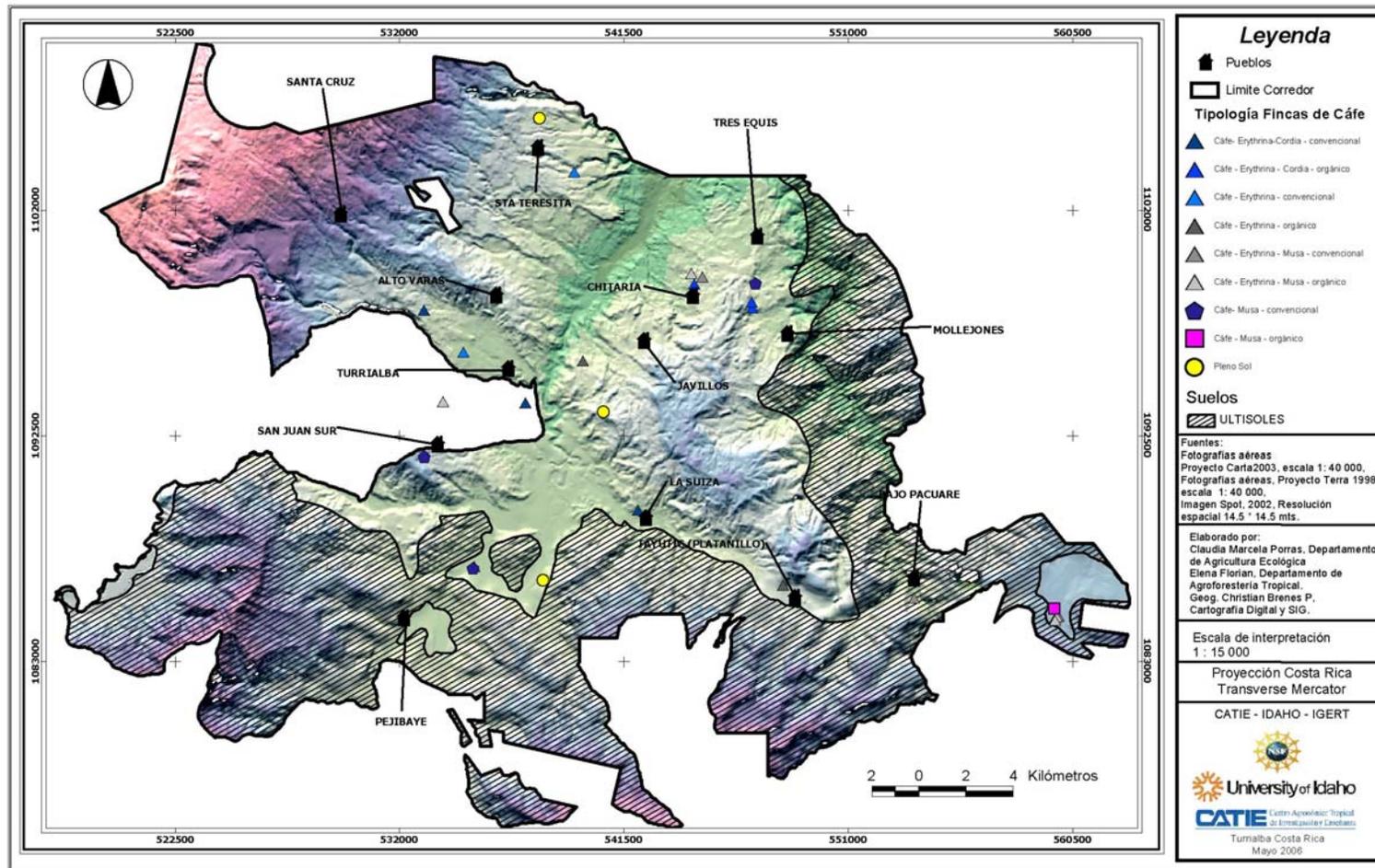


Figura 3. Distribución espacial de las fincas evaluadas por elementos de vegetación que componen el sistema y tipo de manejo orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Se realizó un análisis de frecuencia de las fincas observando los elementos de vegetación que componen el sistema junto con el tipo de manejo orgánico y convencional y se encontraron 14 tipologías predominantes. De las cuales se escogieron las combinaciones Café- *Erythrina poeppigiana*, Café-*Erythrina poeppigiana-Cordia alliodora*, Café-*Erythrina poeppigiana-Musa* sp, Café-*Musa* sp con los dos tipos de manejo orgánico y convencional, y café a pleno sol con manejo convencional, debido a que fueron las de mayor frecuencia (Cuadro 8).

Cuadro 8. Frecuencia de tipologías de sistemas agroforestales de café encontradas en la muestra tomada del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica, 2005.

Tipología	No. de estratos arbóreos	Frecuencia de Orgánico	Frecuencia de Convencional
Café	1	0/198	6/198
Café-Cordia	2	0/198	6/198
Café-Erythrina	2	8/198	37/198
Café-Erythrina, Musa	2	16/198	9/198
Café-Musa	2	4/198	6/198
Café-Erythrina-Cordia	3	7/198	25/198
Café-Erythrina, Musa-Cordia	3	4/198	6/198
Café-Musa-Erythrina	3	7/198	0/198

Las fincas con tipologías predominantes fueron ubicadas dentro del mapa del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez y se sobrepuso la capa del mapa general de suelos de Costa Rica, esto con el objetivo de reducir la variabilidad en los datos. Se identifico los Inceptisoles y Ultisoles como los tipos de suelo presentes en el corredor. Las fincas seleccionadas fueron las ubicadas en los suelos Inceptisoles ya que es el tipo de suelo predominante en la zona.

Con base en el tipo de elementos de vegetación que componen el sistema y el tipo de manejo (orgánico y convencional) se escogieron 12 fincas orgánicas y 12 fincas convencionales bajo sistemas agroforestales, las especies dominantes son *Erythrina poeppigiana*, *Musa* sp. y *Cordia alliodora*. Además de las fincas convencionales bajo sistema agroforestal se incluyeron tres fincas con sistema convencional a pleno sol.

Los criterios de selección tanto para fincas orgánicas como para convencionales en cuanto a los elementos de vegetación fueron: homogeneidad espacial de los árboles de sombra, homogeneidad en clima y relieve; en cuanto al manejo, se seleccionaron las fincas con mínimo 3 años con certificación orgánica.

En total se trabajó con 12 fincas orgánicas de las 183 fincas certificadas por APOT que se encuentran dentro del corredor (Marín 2006) y con 15 fincas convencionales de las 4.361 fincas de las zonas de Turrialba, Jiménez y Paraíso presentes dentro del corredor (ICAFFE 2006).

### **3.3.3 Caracterización de las fincas**

Se realizó una encuesta a los 27 productores seleccionados acerca del manejo del cafetal y aspectos socioeconómicos, para diseño de la encuesta se recopiló información de fuentes secundarias como ICAFFE y APOT.

#### **3.3.3.1 Información de fuentes secundarias**

Se recopilaron datos de producción, rendimiento, número de productores, número de beneficios, certificaciones de café presentes en la región, variedades sembradas, problemas sanitarios que actualmente afectan al café y en general parámetros de manejo asociados al cultivo del café en el ICAFFE Regional Turrialba para el café convencional y con APOT para los productores orgánicos.

#### **3.3.3.2 Información de fuentes primarias**

La encuesta incluye variables de tipo biofísico como: distrito, comunidad, área, altura, ubicación; de tipo social: participación en asociaciones de productores, capacitación o asistencia técnica; de tipo tecnológico: variedades de café, fertilización, control de plagas, enfermedades y malezas, labores de conservación de suelos, manejo de árboles de cobertura; y de tipo económico: producción, calidad y sobreprecio, precio de venta y beneficio al cual vende (Anexo 1).

### **3.3.4 Análisis de la información**

Con el objeto de comparar los diferentes tipos de manejo orgánico y convencional de los sistemas de café evaluados, se realizó el análisis de la encuesta bajo un marco de tipologías de manejo. Considerando que las tipologías encontradas en la literatura no representan adecuadamente la realidad de la zona de estudio se procedió a elaborar una

matriz (Cuadro 16) utilizando información de Galloway y Beer (1997), del estudio comparativo de sistemas agroforestales de café de De Melo *et al.* (2005), De Melo (2006) Comunicación Personal, el plan de manejo de finca de Chávez (2006), y los datos de campo de este estudio. Los criterios utilizados para las tipologías fueron la densidad de siembra, el trazado, la resiembra, las podas, la deshija, los niveles de fertilización, el manejo de plagas, enfermedades y malezas, el manejo de sombra, y el rendimiento. Para la clasificación final de las fincas los criterios anteriormente mencionados fueron analizados bajo puntuaciones (Anexo 2).

### **3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.4.1 Información del sistema de producción**

El área de producción de café por finca estuvo en un rango entre 0,16 ha a 182 ha; el 70 % de las fincas encuestadas tienen un tamaño menor de 40 ha. Las fincas convencionales tienen en promedio un área de producción de 56,7 ha y las orgánicas de 5 ha. Según ICAFE (2005) el 50 % de los productores el Cantón de Turrialba tienen fincas entre 0 y 10 ha, lo que indica que la producción orgánica de café es practicada por pequeños productores.

El 66 % de las fincas evaluadas tiene producción agrícola y pecuaria, mientras que el 44 % se dedican solo al cultivo de café. El 85,4 % de las fincas orgánicas tienen producciones pecuarias como cría de gallinas, cerdos, vacas y cabras asociadas a la producción de café y el 16,6 % se dedican exclusivamente al cultivo de café. En cuanto a las fincas convencionales el 94% de las fincas se dedican únicamente a la producción del café.

Esto concuerda con lo reportado por Mansvelt *et al.* (1998) en zonas templadas, donde los estudios realizados a escala de paisaje indican que las fincas con manejo orgánico son más diversas en tipos de uso del suelo, cultivos, producciones pecuarias y forestales comparado con las fincas con manejo convencional.

#### **3.4.2 Variedades cultivadas**

La variedad de café que más predomina en las fincas orgánicas y convencionales evaluadas es la Caturra, esta variedad se puede encontrar como única variedad sembrada y de manera combinada con Catimor, Arábica, Híbrido, Catuaí Amarillo, Costa Rica 95, Robusta, Caturrón y Catuaí Rojo. La segunda variedad en importancia es el Catuaí rojo

(Cuadro 9). Lo que concuerda con lo encontrado por ICAFE (2005) donde en Turrialba el 80 % de los cafetales están sembradas con las variedades Caturra y Catuaí Rojo y el 20 % restante esta cultivada por catimores y otras variedades.

*Cuadro 9. Frecuencia (%) de las variedades de café encontradas en las fincas evaluadas por tipo de producción, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>Variedad</b>	<b>Convencional (%)</b>	<b>Orgánico (%)</b>	<b>Total (%)</b>
Caturra	7,4	22,2	29,6
Catuaí rojo	3,7	7,4	11,1
Caturra combinado con otras variedades	44,4	14,8	59,3

Nota: Elaborado con datos de campo.

Los resultados muestran que las fincas convencionales son más diversas que las fincas orgánicas en lo que respecta a combinaciones de variedades de café en sus fincas, los productores convencionales siempre tratan de innovar dentro de sus parcelas de producción con variedades que tengan alguna característica que aventaje a las existentes, sin embargo los productores orgánicos tiene preferencia por el caturra por su alta productividad y adaptabilidad a la condiciones de la zona.

La edad de los cafetales estudiados estuvo dentro del rango de 5 a 60 años, el promedio de edad de los cafetales convencionales fue de 23 años, mientras que el promedio de las producciones orgánicas fue de 16 años, con una diferencia media de 7 años entre la edad promedio de los cafetales convencionales y orgánicos.

El 53 % de productores convencionales y el 25 % de los productores orgánicos siembran con una densidad de 1 m entre plantas y 2 m entre calles, las demás densidades se encuentran en un rango que va desde 1.333 (2,5 m x 3 m) hasta 13.520 (0,86 m x 0,86 m) plantas por hectárea.

### **3.4.3 Labores culturales asociadas al cultivo del café**

Dentro de las labores que realizan los productores orgánicos y convencionales se encuentran la preparación de almacigo, la resiembra de plantas, la poda sanitaria, la poda total, la deshija, la fertilización, las labores de conservación de suelos, el manejo de plagas, enfermedades y malezas y el arreglo de sombra.

### **3.4.3.1 Almacigo y resiembra**

En las fincas evaluadas sólo el 26,7 % de las fincas convencionales y el 8,3 % de las fincas orgánicas tienen almacigo propio que preparan normalmente entre los meses de enero a marzo, esto por que el ICAFE promueve la preparación de semilleros para resembrar el café que por no ser productivo se ha retirado o por algún problema fitosanitario no ha crecido. El Cantón de Turrialba cuenta con seis contratistas que preparan y venden el almacigo con una producción de alrededor de 140.000 plantas al año de la variedad caturra (ICAFE 2004).

El 73,3 % de las fincas convencionales y el 41,6 % de las fincas orgánicas realizan resiembra entre los meses de marzo y julio, esta práctica contribuye a la renovación de la plantación lo que posteriormente se ve reflejado en la producción.

### **3.4.3.2 Poda del cafeto**

Existe una relación positiva entre la poda del cafeto y la productividad, ya que fisiológicamente las yemas florales se forman en los crecimientos del año anterior, el fruto se desarrolla durante un año y donde ya floreció no vuelven a salir yemas florales por eso, se debe estar renovando el tejido continuamente. Existen dos tipos de poda, la poda total y la sanitaria. La poda total se usa para renovar los cafetales que poseen baja productividad mientras que las podas sanitarias realizadas para retirar las partes enfermas de la planta y además dar arquitectura al cafeto, permitiendo la entrada de luz y aire regulando así el microclima de la plantación previniendo enfermedades. Estos tipos de poda se pueden realizar por lotes o por planta (ICAFE 1998).

El 33,3 % de las fincas convencionales y el 25% de las fincas orgánicas realizan poda total como técnica de renovación del cafetal (Figura 4). El 100 % de los productores convencionales y el 66,7 % de los productores orgánicos realizan podas sanitarias (Figura 5). La época más común para realizar las podas es al terminar la cosecha; este periodo se extiende desde el mes de diciembre hasta el mes de junio dependiendo de la finca.

Los productores convencionales evaluados realizan poda sistemática por lotes como una práctica generalizada. Los productores orgánicos son más discretos en la poda realizándola por planta, ya que según ellos una poda por lote estaría perjudicando longevidad de la plantación.

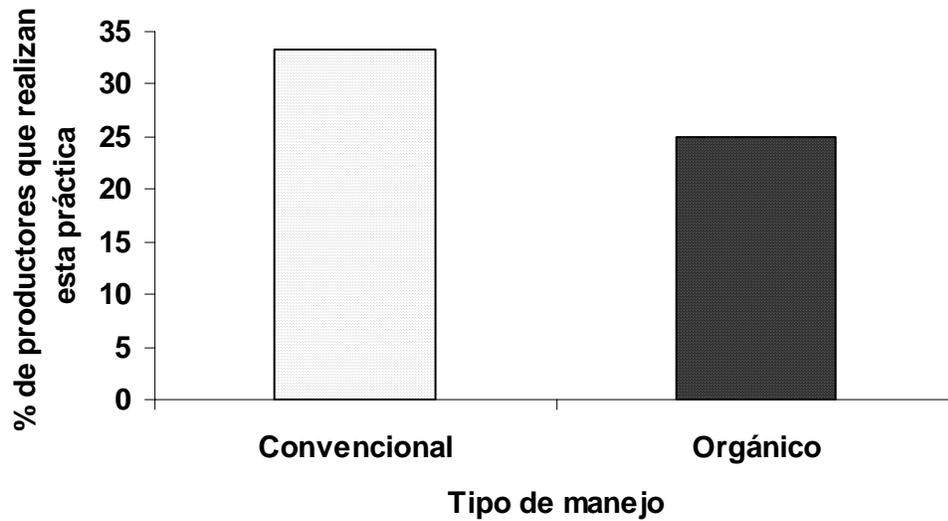


Figura 4. Frecuencia (%) del tipo de poda total practicada a los cafetos evaluados por tipo de manejo orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

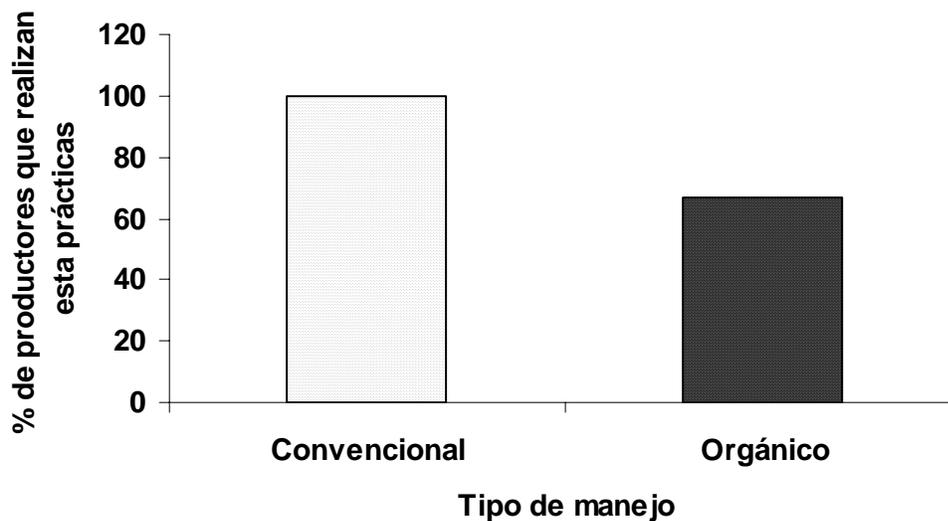


Figura 5. Frecuencia (%) del tipo de poda sanitaria practicada a los cafetos evaluados por tipo de manejo orgánico y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

### 3.4.3.3 Deshija

La deshija es un tipo de poda en la cual se escogen los brotes más vigorosos para formar la arquitectura de la planta eliminando los restantes (ICAFE 1998). El 93,3 % de los productores convencionales y el 75 % de los orgánicos realizan deshija. La deshija por lo general se hace en los meses de marzo, mayo, junio, otros lo hacen en ciclos de 4 meses o

durante todo el año. El número más común tanto para producciones orgánicas como convencionales es dejar 3 hijos por planta (Figura 6).

Lo recomendable para la zona de Turrialba, donde no se tiene más de cuatro meses de estación seca, es tener como máximo 3 hijos por planta ya que con más hijos se incrementan los niveles de humedad dentro de la planta y como resultado la planta esta más susceptible al ataque de plagas y enfermedades (ICAFE 1998).

Se evidencia la deficiencia en manejo dentro de las producciones orgánicas comparada con las convencionales, ya que sólo el 3.7 % de los convencionales no deshija, comparado con el 25 % de los productores orgánicos que no lo hacen. Por otro lado la mayoría de los orgánicos hacen deshijas esporádicas.

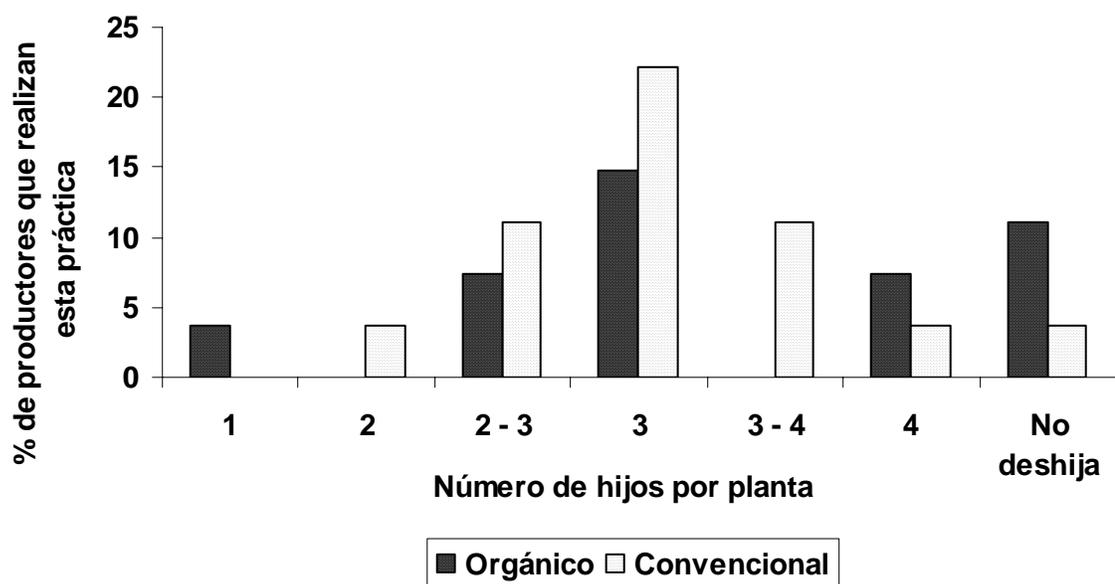


Figura 6. Número de hijos por planta que quedan después de la deshija en cafetales evaluados por tipo de manejo orgánico y convencional ubicados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

#### 3.4.3.4 Fertilización

Para tener una buena producción de café se necesita que el cafetal se fertilice considerando las deficiencias del suelo. El cultivo de café requiere al año 200 a 300 kg N ha<sup>-1</sup>, de 50 a 75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, de 100 a 150 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, 40 a 80 kg MgO ha<sup>-1</sup> y de 10 a 20 kg B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> (ICAFE 1998).

Los resultados muestran que en el 70,3 % de las fincas estudiadas de las cuales el 37 % son convencionales y el 33,3 % son orgánicas usan el análisis químico de suelo como una herramienta para monitorear el estado nutricional de la plantación. El alto porcentaje de

los productores que realiza esta actividad se debe a que el ICAFE financia estos estudios como parte de su colaboración al sector cafetero de la zona.

El total de los productores convencionales y el 41,7 % de los productores orgánicos fertilizan su cafetal. Los productores convencionales prefieren las aplicaciones de fertilizantes completos, Nutran y algunas veces los combinan con fertilizantes orgánicos como gallinaza y broza de café descompuesta, por otro lado los productores orgánicos usan gallinaza como fertilizante base en sus plantaciones y en menor proporción usan KMAG, lombricompost y caprinaza (estos productos son permitidos para este tipo de manejo) (Cuadro 10).

*Cuadro 10. Fertilización de los cafetales evaluados por tipo de producción orgánica y convencional dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>Tipo de producción</b>	<b>Fertilización ó abono</b>
Convencional	<p><b>86.6 % Fertilizante Completo</b></p> <p>26.6 % Urea</p> <p>6.6 % Caprinasa</p> <p>6.6 % Nitrato de amonio</p> <p><b>40 % Nutran</b></p> <p>20 % Elementos menores</p>
Orgánico	<p><b>58.3 % no aplico</b></p> <p>41.7 % (25 % encala, 8.3 % caprinasa, 8.3 % lombricompost, 16.7 % KMAG, <b>58.3 % gallinaza</b>)</p>

Cabe resaltar que del 58,3% de los productores en fincas orgánicas que no fertilizan el cafetal el 25% se beneficia de la poda del poró como único suministro de nutrientes al suelo, así mismo ninguno de los productores orgánicos encuestados realiza aplicación de broza en su cafetal aunque tienen fácil acceso a este recurso ya que el beneficio se los suministra.

El 88,8 % del total de las fincas evaluadas 48,1 % convencionales y 40,7 % orgánicas deja residuos de la cosecha y podas del café sobre el suelo lo cual ayuda al ciclaje de nutrientes dentro del cultivo (Figura 7).

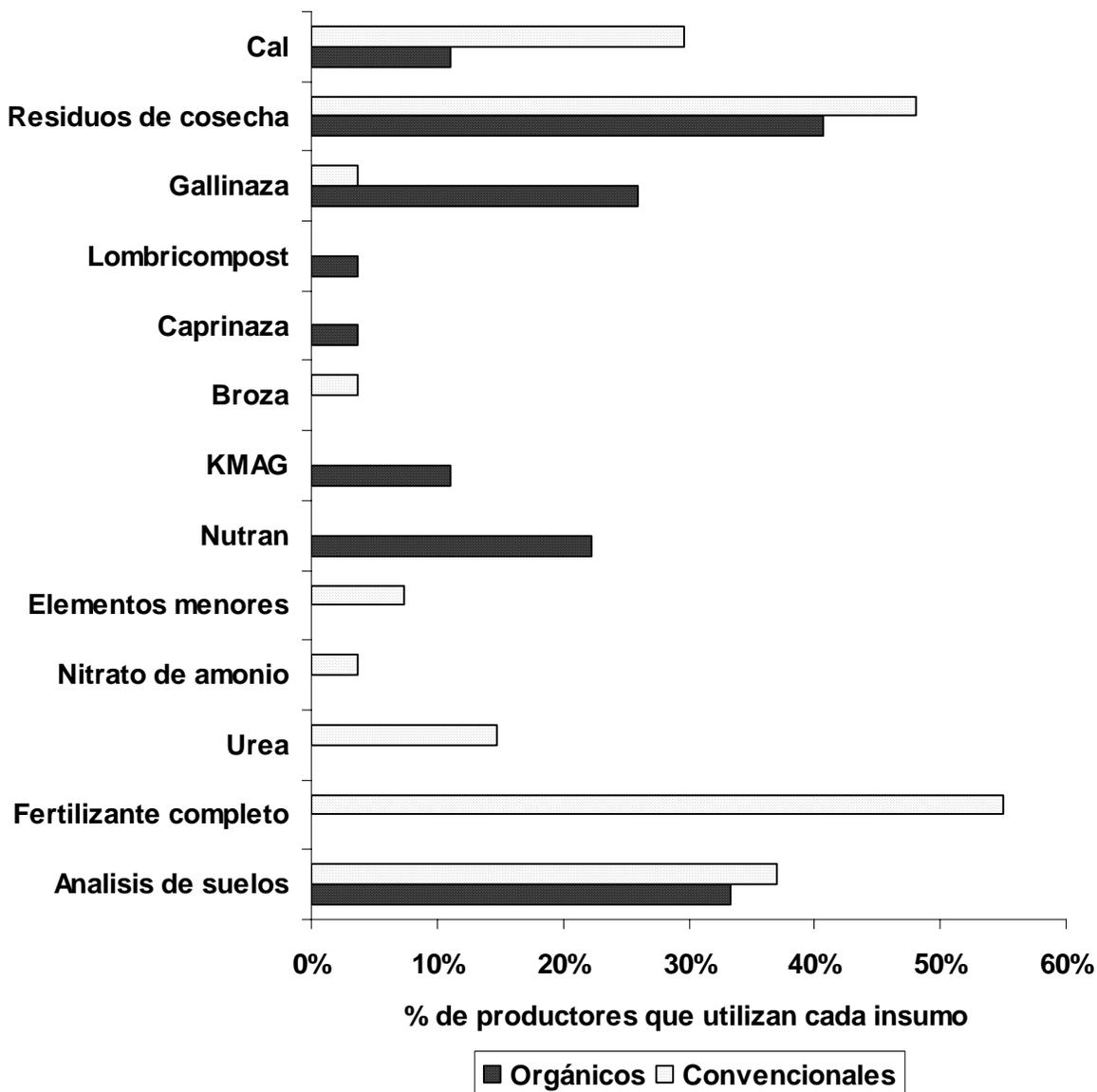


Figura 7. Frecuencia (%) de los elementos usados en la fertilización del café por tipo de manejo orgánico y convencional evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

### 3.4.3.5 Labores de conservación de suelos

Las fincas estudiadas poseen diferencias en relieve, algunas se ubican en terrenos planos y otras en zonas de ladera, las fincas se ven enfrentadas a procesos erosivos inminentes por la alta precipitación de la zona, por esto los productores implementan labores de conservación de suelos como parte del manejo del cafetal. Las labores de conservación más usadas en cafetales son: siembra en contorno, barreras vivas, terrazas, acequias de ladera, canales de desviación y barreras rompevientos (ICAFFE 1998).

El 75 % de los productores orgánicos y el 60 % de los productores convencionales realizan una o más labores de conservación. Las labores más usadas por los productores convencionales son la siembra en contorno, barreras en ladera, canales de desviación, barreras rompevientos, acequias de ladera y terrazas. Por su parte los productores orgánicos usan la siembra en contorno, canales de desviación, barreras rompevientos, barreras usadas como suplemento en la comida de animales y barreras vivas (Cuadro 11).

*Cuadro 11. Frecuencia (%) de las labores de conservación de suelos por tipo de manejo orgánico y convencional en sistemas de producción cafetera evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>Labores de conservación</b>	<b>Convencional</b>	<b>Orgánico</b>
Barrera física con residuos de poda de poró	0,0 %	8,3 %
Usa barreras para aislar la finca	0,0 %	8,3 %
Usa barreras como sombra para el café	0,0 %	8,3 %
Usa las barreras como suplemento en la comida de animales	0,0 %	16,7 %
Manejo de cobertura	6,7 %	8,3 %
Barreras vivas	6,7 %	16,7 %
Terrazas	13,3 %	0,0 %
Acequias de Ladera	13,3 %	0,0 %
Barreras rompevientos	20,0 %	16,7 %
Usa barreras en laderas	26,7 %	0,0 %
Canales de desviación	26,7 %	25,0 %
Siembra en contorno	40,0 %	25,0 %

Aunque producciones orgánicas y convencionales realizan prácticas de conservación de suelos las cuales son muy importantes para retener el suelo y aminorar el impacto de la agricultura en el ambiente estas no se reflejan en un incremento en la productividad ni para fincas orgánicas ni para convencionales.

#### **3.4.3.6 Manejo de enfermedades**

A continuación se nombran las enfermedades que los productores perciben como principales problemas dentro de su cultivo y el manejo que estos realizan para su control. Las enfermedades que más frecuentemente mencionan los productores orgánicos y convencionales son el ojo de gallo (*Mycena citricolor*), la roya (*Hemileia vastatrix*) y la chasparria (*Cercospora coffeicola*), estas enfermedades fueron mencionadas por el 93,3 %, 60 % y 33,3 % de los productores convencionales y por el 83,3 %, 58,3 % y 33,3 % de los productores orgánicos respectivamente. En menor proporción están el mal de hilachas (*Pellicularia koleroga*) con un 20 % para convencionales y un 25 % para orgánicos, el derrite

o quema (*Phoma costarricensis*) con un 13,3 % para convencionales y 16,7 % para orgánicos, Maya (*Roselinia* sp.) con un 26,7 %, Llaga macana (*Ceratocystis fimbriata*) con un 26,7 % y la enfermedad rosada (*Corticium salmonicolor*) con un 6,7 % sólo afectan a las producción convencional (Figura 8).

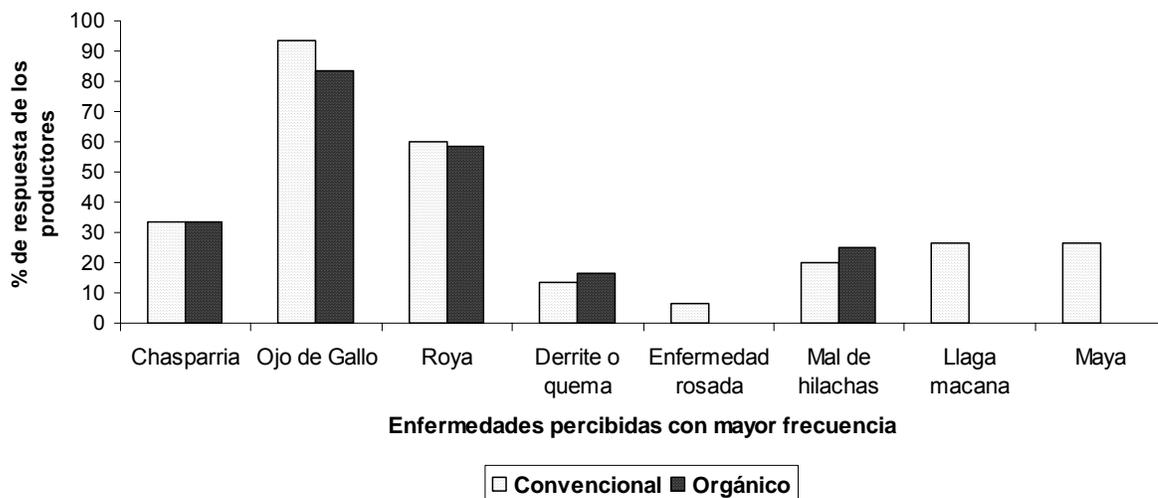


Figura 8. Enfermedades predominantes en el cultivo del café según la percepción de los productores evaluados, por tipo de manejo orgánico y convencional, en sistemas de producción ubicados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Los controles más usados en el manejo convencional del café son el control químico usado por un 60 % de los productores, luego el abonado (20 %), poda del poró (6,7 %) y el 20 % de los productores no realizan ninguna actividad para control. Los productos químicos más usados son el Atemi<sup>18</sup> en una dosis de 100 cc 200 l<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> para el ojo de gallo, Benlate<sup>19</sup> en una dosis de 300 g 200 l<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> para la chasparria estos se aplican dos veces al año (Figura 9).

<sup>18</sup> Atemi 10 SL: Syngenta Crop Protection S.A.

<sup>19</sup> Du Pont

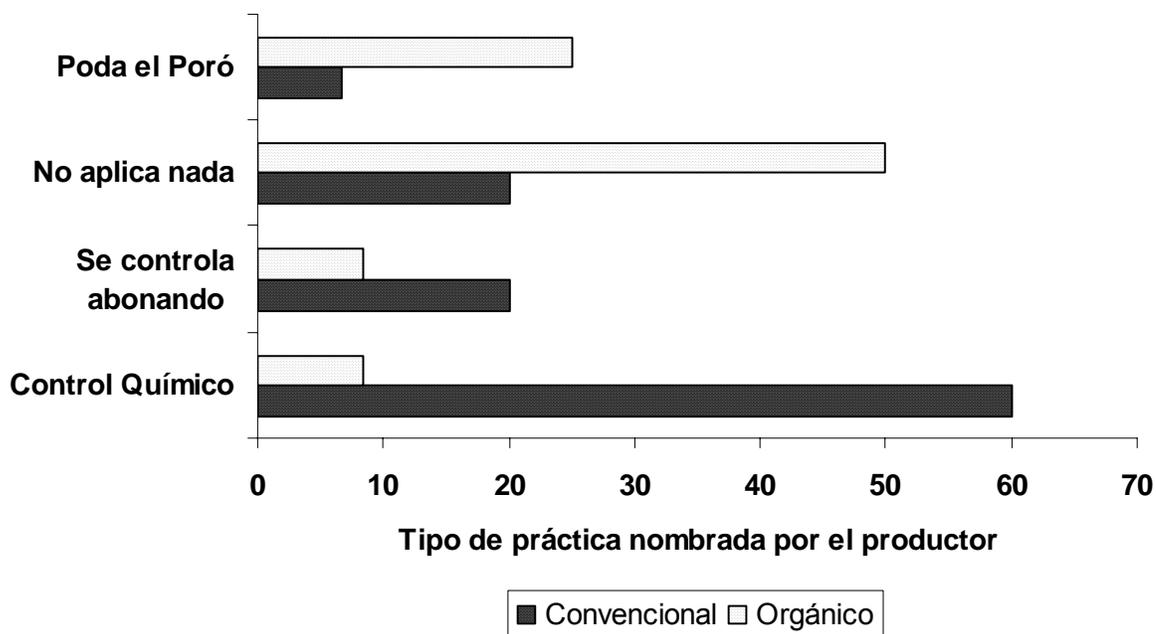


Figura 9. Prácticas de control de enfermedades comúnmente usadas en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

En el manejo orgánico por el contrario el 50 % de los productores no practican ninguna estrategia de control, el 25 % poda el poró y un 8,3 % utilizan abonado o caldos minerales, tal como caldo de visosa para el ojo de gallo en una dosis de 18 l para 100 plantas, 3 veces al año. Para la roya y antracnosis se usa el caldo sulfocálcico y el caldo bordelés 18 l para 100 plantas, 3 veces al año (Figura 9).

#### 3.4.3.7 Manejo de plagas

Las plagas que los productores convencionales perciben como mayor problema en sus parcelas son la broca del café, para el 60 % de los productores y los nematodos para un 20 % de productores. El 33,3 % de productores orgánicos perciben como la plaga que causa mayor problema en sus parcelas a los nemátodos. En menor proporción las producciones convencionales se ven afectadas por las zompopas (*Atta cephalotes*) 6,7 %, y los áfidos (*Toxoptera auranti*) 6,7 %. En producciones orgánicas afectan además las taltusas (*Pappogeomys dariensis*) 16,7 %, arañita roja (*Olygonychus yothersy*) 8,3 %, cochinilla harinosa (*Planococcus citri rissao*) 8,3 % y gusanos cortadores *Spodoptera* sp., *Feltia* sp. y *Agrotis* sp.) 16,7 %. Así como los jobotos o gallina ciega (*Phyllophaga* sp.) que afectan en un 8,3 % a productores orgánicos y a 6,7 % de los productores convencionales (Figura 10).

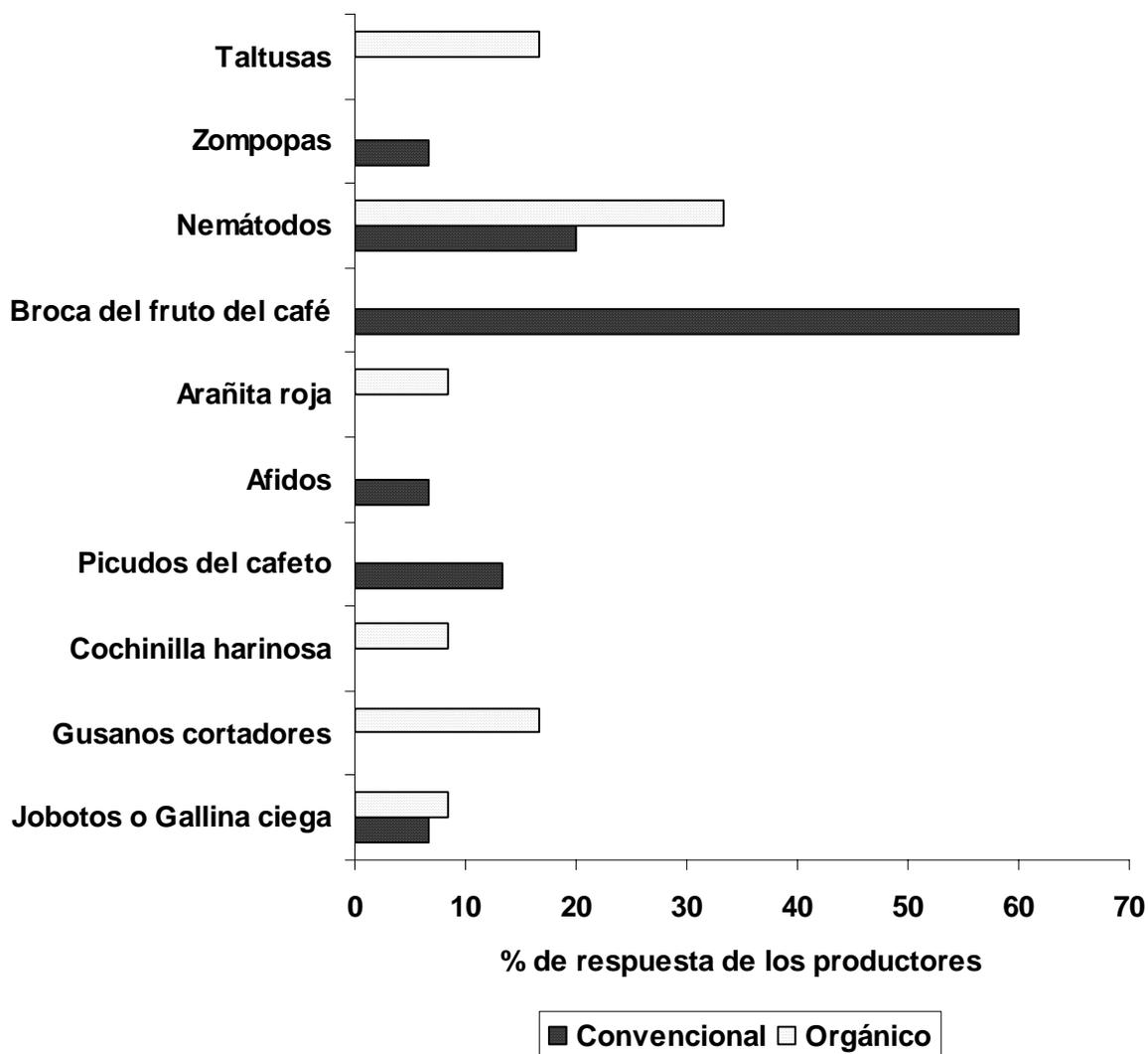


Figura 10. Plagas predominantes en el cultivo del café según la percepción de los productores evaluados, por tipo de manejo orgánico y convencional, en sistemas de producción ubicados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

El 26,7 % de los productores convencionales usan control químico para el control de plagas. Los productos más usados son Endosulfan (Thiodan<sup>20</sup>) (250cc 200lts<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) para la broca, Rimafuran<sup>21</sup> (10 g planta<sup>-1</sup>) o cal para el control de nematodos y para zompopas se usa Mirex<sup>22</sup> y Volatón<sup>23</sup>. El 16,7 % de los productores orgánicos usan purines<sup>24</sup> para el control de taltusas. El 13,3 % de los productores convencionales usan control biológico con

<sup>20</sup> Thiodan: Bayer CropScience

<sup>21</sup> Rimafuran: Agroquímica industrial RIMAC, S.A.

<sup>22</sup> Mirex S 03-GB: Atta Kill

<sup>23</sup> Volatón: Bayer CropScience

<sup>24</sup> Purines: extractos obtenidos de plantas, cuyos componentes tienen propiedades que actúan como repelentes y controladores de plagas y enfermedades (Figuerola *et al.* 1996).

*Metarrizium* y *Beauveria*. El control etológico esta dado por el uso de trampas con atrayentes para broca, este control es usado por el 46,7 % de los productores convencionales.

Este método es el más empleado como medio de control y de monitoreo de la broca, se recomiendan 20 trampas por hectárea (Hidalgo 2004). El 8,3 % de los productores orgánicos usan el control cultural como es el uso de trampas para el control de taltusas (Figura 11).

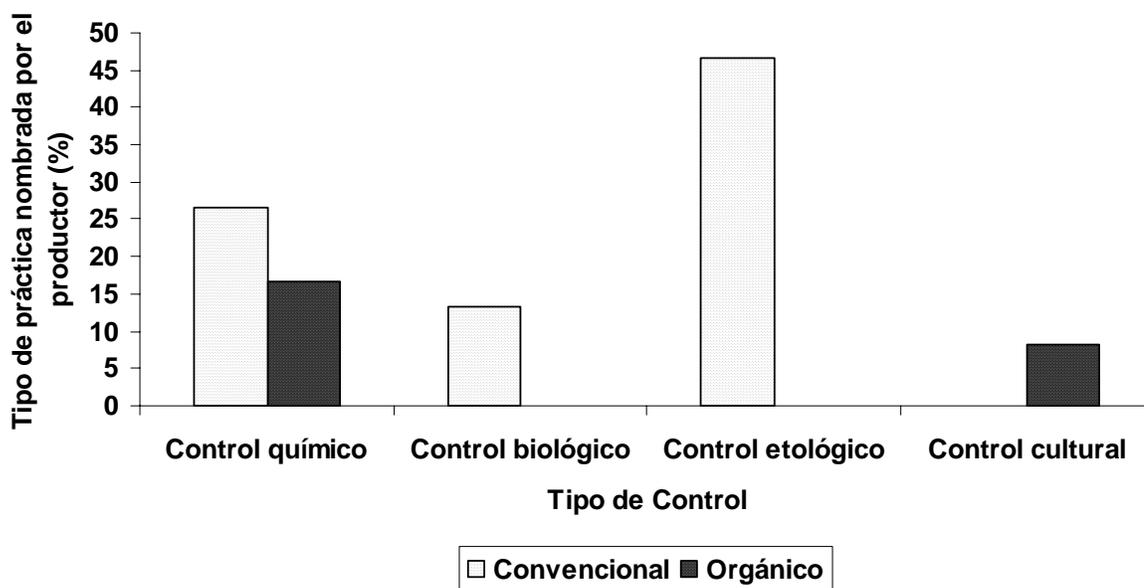


Figura 11. Tipo de control de plagas más usado por los productores en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

La diferencia en percepción de plagas entre productores orgánicos y convencionales plantea que la aplicación de productos químicos, biológicos y prácticas culturales para el control de plagas estaría interviniendo en la dinámica de la abundancia de estas especies dentro del cafetal y por ende en la percepción del productor.

### 3.4.3.8 Manejo de malezas

El 100 % de los productores convencionales usan control químico, los productos más usados son Radex D<sup>25</sup> (6,4 g l<sup>-1</sup>), Goal<sup>26</sup> (0,8 g l<sup>-1</sup>), Ally<sup>27</sup> (0,8 g l<sup>-1</sup>), Roundup<sup>28</sup> (1lt200lts<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>), Glifosato<sup>29</sup> (250cc 200 l<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>), Gardoprim<sup>30</sup> (0,5lt 200 l<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) y 2,4D (0,25 l 200 l<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>),

<sup>25</sup> Radex D: Agrosuperior

<sup>26</sup> Goal: Daw AgroSciences

<sup>27</sup> Ally: Du Pont

<sup>28</sup> Roundup: Monsanto

<sup>29</sup> Glifosato: Du Pont

Gramoxone<sup>31</sup> (6,4 g l<sup>-1</sup>), Terbucilina (6,4 g l<sup>-1</sup>) para bejucos, de estos el 46,7 % mezclan el control químico con chapias y el 6,7 % realiza control cultural embolsando las plantas. El 100 % de los productores orgánicos manejan las malezas con chapias y el 8,3 % de los orgánicos realizan control cultural el cual consiste en el manejo de la sombra dentro del cafetal (Figura 12).

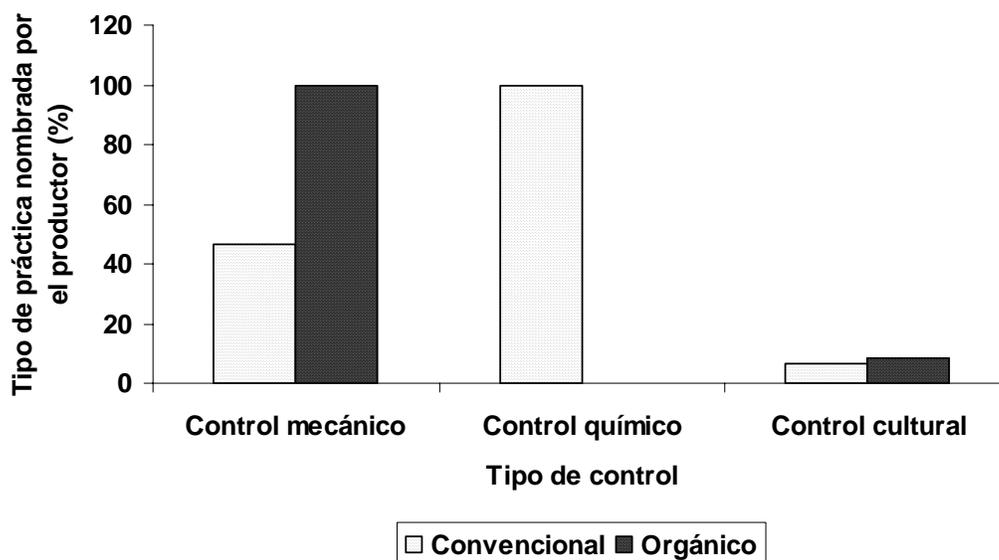


Figura 12. Tipo de control de malezas más usado por los productores en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Los productores convencionales realizan comúnmente 3 o 4 aplicaciones al año para el control de malezas y los productores orgánicos realizan de 3 a 12 chapeas al año para mantener limpio su cafetal (Figura 13), lo cual evidencia un incremento en la mano de obra usada para esta labor en fincas orgánicas y teniendo en cuenta la crisis que afronta el sector se debe evaluar la rentabilidad del uso de esta práctica.

<sup>30</sup> Gardoprim: Orion crop protection

<sup>31</sup> Gramoxone: Syngenta

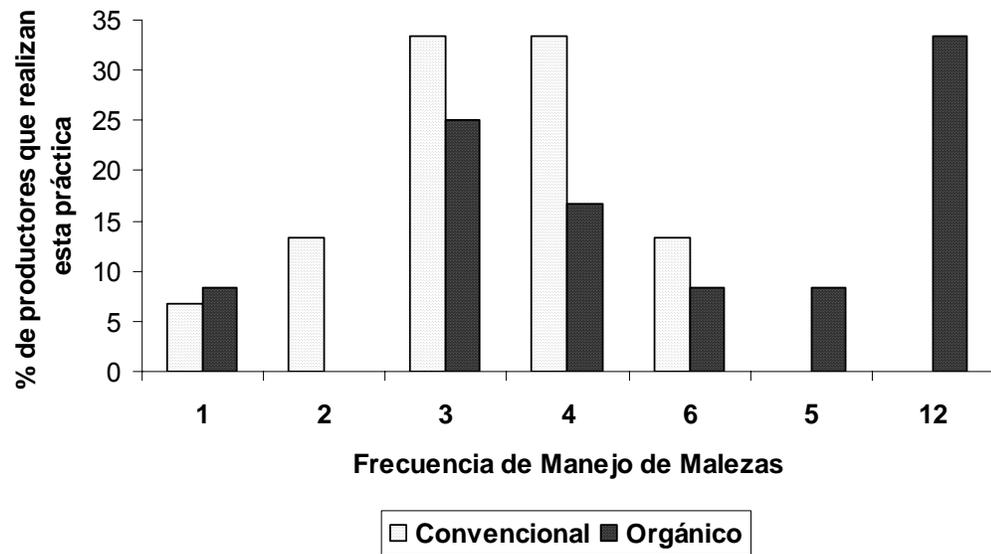


Figura 13. Frecuencia de manejo de malezas en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Según la percepción de los productores las malezas que son difíciles de erradicar en sistemas de producción orgánica son los zacates perennes (38,9 %) y de hoja ancha anual (33,3 %) y para los sistemas de producción convencional son las de hoja ancha perenne (29,2 %), zacate perenne (25 %) y hoja ancha anual (20,8 %) (Figura 14).

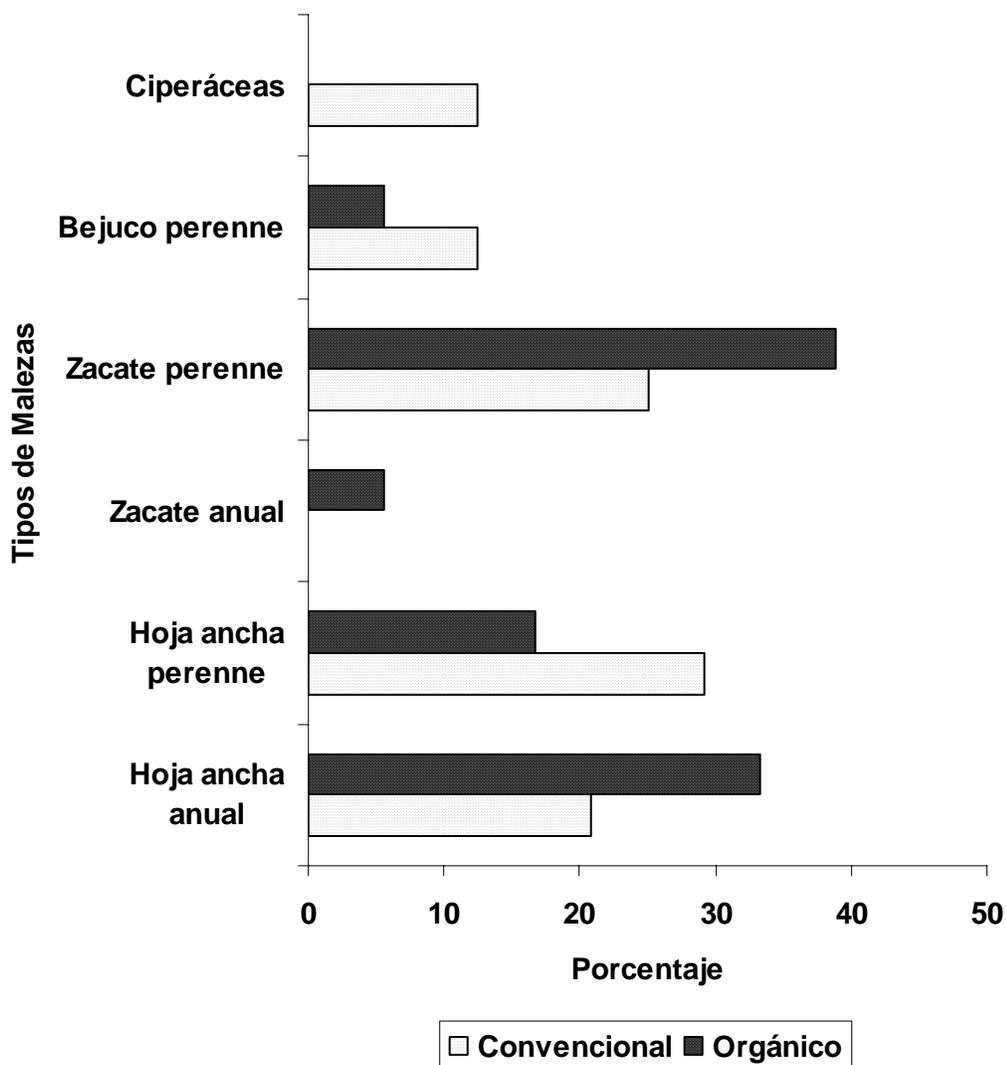


Figura 14. Tipo de malezas de más difícil control para los productores en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

La presencia de zacates dentro de las producciones orgánicas evidencia problemas de fertilidad, baja materia orgánica en el suelo y un mal manejo orgánico, la presencia de ciperáceas en fincas convencionales como problema muestra la resistencia que han adquirido estas especies al control químico.

### 3.4.3.9 Manejo de la sombra

En la región de Turrialba es común encontrar especies como poró (*Erythrina poeppigiana*), plátano, banano o dátil (*Musa sp.*) y laurel (*Cordia alliodora*) como especies de sombra para el café. El poró además de proveer sombra, aporta grandes cantidades de nitrógeno por fijación simbiótica por ser leguminosa y además con sus hojas y ramas, las

cuales son frecuentemente cortadas, le provee al cafetal elementos nutritivos por descomposición de su biomasa.

Comúnmente para esta región se realizan dos épocas de arreglo de sombra, en los meses de diciembre–enero y en los meses de mayo a junio. En la primera poda se dejan 3 o 4 ramas ligeras horizontales y en la segunda se cortan los hijos y ramas livianas que se formaron en el primer arreglo. Esta segunda poda es fundamental para que el grano del café engruese (ICAFFE 1998).

El 53,3 % de los productores convencionales y el 33,3 % de los productores orgánicos hacen poda total y el 40 % de los productores convencionales y el 66,7 % de los productores orgánicos hacen podas de ramas.

Lo más frecuente tanto para productores orgánicos (14,8 %) como convencionales (14,8 %) es realizar dos podas al año de las cuales una es poda total y la otra es poda de ramas. Cuando podan tres veces al año, lo usual es que hagan una poda total y dos de ramas, esta actividad es realizada por el 11,1 % de los productores orgánicos y por 7,4 % de los convencionales. Cuando lo hacen cuatro veces al año, son podas de ramas únicamente este sistema de poda sólo es practicado por el 3,7 % de los productores convencionales (Cuadro 12).

*Cuadro 12. Número de podas realizadas a los árboles de sombra en cafetales orgánicos y convencionales evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>No. Podas a los árboles de sombra</b>	<b>Orgánico</b>	<b>Convencional</b>
0	41,7	33,3
1	0,0	20,0
2	33,3	26,7
3	25,0	13,3
4	0,0	6,7

### **3.4.4 Productividad de la actividad cafetera**

Desde la percepción de los productores sólo para el 19 % la producción 2004-2005 ha sido buena, para el 40 % ha sido regular y para el 41 % ha sido mala. Esto pudo deberse a condiciones ambientales perjudiciales para la producción de café en el último año (en la

cosecha 2003–2004 hubo precipitaciones fuertes que afectaron la floración y por ende la producción), aunado a manejos deficientes.

Los mayores rendimientos los tienen los cafetales convencionales 22,04 fan ha<sup>-1</sup> (1.014 kg café oro ha<sup>-1</sup>) comparados con los orgánicos 6,59 fan ha<sup>-1</sup> (303 kg café oro ha<sup>-1</sup>) (p=0,0005). Cuando se compararon todos los sistemas agroforestales evaluados el sistema agroforestal compuesto por café, *Erythrina poeppigiana* y *Cordia alliodora* con manejo convencional obtuvo el mayor promedio (1.610 kg café oro ha<sup>-1</sup>). Se evidencia diferencias significativas (p=0,0017) entre CECC 35 fan ha<sup>-1</sup> (1.610 kg café oro ha<sup>-1</sup>) y CEMC 14,13 fan ha<sup>-1</sup> (650 kg café oro ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 13). Por otro lado, el rendimiento promedio obtenido en las fincas de producción convencional evaluadas es más bajo que el promedio de Costa Rica.

*Cuadro 13. Estadísticas descriptivas de los rendimientos (fanegas ha<sup>-1</sup>)(±EE) por tipo de producción orgánico y convencional y por elementos de vegetación que componen el sistema, dentro del Corredor Biológico Turrialba –Jiménez, Costa Rica, 2005.*

Media por tipo de producción	Estructura	Media	Mín.	Máy.
Orgánica: 6,59	CEO	2,5±1,34 d	0,4	5
	CMO	3,53±2,88 d	0,5	9,3
	CEMO	9,53±1,25 cd	8	12
	CECO	10,8±6,6 cd	4	24
Convencional: 22,045	CEMC	14,13±2,52 bcd	9,4	18
	CEC	18,63±4,66 bc	11,7	27,5
	CMC	20,42±3,7 bc	15	27,5
	PS*	22,97±4,74 b	13,5	28
	CECC	35±5 a	25	40

NOTA: CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. \* No incluido en el promedio de convencionales.

En este estudio no se realizaron análisis de costos de producción por lo tanto no se pueden hacer análisis de rentabilidad, sin embargo el manejo que se le esta proporcionando a los cafetales orgánicos no es el adecuado ya que se refleja notoriamente en los bajos valores de rendimientos obtenidos. La fanega se comercializó para productores convencionales categoría A (café de altura > 1.200 msnm.) en ¢29.555,76 (US\$ 1,3 kg<sup>-1</sup> café

oro) y en categoría B (< 1.200 msnm.) en ¢28.417,86 (US\$ 1,2 kg<sup>-1</sup> café oro) (con el promedio de categoría A y B se estimó el sobreprecio de café orgánico) (ICAFE 2005b) y aunque en la zona osciló el precio de ¢58.942 (US\$ 2,6 kg<sup>-1</sup> café oro) en Los Santos y ¢51.514 (US\$ 2,2 kg<sup>-1</sup> café oro) en Pérez Zeledón. APOT ha dado un adelanto de ¢40.000 (US\$ 1,7 kg<sup>-1</sup> café oro) (Marín 2006) porque no ha cerrado la liquidación de ese año (con este valor se estimó el porcentaje de sobreprecio). El sobreprecio del café orgánico fue del 38 % y las pérdidas en productividad comparada con las producciones convencionales es del 334%.

A pesar de que la productividad promedio de las fincas orgánicas observadas en este estudio es tan baja 303 kg café oro ha<sup>-1</sup> (6,59 fan ha<sup>-1</sup>), hay reportes de fincas en la zona con rendimientos superiores a 828 fan ha<sup>-1</sup> (18 fan ha<sup>-1</sup>) (De Melo 2006), por otro lado, en otras zonas de Costa Rica se tienen documentadas experiencias de fincas orgánicas con producciones de 1.840-1.932 kg café oro ha<sup>-1</sup> (40 a 42 fan ha<sup>-1</sup>) (De Melo 2006a). Sería importante conocer las técnicas y el sistema de manejo utilizados por estos productores, para mejorar los sistemas de producción orgánicos.

#### **3.4.4.1 Época de cosecha**

En las fincas evaluadas la cosecha se concentra entre los meses de julio a diciembre donde el 96,3 % de las fincas tanto orgánicas como convencionales se encuentran en cosecha, no existe patrón por tipo de producción orgánica o convencional, pero sí por altura observándose que los periodos más largos de cosecha se encuentran en el rango de altura de 627–688 msnm.

#### **3.4.4.2 Transporte**

El transporte de la cosecha a los beneficios se realiza pagando flete, usando medios propios o por medio de los mismos beneficios que lo recogen en la finca (Figura 15). Si se analiza por tipo de producción se podría ver que el transporte brindado por el beneficio Santa Rosa es el más usado por los productores convencionales estudiados y el transporte propio la opción más usada por las producciones orgánicas. Esta es una gran limitante para los productores orgánicos ya que los que no disponen de transporte propio deben pagar a intermediarios, esto porque lo compra APOT y esta asociación comparte los costos de transporte con los productores asociados.

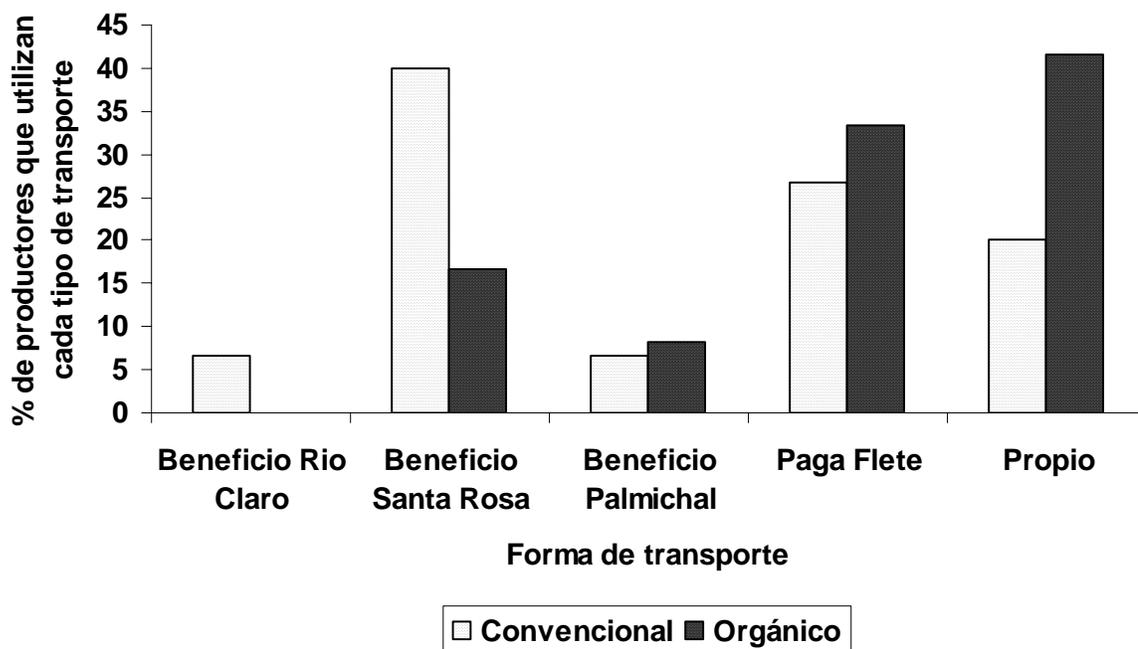


Figura 15. Forma de transporte por el cual los productores evaluados envían su café al beneficio por tipo de producción orgánica y convencional, dentro del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica, 2005.

#### 3.4.4.3 Cafés diferenciados

Ante la crisis del café, los productores han buscado diversas alternativas dentro de las cuales está el mejorar la calidad del café cosechando sólo el café maduro (73,3 % y 100 % producciones convencionales y orgánicas respectivamente) o reciben Premium por café de altura (13,3 % y 16,7 % producciones convencionales y orgánicas respectivamente) (Figura 16).

Desde la cosecha 2001–2002 los beneficios de la zona de Turrialba implementaron un sistema de liquidación diferenciada donde al productor se le paga de acuerdo con la calidad de su producto, por ejemplo en la cosecha 2003–2004 se les pago en promedio un 18 % más del precio de liquidación promedio al café convencional por café de altura. Además si la producción es orgánica recibe un Premium de un 72,10 % con respecto al convencional (ICAFFE 2004) en este estudio sólo llega a un 38 % con la salvedad de que todavía APOT no ha cerrado la liquidación de la cosecha aún (Marín 2006).

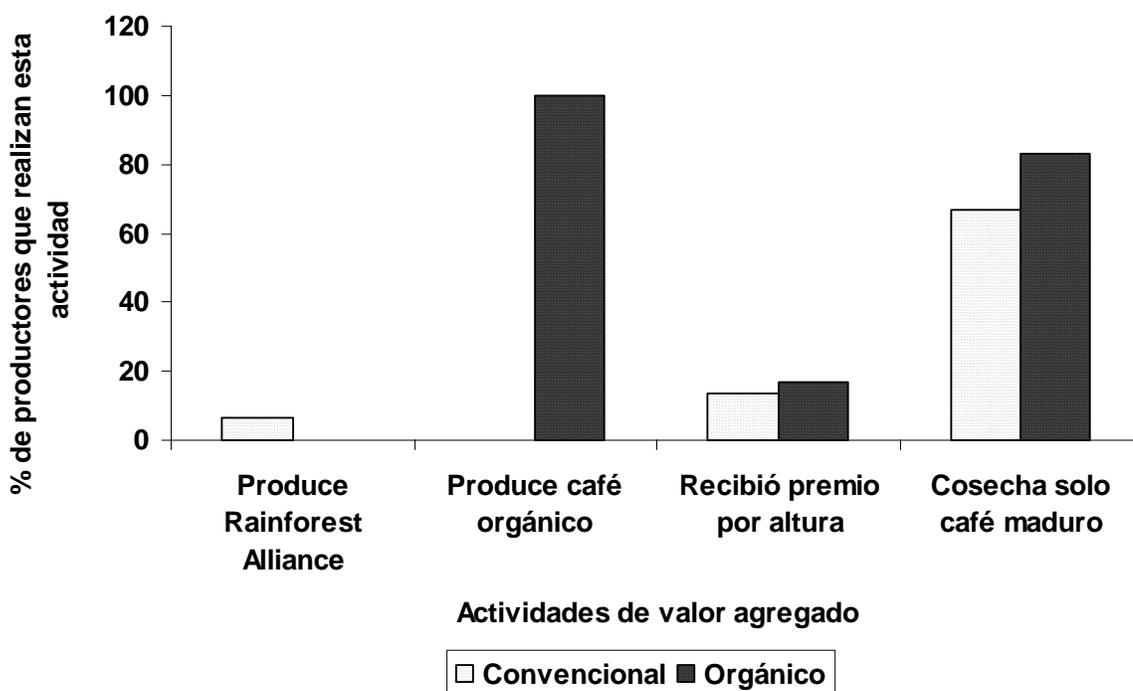


Figura 16. Actividades para dar valor agregado al café cosechado por tipo de producción orgánico y convencional evaluado dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

#### 3.4.4.4 Comercialización del café

El precio de liquidación final dado a los productores en la cosecha 2004–2005 en la región de Turrialba fue de 28.417,86 colones por fanega (US\$ 1,2 kg<sup>-1</sup> café oro) para café sembrado a menos de 1.200 msnm y 29.555,76 colones por fanega (US\$ 1,3 kg<sup>-1</sup> café oro) para café sembrado a más de 1.200 msnm en café convencional (ICAFE 2005b) y 40.000 colones por fanega (US\$ 1,7 kg<sup>-1</sup> café oro) para café orgánico (Marín 2006). El café se comercializa en forma de uva (93,3 % de los productores convencionales y el 91,7 % de los productores orgánicos), el 6,7 % de los productores convencionales en grano oro y el 8,3 % de los productores orgánicos en forma de pergamino ya que algunos de los productores cuentan con microbeneficios con el fin de procesar su propio café directamente en el caso de los orgánicos y en el caso de los convencionales cuentan con infraestructura propia para el beneficio del producto (Figura 17). Esta situación es novedosa en el país, ya que en Costa Rica es tradicional la centralización del procesado. Esta alternativa ha sido promovida por ONG’s buscando una mejor distribución de ingresos en la cadena de comercialización (ICAFE 2005a).

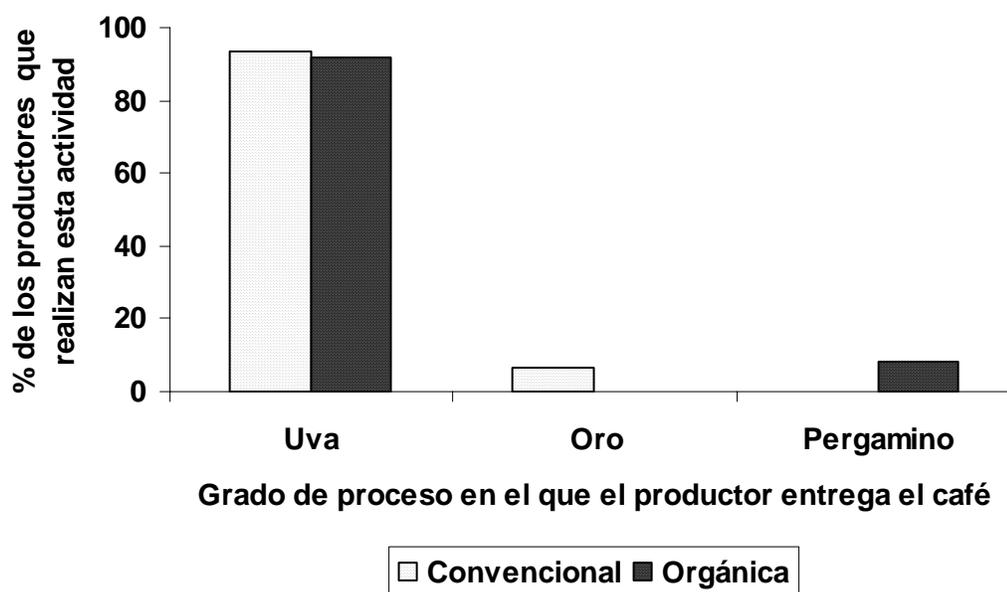


Figura 17. Forma en la cual se comercializa el café por productores orgánicos y convencionales estudiados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

### 3.4.5 Capacitación y participación en organizaciones

El 52 % de los productores encuestados han recibido capacitación, de los cuales el 22 % son orgánicos y el 30 % convencionales. Los organismos que les han brindando capacitación son el ICAFE, APOT, CATIE, INA y MINAE (Cuadro 14).

Cuadro 14. Instituciones que prestan capacitación a los productores orgánicos y convencionales de las fincas estudiadas dentro del Corredor Biológico Turrialba –Jiménez, Costa Rica, 2005.

Instituciones	Orgánicos	Convencionales
CATIE	4	1
Propia	0	3
ICAFE	1	2
INA	1	1
MINAE	0	1
APOT	4	0

El 44 % de los productores pertenecen a asociaciones comunitarias las más comunes son APOT, Coopeatirro y Cooperativa Santa Rosa (Cuadro 15).

*Cuadro 15. Asociaciones a las que pertenecen los productores orgánicos y convencionales de las fincas estudiadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>Asociación</b>	<b>Convencionales</b>	<b>Orgánicos</b>
Grupo SAISC	1	0
Coopesuiza	1	0
Ninguna	13	0
APOT	0	8
Asociación de parceleros de Pílon	0	1
Coopetirro	0	1
Grupo de mujeres	0	1
Asociación de acueductos	0	1
Asociación Administradora del Asentamiento Neda	0	1
Iglesia Católica	0	1
Cooperativa Santa Rosa	0	1
Junta de Acción Comunal	0	1

Actualmente se encuentra en ejecución un proyecto entre el ICAFE–CATIE de investigación participativa donde se asesora a 116 familias en manejo técnico del cafetal y en diversificación de la finca cafetera, allí además de promover un mejor manejo del cafetal, los productores se involucran proponiendo ideas que enriquezcan la investigación. Uno de los resultados de este estudio fue una estrategia concertada para el mejoramiento de cafetales orgánicos con escasos recursos, las cuales fueron validadas en fincas de productores obteniendo aumentos en rendimiento. Un caso particular de referencia es el de la familia Fuentes Gamboa de San Pablo de Tres equis que de 3,5 fan ha<sup>-1</sup> paso a 18,7 fan ha<sup>-1</sup> con mínimas inversiones en recursos económicos y en tiempo (ICAFE 2004, De Melo 2006). Esto genera en la zona nuevas expectativas para la producción de café orgánico.

### **3.4.6 Análisis de tipologías**

Con base en las tipologías indicadas en el Cuadro 16 se clasificaron las fincas de este estudio en cuatro niveles de manejo según la densidad de siembra, el trazado, la resiembra, las podas, la deshija, niveles de fertilización, manejo de plagas, enfermedades y malezas, manejo de sombra y el rendimiento; estas son: mínima, tradicional, semitecnificada y tecnificada.

Cuadro 16. Tipologías de referencia para cafetales orgánicos y convencionales en la Zona del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Tipología de manejo	Orgánico	Convencional
Mínimo	Densidades muy irregulares (exceso o pocas plantas ha <sup>-1</sup> ) Trazo de siembra cafetos muy irregular No resiembra café No podan cafetos No deshija Exceso de sombra, distribución muy irregular, sin manejo. No fertiliza No maneja plagas ni enfermedades Control de malezas con chapias (1 vez año <sup>-1</sup> ) Rendimiento (0,5 a 5 fan ha <sup>-1</sup> ) 23 a 230 kg café oro ha <sup>-1</sup>	Densidades muy irregulares (exceso o pocas plantas ha <sup>-1</sup> ) Trazo de siembra cafetos muy irregular No resiembra café No podan cafetos No deshija Exceso o falta de sombra, distribución muy irregular, sin manejo. Fertilización esporádica No maneja plagas ni enfermedades Control de malezas con químico (1 vez año <sup>-1</sup> ) Rendimiento (1 a 7 fan ha <sup>-1</sup> ) 46 a 322 kg café oro ha <sup>-1</sup>
Tradicional	Densidades (2000-5000 plantas ha <sup>-1</sup> ) Trazo irregular Resiembra esporádica Podas sanitarias mínimas Deshija esporádica (1 vez año <sup>-1</sup> o 1 cada 2 años) Exceso o falta sombra, distribución irregular podas 1 vez al año, manejo mínimo. Niveles bajos de fertilización(<300gr enmiendas planta <sup>-1</sup> ) 1 vez año <sup>-1</sup> o 1 cada 2 o 3 años. No manejo de plagas, enfermedades Control de malezas con chapias (2 a 3 veces) Rendimiento: (> 5 a 15 fan ha <sup>-1</sup> ) 230 a 690 kg café oro ha <sup>-1</sup>	Densidades (2500-5000 plantas ha <sup>-1</sup> ) Trazo irregular Resiembra esporádica Poda sanitaria mínimas Deshija esporádica (1 vez año <sup>-1</sup> o 1 cada 2 años) Exceso o falta sombra, distribución irregular podas 1 vez al año, manejo mínimo. Niveles bajos de fertilización No manejo de plagas, enfermedades Control de malezas con herbicida (2 a 3 veces año <sup>-1</sup> ) Rendimiento: (>7 a 20 fan ha <sup>-1</sup> ) 322 a 920 kg café oro ha <sup>-1</sup>

Cuadro 16 (continuación). Tipologías de referencia para cafetales orgánicos y convencionales en la Zona del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Tipología de manejo	Orgánico	Convencional
Semitecnificado	<p>Densidades (2500 - 5000 plantas ha<sup>-1</sup>)                      Trazo uniforme                      Resiembra mínimas cada 2 años                      Poda de cafetos: selectiva por planta                      Deshija: 1 al año                      Sombra regulada 1 fuerte (sin descope) y 1 de ramas año<sup>-1</sup>, distribución uniforme                      Nivel medio de fertilización (300 gr a 600 gr planta<sup>-1</sup> de enmiendas), 20 a 30 gr Kmag planta<sup>-1</sup>: 1 aplicación foliar y 1 a 2 abonadas al suelo al año.                      Prácticas culturales y control biológico para broca                      Control de malezas con chapias (&gt; 3 a 4 veces año<sup>-1</sup>)                      Rendimiento: kg café oro ha<sup>-1</sup> (&gt;15 a 20 fan ha<sup>-1</sup>) 690 a 920 kg café oro ha<sup>-1</sup></p>	<p>Densidades (3000-5000 plantas ha<sup>-1</sup>)                      Trazo uniforme                      Resiembra mínimas cada 2 años                      Poda cafetos (por planta, por ciclo)                      Deshija 1 al año                      Sombra regulada (1 descope y 1 de ramas año<sup>-1</sup>), distribución uniforme                      Niveles intermedios de fertilización (100 a 150 Kg de formula completa ha<sup>-1</sup> y, 130 a 180 Kg de N ha<sup>-1</sup>) 2 a 3 veces año<sup>-1</sup>                      Prácticas culturales, control químico, trampas                      Control de malezas con control químico (de 4 a 6 veces al año) más una sacada de bejucos                      Rendimiento: kg café oro ha<sup>-1</sup> (&gt;20 a 30 fan ha<sup>-1</sup>) 920 a 1.380 kg café oro ha<sup>-1</sup></p>
Tecnificado	<p>Densidades (5000 a 5500) plantas ha<sup>-1</sup>)                      Trazo uniforme                      Poda selectiva por planta de café                      Deshija 1 a 2 veces año<sup>-1</sup>                      Resiembra anual de cafetos                      Sombra regulada 2 fuertes (sin descope) y 2 leves de ramas, distribución uniforme.                      Uso intensivo de fertilizantes 2 abonadas con abonos orgánicos(&gt;1 kg planta<sup>-1</sup>) y 1 con Kmag (&gt;30 gr planta<sup>-1</sup>), 3 aplicaciones foliares                      Eficiente control sanitario(prácticas culturales, control biológico, trampas y uso de caldos minerales)                      Control de malezas con chapias (5 a 6 chapeas), practican arranca zacates y manejo selectivo.                      Rendimiento: (&gt;20 fan ha<sup>-1</sup>) &gt;920 kg café oro ha<sup>-1</sup></p>	<p>Densidades altas (5000 a 7000 plantas ha<sup>-1</sup>)                      Trazo uniforme                      Podas por ciclo, por lote, esqueletamiento, poda sanitaria                      Deshija 1 a 2 veces año<sup>-1</sup>                      Resiembra anual de cafetos                      Sombra regulada (2 o 3 veces al año), usan con frecuencia descope (poró), 2 descumbras totales y/o podas ramas, distribución uniforme, o café a plena exposición solar.                      Uso intensivo de fertilizantes (500–1000 kg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año formula completas)                      Control químico de enfermedades 2 a 3 veces año<sup>-1</sup>                      Control químico, biológico y etológico de plagas Control de malezas con herbicidas &gt; 6 veces año<sup>-1</sup>                      Rendimiento: (&gt;30 fan ha<sup>-1</sup>) &gt;1.380 kg café oro ha<sup>-1</sup></p>

Elaborado con base en: Galloway y Beer (1997), De Melo et al. (2005). De Melo (2006) Comunicación Personal, Chávez (2006), y datos de campo (Porras 2005).

Usando esta tipificación se clasificaron las fincas convencionales y orgánicas, encontrando que la mayoría (66,7 %) de las fincas convencionales se encuentran en una categoría de semitecnificadas (Figura 18) y la tipología predominante en producciones orgánicas es la tradicional con un 75 % (Figura 19).

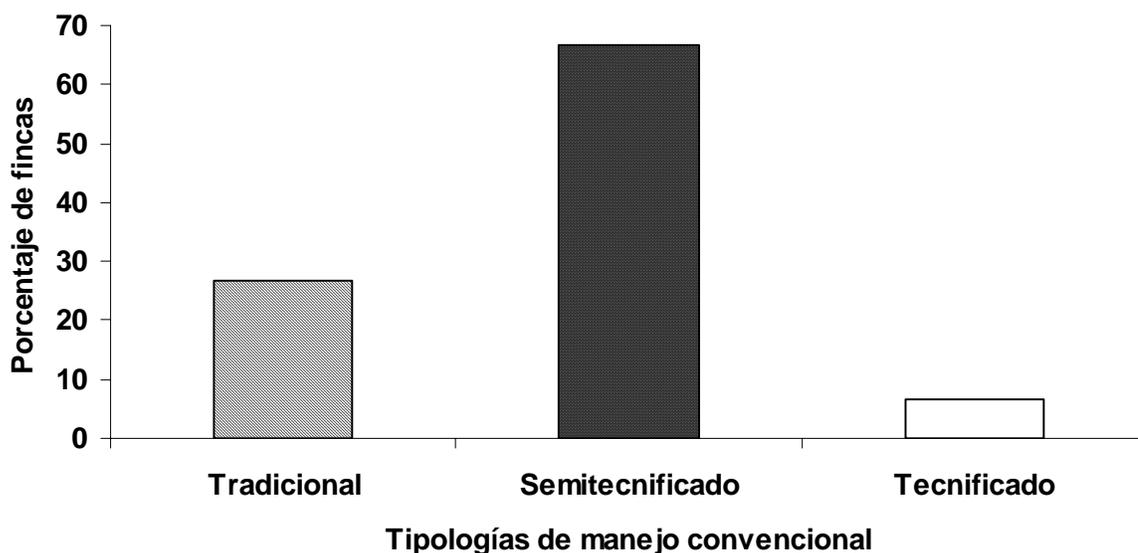


Figura 18. Tipologías de manejo convencional de las fincas cafeteras evaluadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005

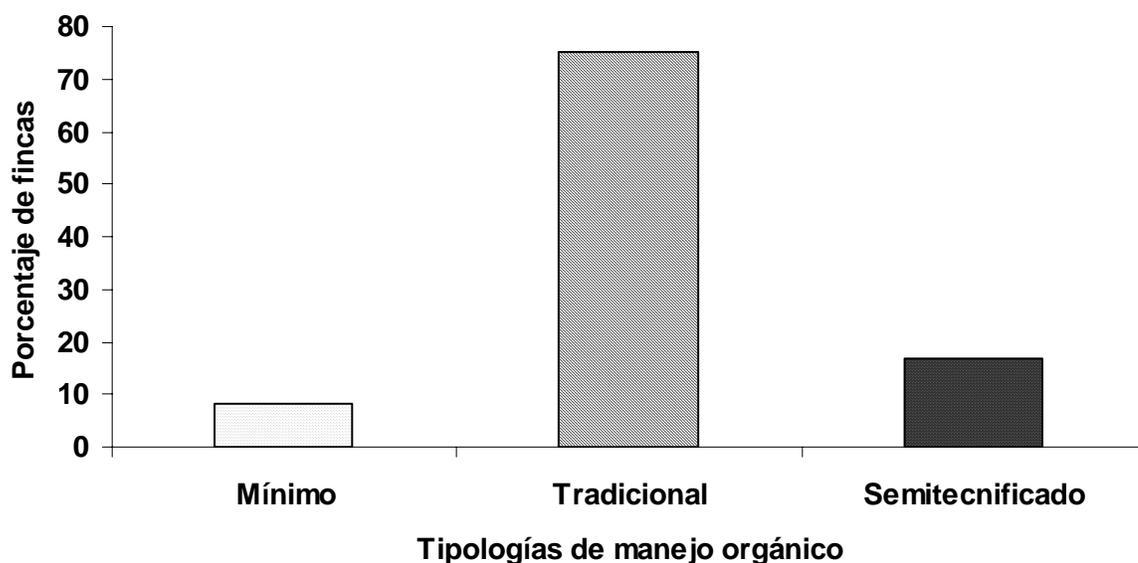


Figura 19. Tipos de manejo orgánico de las fincas cafeteras evaluadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

El análisis de tipologías en producciones orgánicas y convencionales refleja que en la zona del corredor el café no está recibiendo la atención que requiere para obtener buenos rendimientos, esto puede ser debido a la crisis cafetera en la cual el precio recibido no compensa los costos de producción. En producciones orgánicas esta falta de manejo pone en tela de duda si este tipo de producción puede ser una alternativa rentable para los productores.

### **3.5 CONCLUSIONES**

- El manejo del café orgánico en la zona de estudio es muy reducido (o limitado), siendo la tipología tradicional la que predomina en el 75 % de las fincas evaluadas.
- Por el contrario el manejo convencional predominante es el semitecnificado con un 66,7%.
- Esto se refleja en el rendimiento, donde la producción orgánica promedio es de 6,59 fan ha<sup>-1</sup> y la convencional promedio es de 22,04 fan ha<sup>-1</sup>.
- El sobreprecio del café orgánico (38%) no cubre las pérdidas de productividad comparada con las producciones convencionales (334%) por lo tanto todos los aspectos de esta producción no están dilucidados en la zona estudiada.
- La producción de café orgánico aunque pretende ser una solución a la crisis del café, no ha dado los resultados esperados, dado el poco manejo que se brinda a los cafetales, por lo tanto la producción orgánica estudiada en este trabajo expresa más de una manera de cómo sobrevivir a una crisis que plantear una posible solución a esa crisis.

### **3.6 RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio para conocer porque los productores orgánicos, que reciben un sobreprecio del 38% por fanega, manejan los cafetales en forma tan reducida.
- Organizaciones locales que trabajan en producción orgánica (APOT y el CATIE) deberían revisar y desarrollar nuevas estrategias que fomenten un manejo técnico adecuado de la producción orgánica. Existen en la zona

experiencias de productores orgánicos exitosos (18 fan ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) que deberían ser examinadas y difundidas como ejemplo.

- Se recomendaría para los casos exitosos en producción orgánica de café en la zona se realice un estudio económico para definir la potencialidad de la producción orgánica como alternativa rentable para la crisis del café.
- Por otro lado se recomendaría que en las fincas orgánicas estudiadas se implementaran y se valoraran innovaciones tendientes a mejorar rendimientos
- La variación en precios pagados a productores orgánicos de la zona de estudio y otras dentro del país es amplia, por lo tanto es importante fomentar una mejor gestión, para así garantizar mejores ganancias.
- La caracterización de los sistemas de producción “orgánico” y “convencional” es demasiado amplia para estudios comparativos, ya que cada productor realiza manejos muy diferentes bajo cada una de estas categorías. Las caracterizaciones se deben basar en prácticas de manejo y se recomendaría el uso de la clasificación dada en este estudio para seleccionar fincas con grados de manejo homogéneos para posteriores estudios.

## **4 Artículo 2: Indicadores de calidad de suelos físicos, químicos y biológicos en sistemas agroforestales de café, pleno sol y bosque dentro del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica.**

Porras-Vanegas, CM. Indicadores de calidad de suelos físicos, químicos y biológicos en sistemas agroforestales de café, pleno sol y bosque dentro del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE.

### **4.1 RESUMEN**

El presente estudio se realizó en 27 fincas cafeteras ubicadas dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, en Costa Rica, donde se analizó comparativamente el impacto de los sistemas de producción orgánico y convencional sobre las características de suelo. Se evaluaron sistemas de café bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* (E), *Musa* sp. (M) y *Cordia alliodora* (C), bajo dos tipos de manejo orgánico (O) y Convencional (C) obteniéndose los siguientes tratamientos CEC = Café–*Erythrina*–Convencional, CECC = Café–*Erythrina*–*Cordia*–Convencional, CECO = Café–*Erythrina*–*Cordia*–Orgánico, CEMC = Café–*Erythrina*–*Musa*–Convencional, CEMO = Café–*Erythrina*–*Musa*–Orgánico, CEO = Café–*Erythrina*–Orgánico, CMC = Café–*Musa*–Convencional, CMO = Café–*Musa*–Orgánico. Los sistemas agroforestales se evaluaron contra sistemas de producción a plena exposición solar (PS) y suelos de fragmentos de bosques (B) cercanos a las fincas evaluadas. Se tomaron 3 replicas para cada tratamiento. Se realizaron muestreos en época seca y lluviosa de variables físicas de suelo (densidad, textura, profundidad efectiva), químicas (pH, Acidez, K, Ca, Mg, P, Cu, Zn, Mn, Fe, carbono orgánico, N, CICE, % de saturación de acidez) y biológicas (fraccionamiento de materia orgánica, Biomasa microbiana, UFC de hongos, bacterias y actinomicetes, riqueza de organismos, No. de lombrices). Se encontró que producciones orgánicas tenían mayor cantidad de biomasa de cobertura en época lluviosa y mayor cantidad de lombrices en época seca y lluviosa que las producciones convencionales. Las producciones convencionales tenían valores mayores de densidad aparente y cantidad de K que las orgánicas. En cuanto a cantidad de Mg se evidenció que en producciones donde hay presencia de *Musa* se alcanzan valores más altos. Los mayores valores para biomasa microbiana en época seca se observaron en los bosques, mientras que en época lluviosa fueron los tratamientos orgánicos los que presentaron los mayores valores. El análisis de componentes principales mostró que las variables biomasa microbiana y carbono orgánico

correlacionaron con suelos bajo bosques. La variable población de lombrices en época seca y lluviosa correlacionó con los suelos bajo producciones orgánicas. La variable densidad aparente y contenido de potasio correlacionaron con los suelos bajo producciones convencionales, las variables usadas para este análisis representan un 76,7 % de la variabilidad total. El índice de calidad de Diack y Stott (2001) mostró diferencias significativas entre el bosque y todos los tratamientos, entre tratamientos orgánicos y convencionales y dentro de los convencionales entre CECC y CEMC.

**Palabras clave:** manejo, *Coffea arabica*, biomasa microbiana, análisis de componentes principales, índice de calidad de suelos.

### Abstract

The study compared the impact of organic and conventional production systems on soil characteristics on 27 coffee farms within the Turrialba-Jiménez Biological Corridor. Systems studied included agroforestry ones with shade from *Erythrina poeppigiana* (E), *Musa* sp. (M) and *Cordia alliodora* (C), with organic (O) or conventional (C) production. Treatments were as follows: CEC = Coffee-*Erythrina*-Conventional, CECC = Coffee-*Erythrina*-*Cordia*-Conventional, CECO = Coffee-*Erythrina*-*Cordia*-Organic, CEMC = Coffee-*Erythrina*-*Musa*-Conventional, CEMO = Coffee-*Erythrina*-*Musa*-Organic, CEO = Coffee-*Erythrina*-Organic, CMC = Coffee-*Musa*-Conventional, CMO = Coffee-*Musa*-Organic. The soils of these agroforestry systems were compared to those from coffee production systems under full sun (PS) and from forest fragments (B) close to evaluated farms. Three replicas were taken for each treatment. To evaluate physical (density, texture, effective depth), chemical (pH, acidity, K, Ca, Mg, P, Cu, Zn, Mn, Fe, organic carbon, N, CICE, % acid saturation) and biological (organic matter fraction, microbial biomass, cfu of fungi, bacteria and actinomycetes, species richness and number of earthworms) characteristics of these soils, samples were collected in the dry and rainy seasons. Compared to soils from conventional farms, soils from organic ones were found to have greater biomass cover in the rainy season, and a greater number of earthworms in both the rainy and dry season. Conventional systems had greater values for apparent density and quantity of K than organic ones. Soils from systems where *Musa* provided shade contained greater amounts of Mg. Highest microbial biomass values in the dry season were registered for forest soils and for organic production systems during the rainy season. The analysis of principal components revealed that microbial biomass and organic carbon are correlated to forest soils. In both the dry and rainy season, the number of earthworms correlated with soils under organic coffee production. Apparent density and K content was linked to conventional production systems, variables used for this analysis

represent 76.7% of total variability. Diack and Stott's (2001) quality index revealed major differences between soils from forests and all other treatments, from organic and conventional treatments and from the CECC and CEMC conventional treatments.

**Key words:** management, *Coffea arabica*, microbial biomass, principal component analysis, soil quality index.

## 4.2 INTRODUCCIÓN

Un suelo de buena calidad puede ser definido de una manera tan subjetiva como: “*un suelo es de buena calidad por el desarrollo y la producción de las plantas que se encuentran allí sembradas*”, o “*un suelo de buena calidad es de color negro*” que son respuestas muy comunes dadas por los productores y que integran una serie de características o propiedades del suelo en cada una de ellas (Habarurema y Steiner 1997, Ceron 2001). Magdolff (2001) propone que un suelo de buena calidad debe tener las siguientes características:

- a. Suficientes nutrientes
- b. Buena estructura
- c. Suficiente profundidad para el crecimiento de raíces.
- d. Buen drenaje interno
- e. Baja población de enfermedades y organismos parásitos
- f. Altas poblaciones de organismos para promover el crecimiento de la planta
- g. Baja incidencia de malezas
- h. Libre de químicos que puedan dañar las plantas
- i. Resistencia a ser degradado
- j. Resiliencia a un episodio de degradación

Así mismo nace a la vez otra pregunta ¿qué es lo que tenemos en cuenta para decir si un suelo es de buena o de mala calidad? La calidad de suelos se concluye de las propiedades químicas, físicas y biológicas que le permiten cumplir con sus funciones; algunas de estas propiedades son más sensibles a cambios de manejo a estas se les denomina indicadores. La idea de medir estos indicadores es saber que prácticas, que usualmente se utilizan dentro de la agricultura están dañando el suelo o acelerando procesos erosivos que puedan comprometer la producción y calidad de alimentos en un futuro

cercano. Por lo tanto la medición de indicadores de calidad de suelos es una herramienta fuerte para la toma de decisiones por parte de los productores (Andrews *et al.* 2003).

La calidad del suelo varía con la especie de cultivo, el manejo del cultivo (Wilson *et al.* 2000, Gülser 2004, Mogollón y Tremont 2004) y puede llegar a variar también con el estado fenológico del cultivo (Hernández *et al.* 2004). Teniendo en cuenta que el suelo es un ente que varía a cortas distancias se han hecho índices de calidad para regiones y cultivos específicos y falta más investigación para tener parámetros mundiales para comparar la calidad de los suelos.

Dentro de los estudios realizados sobre este tema se encuentran estudios comparativos de producciones orgánica y convencional, donde se evidencia que la producción orgánica tiene un impacto directo en la fertilidad del suelo proveyéndole de nutrientes, mejora el pH del suelo e incrementa la capacidad de intercambio catiónico, mejora las condiciones físicas de suelo, aumenta la retención de agua y disminuye la presencia de patógenos (Drinkwater *et al.* 1995, Reganold 1988, Samayoa 1999, Bulluck III *et al.* 2002, Scullion *et al.* 2002, Riffaldi *et al.* 2003, Theodoro *et al.* 2003, Jończyk y Solarska 2004, Pimentel 2005, Soto *et al.* 2005). Esta podría ser una alternativa interesante máximo cuando en condiciones ambientales críticas la diferencia en producción de estos dos tipos de manejo es mínima (Altieri 1999, Lotter *et al.* 2003, Pimentel *et al.* 2005). Estos resultados de estudios en su mayoría comprenden monocultivos o pasturas en rotación, pero cuando tenemos dentro del sistema de cultivo árboles formando sistemas agroforestales la calidad del suelo ya no depende del cultivo que se encuentre allí sino de la interacción con los árboles de sombra que se encuentren con él.

El café es comúnmente cultivado bajo sistemas agroforestales, en Costa Rica árboles leguminosos, árboles maderables y árboles frutales son usados para proveer de sombra al cafetal (ICAFE 1998). Estas especies además de ofrecer sombra aportan al sistema nutrientes provenientes de la biomasa de sus ramas y hojas, y en el caso particular de las especies leguminosas estas aportan nitrógeno proveniente de la fijación simbiótica con micorrizas (Gómez 1992), otro aspecto importante es la regulación del microclima dentro del sistema agroforestal el cual puede prevenir el desarrollo de plagas y enfermedades, regular la temperatura, la humedad y la radiación solar que inciden directamente al suelo (Jaramillo 1982, Haggar y Staver 2001).

Por lo tanto esperaríamos que dentro de un sistema agroforestal los suelos fueran de mejor calidad y más parecidos a sistemas naturales como los bosques. Dentro de este estudio se evaluarán diferentes tipos de especies arbóreas y además diferentes tipos de

manejo (orgánico y convencional) influyendo en la calidad del suelo. Además se conocerán que indicadores de calidad de suelos son los más confiables y sensibles para medir el efecto del manejo y el efecto de las especies que conforman los sistemas agroforestales.

#### **4.2.1 Objetivo**

Cuantificar y comparar el impacto del manejo orgánico y convencional en café a pleno sol, en bosque y bajo diferentes tipos de cobertura arbórea en sistemas agroforestales de café, evaluando indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelos dentro del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica.

#### **4.2.2 Hipótesis**

Existen diferencias en la calidad física, química y biológica del suelo dependiendo de los diferentes arreglos en la en la composición arbórea de los sistemas agroforestales de café.

Existen diferencias en la calidad física, química y biológica del suelo entre sistemas agroforestales orgánicos y convencionales, café convencional a pleno sol y en bosque.

### **4.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.3.1 Localización del área de estudio**

El presente estudio se llevó a cabo en el CBTJ<sup>32</sup> el cual tiene el propósito de reestablecer y mantener la conectividad biológica entre las áreas silvestres protegidas como el Parque Nacional Volcán Turrialba, Monumento Nacional Guayabo, Zona Protectora de la Cuenca del Río Tuis y la Reserva Privada de Vida Silvestre La Marta (Canet 2003)

El Corredor esta ubicado en la provincia de Cartago, en los cantones de Turrialba y Jiménez. El corredor posee una altura mínima de 339 msnm en el distrito de Peralta (Turrialba) hasta los 3.340 msnm en el Volcán Turrialba. Comprende un área aproximada de 72.082,77 ha las cuales tienen siete zonas de vida y tres transiciones en cuatro pisos altitudinales, las más distribuidas son bosque húmedo tropical premontano, bosque pluvial tropical premontano y bosque muy húmedo tropical montano bajo con porcentajes del 53,26 %, 21,69 % y 5,31 % respectivamente (Canet 2003). Dentro del corredor se tienen diversos

---

<sup>32</sup> CBTJ: Corredor Biológico Turrialba-Jiménez.

usos de suelo entre los más frecuentes están el bosque con un área aproximada de 28.847,24 ha que representa un 40 % del Corredor, pastos con 17.337,893 ha (24,04 %) y café con 10.178,46 ha (14,11 %) (Florian 2005).

Las condiciones ambientales imperantes en la zona son: temperatura promedio de 21,8 °C, precipitación promedio mensual de 224,4 mm, humedad relativa promedio de 88,1 %, evapotranspiración potencial (Penman) de 83 mm, una radiación solar de 16,8 MJ m<sup>-2</sup>, brillo solar de 4,5 horas, la velocidad del viento promedio es de 0,81 m s<sup>-1</sup> (ICE 2005).

Los distritos involucrados en el estudio en el cantón de Turrialba fueron: Chirripó (comunidades de Grano de Oro y Moravia), La Suiza (comunidades de Atirro y Suiza Centro), Pavones (comunidad de Chitaria abajo), Santa Rosa (comunidad de Santa Rosa Centro), Santa Teresita (Barrio Corralón y la comunidad El Sauce), Sitio Mata, Tayutic (las comunidades de Bajo Pacuare y Platanillo), Tres Equis (las comunidades de El Pílon y San Pablo) y Turrialba (las comunidades de San Juan Sur, Turrialba Centro y Repasto). En el Cantón de Jiménez sólo se trabajó en el distrito de Juray.

No existe un mapa de suelos detallado para la zona del corredor biológico. Por lo tanto para este estudio se tomó el mapa de suelos generales de Costa Rica. Sin embargo en un estudio realizado por ICAFE-CIA (2001) se hizo un primer avance en la clasificación de suelos del cantón de Turrialba encontrándose la presencia de Andisoles, Ultisoles e Inceptisoles.

#### **4.3.2 Selección de sitios de estudio**

Se visitaron las fincas orgánicas certificadas de la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT) donde se tomaron datos sobre la ubicación (distrito, comunidad, dirección), la altura (msnm), la pendiente del terreno, las especies arbóreas usadas como sombra dentro del cafetal, el número de estratos presentes en el cafetal, la altura promedio de las plantas de café, la homogeneidad de la plantación (distribución de las especies arbóreas) y las coordenadas en latitud y longitud usando para esto un GPS (Garmin 12 XL). A su vez, se georeferenciaron y caracterizaron fincas convencionales contiguas a las fincas orgánicas, con el fin de que la variación edafoclimática entre ellas sea mínima; además se seleccionaron otro grupo de fincas convencionales de la base de datos de ICAFE para obtener un número igual de fincas convencionales y orgánicas.

Se obtuvieron un total de 180 fincas georeferenciadas y caracterizadas, las cuales posteriormente se clasificaron por el tipo de cobertura arbórea. Se ubicaron todas las fincas

dentro del mapa del CBTJ donde se sobrepuso la capa general de suelos de Costa Rica para seleccionar las fincas ubicadas sobre Inceptisoles que es el tipo de suelo predominante en el corredor.

Se realizó un análisis de frecuencia de las diferentes estratificaciones en altura de los elementos de vegetación que componen el sistema y se encontró ocho tipologías de cobertura arbórea predominantes (Cuadro 17) de cada una de ellas se seleccionaron tres fincas donde tuvieran similar estructura arbórea y tipo de manejo orgánico y convencional para un total de 27 fincas, además se seleccionaron como patrones de comparación tres fincas de manejo convencional a pleno sol y tres bosques de fragmentos cercanos a las fincas estudiadas.

*Cuadro 17. Tipologías de estructura de sombra encontradas con mayor frecuencia por tipo de manejo en la zona del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>Tipología</b>	<b>No. De elementos de vegetación*</b>	<b>Frecuencia de Orgánico</b>	<b>Frecuencia de Convencional</b>
Café	1	0/198	6/198
Café-Cordia	2	0/198	6/198
Café-Erythrina	2	8/198	37/198
Café-Erythrina, Musa	2	16/198	9/198
Café-Musa	2	4/198	6/198
Café-Erythrina-Cordia	3	7/198	25/198
Café-Erythrina, Musa-Cordia	3	4/198	6/198
Café-Musa-Erythrina	3	7/198	0/198

Nota: El valor 198 corresponde al número de fincas muestreadas. Fuente: Datos de este estudio.

\* Diferentes estratificaciones en altura de los elementos de vegetación que componen el sistema.

Los criterios con los cuales se escogió cada una de las fincas dentro de los tratamientos fueron: la homogeneidad en la distribución espacial de los árboles de sombra y la pendiente (menor de 60%). Además se escogieron tres fincas con producción a pleno sol y se escogieron tres bosques cercanos a las fincas evaluadas, de los cuales uno es bosque secundario con una regeneración de 40 años y los otros dos son bosques primarios poco intervenidos de donde se extrajo madera hace cerca de 40 años atrás. Los tratamientos

evaluados fueron 10, un testigo pleno sol, un testigo de bosque y ocho combinaciones de sombra (Cuadro 18).

*Cuadro 18. Elementos de vegetación que componen la estructura arbórea de los sistemas agroforestales y condiciones de manejo establecidas como tratamientos a evaluar en este estudio, Costa Rica, 2005.*

<b>Tratamientos</b>
Café-Erythrina-Convencional (CEC)
Café-Erythrina-Cordia-Convencional (CECC)
Café-Erythrina-Musa-Convencional (CEMC)
Café-Musa-Convencional (CMC)
Café-Erythrina-Orgánico (CEO)
Café-Erythrina-Cordia-Orgánico (CECO)
Café-Erythrina-Musa-Orgánico (CEMO)
Café-Musa-Orgánico (CMO)
Café a plena exposición solar
Bosque

### **4.3.3 Delimitación de la parcela en estudio**

Se estableció en cada finca una parcela de 20m por 50m, donde la distribución de las especies arbóreas de sombra tuviera una distribución espacial homogénea dentro de la parcela. Se instalaron tres parcelas por tratamiento. Las parcelas fueron marcadas con cinta forestal para su localización posterior. En cada una de las parcelas se caracterizó el sistema agroforestal presente y se midieron indicadores físicos, químicos, biológicos de calidad de suelos.

### **4.3.4 Descripción de métodos de muestreo y análisis**

#### **4.3.4.1 Caracterización de los sistemas agroforestales evaluados**

##### **4.3.4.1.1 Riqueza de especies arbóreas y porcentaje de sombra**

Aunque el criterio de selección de las fincas, fue el de comparar parcelas con la menor variabilidad en el número de especies que conforman los tratamientos usados, se encuentran otras especies en menor cantidad dentro de las parcelas, para analizar el

tratamiento con mayor riqueza y diversidad se emplearon los índices de diversidad de Shannon-Wiener y el índice de diversidad de Simpson (Magurran 1988).

Para el porcentaje de sombra se estima la proyección vertical de la copa de cada árbol con respecto a los cafetos y se cuenta el número de cafetos por debajo de la copa de cada árbol dentro de la parcela, con esto se saca el porcentaje de cafetos que reciben sombra y los que no, además de la homogeneidad en la distribución de la sombra dentro de cada parcela (Haggar *et al.* 2001). Esta medida fue tomada en el mes de agosto antes de que empezaran con las podas para llenado de fruto. Esta información ayuda al productor a observar la distribución espacial de la sombra dentro de su parcela y a definir que labores debe realizar para mantenerla óptimamente.

#### **4.3.4.1.2 Biomasa de la cobertura de hojarasca**

Esta medida se tomó en época seca y en época lluviosa. Se tomaron tres muestras por finca con ayuda de un marco de madera de 50 x 50 cm. El marco fue lanzado al azar dentro de la parcela y se recogió toda la hojarasca y restos vegetales que quedaron dentro del marco y se guardaron en bolsas plásticas. Posteriormente en el laboratorio se pesaron y se secaron en estufa a 65 °C por 48 horas para hallar el peso húmedo y seco respectivamente. Este indicador está relacionado directamente con el ciclo de carbono y proporciona información sobre la cantidad de material orgánico que se deposita dentro de cada uno de los sistemas (Heuveldop *et al.* 1985).

#### **4.3.4.2 Indicadores físicos**

Dentro de la parcela establecida de 20 x 50 m se midieron textura, profundidad efectiva y densidad aparente.

##### **4.3.4.2.1 Densidad aparente**

Esta medida se tomó en época seca y en época lluviosa. La toma de esta muestra se realizó en tres puntos formando un triángulo dentro de la parcela, con ayuda de un anillo de 3 pulgadas de diámetro, el cual fue introducido a una profundidad de 5 cm. Con la ayuda de una pala de jardinería se sacó el anillo y con cuidado de no perder suelo se removió el exceso de suelo adherido con la ayuda de una navaja o cuchillo de hoja ancha con el fin de que la muestra quede entre los bordes del cilindro. Esta muestra se marcó y se llevó al laboratorio donde se pesó y posteriormente se empacó en una bolsa de papel previamente pesada y marcada. Luego se secó en una estufa a 65 °C por 48 horas, hasta que el suelo

estuvo seco. Posteriormente se pesó la muestra con el suelo seco usando la balanza analítica.

#### **4.3.4.2.2 *Textura***

Dentro de la parcela se tomó una muestra de suelo compuesta de 20 submuestras a 20 cm de profundidad. Se analizó por el Método de Bouyoucos (Bouyoucos 1951).

#### **4.3.4.2.3 *Profundidad efectiva***

En cada parcela se realizaron 5 minicalicatas de 50 cm x 50 cm x 50 cm en cada una de las parcelas, ubicadas en forma de zig-zag para determinar hasta que profundidad llega la presencia de raíces vivas (USDA 1999).

#### **4.3.4.3 *Indicadores químicos***

Dentro de la parcela se tomaron 20 submuestras de suelo a 20 cm de profundidad con ayuda de un barreno. Para el análisis de K, P, Cu, Zn, Mn y Fe se empleó el método de extracción de Olsen Modificado pH 8,5 y extracción de cloruro de potasio 1 Normal para determinación de Ca, Mg y acidez extraíble. El pH se determinó en agua (Díaz y Hunter 1978). El C total y el N total se determinaron por el método de combustión en equipo autoanalizador Thermofinnigan.

#### **4.3.4.4 *Indicadores biológicos***

##### **4.3.4.4.1 *Fraccionamiento de materia orgánica***

Se tomó una muestra compuesta de 12 submuestras a 5 cm de profundidad, se homogenizó y se pasó por el tamiz de 2 mm para retirar piedras y pedazos de material vegetal. De esta muestra se pesaron 12,5 gramos de suelo que se colocan en frascos de centrifuga de 250 ml, con 50 ml de hexametafosfato de sodio (5 g l<sup>-1</sup>); posteriormente los frascos de centrifuga se colocaron en un agitador horizontal por una hora y esta suspensión se pasó por una malla de 53 µm, vaciando todo el contenido con la ayuda de agua destilada cuidando de no perder suelo. Este contenido se trasvasó en un vaso de precipitado previamente pesado. El sobrante del tamiz se pasó a otro vaso de precipitado con la ayuda de agua destilada. Luego estos dos se secaron en una estufa con recirculación de aire a 50°C (Cambardella y Elliott 1992). Cuando las muestras estuvieron secas se pesaron para determinar la materia de cada una de las fracciones, posteriormente se sacaron y se maceraron con ayuda de un mortero y se determinó el porcentaje de CO por el método de Nelson y Sommers (1996).

#### **4.3.4.4.2 Biomasa microbiana**

Se tomó una muestra compuesta de 12 submuestras a 5 cm de profundidad, se homogenizaron y se refrigeraron en nevera portátil. El suelo se pasó a través de un tamiz de 2 mm para separar piedras y ramas. Se realizaron 3 muestras de 10 g de suelo cada una, dos se colocan en un *beaker* de 50 ml para fumigarse la tercera se coloca en un tubo de centrifuga de 100 ml para la posterior extracción con 50 ml de sulfato de potasio 0,5 M. Se pesa una muestra para determinar el porcentaje de humedad.

En una desecadora de vidrio con llave de vacío se coloca un papel toalla humedecido y encima cloroformo en una relación 1 ml por 10 g de muestra con unas perlas de ebullición dentro de una caja de Petri. Se colocan las muestras de suelo pesadas que están dentro de los beaker, se cierra herméticamente y se aplica vacío hasta que comience la ebullición del cloroformo por lo menos por 5 minutos. Se cubre la desecadora con plástico negro por 48 horas.

Luego de las 48 horas se extrajo los restos de cloroformo aplicando vacío, se transfirieron las muestras de suelo a tubos de centrifuga de 100 ml donde se le adiciona 50 ml de sulfato de K 0,5 M y se agita por 30 min en el agitador horizontal. Se centrifuga por 5 min a 3.000 rpm y se pasa por un filtro de papel Whatman # 42. Este extracto se guarda en botellas plásticas de 50 ml y se determina el C y N total por método de combustión en equipo autoanalizador Thermofinnigan. Se analizan estos dos elementos antes y después de la incubación (Vance *et al.* 1987).

#### **4.3.4.4.3 Recuento de unidades formadoras de colonias de hongos, bacterias y actinomicetes**

Los números de unidades formadoras de colonia (UFC) fueron estimados por la técnica de diluciones sucesivas y posterior siembra en medios específicos para hongos se usó PDA y para bacterias y actinomicetes se usó Agar nutritivo. Se usaron 12 repeticiones para cada grupo de microorganismos por tratamiento.

Se tomó una muestra compuesta por 12 submuestras a una profundidad de cinco centímetros por finca, se homogenizó y se tomó 5 g; estos se diluyeron en 45 ml de agua destilada estéril. Se agitó a 120 rpm por 15 min (dilución  $10^{-1}$ ). Se tomó 1 ml del sobrenadante y se disolvió en un tubo con 9 ml de agua destilada estéril (dilución  $10^{-2}$ ). Las siguientes diluciones  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  se realizaron sacando 1 ml de la disolución anterior y disolviéndola en 9 ml de agua destilada estéril.

Se sembraron dos diluciones sucesivas por duplicado para cada uno de los microorganismos estudiados de la siguiente manera: hongos  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ , bacterias y actinomicetes  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$ . Se aplicó 1 ml de la disolución dentro de cada caja de Petri con agar y con ayuda de un asa de vidrio estéril se esparció homogéneamente en la superficie del agar. Las placas sembradas fueron selladas con parafilm e incubadas a 25 °C. El conteo de unidades formadoras de colonia se realizó para bacterias y actinomicetes a los dos días después de la siembra y los hongos a los cinco días después de la siembra.

#### **4.3.4.4.4 Riqueza de organismos**

Para identificar los géneros de hongos y bacterias más frecuentes se realizaron cultivos puros. En el caso de hongos se hizo la identificación basándose en las características macro y microscópicas de las colonias, con la ayuda de una clave taxonómica en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Costa Rica. En el caso de bacterias se llevaron a analizar en el Laboratorio de Investigación en Bacteriología Anaerobia de la Facultad de Microbiología Clínica de la misma Universidad.

#### **4.3.4.4.5 Recuento de lombrices**

Para este indicador se tomaron tres muestras al azar dentro de la parcela y con la ayuda de un cuadro de 50 cm x 50 cm y se cuantificó el número de lombrices presentes en los primeros diez centímetros de suelo dentro de esta área (Anderson e Ingram 1993).

#### **4.3.4.5 Índice de calidad de suelos**

Para calificar la calidad de los suelos estudiados se siguió la metodología propuesta por Diack y Stott (2001). Estos autores indican que hay variables donde su mayor valor indica una mejor calidad y otras donde su menor valor indica una mejor calidad. Para convertir los datos encontrados en términos de calidad se convirtieron en una escala de 0 a 1 donde 1 es el valor más alto de calidad. Se usaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Más es mejor: } Y = (x-s) / (t-s)$$

$$\text{Menos es mejor: } Y = 1 - [(x-s) / (t-s)]$$

donde  $x$  es el valor a calificar,  $s$  es el valor mínimo encontrado para esa variable dentro del estudio,  $t$  es el valor máximo encontrado para esa variable dentro del estudio e  $Y$  es la calificación dada a cada valor entre 0 y 1.

Para variables como color se tomaron los criterios dados por Roming *et al.* (1995), para colores Café claro, Amarillo claro, naranja o gris claro se da el valor de cero (0), para

colores Café, gris o rojizo el valor es de dos (2), y para colores Negro, café oscuro, o gris oscuro el valor es de cuatro (4). Y para textura se tomó como criterio que para el buen desarrollo del café se necesita texturas francas por lo tanto los valores quedaron así, texturas francas (1), texturas arcillosas (0.8) y texturas arenosas francas (0.8). Luego se realizó una sumatoria de los valores de cada una de las variables con el mismo peso. Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para hallar diferencias significativas entre tratamientos.

#### 4.3.5 Época de muestreo

Las variables biomasa de cobertura, biomasa microbiana, riqueza de hongos, bacterias y actinomicetes, UFC de hongos, bacterias y actinomicetes y recuento de lombrices se realizaron en dos épocas marcadas, época seca en marzo y época lluviosa en junio (Figura 20). Las otras variables sólo se tomaron en época seca y la cobertura arbórea se tomó antes de la segunda poda en el mes de julio.

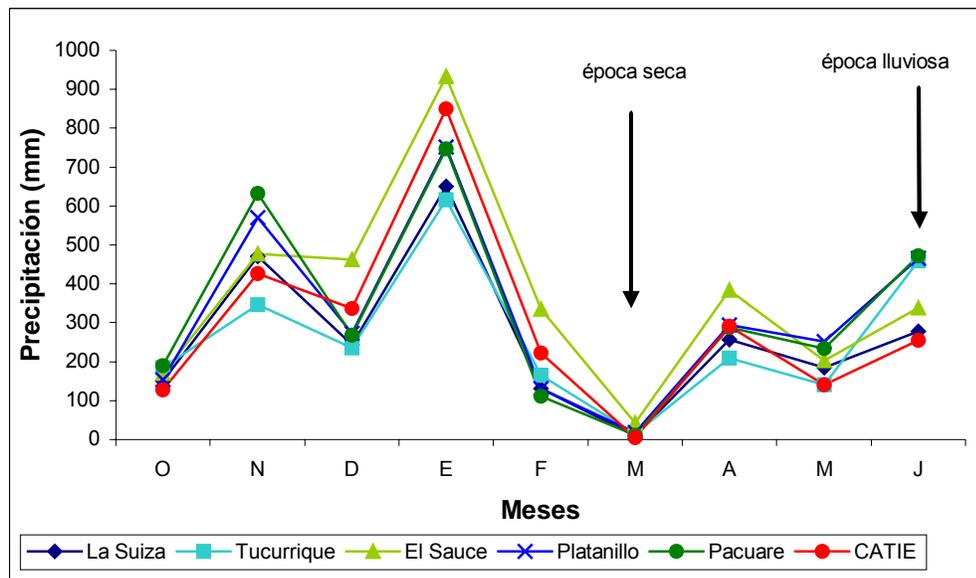


Figura 20. Registro de precipitación de las principales estaciones meteorológicas ubicadas dentro del sitio de estudio, las flechas indican las épocas en que se realizaron los muestreos.

Nota: datos de las estaciones meteorológicas de CATIE e ICE. (CATIE 2005, ICE 2005)

#### 4.3.6 Análisis de resultados

Se usó la técnica de ANOVA para un diseño completamente al azar con estructura factorial de tratamientos para las variables: diversidad de especies arbóreas en sistemas agroforestales de café (para esta variable se usaron el índice de diversidad de Shannon-

Wiener y el índice de diversidad de Simpson (Magurran 1988)), porcentaje de sombra dentro de los cafetales, biomasa de cobertura hojarasca, densidad, textura, profundidad efectiva, pH, acidez, K, Ca, Mg, P, Cu, Zn, Mn, Fe, CO, N, CICE, % saturación de acidez, fraccionamiento de materia orgánica, relación %FF/%FG, biomasa microbiana, unidades formadoras de colonia de hongos, bacterias y actinomicetes, riqueza de organismos, y recuento de lombrices. Para detectar diferencias entre medias de tratamientos y posibles interacciones se realizaron contrastes ortogonales y pruebas LSD Fisher. En el caso de unidades formadoras de colonia se transformaron los datos para disminuir la heterogeneidad de la varianza. Para datos donde hubo una alta heterogeneidad de la varianza las variables se transformaron en rangos.

Se hizo un análisis de componentes principales para establecer las relaciones entre las variables y la interrelación entre variables y tratamientos, además de identificar las variables de mayor contribución a la variación total. El análisis para componentes biológicos se realizó en época seca y época húmeda. Se aplicó el índice de calidad de Diack y Stott (2001) a todas las variables muestreadas para determinar la calidad de suelos bajo los diferentes tratamientos.

## **4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.4.1 Caracterización de los sistemas agroforestales evaluados**

Para la caracterización de los sistemas agroforestales se tomaron datos de porcentaje de sombra dentro de los cafetales, hojarasca y biodiversidad de las especies arbóreas presentes.

#### **4.4.1.1 Diversidad de especies arbóreas**

Los tratamientos donde más riqueza de especies de plantas se encuentra son las combinaciones *Erythrina–Cordia* y *Erythrina–Musa*. Sin embargo, los índices de diversidad no mostraron diferencias significativas para número de individuos ( $p=0,3419$ ), riqueza de especies ( $p=0,2192$ ), índice de dominancia de Simpson (que explica la representatividad de especies con mayor valor de importancia) ( $p=0,2370$ ), índice de Shannon (que está basado en la equidad de especies) ( $p=0,3668$ ). La variable uniformidad fue transformada a rango por su alto coeficiente de variación ( $p=0,0454$ ), donde se concluye que los sistemas evaluados son uniformes en las especies que los conforman (Cuadro 19).

Cuadro 19. Riqueza de especies arbóreas ( $\pm$  EE) dentro de los sistemas agroforestales evaluados.

Tratamientos	Variable	Suma	Media	Mín.	Máx.
CEC	Erythrina	46	15,33 $\pm$ (0,67)	14	16
CECC	Erythrina	31	10,33 $\pm$ (4,18)	2	15
	Cordia	24	8 $\pm$ (1,53)	5	10
CECO	Musa	1	0,33 $\pm$ (0,33)	0	1
	Erythrina	53	17,67 $\pm$ (3,76)	11	24
	Cordia	15	5 $\pm$ (1,73)	2	8
	Otros	4	1,33 $\pm$ (1,33)	0	4
CEMC	Musa	98	32,67 $\pm$ (14,85)	14	62
	Erythrina	30	10 $\pm$ (2,65)	5	14
	Cordia	1	0,33 $\pm$ (0,33)	0	1
CEMO	Musa	40	13,33 $\pm$ (3,84)	9	21
	Erythrina	51	17 $\pm$ (3,51)	10	21
CEO	Musa	3	1 $\pm$ (0,58)	0	2
	Erythrina	40	13,33 $\pm$ (3,84)	9	21
CMC	Musa	108	36 $\pm$ (24,06)	9	84
	Erythrina	1	0,33 $\pm$ (0,33)	0	1
CMO	Musa	76	25,33 $\pm$ (2,4)	22	30
	Erythrina	1	0,33 $\pm$ (0,33)	0	1

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol.

#### 4.4.1.2 Porcentaje de sombra dentro de los cafetales

No se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de sombra entre tratamientos ( $p=0,1005$ ). Esto debido probablemente a la alta variabilidad dentro de las fincas que conforman los tratamientos. Además, los datos promedios de porcentaje de sombra revelan que aunque se tenga la misma tipología, estos varían con el tipo de manejo. Los orgánicos presentan mayores porcentajes de sombra que los convencionales excepto en los tratamientos CEMC y CEMO donde es mayor el porcentaje de sombra en manejo convencional (68,08 %) que en orgánico (38,07 %). Los valores de porcentaje de sombra oscilaron entre 17,78 % y 80,83 % (Cuadro 20). Haggard *et al.* (2001) encontró que el porcentaje óptimo de sombra para cafetales que se encuentren a menos de 1.500 msnm y en zonas húmedas debe ser de un 20 %-40 %, que serían las condiciones de la zona.

La presencia de tratamientos por encima del 40 % de sombra hace suponer que el manejo dado al cultivo no es óptimo para la región y puede estar comprometiendo la calidad de la producción.

*Cuadro 20. Promedio de porcentaje de sombra ( $\pm$  EE) dentro de los tratamientos evaluados.*

Tratamiento	Promedio de % de sombra
CEC	17,78 $\pm$ (11,47)
CECC	27,14 $\pm$ (8,77)
CEO	30,67 $\pm$ (11,06)
CEMO	38,07 $\pm$ (55,64)
CMC	39,42 $\pm$ (18,04)
CECO	49,28 $\pm$ (12,94)
CEMC	68,08 $\pm$ (15,90)
CMO	80,83 $\pm$ (22,05)

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol.

#### 4.4.1.3 Biomasa de cobertura

En el primer muestreo en época seca no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,3925$ ), pero en la época lluviosa se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p=0,0095$ ). En época lluviosa los tratamientos con mayores promedios fueron CEMO (713,56 g m<sup>-2</sup>) y Bosque (625,48 g m<sup>-2</sup>), y los tratamientos con menores promedios fueron CECC (130,54 g m<sup>-2</sup>) y PS (140,06 g m<sup>-2</sup>). En el análisis de contrastes ortogonales se observaron diferencias significativas entre el promedio del tratamiento PS (140,6 g m<sup>-2</sup>) comparado con el promedio de los tratamientos orgánicos y convencionales (411,9 g m<sup>-2</sup>) ( $p=0,0382$ ); otro contraste significativo ( $p=0,0004$ ) fue entre el promedio de los tratamientos orgánicos (584,8 g m<sup>-2</sup>) y el promedio de los tratamientos convencionales (239,17 g m<sup>-2</sup>) (Cuadro 21).

Cuadro 21. Promedio de biomasa de cobertura ( $\text{g m}^{-2}$ ) ( $\pm$  EE) en época seca (BCI) y lluviosa (BC II) en 30 fincas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez

Estructura	BC I $\text{g m}^{-2}$	BC II $\text{g m}^{-2}$
CECC	683,98 $\pm$ (60,55)	130,54 $\pm$ (23,91) d
PS	476,8 $\pm$ (71,91)	140,06 $\pm$ (50,01) d
CEC	491,2 $\pm$ (122,42)	202,8 $\pm$ (45,01) d
CMC	607,56 $\pm$ (100,04)	264,7 $\pm$ (65,45) cd
CEMC	537,92 $\pm$ (37,76)	358,64 $\pm$ (44,98) bcd
CMO	403,33 $\pm$ (165,29)	455,23 $\pm$ (120,77) abcd
CEO	382,48 $\pm$ (195,82)	583,62 $\pm$ (201,06) abc
CECO	635,77 $\pm$ (90,91)	586,89 $\pm$ (97,69) abc
B	740,52 $\pm$ (189,64)	625,48 $\pm$ (139,45) ab
CEMO	377,89 $\pm$ (61,91)	713,56 $\pm$ (195,07) a

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Los tratamientos orgánicos mostraron valores más altos de hojarasca presente. La producción de biomasa en toneladas oscilo entre 1,4 y 5,8  $\text{ton ha}^{-1}$  siendo esta muy baja ya que en la literatura se reportan 17,8  $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  para café–*Erythrina* y 16,1  $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  para café–*Erythrina-Cordia* (Glover y Beer 1984), pudiendo haber influido la época de recolección de hojarasca que fueron en los meses de mayo y junio con el segundo periodo de podas de la zona que es en esa misma temporada, y la distribución de la hojarasca en la parcela, la cual no es homogénea.

#### 4.4.2 Indicadores físicos

Dentro de los indicadores físicos la densidad fue la única que tuvo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 22).

Cuadro 22. Valores de los indicadores físicos ( $\pm$  EE) encontrados en sistemas agroforestales con café dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Tratamiento	Densidad (g cm <sup>-3</sup> ) (p=0,0211 F=2,95)	Textura (%)			Clase textural	Profundidad efectiva (cm) (p=0,1143 F= 1,88)
		Arcilla (p=0,0554)	Arena (p=0,0544)	Limos (p=0,4985)		
Bosque	0,44±(0,08) a	13,87±(3,94)	72,43±(6,14)	13,70±(2,45)	Franco arcillo arenoso	58,00±(2,00)
CEC	0,94±(0,12) c	19,73±(4,07)	52,67±(2,07)	27,60±(6,11)	Franco arcilloso	52,33±(1,45)
CECC	0,97±(0,02) c	31,60±(9,02)	42,00±(7,99)	26,40±(2,60)	Franco arcilloso	50,27±(2,11)
CECO	0,78±(0,02) bc	36,27±(5,34)	40,00±(3,63)	23,73±(2,19)	Franco arcilloso	58,67±(1,33)
CEMC	0,91±(0,07) bc	21,60±(2,00)	52,13±(7,42)	26,27±(6,96)	Franco arcillo arenoso	46,00±(5,51)
CEMO	0,79±(0,03) bc	24,93±(1,33)	44,13±(2,91)	30,93±(4,06)	Franco	48,67±(1,45)
CEO	0,80±(0,03) bc	30,40±(5,20)	43,33±(2,53)	26,27±(7,69)	Franco arcilloso	55,33±(2,40)
CMC	0,88±(0,13) bc	16,13±(3,43)	56,67±(6,30)	27,20±(4,24)	Franco arenoso	48,67±(2,33)
CMO	0,65±(0,08) ab	16,40±(2,27)	53,07±(6,96)	30,53±(5,78)	Franco arenoso	51,33±(2,03)
PS	0,78±(0,17) bc	17,47±(7,70)	60,00±(11,95)	22,53±(4,32)	Franco arenoso	46,53±(6,85)

Nota: Letras distintas muestran diferencias ( $p < 0,05$ ) (B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol) ubicadas dentro del Corredor Biológico Turrialba Jiménez.

#### 4.4.2.1 Textura

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para arena, limo o arcillas (Cuadro 22). Las texturas encontradas corresponden en orden de presencia a texturas francas (nueve fincas), franco arenosa (siete fincas), franco arcillo-arenosa (seis fincas), arenoso franco (tres fincas), arcilloso (tres fincas), franco arcilloso (dos fincas) y arcillo arenoso (una finca). La textura óptima para el café es la franca, por lo tanto las fincas evaluadas cuentan con una buena textura para el crecimiento y desarrollo de la planta (FNC 2001).

#### 4.4.2.2 Densidad

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0211$ ), siendo el de mayor densidad CECC con un valor de  $0,97 \text{ g cm}^{-3}$  y el tratamiento de menor densidad fue bosques con  $0,44 \text{ g cm}^{-3}$ . Los contrastes revelan que la media de los bosques ( $0,44 \text{ g cm}^{-3}$ ) es significativamente menor ( $p=0,0005$ ) al resto de los tratamientos. Además el análisis de contrastes ortogonales mostró diferencias significativas entre los tratamientos convencionales y los orgánicos ( $p=0,0172$ ), donde los tratamientos orgánicos tienen un valor promedio de densidad menor que los convencionales (Cuadro 22).

Los resultados obtenidos de densidad aparente para la mayoría de los tratamientos evaluados estuvieron dentro del rango de densidad óptimo para café que es de  $0,7$  a  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$  (Suárez 2001). Los promedios de menor densidad fueron el bosque seguido de los orgánicos. Los tratamientos de B y CMO fueron excepcionales con valores inferiores a  $0,44$  y  $0,65 \text{ g cm}^{-3}$  respectivamente.

Sadeghian *et al.* (1997) encontraron la misma tendencia de menor densidad aparente en bosques cuando los analizaron contra sistemas de café tradicional y sistemas ganaderos. Estos valores tan bajos pueden deberse al alto contenido de MO (Universidad de Chapingo 1971, Montenegro y Malagón 1990). El rango de diferencia encontrado puede deberse al tipo de suelo presente ya que en Andisoles o Inceptisoles con características andicas presentes dentro del corredor se pueden obtener estos valores por el contenido de materiales no cristalinos propios de estos tipos de suelo (Henaó 2001).

Se observa una discrepancia entre el valor de densidad aparente del tratamiento convencional PS  $0,69 \text{ g cm}^{-3}$  con respecto a otros valores encontrados por otros autores donde los cafetales bajo PS tienen valores mayores a los de café bajo sombra, Sadeghian y colaboradores (2004) encontraron este comportamiento obteniendo valores de  $0,83 \text{ g cm}^{-3}$

para cafetales con sombra y de  $0,96 \text{ g cm}^{-3}$  para cafetales a PS. Dentro del tratamiento PS se encuentra una finca con características especiales donde presumiblemente se trate de otro tipo de suelo. A través del análisis de cada uno de los indicadores se ve reflejada la influencia de esta finca dentro del tratamiento, generando ruido en el análisis haciendo difíciles las conclusiones definitivas sobre el tipo de manejo PS.

#### **4.4.2.3 Profundidad efectiva**

No hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,1143$ ). En general los promedios se encuentran entre 46,0 y 58,7 cm de profundidad, esta medida se realizó hasta una profundidad máxima de 60 cm, teniendo en cuenta que la mayor cantidad de masa radicular del café se encuentra entre los primeros 40 cm de profundidad (FNC 2001), se concluye que en promedio las fincas tienen una buena profundidad para el desarrollo del cafeto (Cuadro 22).

#### **4.4.3 Indicadores Químicos**

Dentro de los indicadores químicos sólo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las variables Mg y K (Cuadro 23). Para el análisis de varianza se transformaron las variables pH, Acidez, Ca, P, K, Cu, Zn, Mn, Fe, CICE y % de saturación de acidez a rangos, donde por esta transformación el K presentó diferencias significativas.

Cuadro 23. Indicadores químicos ( $\pm$  EE) medidos en los sistemas agroforestales con café evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Tratamiento	pH	Acidez ( $\text{cmol l}^{-1}$ )	K ( $\text{meq/100mL}$ )	Ca ( $\text{meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ )	Mg ( $\text{meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ )	P ( $\text{mg l}^{-1}$ )	Cu ( $\text{mg l}^{-1}$ )
B	4,71 $\pm$ (0,29)	2,33 $\pm$ (1,53)	0,2 $\pm$ (0,05) ab	1,57 $\pm$ (0,52)	0,55 $\pm$ (0,12) a	2,9 $\pm$ (0,93)	5 $\pm$ (2)
CEC	4,85 $\pm$ (0,24)	1,48 $\pm$ (0,62)	0,48 $\pm$ (0,17) b	6,92 $\pm$ (2,99)	0,84 $\pm$ (0,38) ab	29,2 $\pm$ (13,67)	10,33 $\pm$ (2,19)
CECC	4,75 $\pm$ (0,19)	2,15 $\pm$ (1,51)	0,45 $\pm$ (0,08) b	4,77 $\pm$ (1,51)	1,2 $\pm$ (0,15) ab	13,37 $\pm$ (7,42)	8,67 $\pm$ (1,20)
CECO	4,77 $\pm$ (0,02)	1,08 $\pm$ (0,26)	0,08 $\pm$ (0,02) a	4,08 $\pm$ (0,66)	1 $\pm$ (0,29) ab	4,47 $\pm$ (0,41)	11,67 $\pm$ (2,03)
CEMC	5,23 $\pm$ (0,31)	1,2 $\pm$ (0,99)	0,22 $\pm$ (0,07) ab	16,99 $\pm$ (9,98)	2,27 $\pm$ (0,87) bc	8,93 $\pm$ (3,45)	8 $\pm$ (1,53)
CEMO	5,04 $\pm$ (0,10)	0,51 $\pm$ (0,04)	0,1 $\pm$ (0,0033) a	9,77 $\pm$ (3,31)	1,87 $\pm$ (0,38) ab	4,63 $\pm$ (0,90)	8,33 $\pm$ (1,33)
CEO	4,89 $\pm$ (0,19)	1,04 $\pm$ (0,38)	0,2 $\pm$ (0,05) ab	7,53 $\pm$ (5,01)	1,2 $\pm$ (0,71) ab	6,1 $\pm$ (2,76)	12 $\pm$ (2,89)
CMC	4,79 $\pm$ (0,14)	1,19 $\pm$ (0,47)	0,35 $\pm$ (0,13) b	8,03 $\pm$ (4,08)	1,2 $\pm$ (0,49) ab	14,73 $\pm$ (10,73)	8,33 $\pm$ (1,76)
CMO	5,28 $\pm$ (0,23)	1,13 $\pm$ (0,56)	0,37 $\pm$ (0,0033) b	17,78 $\pm$ (2,06)	3,66 $\pm$ (0,76) c	4,57 $\pm$ (0,79)	4,67 $\pm$ (1,45)
PS	4,68 $\pm$ (0,11)	1,49 $\pm$ (0,48)	0,38 $\pm$ (0,29) ab	3,03 $\pm$ (1,21)	0,47 $\pm$ (0,12) a	11 $\pm$ (8,06)	10,33 $\pm$ (4,33)

Nota: Letras distintas muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). (B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa, Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol).

Cuadro 23 (continuación). Indicadores químicos ( $\pm$  EE) medidos en los sistemas agroforestales con café evaluados dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Tratamiento	Zn (mg l <sup>-1</sup> )	Mn (mg l <sup>-1</sup> )	Fe (mg l <sup>-1</sup> )	CO (g kg <sup>-1</sup> )	%N	CICE	% Sat de acidez
B	0,93±(0,18)	13,67±(6,89)	186,33±(103,43)	140,77±(51,6)	0,57±(0,22)	4,65±(1,07)	41,98±(19,48)
CEC	1,87±(0,65)	9,33±(2,33)	114±(14,84)	59,8±(23,28)	0,25±(0,09)	9,72±(3,37)	24,12±(16,44)
CECC	2,87±(0,69)	26±(7,57)	212±(80,18)	76,7±(13,82)	0,36±(0,07)	8,57±(0,49)	24,33±(16,45)
CECO	1,43±(0,22)	25,67±(1,76)	99,33±(11,70)	47,03±(9,61)	0,26±(0,0033)	6,25±(1,18)	16,93±(1,27)
CEMC	5,5±(3,72)	24±(11,06)	105,33±(14,97)	51,87±(9,10)	0,24±(0,06)	20,68±(10,09)	19,89±(19,07)
CEMO	1,37±(0,2)	21±(4,51)	119,33±(6,57)	53,83±(3,18)	0,26±(0,01)	12,24±(3,65)	5,38±(2,14)
CEO	1,47±(0,18)	22±(1,73)	142,33±(13,74)	55,7±(0,26)	0,26±(0,01)	9,98±(5,43)	21,8±(13,67)
CMC	1,63±(0,37)	13,67±(5,78)	114,33±(16,05)	51,87±(17,96)	0,19±(0,05)	10,77±(4,42)	26,03±(20,91)
CMO	1,33±(0,23)	15±(3,06)	111±(7,21)	75,87±(20,58)	0,34±(0,07)	22,94±(2,48)	4,99±(2,32)
PS	1,8±(0,83)	16,33±(6,69)	103±(33,51)	122,23±(41,43)	0,51±(0,17)	5,38±(1,70)	29,71±(8,77)

Nota: Letras distintas muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). (B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa, Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol).

A continuación se presentará una breve descripción de cada uno de los elementos y características químicas de los suelos evaluados.

Para fósforo no se encontraron diferencias entre tratamientos ( $p=0,2531$ ). Se encuentra deficiente en el 80 % de las fincas ( $1-12 \text{ mg l}^{-1}$ ) y en exceso en el 16 % de ellas ( $>80 \text{ mg l}^{-1}$ ). Solamente una finca se encuentra dentro del rango óptimo ( $20-80 \text{ mg l}^{-1}$ ).

En la variable calcio no se presentaron diferencias significativas ( $p=0,1344$ ). En cuanto al contenido de calcio se encuentran 5 fincas dentro del rango óptimo ( $4-36 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$ ), nueve fincas presentan deficiencias de calcio ( $0,3-2,2 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$ ) y 16 presentan exceso ( $>36 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$ ) de las cuales siete son fincas con producción orgánica y nueve con producción convencional. Esto último puede deberse que la muestra tomada estuvo cerca del momento de aplicación de cal por parte de los productores al cultivo.

En cobre no se hallaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,3373$ ). Se encontraron tres fincas con niveles óptimos ( $3-20 \text{ mg l}^{-1}$ ) y 27 cuentan con exceso ( $>20 \text{ mg l}^{-1}$ ).

Para zinc no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,3993$ ). Este elemento se encuentra deficiente ( $0,1-0,3 \text{ mg l}^{-1}$ ) en los tres bosques, en ocho fincas convencionales y en las doce fincas orgánicas, en seis se encuentra óptimo ( $6-36 \text{ mg l}^{-1}$ ) sólo en una este elemento se encuentra en exceso ( $>36 \text{ mg l}^{-1}$ ).

En el elemento manganeso no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,4893$ ). El manganeso se encuentra deficiente ( $0,7-5 \text{ mg l}^{-1}$ ) en dos bosques, en cinco fincas convencionales y una orgánica y se encuentra en exceso ( $> 100 \text{ mg l}^{-1}$ ) en el resto de fincas.

En hierro no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,6508$ ). Los niveles de hierro son tóxicos en todas las fincas evaluadas ya que superan los  $80 \text{ mg l}^{-1}$ . Los mayores niveles se alcanzan en los bosques ( $186,33 \text{ mg l}^{-1}$ ) y en CECC ( $212 \text{ mg l}^{-1}$ ).

En el caso del pH no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,3808$ ), los suelos evaluados son suelos ácidos, los valores máximos de pH encontrados fueron de 5,54 y el pH mínimo fue de 4,44. El pH óptimo para café es de 5 a 5,5.

El aluminio intercambiable (acidez) no tuvo diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,9110$ ). En 20 fincas el aluminio se encuentra por debajo del nivel crítico ( $1,5 \text{ cmol l}^{-1}$ ). Presentándose toxicidad en diez fincas, los casos más extremos pueden alcanzar valores de  $5,39 \text{ (cmol l}^{-1})$ .

En cuanto al porcentaje de saturación de acidez no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,7821$ ). Los valores de porcentaje de saturación de acidez se encontraron entre el rango de 4,99 % a 41,98 %. Todos los tratamientos de café estuvieron dentro del % de saturación de acidez que tolera el café que es de 20 a 40 % (FNC 2001), pero el bosque obtuvo el mayor promedio de 41,98 %.

En nitrógeno no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,2012$ ). El tratamiento con mayores contenidos de nitrógeno fue bosque con un valor promedio de 0,57 % y el de menor valor promedio CMC con 0,19 % (Cuadro 23). Aquí se resalta el caso particular de la finca La Saida (PS) donde por sus características propias de suelo hace que el tratamiento pleno sol alcance valores tan altos (0,51 %). Teniendo en cuenta que los rangos óptimos para café se encuentran entre 0,25 % y 0,50 % (FNC 2001) se puede inferir que los tratamientos le pueden brindar un buen contenido de nitrógeno al cultivo excepto el tratamiento CMC (0,19 %). El contenido de N estuvo relacionado directamente con el contenido de materia orgánica ya que los dos tratamientos B y PS fueron los que alcanzaron los más altos contenidos de MO.

El Potasio por tener una gran heterogeneidad en varianza se transformó en rangos y se corrió el ANOVA y se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0249$ ). En general en 14 de las 30 fincas evaluadas se tuvieron valores entre 0,01 y 0,2 presentando deficiencias de este elemento (el óptimo para el café esta entre 0,4-2 meq  $100\text{ml}^{-1}$ ).

En el análisis de contrastes ortogonales se observaron diferencias significativas ( $p=0,0127$ ) entre el promedio de los tratamientos orgánicos (11,9 meq  $100\text{ml}^{-1}$ ) comparado con el promedio de los tratamientos convencionales (19,7 meq  $100\text{ml}^{-1}$ ); además se encontraron diferencias significativas ( $p=0,0055$ ) dentro de los tratamientos orgánicos entre el promedio de CMO (22,8 meq  $100\text{ml}^{-1}$ ) comparado con el promedio de los tratamientos con *Erythrina* orgánicos (CECO, CEMO, CEO) (8,28 meq  $100\text{ml}^{-1}$ ) (Cuadro 24); aquí se refleja la influencia del cultivo asociado de musáceas y los residuos que estos generan sobre la fertilidad del suelo, ya que los residuos son ricos en potasio (Bravo y Echenique 2002, Segura y Serrano 2005).

Cuadro 24. Potasio presente en los suelos evaluados en meq 100 ml<sup>-1</sup>, ( $\pm$  EE) datos transformados a rango.

Tratamientos	K (meq/100mL)	Rango K
B	0,2 $\pm$ (0,05)	14,5 $\pm$ (1,32) ab
CEC	0,48 $\pm$ (0,17)	23,17 $\pm$ (5,34) a
CECC	0,45 $\pm$ (0,08)	23,67 $\pm$ (2,4) a
CECO	0,08 $\pm$ (0,02)	4,67 $\pm$ (1,83) b
CEMC	0,22 $\pm$ (0,07)	13,17 $\pm$ (4,97) ab
CEMO	0,1 $\pm$ (0,0033)	5,5 $\pm$ (1) b
CEO	0,2 $\pm$ (0,05)	14,67 $\pm$ (2,03) ab
CMC	0,35 $\pm$ (0,13)	19 $\pm$ (4,92) a
CMO	0,37 $\pm$ (0,0033)	22,83 $\pm$ (0,67) a
PS	0,38 $\pm$ (0,29)	13,83 $\pm$ (8,37) ab

B= Bosque, CEC= Café-Erythrina-Convencional, CECC= Café-Erythrina-Cordia Convencional, CECO= Café-Erythrina-Cordia Orgánico, CEMC= Café-Erythrina-Musa Convencional, CEMO= Café-Erythrina-Musa Orgánico, CEO= Café-Erythrina-Orgánico, CMC= Café-Musa Convencional, CMO= Café-Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas evidencian diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ).

El Magnesio presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0074$ ). Los tratamientos con mayores contenidos de magnesio fueron CMO (3,66 meq 100 ml<sup>-1</sup>) y CEMC (1,87 meq 100 ml<sup>-1</sup>). En el análisis de contrastes ortogonales se observaron diferencias entre el promedio de PS comparado con el promedio de orgánicos y convencionales ( $p=0,0375$ ), donde PS tiene una media inferior (0,47 meq 100 ml<sup>-1</sup>) (Figura 21).

Dentro de los tratamientos orgánicos se encontraron diferencias significativas ( $p=0,0007$ ) en el contraste que compara la influencia de *Musa* comparando las medias de CMO con el promedio de los tratamientos CEMO, CEO, y CECO, donde el tratamiento CMO tuvo mayor valor de media con 3,66 meq 100 ml<sup>-1</sup> respecto a 1,35 meq 100 ml<sup>-1</sup> que es el valor promedio de CEMO (1,87 meq 100 ml<sup>-1</sup>), CEO (1,20 meq 100 ml<sup>-1</sup>) y CECO (1 meq 100 ml<sup>-1</sup>). Los valores más bajos se encontraron en el café a plena exposición solar (0,47 meq 100 ml<sup>-1</sup>) y en los bosques (0,55 meq 100 ml<sup>-1</sup>).

Glover y Beer (1986) encontraron que en parcelas con *Café-Erythrina-Cordia* se incrementan los contenidos de Ca y Mg y se disminuye el K, lo cual no concordó con los

valores encontrados en el presente estudio. En el ensayo comparativo de sistemas orgánico convencional de CATIE se ha observado una disminución en el contenido de Magnesio en los tres años de estudio tanto el de manejo orgánico como convencional (Soto *et al.* 2005).

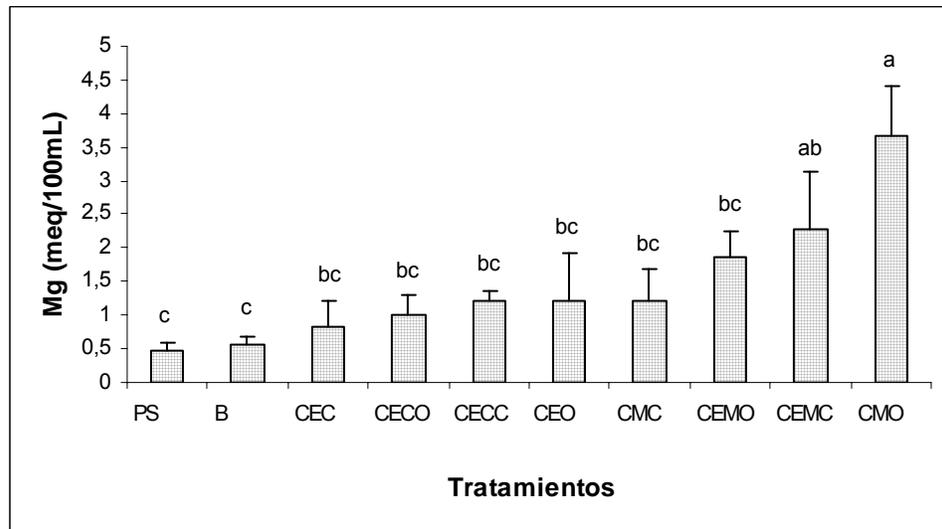


Figura 21. Contenido de magnesio (meq 100 ml<sup>-1</sup>) de los tratamientos evaluados en 30 fincas ubicadas dentro del Corredor Biológico Turrialba Jiménez, Costa Rica, 2005.

Nota: B= Bosque, CEC= Café-Erythrina-Convencional, CECC= Café-Erythrina-Cordia Convencional, CECO= Café-Erythrina-Cordia Orgánico, CEMC= Café-Erythrina-Musa Convencional, CEMO= Café-Erythrina-Musa Orgánico, CEO= Café-Erythrina-Orgánico, CMC= Café-Musa Convencional, CMO= Café-Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas evidencian diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ).

El contenido de carbono orgánico no presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,1454$ ). Los mayores contenidos de carbono orgánico se registraron en los tratamientos de bosque (140,77 g kg<sup>-1</sup>) y PS (122,23 g kg<sup>-1</sup>). El contenido más bajo de carbono orgánico lo obtuvo el tratamiento CECO (47,03 g kg<sup>-1</sup>). El rango óptimo para materia orgánica es de 50 a 100 g kg<sup>-1</sup> (5–10 %), donde sólo las fincas del tratamiento CECO tuvieron el promedio por debajo que el óptimo.

El tratamiento de café a pleno sol comienza a evidenciar diferencias que pueden ser dadas por el historial y el manejo que se realiza en las fincas, aunque estas sean a pleno sol se encontró que en una de ellas la conciencia ambiental es evidente en las prácticas de conservación de suelos con el uso de coberturas vivas y manejo de chapias altas (por encima de 10 cm, nunca dejan el suelo desnudo).

Se observa un patrón claro de los altos contenidos de Mg y K entre los sistemas agroforestales que tienen dentro de su composición a musas comparadas con las otras combinaciones. Los demás elementos analizados no varían entre producciones orgánicas, producciones convencionales, en producciones de café a pleno sol o en fragmentos de

bosque, lo que llama la atención es que en producciones convencionales se aplica fertilizantes completos en el 86% de las fincas además de aplicar Nutran, Urea y Nitrato de amonio en menor proporción, comparado con el mínimo aporte que representa el aporte que la gallinaza solo para el 41.7% de las fincas orgánicas.

#### 4.4.4 Indicadores Biológicos y Microbiológicos

##### 4.4.4.1 Fraccionamiento de materia orgánica

El porcentaje de fracción fina (%FF) de la materia orgánica no presentó diferencias significativas ( $p=0,6145$ ). Los tratamientos con valores promedio menores de porcentaje de FF son CMO y CMC con valores de 31,7 % y 33,8 %, y los tratamientos con mayores contenidos de fracción fina son B con 45,05 % y CEMO con 52,19 % (Cuadro 25).

*Cuadro 25. Porcentaje de la fracción fina y la fracción gruesa de la materia orgánica y el contenido de carbono orgánico ( $\pm$  EE) para cada una de las fracciones para 30 fincas del estudio de calidad de suelos en Turrialba, Costa Rica, 2005.*

Estructura	% FF	% FG	CO FF(g kg <sup>-1</sup> )	CO FG(g kg <sup>-1</sup> )
B	45,05 $\pm$ (11,26)	54,95 $\pm$ (11,26)	33,33 $\pm$ (5,73)	92,25 $\pm$ (49,37)
CEC	37,64 $\pm$ (4,80)	62,36 $\pm$ (4,80)	23,28 $\pm$ (10,20)	26,85 $\pm$ (9,01)
CECC	40,54 $\pm$ (7,20)	59,46 $\pm$ (7,20)	13,95 $\pm$ (1,20)	22,69 $\pm$ (3,57)
CECO	41,66 $\pm$ (3,06)	58,34 $\pm$ (3,06)	14,46 $\pm$ (1,71)	27,92 $\pm$ (6,51)
CEMC	42,76 $\pm$ (1,34)	57,24 $\pm$ (1,34)	14,12 $\pm$ (2,32)	19,53 $\pm$ (4,05)
CEMO	52,19 $\pm$ (9,79)	47,81 $\pm$ (9,79)	16,08 $\pm$ (1,91)	19,83 $\pm$ (7,13)
CEO	43,83 $\pm$ (5,45)	56,17 $\pm$ (5,45)	14,73 $\pm$ (1,11)	27,44 $\pm$ (6,23)
CMC	33,80 $\pm$ (6,60)	66,20 $\pm$ (6,60)	16,02 $\pm$ (5,77)	32,53 $\pm$ (12,16)
CMO	31,70 $\pm$ (6,31)	68,30 $\pm$ (6,31)	15,37 $\pm$ (1,64)	36,42 $\pm$ (10,69)
PS	36,76 $\pm$ (4,12)	63,24 $\pm$ (4,12)	26,79 $\pm$ (14,03)	45,69 $\pm$ (23,26)

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol.

En el porcentaje de fracción orgánica gruesa no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,6145$ ). Los tratamientos con mayores valores de fracción gruesa fueron CMC y CMO con valores de 66,2 % y 68,3 % respectivamente, y los tratamientos con menor cantidad de fracción gruesa fueron CEMO y B con 47,81 % y 54,95 % respectivamente.

No se encontraron diferencias significativas en la cantidad del CO en la fracción fina ( $p=0,3676$ ) ni en la fracción gruesa ( $p=0,2792$ ). En la fracción fina el bosque es el que tiene

mayor valor promedio con 33,3 g kg<sup>-1</sup> y CECC posee el valor promedio más bajo con 13,95 g kg<sup>-1</sup>. El tratamiento con mayor valor promedio de cantidad de carbono orgánico de fracción gruesa es bosque con 92,25 g kg<sup>-1</sup> y el de menor valor es CEMC con 19,53 g kg<sup>-1</sup>.

*Cuadro 26. Datos estudios de fraccionamiento de materia orgánica en Costa Rica en diferentes sistemas.*

<b>Cultivo</b>	<b>Uso de suelo</b>	<b>Nivel</b>
Zuquini, lechuga, coliflor y repollo (Clavijo 2003).	Orgánico	76,77 g kg <sup>-1</sup> en FG y de 86,08 g kg <sup>-1</sup> de FF
	Convencional	42,77 g kg <sup>-1</sup> y 77,1 g kg <sup>-1</sup> en FG y de 68,5 a 93,96 g kg <sup>-1</sup> de FF
Bosque, cacao, anuales y cultivos asociados (Meléndez 1997)	Bosque	17,98 g kg <sup>-1</sup> FG y 35,91 g kg <sup>-1</sup> FF
	Cacao	11,70 g kg <sup>-1</sup> FG y 31,88 g kg <sup>-1</sup> FF
	Anuales	8,66 g kg <sup>-1</sup> FG y 37,90 g kg <sup>-1</sup> FF
	Cultivos asociados (maíz-frijol)	10,72 g kg <sup>-1</sup> FG y 39,12 g kg <sup>-1</sup> FF

En sistemas agroforestales de café con *Erythrina* en la zona de Turrialba se encontraron valores para la fracción gruesa de la materia orgánica en producciones orgánicas valores de 21,2 g CO kg<sup>-1</sup> de suelo, en producciones convencionales valores de 14,2 g CO kg<sup>-1</sup> de suelo y con manejo convencional PS valores de 16,2 g CO kg<sup>-1</sup> de suelo (Zuluaga 2004). Estos valores difieren de los encontrados dentro de este estudio en cafetales a plena exposición solar pudiéndose otorgar esta diferencia al tipo de suelo predominante ya que los cafetales a pleno sol evaluados tienen altos contenidos de materia orgánica y están bajo la influencia de cenizas volcánicas. En cuanto a los valores de producciones orgánicas y convencionales los valores son cercanos con los encontrados en este estudio. Comparando los valores de la producción de café con otros cultivos en Costa Rica se puede observar que el café maneja valores más altos (Cuadro 26):

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la proporción %FF/%FG, los valores oscilaron entre 0,49 y 1,27 (Cuadro 27).

Cuadro 27. Relación de porcentaje de fracción fina sobre porcentaje de fracción gruesa de materia orgánica ( $\pm$  EE) en suelos bajo sistemas agroforestales dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Tratamiento	Valor promedio %FF/%FG
CMO	0,49 $\pm$ (0,13)
CMC	0,54 $\pm$ (0,14)
PS	0,59 $\pm$ (0,10)
CEC	0,62 $\pm$ (0,12)
CECO	0,72 $\pm$ (0,09)
CECC	0,74 $\pm$ (0,23)
CEMC	0,75 $\pm$ (0,04)
CEO	0,82 $\pm$ (0,20)
B	0,96 $\pm$ (0,33)
CEMO	1,27 $\pm$ (0,45)

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol.

Aunque las diferencias no son significativas hay una tendencia de balance entre la FG y la FF en el bosque seguido por los tratamientos orgánicos. Los tratamientos con *Musa* tienen mayores contenidos de FG (deposiciones recientes de materia orgánica) que de FF (humus) lo que hace pensar que hay una baja acumulación de carbono mineralizado en el suelo.

#### 4.4.4.2 Biomasa microbiana

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el muestreo de biomasa microbiana realizado en época seca ( $p=0,0010$ ). El tratamiento con mayor promedio de biomasa fue bosque con 2.236 mg kg<sup>-1</sup> y los tratamientos con menor biomasa fueron PS (558,67 mg kg<sup>-1</sup>) y CEC (616 mg kg<sup>-1</sup>) (Figura 22). En el análisis de contrastes ortogonales se encontraron diferencias significativas ( $<0,0001$ ) entre el promedio de B (2.236 mg kg<sup>-1</sup>) comparado con el promedio del resto de tratamientos (731,2 mg kg<sup>-1</sup>). Meléndez (1997) encontró valores de biomasa microbiana para bosques en Costa Rica de 498 ug C-mic g<sup>-1</sup> suelo y 308–334 ug C-mic g<sup>-1</sup> suelo para sistemas agroforestales.

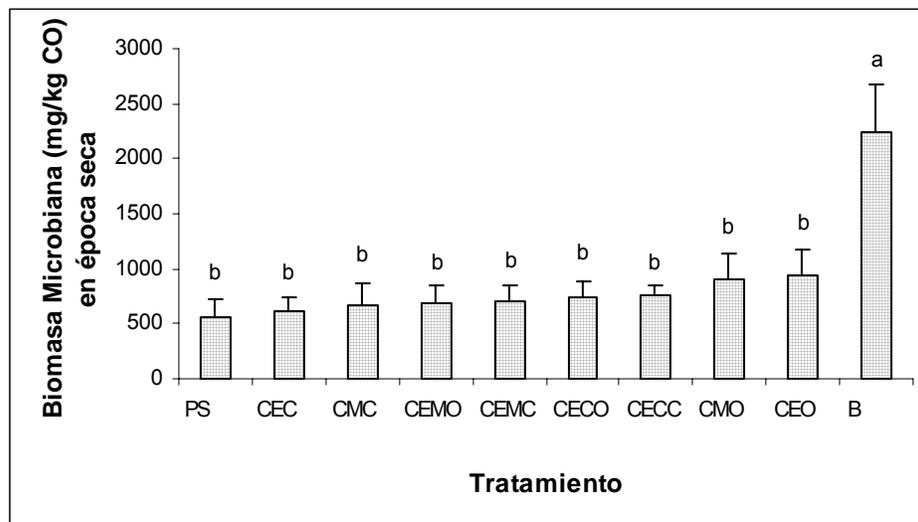


Figura 22. Promedios de biomasa microbiana en periodo seco ( $g\ CO\ kg^{-1}$  suelo) en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

En cuanto a la biomasa en el periodo de lluvias, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0005$ ). El tratamiento con mayor biomasa microbiana fue bosque ( $2.157,33\ mg\ kg^{-1}$ ) y el de menor biomasa fue CEC con  $530,67\ mg\ kg^{-1}$ , en general los tratamientos orgánicos tienen promedios mayores que los tratamientos convencionales (Figura 23).

En el análisis de contrastes ortogonales se encontraron diferencias entre el promedio de B ( $2.157,33\ mg\ kg^{-1}$ ) cuando se comparó con el promedio del resto de tratamientos ( $763,37\ mg\ kg^{-1}$ ); estas diferencias fueron significativas ( $p < 0,0001$ ).

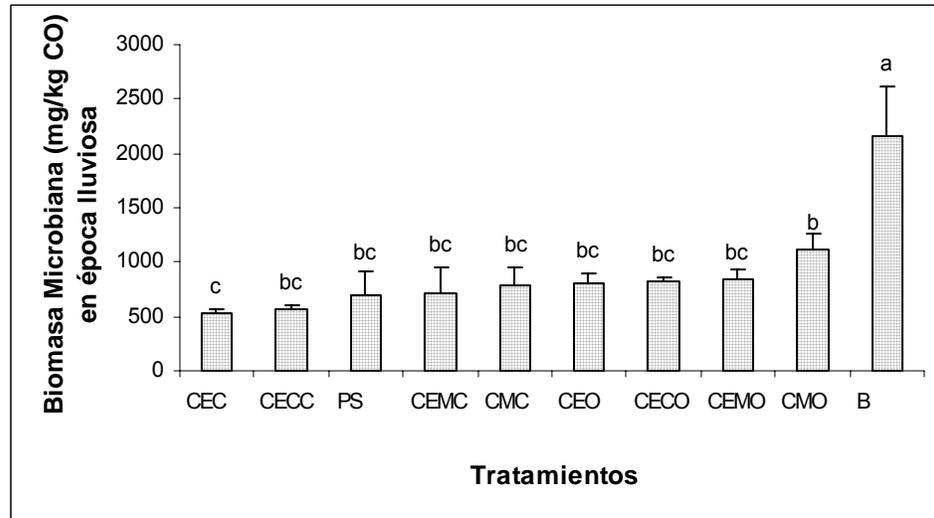


Figura 23. Promedios de biomasa microbiana en periodo lluvioso ( $g\ CO\ kg^{-1}$  suelo) en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

La biomasa microbiana varía de lugar a lugar, durante la época del año y con el tipo de uso del suelo dentro de la misma región, por ejemplo en Colombia en un mismo sitio bajo el uso de pastos, la biomasa microbiana fue de  $151,06\ mg\ de\ C\ g^{-1}$  de suelo en marzo y cambio a  $271,25\ mg\ de\ C\ g^{-1}$  de suelo en mayo y bajo este mismo uso de suelo pero en otra región fue de  $228,22\ mg\ de\ C\ g^{-1}$  de suelo en marzo a  $336,03\ mg\ de\ C\ g^{-1}$  de suelo en mayo y comparado con suelos bajo labranza reducida los cuales tienen valores de  $441,27\ mg\ de\ C\ g^{-1}$  de suelo en marzo y  $608,28\ mg\ de\ C\ g^{-1}$  de suelo en mayo en el primer sitio y de  $237,84\ mg\ de\ C\ g^{-1}$  de suelo en marzo a  $282,24\ mg\ de\ C\ g^{-1}$  de suelo en mayo (Cadena *et al.* 1998). Islam y Weil (2000) en Bangladesh evaluaron el efecto del uso del suelo en la biomasa microbiana encontrando valores de biomasa en bosque natural de  $259,5\ mg\ C\ kg^{-1}$ , en tierras reforestadas  $337,9\ mg\ C\ kg^{-1}$ , en praderas  $394,1\ mg\ C\ kg^{-1}$  y en tierras cultivadas  $156,1\ mg\ C\ kg^{-1}$ .

Tanto en época seca como en época lluviosa la biomasa microbiana se mantuvo alta en bosques por la resiliencia que presenta este sistema en contraposición con los sistemas agrícolas. Este mismo patrón fue encontrado por Albanesi y colaboradores (2003) cuando compararon bosques y sistemas agrícolas en Argentina, además compararon la ubicación de estos en planicies y laderas. Encontraron valores de  $325,52\ mg\ C\ kg^{-1}$  en bosque ubicado en planicie y  $241,11\ mg\ C\ kg^{-1}$  en bosques ubicados en ladera. Estos valores son bajos con los

encontrados en este estudio donde en época seca el valor promedio de biomasa es de 2.236 mg kg<sup>-1</sup> y en época lluviosa de 2.157,33 mg kg<sup>-1</sup>.

En cuanto a valores de agricultura de siete años en planicie fue de 31,63 mg C kg<sup>-1</sup> y en ladera 252,23 mg C kg<sup>-1</sup>. En agricultura de 20 años la planicie tuvo 96,24 mg C kg<sup>-1</sup> y la ladera 103,27 mg C kg<sup>-1</sup> (Albanesi *et al.* 2003), los menores valores de biomasa microbiana dentro de este estudio corresponden a 530, 67 mg kg<sup>-1</sup> siendo un valor mayor que lo encontrado en estudios de zonas templadas.

Las producciones orgánicas tuvieron una mayor cantidad de biomasa microbiana aunque no alcanzaron diferencias significativas al compararse estadísticamente con las convencionales, esto pudo deberse a la biomasa que se aporta por las podas dentro de los sistemas agroforestales ya que se encontró mayor biomasa de cobertura en época lluviosa en sistemas orgánicos que en convencionales, lo que conlleva a un aumento en la materia orgánica que por ende incrementa la biomasa microbiana (Bhattacharyya *et al.* 2003) independientemente del manejo que se le de al cultivo. Lundquist y colaboradores (1999) encontraron cantidades mayores en la biomasa microbiana en producciones orgánicas de centeno (45 g C cm<sup>-3</sup>) que en producciones convencionales (92 g C cm<sup>-3</sup>). Pero cuando el suelo se cambia de actividad a sí sea bajo producciones intensivas la biomasa de carbono puede ser mayor, esto por ejemplo obteniéndose valores de 116 g C cm<sup>-3</sup> en suelos bajo hortalizas.

No es de extrañarse que no se encuentren diferencias entre manejos orgánicos o de menor impacto ambiental como la no labranza, comparados con producciones convencionales por ejemplo, Campbell y colaboradores (1999) encontraron que no hay diferencias significativas en biomasa microbiana luego de 12 años de labranza convencional y no labranza.

En Brasil se han realizado estudios de biomasa microbiana encontrando para sistemas agroforestales con *Café-Erythrina* convencional valores de 458 mg C-BM kg<sup>-1</sup>, y en *café-Inga-Cuernavaca* orgánico, valores de 1.286 mg C-BM kg<sup>-1</sup> (Alfaro 2004), donde los valores son relativamente parecidos a los encontrados en este estudio a pesar de las condiciones ambientales de cada zona.

#### **4.4.4.3 Unidades formadoras de colonias de actinomicetes, bacterias y hongos**

Los recuentos de unidades formadoras de colonias (UFC) fueron transformados a logaritmo natural con el fin de realizar su análisis mediante ANOVA.

#### **4.4.4.3.1 Actinomicetes**

Cuando se analiza las UFC de actinomicetes transformadas no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ni en época seca ( $p=0,3703$ ), ni en época lluviosa ( $p=0,4096$ ). Los tratamientos con mayor número de UFC de actinomicetes en época seca fueron CEO y CEC con  $13,59 \ln \text{ UFC g}^{-1}$  suelo seco y  $14,59 \ln \text{ UFC g}^{-1}$  suelo seco respectivamente, el tratamiento con menor UFC fue CECC con  $7,51 \ln \text{ UFC g}^{-1}$  suelo seco. Y en época lluviosa los mayores promedios los alcanzaron los tratamientos de CEO y CEMO con valores de  $14,48 \ln \text{ UFC g}^{-1}$  suelo seco y  $13,77 \ln \text{ UFC g}^{-1}$  suelo seco respectivamente y el tratamiento con menor promedio fue CECC con  $11,89 \ln \text{ UFC g}^{-1}$  suelo seco.

#### **4.4.4.3.2 Bacterias**

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ni en la época seca ( $p=0,5926$ ) ni en la lluviosa ( $p=0,5585$ ). Los tratamientos con mayores UFC fueron en época seca PS ( $4 \times 10^6$ ) CEC ( $15,9 \times 10^6$ ) y en época lluviosa B ( $1,9 \times 10^6$ ) CEO ( $3,3 \times 10^6$ ). Los tratamientos que presentaron menores UFC en época seca fueron CMO ( $0,035 \times 10^6$ ) y CEMO ( $0,073 \times 10^6$ ) y en época lluviosa CMO ( $0,002 \times 10^6$ ) y CEMC ( $0,008 \times 10^6$ ).

#### **4.4.4.3.3 Hongos**

No hay diferencias significativas de la población de hongos en época seca ( $p=0,4167$ ), ni en época lluviosa ( $p=0,2237$ ). Los tratamientos que presentaron mayores UFC en época seca fueron CEC ( $0,015 \times 10^6$ ) y CMO ( $0,024 \times 10^6$ ) y en época lluviosa CEMC ( $0,006 \times 10^6$ ) y CEMO ( $0,011 \times 10^6$ ). Los tratamientos con menores UFC en época seca fueron CEMC ( $0,0016 \times 10^6$ ) y B ( $0,0043 \times 10^6$ ) y en época lluviosa PS ( $0,0019 \times 10^6$ ) y CMC ( $0,0022 \times 10^6$ ).

En un estudio hecho en India por Velmourougane *et al.* (2000) encontraron poblaciones de  $15 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de levaduras,  $29 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de actinomicetes,  $32 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de hongos y  $42 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de bacterias asociadas a café arábico creciendo en altura (1.067–1.361 msnm).  $19 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de levaduras,  $21 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de actinomicetes,  $42 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de hongos y  $51 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de bacterias en arábicos en crecimiento a una altitud mayor a 1.361 msnm. Y por último,  $11 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de levaduras,  $21 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de actinomicetes,  $39 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de hongos y  $45 \text{ UFC g}^{-1}$  muestra de bacterias asociadas a café robusta creciendo a una altura menor de 1.067 msnm.

#### 4.4.4.3.4 Riqueza de organismos

Los géneros de hongos y bacterias de este estudio (Cuadro 28) coinciden con los encontrados en suelos de cafés de baja altura en India, en bacterias: *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Serratia* sp., Hongos: *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Mucor* sp., *Cladosporium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Rhizoctonia* sp., *Verticillium* sp., *Paecilomyces* sp., *Beauveria* sp., Actinomicetes: *Streptomyces* sp., *Nocardia* sp., Levaduras: *Saccharomyces* sp., *Candida* sp., *Torula* sp. (Velmourougane *et al.* 2000).

Cuadro 28. Géneros de hongos y bacterias que se encontraron en este estudio.

Grupo taxonómico	Géneros
Hongos	<i>Trichodema</i> sp., <i>Humicola</i> sp., <i>Penicillium</i> , <i>Verticillium</i> , <i>Phoma</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Mortierella</i> y Micelio estéril.
Bacterias	<i>Bacillus</i> sp, <i>Bacilo</i> gram positivo irregular, <i>Shigella</i> , Levadura, <i>Moraxella</i> , <i>Bordtedella</i> , <i>Pasteurella</i>
Actinomicetes	No se realizó la identificación.

Para el análisis de diversidad de organismos se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener, este mide la probabilidad de que una muestra seleccionada al azar seleccionar todas las especies en la proporción con que existen en la población, los valores que se acercan a cero indican que es menos diverso; y el índice de diversidad de Simpson que manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie, este índice esta altamente influido por la importancia de las especies dominantes (Magurran 1988), además se hizo un ANOVA para variables de número de individuos por género o morfotipo, número de géneros o morfotipos y para los dos índices de diversidad, estos análisis se hicieron para época seca y época lluviosa.

#### 4.4.4.3.4.1 Actinomicetes

##### 4.4.4.3.4.1.1 Época seca:

Hubo diferencias significativas en número de morfotipos ( $p=0,0180$ ). Observando los contrastes existen diferencias entre bosque y el resto de tratamientos ( $p=0,0100$ ), donde el bosque tiene los menores valores promedio de morfotipos (3,67) comparado con el resto de tratamientos. Se evidencian diferencias significativas ( $p=0,0264$ ) en las fincas orgánicas con

las combinaciones CEMO y CECO con promedios de 0,51 y 0,32 respectivamente. En fincas convencionales hubo diferencias significativas ( $p=0,086$ ) entre CEMC y CECC con promedios de 0,38 y 0,52 respectivamente.

El índice de Shannon evidencia diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0282$ ). En el análisis de contrastes ortogonales se encontraron diferencias entre los bosques comparados con los demás tratamientos ( $p=0,0310$ ) donde los bosques tienen una menor diversidad promedio (Shannon= 0,85). Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos convencionales con combinaciones de CEC comparado con CECC y CEMC, donde CEC tiene un índice promedio de Shannon de 0,77 comparado con el valor promedio de Shannon de CECC y CEMC de 1,3. Los índices se encontraron en el rango de 0,77 a 1,67, el menos diverso es CEC y los más diversos fueron CEMC, CECO y CMO (Cuadro 29).

*Cuadro 29. Valores de los índices de diversidad ( $\pm$  EE) para actinomicetes en época seca en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>Estructura</b>	<b>Individuos (<math>p=0,3745</math>)</b>	<b>Morfotipos (<math>p=0,0180</math>)</b>	<b>Shannon (<math>p=0,0282</math>)</b>	<b>Simpson (<math>p=0,0727</math>)</b>
B	45,33 $\pm$ (21,26)	3,67 $\pm$ (1,2) d	0,85 $\pm$ (0,18) cd	0,41 $\pm$ (0,05)
CEC	801,33 $\pm$ (658,08)	5,67 $\pm$ (0,67) bcd	0,77 $\pm$ (0,32) d	0,63 $\pm$ (0,17)
CECC	62 $\pm$ (34)	4 $\pm$ (0) cd	0,93 $\pm$ (0,17) bcd	0,46 $\pm$ (0,12)
CECO	98,33 $\pm$ (21,21)	9 $\pm$ (1,53) a	1,67 $\pm$ (0,23) a	0,23 $\pm$ (0,06)
CEMC	55,33 $\pm$ (15,81)	7,67 $\pm$ (0,33) ab	1,67 $\pm$ (0,03) a	0,21 $\pm$ (0,02)
CEMO	56,67 $\pm$ (16,34)	5,67 $\pm$ (0,67) bcd	1,21 $\pm$ (0,2) abcd	0,38 $\pm$ (0,1)
CEO	127 $\pm$ (68,2)	6,33 $\pm$ (0,88) abcd	1,44 $\pm$ (0,1) ab	0,27 $\pm$ (0,02)
CMC	65 $\pm$ (11,72)	7 $\pm$ (1) abc	1,39 $\pm$ (0,19) abc	0,31 $\pm$ (0,06)
CMO	94 $\pm$ (23,76)	8,67 $\pm$ (0,88) a	1,61 $\pm$ (0,07) a	0,25 $\pm$ (0,02)
PS	44,67 $\pm$ (18,22)	5,67 $\pm$ (1,33) bcd	1,34 $\pm$ (0,27) abcd	0,29 $\pm$ (0,12)

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p\leq 0,05$ ).

#### 4.4.4.3.4.1.2 Época lluviosa

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para época lluviosa de las variables número de morfotipos ( $p=0,5438$ ), número de individuos por morfotipos

( $p=0,5759$ ), índices de Shannon ( $p=0,2295$ ), ni Simpson ( $p=0,3437$ ). Descriptivamente los índices de diversidad de Shannon y Simpson indican que los tratamientos orgánicos son más diversos que los convencionales pero esta diferencia es numérica más no estadística.

#### 4.4.4.3.4.2 Hongos

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para época seca de las variables número de géneros ( $p=0,5614$ ), número de individuos por género ( $p=0,6647$ ), índices de Shannon ( $p=0,6425$ ), ni Simpson ( $p=0,7389$ ). En época lluviosa solo se encontraron diferencias significativas en el número de individuos por géneros ( $p=0,0068$ ) donde CEC obtuvo el valor más alto con 156,33 individuos, no se encontraron diferencias en número de géneros ( $p=0,1890$ ), índices de Shannon ( $p=0,2117$ ), ni Simpson ( $p=0,0629$ ) (Cuadro 30).

*Cuadro 30. Valores de los índices de diversidad para hongos ( $\pm$  EE) en época lluviosa en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>Estructura</b>	<b>Individuos (<math>p=0,0068</math>)</b>	<b>géneros (<math>p=0,1890</math>)</b>	<b>Shannon (<math>p=0,2117</math>)</b>	<b>Simpson (<math>p=0,0629</math>)</b>
B	23,33 $\pm$ (6,84) b	4 $\pm$ (0,58)	1,03 $\pm$ (0,14)	0,41 $\pm$ (0,07)
CEC	156,33 $\pm$ (50,45) a	5,33 $\pm$ (0,88)	0,67 $\pm$ (0,17)	0,66 $\pm$ (0,11)
CECC	47,33 $\pm$ (9,06) b	5,33 $\pm$ (0,67)	1,23 $\pm$ (0,17)	0,34 $\pm$ (0,07)
CECO	59 $\pm$ (22,72) b	5,33 $\pm$ (1,67)	1,25 $\pm$ (0,28)	0,33 $\pm$ (0,08)
CEMC	38 $\pm$ (8,08) b	4 $\pm$ (1)	1,04 $\pm$ (0,17)	0,38 $\pm$ (0,05)
CEMO	36,67 $\pm$ (8,21) b	3 $\pm$ (0,58)	1,04 $\pm$ (0,19)	0,35 $\pm$ (0,07)
CEO	35,67 $\pm$ (5,24) b	4,67 $\pm$ (1,2)	0,99 $\pm$ (0,27)	0,47 $\pm$ (0,11)
CMC	47 $\pm$ (23,86) b	3,67 $\pm$ (1,45)	0,59 $\pm$ (0,41)	0,72 $\pm$ (0,2)
CMO	18,33 $\pm$ (8,51) b	3 $\pm$ (0,58)	0,72 $\pm$ (0,19)	0,56 $\pm$ (0,1)
PS	55,33 $\pm$ (8,41) b	7 $\pm$ (0,58)	1,51 $\pm$ (0,19)	0,26 $\pm$ (0,06)

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p\leq 0,05$ ).

#### 4.4.4.3.4.3 Bacterias

En época seca se encontraron diferencias significativas en los índices de diversidad de Shannon ( $p=0,0067$ ) e índice de Simpson ( $p=0,0245$ ), donde se evidencian diferencias en

tratamientos orgánicos entre CEMO y CECO ( $p=0,0017$  Shannon,  $p=0,0085$  Simpson), donde CEMO (Shannon 0, Simpson 1) es menos diverso que CECO (Shannon 0,67, Simpson 0,51). En convencionales los tratamientos CEC comparados con CECC y CEMC son diferentes significativamente ( $p=0,0019$  Shannon,  $p=0,0036$  Simpson), donde el orden de mayor a menor diversidad esta  $CEC > CEMC > CECC$  (Cuadro 31).

*Cuadro 31. Valores de los índices de diversidad para bacterias ( $\pm$  EE) en época seca en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.*

<b>Estructura</b>	<b>Individuos (<math>p=0,8233</math>)</b>	<b>Shannon (<math>p=0,0067</math>)</b>	<b>Simpson (<math>p=0,0245</math>)</b>	<b>Morfotipos (<math>p=0,4225</math>)</b>
B	14,67 $\pm$ (7,45)	0,28 $\pm$ (0,21) b	0,75 $\pm$ (0,21) ab	1,67 $\pm$ (0,33)
CEC	220,5 $\pm$ (216,5)	0,63 $\pm$ (0,06) a	0,5 $\pm$ (0,0015) b	2 $\pm$ (0)
CECC	39 $\pm$ (31,05)	0,02 $\pm$ (0,02) b	0,99 $\pm$ (0,01) a	1,33 $\pm$ (0,33)
CECO	122,5 $\pm$ (82,5)	0,67 $\pm$ (0,02) a	0,51 $\pm$ (0,03) b	2 $\pm$ (0)
CEMC	2042,33 $\pm$ (2029,83)	0,15 $\pm$ (0,08) b	0,92 $\pm$ (0,04) a	1,67 $\pm$ (0,33)
CEMO	22,5 $\pm$ (11,5)	0 $\pm$ (0) b	1 $\pm$ (0) a	1 $\pm$ (0)
CEO	44 $\pm$ (0)	0 $\pm$ (0) b	1 $\pm$ (0) a	1 $\pm$ (0)
CMC	12,5 $\pm$ (5,5)	0,11 $\pm$ (0,11) b	0,94 $\pm$ (0,06) a	1,5 $\pm$ (0,5)
CMO	508 $\pm$ (496)	0,0035 $\pm$ (0,0035) b	1 $\pm$ (0,0005) a	1,5 $\pm$ (0,5)
PS	13 $\pm$ (11)	0 $\pm$ (0) b	1 $\pm$ (0) a	1 $\pm$ (0)

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p\leq 0,05$ ).

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para época seca de las variables número de morfotipos ( $p=0,4225$ ), número de individuos por morfotipo ( $p=0,8233$ ). Para la época lluviosa no se pueden obtener los datos de diversidad de especies, ya que hubo tratamientos en los cuales no hubo datos, por lo tanto los análisis no son certeros.

Las diferencias dadas en índices de diversidad en las especies analizadas por época de muestreo demuestra que tan sensibles son estos indicadores para medir cambios en el medio que los rodea, la falta de información taxonómica para calcular la diversidad existente crea incertidumbre para saber que especie o género puede estar indicando una buena o mala calidad de suelos.

#### 4.4.4.4 Recuento de lombrices

El rango de individuos para época seca fue de 10,33 ind. m<sup>-2</sup> y 67,22 ind. m<sup>-2</sup> y de 20,22 ind. m<sup>-2</sup> y 81,78 ind. m<sup>-2</sup> en época lluviosa. Los menores promedios se encontraron en producciones convencionales y los mayores promedios en producciones orgánicas (Cuadro 32).

Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Sánchez y colaboradores (2005) en sistemas agroforestales con café y Erythrina en el Cantón de Turrialba, donde en parcelas convencionales encontró 131 ind m<sup>-2</sup> y en parcelas orgánicas 265 ind m<sup>-2</sup>. Sevilla y colaboradores (2004) encontraron que en cafetales bajo sombrío se encontraron 62 ind m<sup>-2</sup> y en bosques 61 ind m<sup>-2</sup> en una profundidad de 0–10 cm.

*Cuadro 32. Número de lombrices promedio por metro cuadrado ( $\pm$  EE) por tratamiento de las 30 fincas evaluadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba- Jiménez, Costa Rica, 2005.*

Tratamiento	Época seca	Época lluviosa
B	98,67 $\pm$ (30,47)bc	184,00 $\pm$ (57,20)bcd
CEC	80,00 $\pm$ (16,38)bc	94,22 $\pm$ (30,10)de
CECC	68,89 $\pm$ (20,55)bc	98,67 $\pm$ (20,67)de
CECO	195,11 $\pm$ (29,58)ab	327,11 $\pm$ (21,79)a
CEMC	113,78 $\pm$ (38,72)bc	152,00 $\pm$ (28,73)cde
CEMO	268,89 $\pm$ (93,72)a	234,22 $\pm$ (48,69)abc
CEO	195,56 $\pm$ (74,00)ab	264,89 $\pm$ (13,21)ab
CMC	120,00 $\pm$ (35,44)bc	156,00 $\pm$ (14,42)cde
CMO	115,56 $\pm$ (10,79)bc	236,44 $\pm$ (54,33)abc
PS	41,33 $\pm$ (16,17)c	80,89 $\pm$ (6,98)e

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

En el muestreo hecho en época seca se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0472$ ). En el análisis de contrastes ortogonales la comparación entre el promedio de PS y tratamientos orgánicos y convencionales es menor significativamente ( $p=0,0409$ ). En el contraste orgánico vs. convencional los orgánicos tienen promedios mayores significativamente ( $p=0,0055$ ). Existe una tendencia en el contraste CMO comparado con CEO, CEMO, CECO donde CMO tiene un promedio menor (115,56 ind m<sup>-2</sup>) que los que tienen combinaciones con Erythrina ( $p=0,0564$ ) (CEO = 195,53 ind m<sup>-2</sup>, CEMO = 268,89 ind m<sup>-2</sup>, CECO 195,11 ind m<sup>-2</sup>, promedio 219,84 ind m<sup>-2</sup>) (Figura 24).

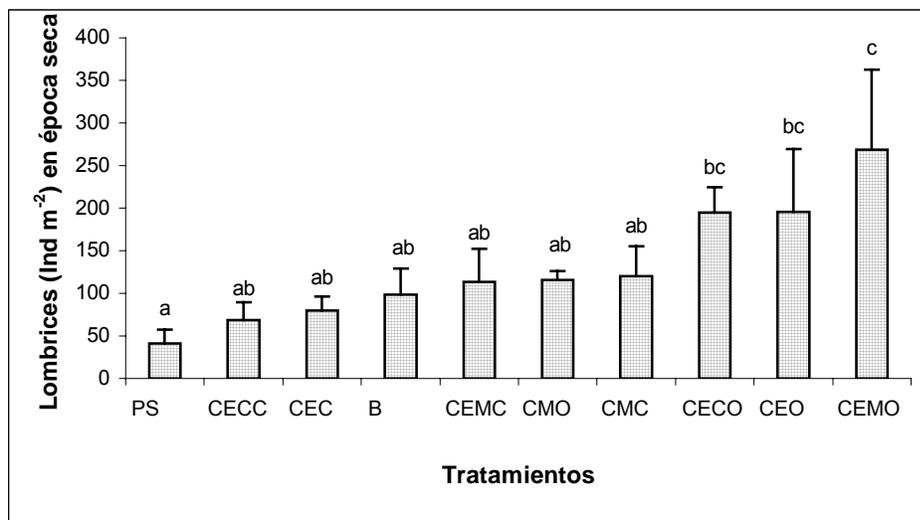


Figura 24. Recuento se Lombrices en época seca (medias de individuos m<sup>-2</sup>) en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

En el segundo muestreo de lombrices en época húmeda hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0006$ ). En el análisis de contrastes ortogonales se evidencia que el tratamiento PS tiene menor valor promedio (20,22 ind m<sup>-2</sup>) que el promedio de los tratamientos orgánicos y convencionales con una significancia estadística ( $p=0,0049$ ). Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre convencionales y orgánicos ( $p < 0,0001$ ), donde los orgánicos tienen valores promedio superiores a los convencionales. Existe una tendencia ( $p=0,0688$ ) entre CEMO y CECO donde el promedio de CECO (81,58 ind m<sup>-2</sup>) es mayor que CEMO (58,56 ind m<sup>-2</sup>) (Figura 25).

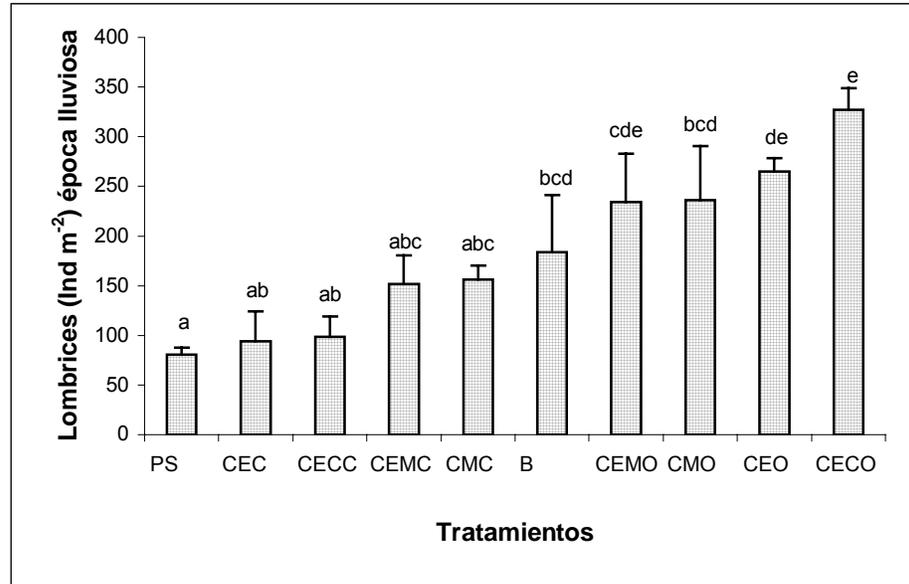


Figura 25. Recuento se Lombrices en época lluviosa (medias de individuos m<sup>-2</sup>) en las fincas estudiadas, dentro del Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4.5 Valoración de los indicadores para medir el impacto del manejo sobre el suelo

Con las variables de calidad de suelo se realizó un análisis multivariado de componentes principales. El componente uno explica el 43,0 % de la variabilidad total y las variables con mayor contribución son: CO, BM en periodo seco (BMI), BM en periodo lluvioso (componentes positivas) y densidad (componente negativa). El tratamiento B esta asociado positivamente a altos valores de BMI, BMII y CO y negativamente a valores de densidad. Los tratamientos CEMC, CMC, CEC, CECC y PS se encuentran opuestos al tratamiento B (Figura 26).

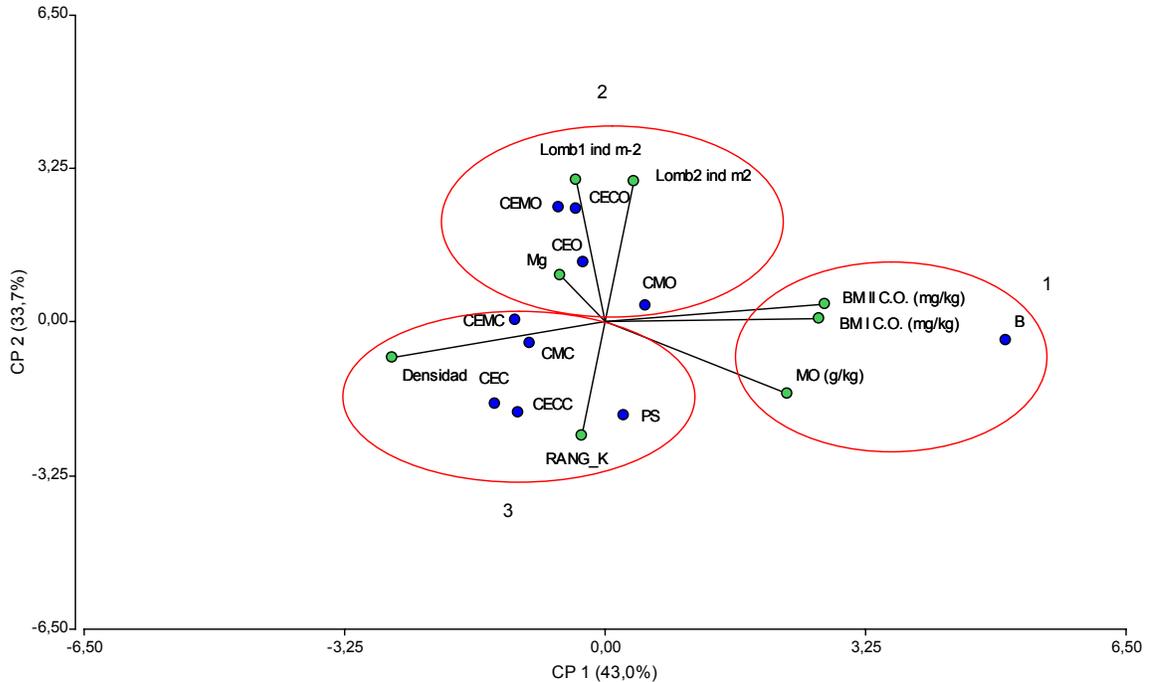


Figura 26. Análisis de componentes principales para las variables de calidad de suelos evaluadas y visualización de los tres grupos formados dentro del análisis de componentes principales dentro del estudio de sistemas agroforestales de café en el Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica, 2005.

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol, Lomb 1: número de lombrices en época seca, Lomb 2: número de lombrices en época lluviosa, CO: carbono orgánico, Mg: magnesio, Densidad; densidad aparente, Rang\_K: potasio transformado en rangos.

El componente dos explica el 33,7 % de la variabilidad total. Las variables de mayor importancia son Lomb1 y Lomb2 (componente positiva) y Rango de K (componente negativo). Los tratamientos CEMO, CEO, CECO y CMO están asociados a Lomb1 y a Lomb2 mientras que CECC, CEC y PS están asociados a K. Según este análisis se pueden visualizar tres grupos, el primero definido por Bosques, el segundo por los tratamientos orgánicos CEMO, CEO, CECO y CMO y el tercero dado por los tratamientos convencionales CEMC, CMC, CEC, CECC y PS (Figura 26).

#### 4.4.6 Índice de calidad de Diack y Stott

Para calificar la calidad de los suelos estudiados se siguió la metodología propuesta por (2001) donde explica que hay variables donde su mayor valor indica una mejor calidad y otras donde su menor valor indica una mejor calidad. Las variables convertidas a “Más es

mejor” fueron: Profundidad efectiva, pH, K (rango), Ca, Mg, P, Cu, Zn, Mn, CO, N, CICE, Ln de UFC de hongos, bacterias y actinomicetes en periodo seco y lluvioso, biomasa microbiana en periodo seco y lluvioso, cantidad de lombrices en periodo seco y lluvioso, hojarasca en periodo seco y lluvioso, porcentaje de sombra, % FF, CO FF. Las variables convertidas a “Menos es mejor” fueron: Densidad, acidez, hierro, %FG, COFG.

Se obtuvo una nueva matriz con valores entre cero y uno, a las cuales para su posterior análisis se les otorgó el mismo peso en importancia para la calidad de suelos, luego se realizó una sumatoria de las variables, y posteriormente se realizó un ANOVA donde se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0105$ ). Los tratamientos con mayor calidad de suelos fueron B y los orgánicos, los tratamientos con menos calidad de suelos fueron los convencionales (Cuadro 33).

*Cuadro 33. Promedio del índice de calidad de suelos ( $\pm$  EE) por tratamiento*

Tratamiento	índice de calidad
CECC	12,53 $\pm$ (1,19) e
PS	12,93 $\pm$ (1,35) de
CEC	13,57 $\pm$ (0,87) cde
CMC	14 $\pm$ (0,78) bcde
CEMC	15,4 $\pm$ (0,8) abcd
CMO	15,93 $\pm$ (0,28) abc
CECO	16,03 $\pm$ (0,29) abc
CEMO	16,47 $\pm$ (0,78) ab
CEO	16,53 $\pm$ (1,1) ab
B	16,93 $\pm$ (1,37) a

Nota: B= Bosque, CEC= Café–Erythrina–Convencional, CECC= Café–Erythrina–Cordia Convencional, CECO= Café–Erythrina–Cordia Orgánico, CEMC= Café–Erythrina–Musa Convencional, CEMO= Café–Erythrina–Musa Orgánico, CEO= Café–Erythrina–Orgánico, CMC= Café–Musa Convencional, CMO= Café–Musa Orgánico, PS= Pleno Sol. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p\leq 0,05$ ).

En el análisis de contrastes ortogonales se observaron diferencias significativas entre los promedios de B (16,9) y el promedio del resto de tratamientos (14,8) ( $p=0,0338$ ), teniendo un mayor nivel de calidad el suelo de B, también se observaron diferencias significativas ( $p=0,0328$ ) entre el contraste PS (12,9) y el resto de tratamientos (15,0), donde el suelo con café a PS tiene menor calidad que los suelos bajo sistemas agroforestales.

El contraste entre los promedios de los orgánicos (16,2) comparado con el promedio de los convencionales (13,8) es significativo ( $p=0,0011$ ), obteniendo un mayor valor de calidad los sistemas bajo manejo orgánico. Así también el contraste CEMC con CECC fue significativo ( $p=0,0328$ ) donde CEMC (15,4) tiene un promedio mayor que CECC (12,5). Esto evidencia una mejor calidad en sistemas con *Musa* que sería importante seguir estudiando.

Como muchos estudios revelan las producciones bajo manejo orgánico ayudan a mejorar la calidad de los suelos esto puede deberse a menores entradas de productos de síntesis química y aún mayor aporte de materia orgánica que puedan influir en los procesos biológicos (Reganold 1988, Liebig y Doran 1999, Per Schjøning *et al.* 2002, Theodoro *et al.* 2003, Bending *et al.* 2004, Marinari *et al.* 2005). A pesar de que en este caso no se observó que ni por sombra, ni por el aporte de materia orgánica al sistema orgánico fuera mayor.

## 4.5 CONCLUSIONES

- Según los resultados de este estudio los indicadores que marcan diferencias entre tipos de manejo son densidad, contenidos de magnesio y potasio, carbono orgánico, biomasa microbiana y número de lombrices y estos dos últimos ya sea en época seca y lluviosa.
- El índice de Indicadores de Calidad de Diack y Stott demostró ser útil para diferenciar la calidad de los suelos estudiados.
- A pesar del pobre manejo de los suelos en los cafetales orgánicos se observaron diferencias significativas en el Índice de Calidad entre las fincas convencionales y orgánicas.
- El análisis de componentes principales mostró que las variables biomasa microbiana, carbono orgánico correlacionaron con suelos bajo bosques. La variable población de lombrices en época seca y lluviosa correlacionó con los suelos bajo producciones orgánicas. La variable densidad aparente y contenido de potasio correlacionaron con los suelos bajo producciones convencionales.
- Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos orgánicos y convencionales en indicadores de calidad, se demuestra que el manejo orgánico es propicio para proteger o mantener la calidad del suelo, aunque comparado con sistemas de bosque existe una gran diferencia evidenciando el impacto antrópico dentro de la calidad.

- Los tratamientos a pesar de estar bajo esquemas de sistemas agroforestales donde en esencia se promueve una mayor sostenibilidad con el entorno se evidencia que el manejo tiene una mayor influencia sobre la calidad que el impacto que pueda generar la composición de especies de los árboles de sombra.
- Sin embargo en los tratamientos convencionales con musa se observo un efecto marcado en cuanto a mayores contenidos de K y de Mg.

## 4.6 RECOMENDACIONES

- En el presente estudio se observaron la densidad aparente, el contenido de magnesio y potasio, el carbono orgánico, la biomasa microbiana y el número de lombrices como indicadores que permitieron diferenciar entre suelos orgánicos y convencionales y se hace necesario seguir realizando investigaciones para estimar el uso de estas variables como indicadores de calidad de suelos bajo diferentes ambientes y sistemas productivos.
- Aunque en el análisis final con el índice de calidad sale a relucir que en sistemas convencionales se marca diferencias entre las combinaciones con Musa y con Cordia, lo cual sería interesante seguir con estudios posteriores no sólo de calidad sino en ámbitos socioeconómicos como alternativa de producción para los cafeteros. Para así poder apoyar iniciativas realmente sostenibles para el productor.
- La falta de información taxonómica y de métodos más específicos de identificación de microorganismos hace que se este perdiendo información sobre su entorno y como indicadores de calidad de suelos.
- Se evidencia a través de todo el estudio que existen diferencias entre los tratamientos orgánicos y convencionales, estas evidencias se vuelven más agudas en el periodo seco por lo tanto el cambio en las condiciones ambientales influye en los parámetros de calidad independientemente del manejo, por lo tanto se recomendaría hacer seguimiento de los indicadores a través del tiempo.
- Dentro de los tratamiento el café a PS no evidencia un grado alto de deterioro esto pudo deberse a diferencias taxonómicas de suelo o a cambios al historial

de antiguos cultivos dados en estos suelos para futuros estudios se recomendaría contar con información sobre taxonomía de suelos o realizar este estudio bajo condiciones de experimentación controladas con el fin de evitar la variación dada por el diferente manejo de los productores.

- Las variables que conforman el índice de calidad de suelo deben tener pesos diferentes, pero falta investigar cual es el valor que se le asignará cada variable, para determinar un índice más aproximado del impacto del manejo y de los factores externos que afectan al cultivo.
- Validar y mejorar el sistema de categorización para fincas orgánicas propuesto en el presente artículo.

## 5 CONCLUSIONES GENERALES

- Las producciones orgánicas tienen bajos rendimientos comparadas a las producciones convencionales lo cual la rentabilidad se ve comprometida
- La baja rentabilidad de las fincas orgánicas puede ser debida la pobre manejo que estas reciben (75 % tradicional).
- Los indicadores más consistentes a través del tiempo y que discriminaron las fincas por tipo de manejo son densidad aparente, contenido de magnesio y potasio, carbono orgánico, biomasa microbiana y número de lombrices.
- Los organismos vivos pueden proveer información de su entorno y evidenciar cambios más rápidos que evaluando indicadores físicos o químicos, pero la falta de información taxonómica y de métodos más específicos de identificación dificultan su uso práctico.
- Se evidencia a través de todo el estudio que existen diferencias entre los tratamientos orgánicos y convencionales, estas evidencias se vuelven más agudas en el periodo seco por lo tanto el cambio en las condiciones ambientales influye en los parámetros de calidad independientemente del manejo, por lo tanto se recomendaría hacer seguimiento de los indicadores a través del tiempo.
- La sostenibilidad debe verse en forma integral. El presente estudio muestra como una mejor calidad de suelos si no va acompañada del manejo adecuado del cultivo no conlleva a la sostenibilidad del sistema

## 6 RECOMENDACIONES GENERALES

- Validar y complementar el sistema de categorización para fincas orgánicas y convencionales propuesto en el presente artículo.
- Validar los indicadores de calidad de suelos como son: biomasa microbiana, densidad aparente, número de lombrices, contenidos de nitrógeno, carbono orgánico, potasio y magnesio.
- En este estudio se refleja la buena calidad de los suelos bajo manejo orgánico, pero se evidencia al mismo tiempo la baja productividad de los sistemas orgánicos estudiados, por lo que se recomienda mejorar las prácticas de manejo de estos cafetales.
- Las organizaciones que trabajan localmente promoviendo la agricultura orgánica como una alternativa a la crisis cafetalera, deben considerar la incorporación de aspectos técnicos de manejo, que permitan mejorar las productividades mostradas en el presente estudio.
- La crisis del café ha estado incentivando cambios radicales dentro de los sistemas de producción cafeteros como el hecho de diversificarlos, por lo que el uso de especies como Musas se ha incrementado enormemente en la zona, se recomendaría hacer un estudio de rentabilidad de los sistemas cafeteros en asocio con Musas como alternativa productiva para los productores.

## 7 LITERATURA CITADA

- Albanesi, A; Anriquez, A; Polo Sánchez, A. 2003. Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas del C en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia* 20:9-17.
- Alfaro Villatoro, MA. 2004. Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura do café sob manejo agroflorestal e orgânico. Ph.D. Tese. Rio de Janeiro, Brasil, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. 166p.
- Altieri, MA. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Uruguay. Nordan-Comunidad. 338p.
- Anderson, JM; Ingram, JSI. eds. 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Wallingford, England. CAB International. 2 ed. 221 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.
- \_\_\_\_\_; Flora, CB; Mitchell, JP; Karlen, DL. 2003. Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma* 114:187-213.
- Ávila, EA; Martínez, LJ; Leiva, F. 2004. Determinación de indicadores para evaluar la calidad de suelos dedicados al cultivo de papa. *In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.155.*
- Babear, BI; 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, JW. 1989. Experiencias con árboles de sombra en cafetales en Costa Rica. In Beer, JW; Fassbender, HW; Heuveldop, J. eds. *Avances en la Investigación Forestal. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 451p.*
- Bending, GD; Turner, MK; Rayns, F; Marx, MC; Wood, M. 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biology & Biochemistry* 36(11):1785-1792.
- Benjamín, T. 2004. Diversificación de la sombra en los cafetales orgánicos de APOT. Informe de trabajo. 10p.

- Benzing, A. 2001. Agricultura Orgánica. Fundamentos para la región andina. Neekar–Verlag, Villingen–Schwenningen. 682p.
- Bhattacharyya, P; Chakrabarti, K; Chakraborty, A. 2003. Effect of MSW compost on microbiological and biochemical soil quality indicators. *Compost Science & Utilization* 11(3):220-227.
- Bouyoucos, GJ. 1951. Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 43:434-438.
- Boyce, JK; Fernández, A; Fürst, E; Segura Bonilla, O. 1994. Café y desarrollo sostenible: del cultivo agroquímico a la producción orgánica en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. EFUSA. 248p.
- Bravo F, P; Echenique, J. 2002. Balance nutricional del plátano Harton (*Musa AAB*) en Yaracuy. *Revista Facultad de Agronomía (Maracay)* 28:131-143.
- Büchs, W. 2003. Biodiversity and agri-environmental indicators—general scopes and skills with special referente to the habitat level. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:35-78.
- Bulluck III, LR; Brosius, M; Evanylo, GK; Ristaino, JB. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and convencional farms. *Applied Soil Ecology* 19:147-160.
- Cadena, SF; Castillo, JA; Samann, KM; Madriñan, R. 1998. Estimación de la biomasa microbiana en suelos de ladera bajo diferentes sistemas de manejo. *Acta Agronómica* 48(3/4):37-42.
- Calle, Z. 2003. Restauración de suelos y vegetación nativa: ideas para una ganadería andina sostenible. Cali, Colombia, CIPAV. 96p.
- Cambardella, CA; Elliott, ET. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society American Journal* 56:777-783.
- Campbell, CA; Biederbeck, VO; McConkey, BG; Curtin, D; Zentner, RP. 1999. Soil quality- Effect of tillage and fallow frequency. Soil organic matter quality as influenced by tillage and fallow frequency in silt loam in southwestern Saskatchewan. *Soil Biology and Biochemistry* 31:1-7
- Campos, E; Ramírez, G; Fonseca, C; Obando, JJ. 2000. Programa para la producción de café orgánico. *In XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura.* (19, 2000 San José, CR) Memoria. San José, Costa Rica ICAFE, PROMECAFE. 125–136p.
- Canet Desanti, L. 2003. Ficha técnica del Corredor Biológico Turrialba. Escuela de Ciencias Ambientales. Investigación en Problemas de Ecología. Costa Rica. 75p.
- Cardona C, DA; Sadeghian, S. 2004. Caracterización de la fertilidad de suelos en monocultivos de café (*Coffea arabica*) y en asociación con Guamo (*Inga sp.*). *In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo* (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.63.

- Cardoso, IM; Boddington, C; Janssen, BH; Oenema, O; Kuyper, TW. 2003. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems* 58:33–43.
- Carter, MR. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 94:38-47.
- Castillo F, JA; Amésquita C, E. 2004. Identificación de indicadores de susceptibilidad del suelo a la erosión en inceptisoles andinos. *In* 1 taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Palmira 20-22 de octubre de 2004.
- CATIE. 2005. Datos Meteorológicos año 2005. Estación Meteorológica CATIE. Hoja de Excel.
- Cenicafe. 2005. Cafés especiales. Café orgánico. (en línea) consultado 30 de nov, de 2004, Disponible en [http://www.Cenicafe.org/modules.php?name=Cafes\\_Especiales&file=cafesp1](http://www.Cenicafe.org/modules.php?name=Cafes_Especiales&file=cafesp1).
- Cenicafe. 2005a. Sistemas Agroforestales de producción de café. (en línea) consultado el 20 de sep de 2005, Disponible en: [http://www.Cenicafe.org/modules.php?name=Sistemas\\_Produccion&file=sisagr](http://www.Cenicafe.org/modules.php?name=Sistemas_Produccion&file=sisagr)
- Ceron, CP. 2001. Uso, manejo y clasificación local de suelos entre agricultores de la microcuenca Potrerillo, Cauca (Colombia). Thesis Mag. Sc. Palmira, Valle del Cauca, Colombia, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 149p.
- Chávez, S. 2006. Plan de manejo cosecha 2006-2007 de café orgánico bajo sombra. Finca de Mario Marín. 4p.
- Ching LL. 2002. Organic agricultura fights back. *Science in Society* 16:30-32.
- Clavijo Ponce, NL. 2003. Calendarización, uso racional, sustitución o rediseño: una comparación entre horticultores orgánicos y convencionales de la zona de Cartago en Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 119p.
- Crecchio, C; Gelsomino, A; Ambrosoli, R; Minati, JL; Ruggiero, P. 2004. Functional and molecular responses of soil microbial communities under differing soil management practices. *Soil Biology & Biochemistry* 36:1873-1883.
- Cuchman, HA; Riquelme, AH. 2000. El hombre en armonía con el sistema: manejo de sistemas orgánicos. Buenos Aires, Argentina. 150p.
- Dacal, E; Pérez, A; Bustamante, C; Rodríguez, P; Rodríguez, MI; Viñals, R; Rodríguez, R; Martín, J; Suárez, GM. 2002. La microflora edáfica de un suelo pardo bajo los efectos de la aplicación de nitrógeno. *Café Cacao* 3(2):81-83.
- De Melo, E; Hagggar, J; Aguilar, A; Mendoza, R; Sánchez, V; Staver, C. 2004. Café agroforestal manejado con insumos químicos sintéticos y orgánicos. *In* Semana científica del CATIE (6, 2004, Turrialba, CR). Memoria. Turrialba, Costa Rica. p. 76-78.

- \_\_\_\_\_ ; Haggan, J; Soto, G; Romero, L. 2005. Criterios considerados para definición del Programa de Fertilización 2005. Ensayo de Sistemas Agroforestales–CATIE. 2p.
- \_\_\_\_\_.2006. Resultados finales Proyecto cafés especiales y diversificación participativa. Taller final 28 de febrero de 2006. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Presentación Power Point 44 diapositivas.
- \_\_\_\_\_.2006a. Los sistemas agroforestales en café: Del entendimiento agroecológico al manejo y rediseño participativo, un proceso en construcción en América Central. Curso de agroforestería con anueles y perennes. 2006. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Presentación Power Point 70 diapositivas.
- Degens, BP. 1998. Microbial functional diversity can be influenced by the addition of simple organic substrates to soil. *Soil Biology & Biochemistry* 30(14):1981-1988.
- Delate, K; Duffy, M; Chase, C; Holste, A; Friedrich, H; Wantate, N. 2003. An economic comparison of organic and conventional grain crops in a long-term agroecological research (LTAR) site in Iowa. *American Journal of Alternative Agriculture* 18(2):59-69.
- Diack, M; Stott, DE. 2001. Development of a soil quality index for the chalmers silty clay loam from the midwest USA. In Stott, DE; Mohtar, RH; Steinhardt, GC. eds. International Soil Conservation Organization Meeting held (10) Purdue University–USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. p. 550-555.
- Díaz Romeu, R; Hunter, A. 1978. Metodología de Muestreo de Suelos, Análisis Químico de Suelos y Tejido Vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, CATIE.
- Doran, JW; Coleman, DC; Bezdicek, DF; Stewart, BA. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, United States of America. Soil Science Society of America, Inc. 244p.
- Dorner, Z; Németh, I. 2004. Study of the soils and weed seed content of areas with ecological and conventional management. *Növényvédelem* 40(10):499-503.
- Drinkwater, LE; Letourneau, DK; Workneh, F; Bruggen, AHC van; Shennan, C. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications* 5(4):1098-1112.
- Duxbury, JM; Smith, MS; Doran, JW. 1989. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In *Tropical soil organic matter*. Univ of Hawaii Press Honolulu. P. 33-67.
- Elmholt, S; Labouriau, R. 2005. Fungi in Danish soils under organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107(1):65-73.
- Esguerra, G. 2001. Reflexiones comerciales sobre los cafés de conservación. In Seminario taller “Café & Conservación” Cartagena de Indias, Colombia. Marzo 11–14 de 2001. Presentación en Power Point 33 diapositivas

- Figuroa Zevallos, R; Fischersworing Hömberg, B; Roßkamp Ripken, R. 1996. Guía para la caficultura ecológica: Café orgánico. Lima, Perú. Novella Publigráf S.R.L. 171p.
- Fischersworing Hömberg, B; Roßkamp Ripken, R. 2001. Guía para la caficultura Ecológica. GTZ. Lima, Perú. 3ra Ed. 153p.
- Fließbach, A; Mäder, P. 2002. Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry* 32:757-768.
- Florian Riveros, EM. 2005(sp). Usos de suelo dentro del Corredor Biológico, Turrialba–Jiménez, Costa Rica. 1p.
- FNC (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia), Comité de cafeteros del Quindío. 2001. Comité de cafeteros del Quindío. Armenia, Colombia. 227p.
- Fraser, DG; Doran, JW; Sahs, WW; Lesoing GW. 1988. Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. *Journal Environmental Quality* 17: 585-590.
- Gallina, S; Mandujano, S; Gonzalez Romero, A. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, México. *Agroforestry Systems* 33:13-27.
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Serie técnica. Informe técnico No. 285. Proyecto agroforestal CATIE-GTZ. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 168p.
- Gil-Sotres, F; Trasar-Cepeda, C; Leirós, MC; Seoane, S. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology & Biochemistry* 37(5):877-887.
- Gliessman, SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 359p.
- Glover, N; Beer, J. 1984. Spatial and temporal fluctuations of litterfall in the agroforestry associations *Coffea arabica* var. Caturra *Erythrina poeppigiana* and *C. arabica* Var. Caturra–*E. poeppigiana*–*Cordia alliodora*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Departamento de Recursos Naturales Renovables. 56p.
- \_\_\_\_\_; Beer, J. 1986. Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 4:77-87.
- Gómez Aristizábal, A. 1992. El sombrero en los cafetales conserva la capacidad de producción de los suelos. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Departamento de Recursos Naturales. Informe. Santafé de Bogotá, junio de 1992. 6p.
- Gómez Gallego, J. 2002. La caficultura colombiana en el peor momento de su historia. Disponible en <http://www.deslinde.org.co/Ds128/café.html>. consultada el 19/11/02.
- Guharay, F; Monterroso, D; Staver, C. 2001. El diseño y manejo de la sombra para la supresión de plagas en cafetales de América Central. *Agroforestería en las Américas* 8(29):22-29.

- Gülser, C. 2004. A comparison of some physical and chemical soil quality indicators influences by different crop species. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7(6):905-911.
- Habarurema, E; Steiner, KG. 1997. Soil suitability classification by farmers in southern Rwanda. *Geoderma* 75: 75-87.
- Haggar, J; Staver, C. 2001. ¿Cómo determinar la cantidad de sombra que disminuya los problemas fitosanitarios de café? *Agroforestería en las Américas* 8(29):42–45.
- \_\_\_\_\_; Schibli, C; Staver, C. 2001. ¿Cómo manejar árboles de sombra en cafetales? *Agroforestería en las Américas* 8(29):37–41.
- Henao, MC. 2001. Caracterización de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona cafetera central colombiana. *In Suelos del eje cafetero. Proyecto UTP–GTZ. Pereira, Colombia. p: 57-77*
- Henríquez, C; Killorn, R; Bertsch, F; Sancho, F. 2004. El uso del suelo y su efecto en la distribución espacial de las propiedades de fertilidad en un andisol de Costa Rica. *In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.154.*
- Hernández, CL; Ramos, J; Rodríguez, MP; López-Hernández, D. 2004. Efectos de enmiendas orgánica y química sobre algunos parámetros bioquímicos y la estructura gremial de comunidades bacterianas en un suelo bajo manejo agrícola. *In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.152.*
- Herrera, FF; Alceste, C; Ármense, A; Flores, S; Cuevas, E. 2004. Variables microbiológicas y propiedades químicas del suelo como indicadores del efecto del fuego en sabanas secundarias. *In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.163.*
- Heuvel dop, J; Alpizar, L; Fassbender, HW; Enríquez, G; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. II. Producción agrícola, maderable y de residuos vegetales. *Turrialba* 5(4):347–355.
- Hole, DG; Perkins, AJ; Wilson, JD; Alexander, IH; Grice, PV; Evans, AD. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122:113-130.

- Hortensius, D; Welling, R. 1997. International standarization of soil quality measurements. *In* Soil and plant analysis in sustainable agriculture and environment. Eds. Hood, TM; Jones, Jr, JB. 864p.
- Hyvönen, T; Ketoja, E; Salonen, J; Jalli, H; Tiainen, J. 2003. Leed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 97:131-149.
- Ibarra-Núñez, G; García, JA; Moreno, MA. 1995. Diferencias entre un cafetal orgánico y uno convencional en cuanto a diversidad y abundancia de dos grupos de insectos. *In* AMAE, IFOAM, UACH. Conferencia internacional sobre café orgánico (1995, México, DF, México). Memoria. México, DF, México. 218p.
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. 1ª. ed. Heredia, Costa Rica. 193p.
- \_\_\_\_\_; CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). 2001. Caracterización de suelos cafetaleros en la región de Turrialba. Informes de resultados. Costa Rica. 45p.
- \_\_\_\_\_. 2004. Informe sobre la Actividad Cafetalera de Costa Rica. Preparado por el Instituto del Café de Costa Rica para los delegados del XXXIII Congreso Nacional Cafetero Ordinario. San José, Costa Rica. 70p.
- \_\_\_\_\_. 2005. Informe sobre la Actividad Cafetalera de Costa Rica. Preparado por el Instituto del Café de Costa Rica para los delegados del XXXIV Congreso Nacional Cafetero Ordinario. San José, Costa Rica. 66p.
- \_\_\_\_\_. 2005a. Situación internacional y nacional del mercado de café (diapositivas). Moya Fernández, JB ed. Turrialba, Costa Rica. 56 diapositivas.
- \_\_\_\_\_. 2005b. Precio de liquidación final cosecha 2004–2005. 4p.
- \_\_\_\_\_. Regional Turrialba. 2006. Reforma al reglamento a la ley de relaciones entre productores, beneficiadores y exportadores de café. 14p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2005. Precipitación pluvial acumulada mensual en milímetros. Centro de servicios estudios básicos de ingeniería. Carvajal Granados, S. Ed. ICE 2005. 1p.
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). 2003. Normas básicas de IFOAM: Criterios de acreditación (en línea). Consultado 30 de nov. de 2004. Disponible en <http://www.ifoam.org/>.
- Imbach, AC; Fassbender, HW; Beer, J; Borel, R; Bonnemann, A. 1989. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. VI. Balances hídricos e ingreso con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos. *Turrialba* 39 (3):400-414.

- Islam, KR; Weil, RR. 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79:9-16.
- Jaramillo Robledo, A. 1982. Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrero. *In* Taller sobre roya del cafeto, (1982, Manizales, Colombia). FEDERACAFE–CENICAFE. 8p.
- Jiménez, JJ; Decaëns, T; Thomas, RJ; Lavelle, P. 2003. La macrofauna del suelo: un recurso natural aprovechable pero poco conocido. *In* El arado natural: Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas Neotropicales de Colombia. Ed. Jiménez, JJ; Thomas, RJ. CIAT. 444p.
- Jończyk, K; Solarska, E. 2004. Health of winter wheat grown under organic and conventional crop production systems. *Progress in Plant Protection* 44(2):772-775.
- Julca-Otiniano, A; Carhuallanqui-Pérez, R; Crespo-Costa, R. 2002. Efecto de la sombra y la fertilización sobre la población de hongos y bacterias del suelo en café var. "Catimor" en Villa Rica, Selva Central de Perú. *Café Cacao* 3(2):74-77.
- Kilian, B; Jones, C; Lawrence, P; Villalobos, A. 2005 IP. ¿Is sustainable agriculture a viable strategy to improve far income in Central América? A case study on coffee. *Journal of Bussiness Research*, In Press. 9p.
- Kuffner, M; Piñar, G; Hace, K; Handschur, M; Haslberger, AG. 2004. DGGE- fingerprinting of arable soils shows differences in microbial community structure of conventional and organic farming systems. *Journal of food, Agriculture & Environment* 2 (3/4):260-268.
- Kushwaha, CP; Tripathi, SK; Singh, KP. 2000. Variations in soil microbial biomass and N availability due to residue and tillage management in a dryland rice agroecosystem. *Soil Tillage Research* 56:153-166.
- Labrador Moreno, J; Altieri, MA. 2001. Agroecología y desarrollo: aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agroecosistemas mediterráneos. Universidad de Extremadura. Cáceres–Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 566 p.
- Lavelle, P; Senapati, B; Barros, E. 2003. Soil macrofauna. *In* Trees, Crops and Soil Fertility. Eds. G. Schroth y F.L. Sinclair. CAB Internacional. 303-323p.
- Liebig, MA; Doran, JW. 1999. Impact of organic production practices on soil quality indicators. *Journal Environmental Quality* 28: 1601-1609.
- Llanderal, T; Somarriba, E. 1999. Tipologías de cafetales en Turrialba, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6(23):30–32.
- Lotter, DW; Seidel, R; Liebhardt, W. 2003. The performance of organic and conventional cropping systems in an extreme climate year. *American Journal of Alternative Agriculture* 18(3):146-154

- Lozano, Z; Rivero de T., Carmen; Hernández, RM. 2004. Cambio en la calidad de un suelo de las sabanas por el uso de sistemas de manejo conservacionistas. *In* Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.84.
- Lundquist, EJ; Jackson, LE; Show, KM; Hsu, C. 1999. Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of rye into three California agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 31:221-236.
- Lyngbæk, AE; Muschler, RG; Sinclair, FL. 1999. Productividad, mano de obra y costos variables en fincas cafetaleras orgánicas y convencionales de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6 (23):24–26.
- Macías-Martínez, MP; Riaño Luna, CE. 2002. Café orgánico: caracterización, torrefacción y enfriamiento. *Cenicafe* 53(4):281-292.
- Magdoff, F. 2001. Concept, components, and strategies of soil health in agroecosystems. *Journal of Nematology* 33(4):169-172.
- Magurran, A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey, United States of America. 179p.
- Mansvelt, JD van; Stobbelaar, DJ; Hendriks, K. 1998. Comparison of landscape features in organic and conventional farming systems. *Landscape and Urban Planning* 41:209-227.
- Marín Hernández, G. 2006. Miembros certificados de APOT hasta marzo de 2006 y precio de liquidación de café año 2004-2005. (entrevista). Turrialba, CR, CATIE–APOT.
- Marinari, S; Mancinelli, R; Campiglia, E; Grego, S. 2005. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators* (article In press).
- Masera, O; Astier, M; López Ridaura, S. 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS*. México. Ediciones Mundi-Prensa. 109 p.
- Mawangji, M; Mugendi, DN; Kung'u, JB; Swift, MJ; Albrecht, A. 2004. Soil invertebrate macrofauna composition within agroforestry and forested ecosystems and their role in litter decomposition in Embu, Kenya. *In* *Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa*. Ed. Bationo, A. CIAT. 2004. 608p.
- Meléndez Celis, G. 1997. *Transformaciones de carbono, nitrógeno y fósforo del suelo, en sistemas agroforestales, cultivos anuales y bosque natural*. Thesis Mag. Sc. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 105p.
- \_\_\_\_\_. 2004. *Fracción orgánica del suelo: residuos orgánicos y materia orgánica del suelo*. Apuntes de clase. 19p.

- Mogollón, JP; Tremont, O. 2004. Efecto del cambio de un sistema cafetalero a un sistema de cítricos sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo. *In* Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.136.
- Moguel, P; Toledo, VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):11-21.
- Montenegro Gracia, EJ. 2005. Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p.12–25.
- Montenegro, H; Malagón, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. Subdirección agrícola. 813p.
- Monterrey, J; Suarez, D; González, M. 2001. Comportamiento de insectos en sistemas agroforestales con café en el Pacífico Sur de Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 8(29):15–21
- Muñoz Astaíza, CY; Moreno Berrocal, AM. 2001. Potencial de tres comunidades campesinas para adoptar la caficultura orgánica. *Cenicafé* 52(4):289-302.
- Neiendam Nielsen, M; Winding, A. 2002. Microorganism as indicators of soil health. National environmental Research Institute. Ministry of the Environment. 82p. (NERI Technical Report No. 388).
- Nelson, DW; Sommers, LE. 1996. Total Carbon and Organic Matter. *Methods of soil analysis. Part 3- Chemical Methods*. 3rd Ed. SSSA Series 5.
- Nortcliff, S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 161-168.
- OIC (Organización Internacional del Café). 2002. La crisis mundial del café: una amenaza al desarrollo sostenible. *In* Comunicación a la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo, Sudáfrica. 2002. 5p.
- \_\_\_\_\_.2005. Informe del mercado de café. Octubre de 2005. Carta del director ejecutivo. 7p.
- \_\_\_\_\_.2005 a. Organic coffee export statistics. *Coffee year 2004/05*. WP Statistics No. 93/05. 3p.
- Ospina Salazar, O; Farfán Valencia, F. 2003. Potencial para la producción y certificación de café orgánico en fincas del departamento de Caldas. *Cenicafé* 54(2):145-161.
- Pacini, C; Wossink, A; Giesen, G; Vazzana, C; Huirne, R. 2003. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95:273-288.

- Parton, WJ; Schimel, DS; Cole, CV; Ojima, DS. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society American Journal* 51:1113-1179.
- Pasisi, V; Menta, C; Gardi, C; Jacomini, C; Mozzanica, E. 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and diversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105:323-333.
- Per Schjønning; Elmholt, S; Munkholm, LJ; Deboz, K. 2002. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 195-214.
- Perfecto, I; Vandermeer, J. (sin fecha). The quality of the agroecological matriz in a tropical montane landscape: ants in coffee plantations in southern México. Sin publicar. 15p.
- Pimentel, D; Hepperly, P; Hanson, J; Douds, D; Seidel, R. 2005. Environmental, energetic, and Economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55(7):573-582.
- Ramírez, M. 2004. Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos. *In* 1 taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Palmira, Colombia, 20-22 de octubre de 2004.
- Rasul, G; Thapa, GB. 2004. Sustainability of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh: an assessment based on environmental, economic and social perspectives. *Agricultural Systems* 79: 327-351.
- Reganold, JP. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. *American Journal of Alternative Agriculture* 3(4):144-155p.
- Ricci, M; Aquino; Silva, EM; Pereira, JC; De-Polli e, H; Reis, VM. 2000. Conversão de um cafezal convencional em orgânico: Un estudo de caso. *In* Simposio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. (2000, Poços de Caldas, Brasil). Resumos. Poços de Caldas, Brasil. 2:988- 991.
- Rice, R. 1996. Coffee modernization and ecological changes in Northern Latin America. *Tea&Coffee Trade Journal* 168(9):104-113.
- Riffaldi, R; Saviozzi, A; Levi-Minzi, R; Cardelli, R. 2003. Organically and conventionally managed soils: characterization of composition. *Archives of Agronomy and Soil Science* 49(4):349-355.
- Roming, DE; Garlynd, MJ; Harris, RF; McSweeney, K. 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal of soil and water conservation*. 50(3):229-236p.
- Sadeghian, S; Rivera, JM, Gómez, ME. 1997. Impacto de la ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. *In* Agroforestería para la producción animal en América Latina. Estudio FAO producción y sanidad animal 143.

Memorias de una conferencia electrónica realizada de abril a septiembre 1998. Eds. Sánchez, MD y Rosales Mendez, M. 123-142p.

- \_\_\_\_\_; Salamanca, A; Cardona C, DA. 2004. Indicadores de la calidad del suelo en algunos agroecosistemas de la zona cafetera colombiana. *In* Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Palmira, Colombia, 20–22 de Octubre de 2004.
- Samayoa Juarez, JO. 1999. Desarrollo de enfermedades en café bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 69p.
- Sánchez de León, Y; Melo, E de; Soto, G; Jonson Maynard, J; Lugo Pérez, J. 2005. Earthworm population, microbial biomass and production in different experimental coffee agroforestry management systems. University of Idaho-CATIE. Costa Rica. 32p.
- Schjønning, P; Elmholt, S; Munkholm, LJ; Deboz, K. 2002. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 195-214.
- Schlöter, M; Dilly, O; Munch, JC; Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:255-262.
- Schroth, G; Fonseca, GAB da; Harvey, CA; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. Eds. 2004. *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Washington, United States of America. Island Press. 523p
- Schroth, G; Lehmann, J; Rodríguez, MRL; Barros, E; Macêdo, JLV. 2001. Plant and soil interactions in multi-strata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 53:85-102.
- Scullion, J; Neale, S; Philipps, L. 2002. Comparisons of earthworm populations and cast properties in conventional and organic arable rotations. *Soil Use and Management* 18:293-300.
- Segura, R; Serrano, E. 2005. Efecto de la aplicación de remanentes picados frescos del proceso de empaque del banano sobre las condiciones, químicas y microbiológicas del suelo y la productividad del cultivo de banano (*Musa* AAA cv. GRANDE NAINÉ). *In* 1er Congreso Científico-Técnico Bananero Nacional. Dirección de Investigaciones. Corporación Bananera Nacional (CORBANA S.A.) Septiembre de 2005. p36.
- Sevilla Guío, F; Oberthür, T; Barrios, E; Escobar, G; Madrid, O. 2004. Distribución y abundancia de la macrofauna asociada con unidades locales de clasificación de suelos en la microcuenca de Potrerillo, Cauca, Colombia. *In* 1 taller nacional sobre indicadores de calidad de suelos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Palmira 20–22 de octubre de 2004.
- Shannon, D; Sen, AM; Johnson, DB. 2002. A comparative study of the microbiology of soils managed under organic and conventional regimes. *Soil Use and Management* 18:274-283.

- Sosa, L; Escamilla, E; Díaz C; S. 2004. Organic coffee. *In* Coffee: Growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders and researchers. Ed. Jean Nicolas Wintgens. p.339-354.
- Soto, G; García, L; Hagggar, J; de Melo, E; Munguía, R; Staver, C. 2005 SP. Efecto del sistema de manejo del café (*Coffea arabica*), orgánico y convencional, con diferentes árboles de sombra sobre las características de suelo en un andosol en Nicaragua y un ultisol en Costa Rica. 14p.
- Stopes, C; Lord, EI; Philipps, L; Woodward, L. 2002. Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice. *Soil Use and Management* 18:256-263.
- Storie, RE. 1970. Manual de evaluación de suelos. México. Uteha. 225 p.
- Tabu, IM; Obura, RK; Swift, MJ. 2004. Macrofaunal Abundance and diversity in selected farmer perceived soil fertility niches in Western Kenya. *In* Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa. Ed. Bationo, A. CIAT. 2004. 608p.
- Tapia, A; Soto, G; Casanoves, F; Montenegro, E; Hagggar, J; De Melo, E; Staver, C. 2005. SP. Efecto del sistema de manejo del café (*Coffea arabica*), orgánico y convencional, con diferentes árboles de sombra sobre las poblaciones microbianas de un ultisol en Turrialba, Costa Rica. 1p.
- Theodoro, VCA; Alvarenga, MIN; Guimarães, RJ; Souza, CAS. 2003. Revista Brasileira de Ciência do Sólido 27(6): 1039-1047.
- Theodoro, VCA; Alvarenga, MIN; Guimarães, RJ; Souza, CAS. 2003I. Chemical changes of a soil under different management forms of coffee plantation. *Revista Brasileira de Ciência do Sólido* 27(6):1039-1047.
- Trejo, M; Barrios, E; Turcios, W; Barreto, H. 1999. Método participativo para identificar y clasificar indicadores locales de calidad del suelo a nivel de microcuenca. Guía 1. *In* Instrumentos metodológicos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. 255p.
- Trewavas, A. 2001. Urban myths of organic farming. *Nature* 410:409-410.
- Universidad de Chapingo. 1971. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de suelos, Chapingo, Mexico. Prácticas de edafología. Ediciones Comision Editorial del Departamento de Fitotecnia. p.1-6.
- Uribe H., A. 1971. Erosión y conservación de suelos en café y otros cultivos. *Cenicafe* 22(1):1-17.
- USDA (United.States Department of Agriculture) 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Traducido por: Lutgers, A; Salazar Lea Plaza, JC. CRN–CNIA–INTA, Argentina. 2000. 82p.
- \_\_\_\_\_. 2004. What is soil quality? (en línea). Consultado 15 de nov. 2004. Disponible en [http://soils.usda.gov/sqi/soil\\_quality/what\\_is/index.html](http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/index.html)

- Vance, ED; Brookers, PC; Jenkinson, DS. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19:703-707.
- Velmourougane, K; Panneerselvam, P; Shanmukhappa, DR; Gopinandan, TN; Srinivasan, CS; Naidu, R. 2000. Microflora associated with high and low grown Arabica and Robusta coffee. *Journal Coffee Research* 28(1/2):9-19.
- Wagenet, RJ; Hutson, JL. 1997. Soil quality and its dependence on dynamic physical processes. *Journal Environmental Quality* 26:41-48.
- Wilson, MG; Quintero, CE; Boschetti, NG; Benavides, RA; Mancuso, WA. 2000. Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. *Revista Facultad de Agronomía* 20(1):23-30.
- Workneh, F; Van Bruggen, AHC; Drinkwater, LE; Shennan, C. 1993. Variables associated with corky root and Phytophthora root rot of tomatoes in organic and conventional farms. *Phytopathology* 83(5):581-588.
- Zamora, F; Mogollón, JP; Rodríguez, N. 2004. Cambios microbianos y bioquímicos inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el semiárido venezolano. *In* Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.151.
- Zuluaga Peláez, JJ. 2004. Dinámica de la materia orgánica del suelo en sistemas agroforestales de café con *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook en Costa Rica. Thesis Mag Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 116p.

## **ANEXOS**

*Anexo 1. Encuesta aplicada a los productores sobre calidad de suelos dentro del Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica, 2005.*

Nombre	Teléfono
Teléfono	Fecha
Distrito	Área (ha)
Comunidad	Altura (msnm)
Dirección	Coordenadas

**1. Historial de la Finca**

Qué cultivos se sembraron antes del café en este suelo?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Área total de la finca: \_\_\_\_\_ Área en café: \_\_\_\_\_

Área en otros cultivos \_\_\_\_\_

*Producción pecuaria*

Cantidad de animales por tipo de producción

Vacuna  Aviar  Porcina  Caprina  Mular  Equina  Ovina

Cual 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 \_\_\_\_\_

Edad del cafetal \_\_\_\_\_ No. De cosechas al año: \_\_\_\_\_

Producción anual \_\_\_\_\_ Toma datos de insumos y de producción Si  No

**3. Manejo del café**

Labor	Si	No	Época en que realiza la labor
Almacigo			
Resiembra			
Deshija			
No de hijos planta <sup>-1</sup>			
Poda total			
Poda sanitaria			
Colecta del café			

Realiza análisis de suelos? Si  No  Cada cuanto? \_\_\_\_\_

Que fertilizante usa (Dosis y época de aplicación)

---

---

---

Usa abonos verdes? Si  No

Maneja residuos de cosecha? Si  No  Los deja en el suelo? Si  No

Hace compost? (Cómo lo hace y que ingredientes usa) Si  No

---

---

#### 4. *Labores de conservación de suelos*

Siembra en contorno  Barreras vivas  Terrazas  Acequias de ladera

Canales de desviación  Prevención y corrección de cárcavas  Barreras rompevientos

#### 5. *Enfermedades*

Nombre de la enfermedad	Tipo de control (Orgánico, químico, dosis, frecuencia de aplicación)

#### 6. *Plagas*

Nombre de la plaga	Tipo de control (Orgánico, químico, dosis, frecuencia de aplicación)

#### 7. *Malezas*

Que tipo de maleza predomina en su finca?

Hoja ancha anual  Hoja ancha perenne  Zacate anual  Zacate perenne  Bejuco anual

Bejuco perenne  Ciperáceas

Tipo de control usado (químico, orgánico, dosis y frecuencia de aplicación) \_\_\_\_\_

---

---

### 8. Árboles de sombra

Especie	Distancia de siembra	Fecha en la cual se sembraron

#### Podas de árboles de sombra

Tipo de poda	Frecuencia y época en que realiza la poda
Poda total	
Poda de ramas	
Entresaca	

### 9. Comercialización del café

El café se vendió en: uva  pergamino  oro

A quien vendió el café: \_\_\_\_\_

A cuanto vendió la fanega: \_\_\_\_\_

Que ha hecho para dar valor agregado al café:

Cosecha solo café maduro  beneficia el café  produce café sostenible  produce café orgánico

produce café de comercio justo

Recibe algún premio por calidad o por ser especial? Si  No

Cual y Cuanto? \_\_\_\_\_

### 10. Capacitación y Asistencia Técnica

Pertenece a alguna asociación de productores? Si  No  Cual? \_\_\_\_\_

Recibe capacitación o asistencia técnica? Si  No  de que institución? \_\_\_\_\_

## Anexo 2. Metodología para análisis de la tipificación de fincas (cuadro 16)

Se tomaron las variables de rendimiento, fertilización, poda, deshija, manejo de plagas, enfermedades, malezas, y manejo de los árboles de sombra. Cada variable se estandarizó usando las tipologías, luego a cada tipología se le asignó una puntuación independientemente del manejo orgánico o convencional. Categoría mínima un valor de 1, categoría tradicional un valor de 2, categoría semitecnificada un valor de 3 y a la categoría tecnificada un valor de 4.

Las variables poda y deshija se unieron en una que se denominó manejo de tejido, lo mismo que las variables enfermedades y plagas la cual se denominó plagas y enfermedades, estos valores se promediaron y se volvieron a reclasificar por medio de la siguiente tabla:

Categoría	Valores promediados		Valores para reclasificación
Mínimo	0	1,5	1
Tradicional	1,6	2,5	2
Semitecnificado	2,6	3,5	3
Tecnificado	3,6	más	4

Dentro de la variable árboles de sombra se determinó la uniformidad de la distribución de los árboles de sombra de manera visual, con registro en croquis y el porcentaje de densidad de sombra por la metodología planteada por Hagggar *et al.* (2001) donde se estima la proyección vertical de la copa de cada árbol con respecto a los cafetos y se cuenta el número de cafetos por debajo de la copa de cada árbol dentro de la parcela, con esto se definió el porcentaje de cafetos que reciben sombra y los que no, además de la homogeneidad en la distribución de la sombra dentro de cada parcela.

Para la uniformidad se usó 3 criterios: uniforme, irregular y muy irregular, a cada uno se le asignó un puntaje quedando de la siguiente manera: uniforme: 4, irregular: 2 y muy irregular: 1. Para el porcentaje de sombra las fincas que tuvieran más de 55 % o menos del 20 % de sombra tenían un valor de 1 (deficiente manejo: exceso y/o falta) y las fincas entre 20 % y 50 % tenían un valor de 3,5 (rango de sombra adecuada).

Después de tener todas las variables (rendimiento, fertilización, manejo de tejido, malezas, resiembra, árboles de sombra y plagas y enfermedades) dentro de las categorías, se promediaron sus respectivos valores por finca, y se determinó, también en base a los promedios del cuadro de categorías, la tipología correspondiente por tipo de manejo orgánico y convencional.