

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA PROGRAMA  
DE EDUCACION PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION  
ESCUELA DE POSGRADO**

**Dinámica de la materia orgánica del suelo en sistemas agroforestales de café con *Erythrina  
poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook en Costa Rica**

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

*Magíster Scientiae*

**POR**

John Jairo Zuluaga Peláez

Turrialba, Costa Rica

2004

Esta tesis ha sido sometida en su presente forma para 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***

**FIRMANTES:**

---

Jean Michael Harmand Ph.D  
**Consejero Principal**

---

John Beer. Ph. D  
**Miembro Comité Consejero**

---

Patrice Cannavo. Ph. D  
**Miembro Comité Consejero**

---

Margarita Ramírez MSc.  
**Miembro Comité Consejero**

---

Glenn Gallowey, Ph. D  
**Director Programa de Educación y  
Decano de la Escuela de Posgrado**

---

John Jairo Zuluaga Pélaez  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Lorenzo y Fanny por el amor y la formación que me dieron y por hacer de mí el hombre que soy ahora.

A mis hermanos Gladys, Javier, Luis Alberto y Juan Carlos por su cariño y constante apoyo en las decisiones que siempre he tomado y en especial a Rigoberto por ser el valuarte que me impulso a luchar cada día por mi superación.

A mi esposa Victoria Eugenia y mis hijos Natalia Andrea y John Sebastián por su amor, paciencia y comprensión durante estos dos años en CATIE.

A la familia Osorio Moreno por el cariño que siempre me han brindado y por acogerme en el seno de su familia.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que hicieron posible la ejecución de esta tesis.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria **CORPOICA**, por su apoyo económico y por brindarme la oportunidad de superarme.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza **CATIE**, por la enseñanza y formación que me dieron durante toda la maestría.

A mi Profesor Consejero Jean Michael Harmand, Ph.D, por su orientación y colaboración en este trabajo de investigación.

A los miembros del Comité Asesor de tesis: John Beer, Ph.D; Elias de Melo, MSc, Margarita Ramírez, MSc, por su acompañamiento técnico y científico en el desarrollo de la tesis.

A Fidel Payan Ph.D por su apoyo incondicional durante el desarrollo de este estudio.

Al Proyecto Coffee Agroforestry Systems in Central América (CASCA), convenio CIRAD-CATIE por su apoyo económico.

Al personal técnico del Laboratorio de Suelos del CATIE, Patricia Leandro, Carlos Martínez y Carlos Fernández.

A todos mis compañeros de la promoción 2003-2004 por su amistad.

## CONTENIDO

	Página
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1.1 OBJETIVOS</b>	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
<b>1.2 HIPÓTESIS</b>	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	4
<b>2.1. Los sistemas Agroforestales con café</b>	4
<b>2.2. Producción convencional de café</b>	4
<b>2.3.- Producción orgánica de café</b>	5
<b>2.4.- Efectos de los árboles en los cafetales</b>	6
<b>2.5.- Materia orgánica del suelo (MOS)</b>	8
2.5.1. Importancia de la materia orgánica del suelo (MOS)	8
2.5.2. Descomposición de la materia orgánica.	9
2.5.2.1. Influencia de las condiciones ambientales	10
2.5.2.2 Acumulación de materia orgánica en el suelo	10
2.5.2.3. Propiedades físico-químicas de la materia	11
2.5.2.4 Organismos descomponedores de la materia orgánica	12
<b>2.6. Ciclaje de nutrientes</b>	13
2.6.1. Carbono	13
2.6.2. Nitrógeno	14
2.6.2.1. Formas del nitrógeno en el suelo	15

<b>III MATERIALES Y METODOS</b>	17
<b>3.1 Localización y descripción de los sitios de muestreo</b>	17
3.1.1 Localización	17
3.1.2 Caracterización general de las áreas de muestreo	18
3.1.2.1 Finca del CATIE en Turrialba	18
3.1.2.2 Paraíso	18
3.1.2.3 Aserrí	18
3.1.2.4 Pejibaye	19
<b>3.2 Selección de áreas de muestreo</b>	19
<b>3.3 Sistemas de producción evaluados y su manejo</b>	20
3.3.1 Fincas con café ( <i>C. arabica</i> ) y poró ( <i>E. poeppigiana</i> ) bajo manejo orgánico	21
3.3.2 Fincas con café ( <i>C. arabica</i> ) y poró ( <i>E. poeppigiana</i> ) bajo manejo convencional	22
3.3.3 Ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE	23
3.3.3.1 Café ( <i>C. arabica</i> ) con Poró ( <i>E. poeppigiana</i> ) bajo manejo medio orgánico	25
3.3.3.2 Café ( <i>C. arabica</i> ) con Poró ( <i>E. poeppigiana</i> ) bajo manejo medio convencional	26
3.3.5 Café ( <i>C. arabica</i> ) a pleno sol bajo manejo medio convencional	26
<b>3.4 Evaluación del efecto de <i>E. Poeppigiana</i> y del manejo orgánico y convencional sobre los contenidos de C y N total del suelo en un par de fincas cafetaleras.</b>	26
3.4.1 Muestreo en un par de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Paraíso	27
3.4.2 Diseño Muestreal	30
3.4.3 Modelo Matemático y Análisis estadístico	31
<b>3.5 Evaluación del efecto de <i>E. poeppigiana</i> y del manejo orgánico y convencional sobre los contenidos de C y N total del suelo a través del tiempo</b>	32
3.5.1 Variaciones del contenido de C y N total del suelo en cuatro pares de fincas cafetaleras a través del tiempo.	32
3.5.1.1 Muestreo en cuatro pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional	32

3.5.1.2	Diseño Muestreal	33
3.5.1.3	Modelo Matemático y Análisis estadístico	34
3.5.2	Variaciones del contenido de C y N total del suelo a través del tiempo en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.	35
3.5.2.1	Muestreo en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.	36
3.5.2.2	Diseño Muestreal	39
3.5.2.3	Modelo Matemático y Análisis estadístico	39
<b>3.6</b>	<b>Determinación del efecto de <i>E. poeppigiana</i> y del manejo orgánico y convencional sobre la dinámica de la fracción macro-orgánica del suelo.</b>	<b>40</b>
3.6.1	Muestreo en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE	40
3.6.2	Diseño Muestreal	40
3.6.3	Modelo Matemático y Análisis estadístico	41
<b>3.7</b>	<b>Mineralización aeróbica del Nitrógeno “in vitro”</b>	<b>42</b>
3.7.1	Muestreo en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.	42
3.7.2	Diseño Muestreal	42
3.7.3	Modelo Matemático y Análisis estadístico	43
<b>3.8</b>	<b>Preparación de muestras de suelo y Análisis de laboratorio</b>	<b>43</b>
3.8.1	Análisis de los contenidos de C y N total del suelo	44
3.8.2	fraccionamiento de la materia orgánica del suelo.	44
3.8.3	Mineralización aeróbica del Nitrogeno “in vitro”	46
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>48</b>
<b>4.1.-</b>	<b>Efecto de <i>Erythrina poeppigiana</i> y del manejo orgánico y convencional en los contenidos de C y N Total del suelo a través del tiempo en un par de fincas cafetaleras en la localidad de Costa Rica.</b>	<b>48</b>
<b>4.1.1.-</b>	<b>Efecto de <i>Erythrina poeppigiana</i> y del manejo orgánico y convencional en los contenidos de C y N Total del suelo a través del tiempo en un par de fincas cafetaleras en la localidad de Paraíso.</b>	<b>48</b>

4.1.1.1.- Contenidos de C y N Total en el suelo en el año 2000 en un par de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.	48
4.1.1.2.- Contenidos de C y N Total en el suelo en el año 2004 en un par de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.	51
4.1.1.3.- Diferencias en los contenidos de C y N del suelo en un periodo de cuatro años en un par de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.	52
4.1.2.- Dinámica de los contenidos de C y N total del suelo a través del tiempo en 4 pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.	56
4.1.2.1.- Contenidos de C y N del suelo en el año 2000 para 4 pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.	56
4.1.2.2 Contenidos de C y N del suelo en el año 2004 para 4 pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.	62
4.1.2.3.- Incrementos en los contenidos de C y N del suelo en un periodo de cuatro años en 4 pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.	67
4.1.2.3.1.- Densidad aparente (DA) del suelo en cuatro pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.	67
4.1.2.3.2.- Cambios en los contenidos de C y N del suelo en cuatro pares de fincas.	68
4.2.- Efecto de <i>E. poeppigiana</i> y del manejo orgánico y convencional a través del tiempo en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.	71
4.2.1.- Contenidos de C y N para muestras de suelo tomadas en el año 2001 en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.	71
4.2.2 Contenidos de C y N del suelo en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE para el año 2004.	73
4.2.3.- Incrementos en los contenidos de C y N del suelo en un periodo de tres años en tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE	76
4.2.3.1.- Densidad aparente (DA) del suelo en tres parcelas del ensayo de sistemas.	76
4.2.3.2.- Cambios en los contenidos de C y N del suelo en tres parcelas del ensayo de sistemas	76
4.3.- Contenidos de C y N en la macromateria orgánica del suelo (53 $\mu\text{m}$ a 2000 $\mu\text{m}$ ) en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.	79
4.4.- Mineralización del N del suelo en tres tratamientos del ensayo sistemas agroforestales con café en el CATIE	82



<b>V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	86
<b>VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	88
<b>ANEXOS</b>	97

Zuluaga P, J.J. 2004. Dinámica de la materia orgánica del suelo en sistemas agroforestales de café con *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook en Costa Rica. Tesis M.Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 116p.

Palabras claves: *Coffea arabica*, Carbono, *Erythrina poeppigiana*, fraccionamiento, manejo orgánico, manejo convencional, materia orgánica, mineralización de N, nitrógeno, sistemas agroforestales, suelo.

## RESUMEN

Se realizaron dos estudios para comparar el efecto de poró (*Erythrina poeppigiana*) y del manejo orgánico y convencional en la dinámica de los contenidos de C y N total en el suelo en un periodo de tres o cuatro años en diferentes posiciones con respecto al árbol y en diferentes profundidades, en fincas cafetaleras y en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE en Costa Rica. En el primer estudio se evaluó el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional en cuatro pares de fincas cafetaleras a través del tiempo (2000 y 2004). En el sistema convencional, en el año 2000, se partió de un contenido de C en el sitio B (a más de 2m del árbol) significativamente más bajo que en el sitio A (menos de 1 m del árbol) y durante 4 años, se aumentó el C en el sitio B hasta el mismo nivel que en el sitio A. Eso se puede explicar por el cambio de manejo que ocurrió en las fincas convencionales durante este tiempo. Debido a los altos costos de producción por los precios de fertilizantes y herbicidas, las fincas convencionales disminuyeron la aplicación de estos insumos. Por lo tanto, hubo más malezas en el sistema. Otro aspecto que pudo haber influido en el mayor incremento de C lejos del árbol, en el sistema convencional, es la presencia de plantas de plátano (*Musa sp*) que han sido sembradas entre los árboles, las cuales una vez cosechadas son picadas sobre el suelo incorporando su biomasa como abono verde. Según el sitio y la capa (0-5 cm o 5-10 cm), el aumento de la reserva de C durante cuatro años, varió de 1 a 3 toneladas de C por ha en el sistema orgánico establecido desde hace mas de ocho años. En el sistema convencional que ha cambiado de manejo, el incremento de C varió de 3 a 6 toneladas de C por ha en la capa 0-5 cm y de 1 a 2 toneladas de C por ha en la capa 5-10 cm. En el manejo orgánico, el uso de abonos orgánicos, así como la incorporación de mulch proveniente de las plantas arvenses (cortadas 3 veces por año) y residuos de podas del poró (2 veces por año) cuya distribución es uniforme entre los sitios A y B tuvo como efecto un aumento de C similar en los dos sitios, eso pudo ser debido a una mayor saturación del suelo en C en este sistema que en el sistema convencional donde el incremento fue mas alto. En el segundo estudio realizado en el ensayo de sistemas en CATIE todos los tratamientos: (1) manejo medio orgánico con *E. poeppigiana*, (2) manejo medio convencional con *E. poeppigiana* y (3) manejo medio convencional en pleno sol presentaron incrementos de C, N y C/N durante los tres años (2001-2004). Sin embargo, el manejo orgánico con *E. poeppigiana* presentó una tendencia con mayor incremento de C y N que los manejos convencionales con y sin sombra. Eso se tradujo por un contenido significativamente mayor de C y N de la fracción de macromateria orgánica > 53  $\mu\text{m}$  en el manejo orgánico con *E. poeppigiana* en 2004 (2.12 g C/100g de suelo) seguido por el manejo convencional en pleno sol y con *E. poeppigiana* (1.62 y 1.42 g C/100g de suelo respectivamente). En este ensayo de sistemas se determinaron las tasas de mineralización del N del suelo mediante una incubación de 5 semanas en el laboratorio. Esas tasas fueron significativamente más altas en los sistemas con sombra de *E. poeppigiana* (1.27 y 1.24 mg N/ kg de suelo/ día para manejo orgánico y manejo convencional, respectivamente) que en pleno sol (0.59 mg N / kg suelo/día). En conclusión, la introducción de *E. poeppigiana* en el sistema de café no tuvo efecto positivo en el incremento de C del suelo en tres años pero tuvo efecto positivo sobre la movilización de N. La tendencia a presentarse mayor contenidos de C y N en el sistema orgánico pudo ser debido a la mayor adición de residuos vegetales y abono orgánico.

Zuluaga P, J.J. 2004. Dynamic of organic matter in soils of coffee agroforestry systems with *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook in Costa Rica. MSc. Thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 116p.

Key words: *Coffea Arabica*, carbon, *Erythrina poeppigiana*, fractioning, organic management, conventional management, organic matter, mineralization of N, agroforestry systems, soil.

## ABSTRACT

Two studies were conducted to compare the effects of poró (*Erythrina poeppigiana*) and organic and conventional management on the dynamics of total soil C and N contents in a three or four year period. They were conducted in different positions with respect to the tree and at different depths in coffee farms and in agroforestry coffee system trial plots in CATIE, Costa Rica.

The first study evaluated the effects of *E. poeppigiana* and organic or conventional management in four pairs of coffee farms over time (2000 and 2004). In the conventional system, in the year 2000, the initial C content in site B (> 2m from the tree) was significantly lower than in site A (< 1m from the tree). After four years, the C in site B increased to the same level as site A. This can be explained by the management changes on the conventional farms during this time. The conventional farms decreased the use of fertilizers and herbicides because of the high production costs due to the price of these chemicals; therefore, there were more weeds. Another aspect that could have influenced the higher increase in C further from the tree in the conventional system is the presence of plantain (*Musa sp*) which was planted between the trees and whose residues were chopped and incorporated into the soil as green manure. Depending on the site and the layer (0-5 cm or 5-10 cm), the C pool increase during the four years varied from 1 to 3 tons ha<sup>-1</sup> in the organic system that was established more than eight years ago. In the conventional system where the management was changed, the C increase varied from 3 to 6 tons ha<sup>-1</sup> in the 0-5 cm layer and from 1 to 2 tons ha<sup>-1</sup> in the 5-10 cm layer. In the organic system, the use of green manure as well as the incorporation of mulch from understory plants (cut three times per year) and *E. poeppigiana* pruning residues (twice a year), whose distribution is uniform between sites A and B, similarly increased the C in the two sites. This could be due to a higher soil C saturation level in the organic system than in the conventional where the increase was higher.

In the second study conducted in the CATIE trial plots, C, N and C:N increases were observed during the three years (2001-2004) for all of the treatments: (1) half-dose organic management with *E. poeppigiana* (2) half-dose conventional management with *E. poeppigiana*, and (3) half-dose conventional management in full sun.. However, the organic management system with *E. poeppigiana* showed a tendency of higher C and N increases than in the conventional management system with and without shade. This occurred because of the significantly greater C and N content in the macroorganic fraction >53µm in the organic management system with *E. poeppigiana* in 2004 (2.12 g C/100g soil) followed by the conventional management systems in full sun and with *E. poeppigiana* (1.62 y 1.42 g C/100g soil, respectively). In this trial of systems, the soil N mineralization rates were determined using a 5 week incubation period in the laboratory. These rates were significantly higher in the shade systems with *E. poeppigiana* (1.27 and 1.24 mg N/kg soil/day for organic and conventional management, respectively) than in full sun (0.59 mg N / kg soil/day). In conclusion, the introduction of *E. poeppigiana* in the coffee system did not have a positive effect on the increase of soil C in three years, but it did have a positive effect on N mobilization. The tendency to have greater C and N content in organic systems could be due to greater plant residue and green manure additions.

## LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Tratamientos y subtratamientos aplicados dentro del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE. 2004	24
Cuadro 2. Contenidos de C y N del suelo en el año 2000, en tres profundidades, para un par de Fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004	49
Cuadro 3. Contenidos de C y N del suelo en el año 2004, en tres profundidades, para un par de Fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004.	51
Cuadro 4. Incrementos promedio en los contenidos de C y N total y la relación C/N del suelo durante cuatro años en tres profundidades, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004.	54
Cuadro 5. Contenidos de C y N del suelo en el año 2000, en dos profundidades, para cuatro pares de Fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica, 2004.	57
Cuadro 6. Contenidos de C y N del suelo en el año 2004, en dos profundidades, para cuatro pares de Fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica, 2004.	62
Cuadro 7. Densidad Aparente (DA) promedio del suelo en dos sitios y dos profundidades para cuatro pares de Fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Costa Rica, 2004.	68
Cuadro 8. Incrementos en los contenidos de C y N del suelo durante un periodo cuatro años en dos profundidades y en las profundidades 0-5 y 5-10 cm para cuatro pares de Fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica, 2004.	69
Cuadro 9. Contenidos de C y N en muestras de suelo (0-10 cm) tomadas en el año 2001 bajo tres tratamientos en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.	72
Cuadro 10. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2001, en sitios diferentes en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.	73
Cuadro 11. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2004 bajo tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.	74

Cuadro 12. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2004, en sitios diferentes en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.	75
Cuadro 13. Incrementos en los contenidos de C y N total y la relación C/N del suelo, durante tres años aproximadamente, en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.	77
Cuadro 14. Incrementos en los contenidos de C y N total y la relación C/N del suelo, durante tres años aproximadamente, en sitios diferentes en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.	78
Cuadro 15. Contenidos de C total, N total y la relación C/N en la fracción 53-2000 $\mu\text{m}$ en tres tratamientos en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.	80
Cuadro 16. Cambio en las concentraciones de Amonio y Nitrato del suelo durante 35 días de incubación bajo tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.	81
Cuadro 17. Cambio en las concentraciones de N total y N mineral durante 5 semanas de incubación de suelo de tres tratamientos del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	82
Cuadro 18. Contenido de N total del suelo de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	83
Cuadro 19. Tasas de mineralización presentadas durante 35 días de incubación del suelo de tres tratamientos del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	85

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo para determinar los contenidos de C y N del suelo en fincas con manejo orgánico y convencional, Costa Rica, 2004.	17
Figura 2. Café ( <i>C. arabica</i> ) con Poró ( <i>E. Poeppigiana</i> ) bajo manejo orgánico: a. Poda y arreglo de copa de poró, b. Distribución homogénea de residuos de podas en los alrededores, Costa Rica, 2004.	22
Figura 3. Café ( <i>C. arabica</i> ) con Poró ( <i>E. poeppigiana</i> ) bajo manejo convencional : a. Altura y copa de poró b. Poda total de poró y concentración de los residuos cerca de la base del árbol , Costa Rica, 2004.	23
Figura 4. Café ( <i>C. arabica</i> ) con Poró ( <i>E. poeppigiana</i> ) bajo manejo medio orgánico y medio convencional: a. Arreglo de copa de poró b. Distribución de los residuos de poda de poró , Turrialba, CATIE, Costa Rica, 2004.	25
Figura 5. Diseño del muestreo en fincas para evaluar el efecto de <i>E. poeppigiana</i> y del manejo orgánico y convencional sobre los contenidos de C y N total del suelo, Paraíso, Cartago, 2004.	27
Figura 6. Sitios y profundidades de muestreo para determinar densidad aparente (DA) y contenidos de C y N Total del suelo en fincas orgánicas y convencionales de café, Paraíso, Cartago, 2004.	28
Figura 7. Distribución de los tratamientos bajo un diseño de parcelas subdivididas, en un par de fincas cafetaleras (orgánica y convencional) de Paraíso, Costa Rica, 2004.	30
Figura 8. Diseño del muestreo para la dinámica del C y N total del suelo a través del tiempo en fincas orgánicas y convencionales de café. Aserri, Turrialba, Pejivalle y Paraíso, Costa Rica, 2004.	33
Figura 9. Distribución de los tratamientos bajo un diseño de bloques en parcelas subdivididas en fincas cafetaleras de Aserri, Paraíso, Pejivalle y Turrialba, Costa Rica, 2004.	34
Figura 10. Diseño del muestreo para determinar la dinámica del C y N total del suelo a través del tiempo en parcelas de café con sombra y café a pleno sol del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE, Turrialba, CATIE, Costa Rica, 2004.	37

Figura 11. Sitios y profundidades de muestreo para C y N Total del suelo en parcelas del ensayo de Sistema Agroforestales con café del CATIE, Turrialba, CATIE, Costa Rica, 2004.	38
Figura 12. Distribución de los tratamientos bajo un diseño de parcelas divididas en tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.	39
Figura B. Distribución de los tratamientos para fraccionamiento de la MO del suelo bajo un diseño de parcelas divididas en el ensayo de sistemas agroforestales del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.	41
Figura 14. Distribución de los tratamientos para mineralización del N bajo un diseño completamente al azar en parcelas divididas en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.	43
Figura 15. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo basado en el tamaño de partículas en muestras procedentes de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, CATIE, Costa Rica, 2004.	45
Figura 16. Pasos en la evaluación de la mineralización de la materia orgánica del suelo en muestras procedentes de parcelas de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, 2004.	47
Figura 17. Concentraciones de C en el suelo en el año 2000, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004.	50
Figura 18. Concentraciones de N en el suelo en el año 2000, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004.	50
Figura 19. Incremento en las concentraciones de C en el suelo en el año 2004, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004.	54
Figura 20. Incrementos en las concentraciones de N en el suelo en el año 2004, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004.	55
Figura 21. Incrementos en las concentraciones de C del suelo en tres profundidades durante cuatro años, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004.	58
Figura 22. Incrementos en las concentraciones de N del suelo en tres profundidades durante cuatro años, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago, 2004.	60

Figura 23. Contenido promedio de C total en el año 2000 por cada profundidad y sitio en el suelo de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional, Turrialba, CATIE, Costa Rica, 2004.	61
Figura 24. Contenido promedio de N total en el año 2000 por cada profundidad y sitio en el suelo de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional, Costa Rica. 2004	64
Figura 25. Concentraciones de C en el suelo en el año 2000, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004	65
Figura 26. Concentraciones de N en el suelo en el año 2000, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004	66
Figura 27. Contenido promedio de C total en el año 2004 por cada profundidad y sitio en el suelo de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional. Costa Rica 2004.	70
Figura 28. N mineral presentados por los tratamientos evaluados a lo largo de 5 semanas de evaluación, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.	84
Figura 29. Tasas de mineralización por días de N presentadas por el suelo de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, CATIE, 2004.	86



## LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Formato de encuesta aplicado a productores en fincas y parcelas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Costa Rica, 2004.	98
Anexo 2. Reservas de C y N total del suelo en el año 2004 en dos sitios para un par de Fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.	100
Anexo 3. Incrementos de C y N total y la relación C/N del suelo durante cuatro años en tres profundidades y dos sitios para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.	100
Anexo 4. Incrementos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo durante cuatro años para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.	101
Anexo 5. Contenidos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2000 en dos sitios para cuatro fincas bajo manejo orgánico en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.	101
Anexo 6. Contenidos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2000 en dos sitios para cuatro fincas bajo manejo convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004	101
Anexo 7. Concentraciones promedio de C y N en el suelo en el año 2000, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004	102
Anexo 8. ANDEVA para C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2004 en dos sitios y en la profundidad 05 cm para cuatro pares de fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.	103
Anexo 9. ANDEVA para C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2004 en dos sitios y en la profundidad 5-10 cm para cuatro pares de fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.	103
Anexo 10. Contenidos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2004 en dos sitios para cuatro fincas bajo manejo orgánico en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.	103
Anexo 11. Contenidos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2004 en dos sitios para cuatro fincas bajo manejo convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004	104
Anexo 12. Concentraciones promedio de C y N en el suelo en el año 2004, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004	104

Anexo 13. Incrementos en las reservas de C y N total del suelo durante un periodo de cuatro años, en dos sitios y en las profundidades 0-5 y 5-10 cm para cuatro pares de fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.	105
Anexo 14. Comparación de medias usando contrastes ortogonales para los contenidos de C y N total y de la relación C/N para muestras de suelo (0-10 cm) tomadas en el año 2001 en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago-Costa Rica, 2004.	106
Anexo 15. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2001, en parcelas del ensayo SAF con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	107
Anexo 16. Comparación de medias usando contrastes ortogonales para los contenidos de C y N total y de la relación C/N para muestras de suelo tomadas en el año 2004 en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	108
Anexo 17. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2004, en parcelas del ensayo SAF con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004	109
Anexo 18. Densidad Aparente (DA) del suelo en tres parcelas del ensayo de SAF con café del CATIE, Costa Rica, 2004.	110
Anexo 19. Comparación de los incrementos en los contenidos de C total, N total y de la relación C/N usando contrastes ortogonales para las muestras de suelo tomadas en el año 2001 y 2004, en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	111
Anexo 20. Incrementos en los contenidos de C y N total en parcelas del ensayo SAF con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago-Costa Rica. 2004	112
Anexo 21. Incremento en las reservas de C y N total en parcelas del ensayo SAF con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago-Costa Rica. 2004	113
Anexo 22. Comparación de los contenidos de C total, N total y de la relación C/N usando contrastes ortogonales para la fracción de la macromateria orgánica 53 $\mu\text{m}$ a 2000 $\mu\text{m}$ , en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	114
Anexo 23. Contenidos de C y N en la macromateria orgánica del suelo (53 $\mu\text{m}$ a 2000 $\mu\text{m}$ ), en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	115
Anexo 24. N mineral del suelo de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE durante 5 semanas de incubación. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.	116



## I. INTRODUCCIÓN

La producción cafetalera costarricense entró en la década de los 90's en su más severa crisis, primero debido a la baja de precios por el rompimiento del convenio de la organización internacional del café en 1989 y segundo por la tecnología del cultivo como de la organización del mercado. Sin embargo, hay otra dimensión que va más allá de estos dos aspectos y es la necesidad de una producción y comercialización ecológicamente fundamentada. Ahora, el reto y la oportunidad de la crisis cafetalera es lograr una nueva capacidad de competencia internacional que no se sostenga prioritariamente en una productividad a costas del ambiente y de otros recursos devastados, sino que se caracterice más bien por innovaciones productivas y comerciales, compatibles con una sustentabilidad ecológica y una demanda "verde" por café ambiental y socialmente amigable (Boyce *et al.*, 1994).

Después de varios años, se ha observado que la producción intensiva de café, conocida actualmente como sistema convencional, es frágil desde el punto de vista ecológico. Este sistema convencional se basa en la siembra de altas densidades de cafetos con la eliminación o reducción de la sombra y la utilización intensiva de insumos químicos. En el corto plazo este manejo se traduce en una producción mayor (Estivariz, 1997; Ramírez, 1997), pero las necesidades de las plantas son más elevadas, especialmente de fertilización (Fassbender, 1993).

Los efectos negativos se han hecho sentir también en el ámbito social. Boyce *et al.* (1994) sostienen que muchos pequeños productores, al no ser capaces de seguir subsidiando las plantaciones con insumos, y disminuir la producción de las mismas, tienden a salir del mercado y vender sus tierras. Estas situaciones de la actividad cafetalera han provocado la búsqueda de alternativas de producción más sostenibles como el sistema de manejo orgánico, en la cual no se utiliza ningún fertilizante, herbicida, fungicida o nematocida de origen químico y se incorpora además una mayor diversidad de componentes. Este sistema agroforestal ha empezado a crecer en superficie e importancia económica en Costa Rica (Lyngbaeck *et al.*, 1999) y mitiga además algunos de los impactos negativos del uso de agroquímicos en la agricultura convencional (Reganold *et al.*, 1993)

En el sistema orgánico, los rendimientos por hectárea tienden normalmente a disminuir en comparación con el sistema convencional. Así mismo, puede darse un aumento significativo en los costos de producción por el concepto de mano de obra. Sin embargo, este incremento podría compensarse con la disminución de los costos en compra de insumos químicos, y por el sobreprecio que se paga por el café orgánico. Igualmente, la rentabilidad puede ser aún mayor en el mediano y largo plazo, si se le suma la sustentabilidad ecológica del sistema y el pago por servicios ambientales como el secuestro de carbono, conservación de suelos, agua y biodiversidad que ya empiezan a ser reconocidos en Costa Rica.

En lo referente a la captura de C, una forma de mitigar los efectos negativos del aumento dióxido de carbono en la atmósfera, además de reducir las emisiones, es almacenarlo, el mayor tiempo posible, en la biomasa y el suelo. Lo primero se puede lograr más que todo mediante la fotosíntesis de las plantas del sistema y lo segundo por medio de la acumulación subsiguiente de materia orgánica procedente de podas, malezas, caída natural de hojarasca y descomposición de raíces.

En cuanto al ciclaje de materia orgánica, el sistema de café con árboles de sombra tiene ventajas importantes sobre el sistema convencional por la capacidad de mantener mayor M.O del suelo, además de favorecer el ciclaje de nutrientes, especialmente cuando los árboles de sombra son leguminosos y podados periódicamente para dar abono verde.

Sin embargo, las posibles ventajas ecológicas de los sistemas orgánicos, en comparación con los sistemas de producción convencional de café, deben ser evaluadas en un mayor número de sitios en diferentes tipos de suelo. También hace falta más estudios sobre el impacto del café orgánico en los costos e ingresos de las fincas cafeteras, para poder asegurar su sostenibilidad económica, además de ecológica (Payan *et al.*, 2002). Igualmente, a pesar de todo lo que se menciona, mucha de la información respecto a la agricultura orgánica puede ser especulativa, tal como lo indican Lutzeyer *et al.* (1994). Hasta el momento no se dispone de suficientes investigaciones específicas al sistema de café orgánico.

Uno de los limitantes principales para llevar a cabo una producción orgánica eficiente, es la falta de recursos para la preparación y/o compra de abonos orgánicos para la fertilización de los cafetos. Al respecto, Lyngbaeck *et al.* (1999) comentan que uno de los problemas económicos de la caficultura orgánica son los pocos materiales vegetales o animales, accesibles para su abonamiento. Por eso, el uso de árboles de *Erythrina. poeppigiana*, como fuente de nitrógeno, asume una gran importancia para los sistemas de producción orgánica y para los productores de escasos recursos económicos.

En el presente trabajo se evaluará la dinámica de la materia orgánica del suelo, dentro de un periodo de tres a cuatro años, en sistemas agroforestales con café, con el propósito de determinar como el árbol de *E. poeppigiana* y el manejo (orgánico y convencional) tienen efecto sobre los contenidos de C y N del suelo.

### **1.3.- Objetivos**

#### **1.3.1.- Objetivo general**

Evaluar la dinámica de la materia orgánica del suelo en sistemas de café orgánico y convencional con *E. poeppigiana* en Costa Rica.

### **1.3.2.- Objetivos específicos**

A partir de una comparación de microsítios dentro de parcelas, evaluar el efecto de *E. poeppigiana*, con un manejo orgánico o convencional, sobre la densidad aparente y los contenidos de C y N del suelo en sistemas de cafetaleros.

A partir de un seguimiento en el tiempo (3 a 4 años) evaluar el efecto de *E. poeppigiana*, con un manejo orgánico o convencional, sobre la variación de los contenidos de C y N total en el suelo en fincas cafetaleras.

Determinar el efecto de *E. poeppigiana*, con un manejo orgánico o convencional, sobre la dinámica de la macromateria orgánica del suelo en dos fracciones (de 53 a 200 $\mu$ m), en la capa 0-5 en tres posiciones con respecto al árbol de *E. poeppigiana*.

Evaluar el efecto de *E. poeppigiana*, con un manejo orgánico o convencional, sobre la mineralización del N del suelo en la capa superior (0-5 cm).

### **1.4.- Hipótesis**

Sistemas cafetaleros con el uso de *E. poeppigiana* para sombrío, presentan mayores contenidos de C y N en el suelo que sistemas sin el uso de árbol, variando éste en función de la proximidad del árbol y la profundidad.

Con respecto al manejo convencional de café, el manejo orgánico (con aplicación de abono orgánico, presencia de malezas y restitución de residuos de poda) aumenta las reservas de C y N del suelo a través del tiempo, variando éste en función de la proximidad del árbol y la profundidad.

Las fracciones de la macromateria orgánica del suelo (>53 $\mu$ m y >200 $\mu$ m) son mayores bajo el árbol en el sistema convencional que en el sistema orgánico debido a la baja descomposición y menor mineralización de la materia orgánica.

## **II.- REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1.- Los sistemas Agroforestales con café**

Fassbender (1993) define los sistemas agroforestales como una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas y/o pastos, en función del tiempo y espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida. Por otro lado, Somarriba (1992), lo define como una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales: 1) existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne, y 3) al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).

La forma tradicional de cultivar café requiere estar sembrado bajo un dosel forestal (Cuéllar *et al.*, 1999). En Costa Rica, cerca del 75% del área cafetalera se maneja con sombra, con intensidad que va desde muy poca hasta sombrero excesivo (ICAFE, 1998).

Fournier (1980) determinó que en la evolución del agroecosistema cafetalero se han presentado, por lo menos, los siguientes tres modelos básicos de producción: **A)** Cafetal con exceso de sombra y varios estratos arbóreos, con diversas especies de sombra, maderables y frutales. También se incluyen en este sistema las Musáceas; **B)** Cafetal con sombra regulada, en especial con árboles de *Inga* sp y *Erythrina* sp y **C)** Cafetal a plena exposición solar y con labores intensas de cultivo y de fertilización.

Alpizar Oses (1988) indica que la productividad y la biomasa en pie de estos agroecosistemas varía mucho de una región a otra, lo que depende en buena parte de las condiciones climáticas y edáficas del sitio, así como del manejo que se haga del sistema.

## **2.2.- Producción convencional de café**

El desarrollo tecnológico después de la segunda guerra mundial fue adoptado en la producción de café y se modificó radicalmente el sistema de cultivo en Costa Rica y otros países. Para 1993 Costa Rica poseía el 40% de su café tecnificado y el 50% semitecnificado (Rice, 1996). Este tipo de manejo se caracteriza por la eliminación de la sombra y una alta dependencia de insumos agroquímicos. Brown (1996) indica que las variedades a pleno sol, características del café convencional, han sido desarrolladas para incrementar la producción bajo estas condiciones, pero tienden a requerir mayores insumos como plaguicidas y fertilizantes químicos, y están asociadas con bajos niveles de calidad ambiental comparados con los sistemas sombreados.

Lutzeyer *et al.* (1994) señalan que el uso intensivo de agroquímicos, en especial de herbicidas y nematocidas en plantaciones de café en Costa Rica, han provocado alteraciones en la vida del suelo, por ejemplo, el desplazamiento del espectro de los nematodos, y efectos negativos sobre las funciones del suelo. A estos problemas se suma la disminución de la longevidad de las plantaciones, ya que cafetales a plena exposición solar se pueden agotar más rápidamente (Segura, 1994).

La crisis en el precio del café desde inicios de la década de los noventa impactó fuertemente la producción cafetalera de Costa Rica y otros países, y ha mostrado la vulnerabilidad económica del sistema convencional, evidenciando que el café bajo manejo convencional, altamente dependiente de insumos importados, podría ser insostenible a largo plazo.

### **2.3.- Producción orgánica de café**

El sostenido bajo precio en el mercado del café ha provocado la búsqueda de alternativas de producción más rentables sostenibles y de generación de productos diferenciados (que ofrezcan servicios ambientales y que puedan tener sobre precio) con los cuales se pueda entrar a competir en mercados no saturados. Una opción es el café orgánico, el cual es el producto de una forma de cultivo que recurre a diversas tecnologías de abono, control de malezas y control de plagas, sin usar ningún tipo de fertilizante, herbicida, funguicida o nemátocida de origen químico (Boyce *et al.* 1994).

Para Campos (1998), el café orgánico es el producto de un cultivo en el que se usan materiales naturales como compost, broza de café, estiércol, gallinaza y cualquier otro deshecho de origen vegetal o animal, además de la incorporación de residuos de árboles de sombra que aportan materia orgánica y nitrógeno. Para el control de plagas y enfermedades se usan enemigos naturales y extractos de plantas que contienen sustancias de cualidades fungicidas o insecticidas. Se usan también gran cantidad de productos provenientes de minas como sulfato de potasio, roca fosfórica, carbonato de calcio y cal dolomítica.

Un elemento característico importante de los orgánicos con café es el uso tradicional de árboles de sombra, que no solo protegen las plantas contra el exceso de calor, sino que podrían proporcionar los sistemas microbiológicos necesarios para una resistencia natural contra la erosión y las plagas.

Figuroa *et al.* (1996) indican que además de la eliminación de insumos químicos, el cultivo debe ir acompañado de un plan de manejo de conservación de suelo., rejuvenecimiento continuo del cafetal, incorporación de leguminosas arbóreas para la sombra, y la mejora y mantenimiento de la fertilidad del suelo. Además, debe contemplarse el mejoramiento de las condiciones de vida y del medio ambiente.

### **2.4.- Efectos de los árboles en los cafetales**

En cafetales con árboles, las copas de los árboles reducen la radiación y la temperatura (Barradas y Fanjul, 1986). Al mismo tiempo, se aumenta la humedad del aire y se crea un microclima diferente cerca del árbol, lo cual puede ser beneficioso en tiempos de sequía. Los árboles pueden también causar efectos indirectos positivos y negativos a los cafetos a través de plagas y enfermedades. La incidencia de malezas puede ser manejada a través de la sombra y la hojarasca de los árboles asociados. La sombra reduce el crecimiento de las malezas,



particularmente de gramíneas, y la hojarasca forma una barrera física encima del suelo que dificulta la germinación de semillas de malezas (Muschler, 2000).

Muchos efectos de los árboles a largo plazo se expresan a través de las propiedades del suelo (Nair *et al.*, 1999). El mantenimiento de niveles altos de materia orgánica en el suelo es uno de los factores principales (Fernández y Muschler, 1999; Vaast y Snoeck, 1999), tanto por su rol de mantener la estructura del suelo, como su importancia como fuente y sustrato de nutrientes. Sin embargo, los árboles pueden tener efectos negativos como la acidificación del suelo por la absorción de bases, una acumulación de sustancias tóxicas (alelopáticas) para el cultivo en el suelo, y la competencia con el cultivo por agua y nutrientes (Rao *et al.*, 1998).

Mientras que algunos efectos de los árboles a través del suelo se notan a corto plazo (reducción de la temperatura del suelo, o un aumento en humedad), muchos tienen un impacto marcado solamente después de varios años o décadas. Muschler (2000), afirma que un ejemplo son los incrementos del contenido de la materia orgánica o del carbono y de la capacidad de intercambio catiónico del suelo bajo mayores niveles de sombra. Los efectos positivos de los árboles para mantener la fertilidad y estructura del suelo también se notan en una degradación rápida cuando se eliminan los árboles (Rice, 1991).

Bornemisza (1982) señala que el aporte de N al suelo por fijación biológica de las leguminosas es de alrededor de  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ . Así mismo, Aranguren *et al.* (1982), en un estudio de un cafetal bajo árboles de sombra (*Erythrina* sp. e *Inga* sp.) indicaron que el flujo de N asociado con la caída de hojarasca de estos árboles fue de  $86 \text{ kg de N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , mientras que el aporte de la hojarasca del café fue de  $28 \text{ kg de N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ . Sommer (1978) estimó que del N absorbido por la raíces del café, cerca del 30% fue proveniente del aplicado como fertilizante y el resto (70%) fue aportado por la materia orgánica del suelo. En este sentido, en el sistema café a pleno sol las entradas naturales de N al suelo deberían ser menores, por lo tanto la demanda de N por el cultivo debe ser cubierta con una mayor proporción de fuentes exógenas (fertilizante).

Igualmente, los aportes hechos de material orgánico al suelo debido a las podas de *E. poeppigiana* es importante para el proceso del ciclaje de nutrientes (Russo, 1983). Russo y Budowski (1986) reportaron una producción de  $4.3 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  de residuos a través de dos podas realizadas como parte del manejo dado, conteniendo  $228 \text{ kg de N ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ . Glover y Beer (1983) reportan una producción de  $17.8 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  bajo el manejo de tres podas, conteniendo  $377 \text{ kg de N ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , mientras que Heuvel dop *et al.* (1985) reportan un promedio de  $20 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , de los cuales  $7.6 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  correspondieron a la caída natural de residuos vegetales y  $12.4 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  fueron de los residuos provenientes de podas de *E. poeppigiana*, conteniendo un total de  $461 \text{ kg de N ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ . En este mismo estudio se evaluaron, por tres años consecutivos, el aporte natural de residuos de cada uno de los componentes determinando que de las  $7.6 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  el café contribuyó con  $3.5$  y  $0.4 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  de hojas y ramas, respectivamente, mientras que el poró aportó  $3.1$  y  $0.6 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  de hojas y ramas, respectivamente. Esto evidencia que los sistemas cafetaleros asociados, los árboles de *E. poeppigiana* pueden aportar importantes

cantidades de materia orgánica al suelo provenientes de la caída natural y de podas en comparación con los sistemas de café en monocultivo, mejorando así el ciclaje de nutrientes y la mayor disponibilidad de éstos para el cultivo.

El sistema de café con árboles está caracterizado por podas de la parte aérea de *E. poeppigiana* con el fin de reducir la competencia por luz, regular la floración y posteriormente permitir la maduración de los frutos del café (Mungia, 2003), además de aumentar la biomasa del suelo e incorporar nutrientes al sistema (Chesney, 2001). Fassbender (1993), señala que además de estos factores, *E. poeppigiana* fija nitrógeno al suelo por ser una especie leguminosa y su hojarasca es de rápida descomposición, lo que permite una liberación pronta de nutrientes debido a la presencia de bajos contenidos de polifenoles (Palm y Sanchez, 1990).

Ramírez (1993), en un estudio durante diez años en sistemas cafetaleros en Turrialba, Costa Rica, con y sin árboles de poró y con y sin fertilización nitrogenada, determinó que sin fertilizantes, el aporte de materia orgánica y nutrientes de *E. poeppigiana* (230 árboles ha<sup>-1</sup>), podados totalmente tres veces por año, aumentó los contenidos de materia orgánica del suelo a través del tiempo con respecto al sistema de pleno sol sin el uso de fertilizantes. En consecuencia, esto demuestra el efecto del árbol en los contenidos de materia orgánica y del aporte de nutrientes que puede provenir de podas de especies leguminosas cuando no se usan fertilizantes sintéticos.

Igualmente, los árboles de sombra juegan un papel primordial en la regulación del microclima, la durabilidad de los cafetales y la calidad del café. Con el fin de consolidar la adopción de los sistemas agroforestales, es conveniente cuantificar su impacto sobre el medio ambiente (mantenimiento de la biodiversidad, conservación de suelos y calidad de agua, secuestro de carbono) y proponer herramientas de ayuda a la toma de decisión y medidas incitivas para permitir una mejor retribución de la calidad de café y los servicios ambientales (Vaast y Harmand, 2002).

## **2.5.- Materia orgánica del suelo (MOS)**

La materia orgánica del suelo está constituida por los compuestos de origen biológico y el humus por restos postmortales vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos a procesos de descomposición, transformación y resíntesis (Fassbender et al, 1987). Harmand (2003) define la MOS como la fracción orgánica del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, incluyendo tejidos y células de organismos que viven en el suelo, y sustancias orgánicas producidas por los habitantes del mismo (flora y fauna).

El contenido porcentual de materia orgánica en la primera capa del suelo es alta con respecto a las capas subsiguientes, lo que indica una disminución regular del contenido de carbono orgánico a mayor profundidad.

En el horizonte B, salvo excepciones como la de los suelos derivados de cenizas volcánicas, la disminución de la materia orgánica es notoria y se debe a que la acumulación de restos orgánicos y la actividad de los microorganismos se da en los primeros decímetros del suelo quedando cantidades menores en el horizonte B (Fassbender, 1993).

Díaz-Romeu *et al.* (1970) mostraron que los valores del contenido de la materia orgánica del horizonte A en suelos tropicales, varían en un promedio del 2% al 5%, siendo los valores máximos del 6% en suelos asociados a cenizas volcánicas.

El ámbito de variación del contenido de materia orgánica en el suelo, ésta sujeto a diversos factores como el clima (Temperatura y precipitación en especial), acidez del suelo (pH), tipos de vegetación que cubren el suelo y su permanencia en el tiempo, población de macro y microorganismos, régimen de humedad del suelo, drenaje, microrelieve y el tipo de uso que se dé al suelo (Fassbender, 1993).

### **2.5.1.- Importancia de la materia orgánica del suelo (MOS)**

El papel de la materia orgánica no es únicamente adicionar nutrientes al suelo, en especial N, ya que la fertilización mineral actúa con mayor precisión y eficiencia. La fertilización mineral por más completa que sea, nunca consigue mantener la productividad del suelo, ya sea en clima templado o tropical. Entre los beneficios que la materia orgánica aporta al suelo están (Primavesi,1982):

- ☞ Sustancias agregantes del suelo, haciéndolo grumoso, con bioestructura estable a la compactación y acción de las lluvias;
- ☞ La MOS favorece la formación de mesoporos y macroporos lo que facilita una mejor porosidad y aireación del suelo;
- ☞ Se mejora la infiltración y retención de agua por coloides orgánicos;
- ☞ Incremento de la resistencia del suelo a la erosión;
- ☞ Reserva de nutrientes de liberación lenta;
- ☞ Ácidos orgánicos y alcoholes; durante su descomposición sirven de fuente de carbono a los microorganismos de vida libre; fijadores de N, posibilitando, así, su fijación;
- ☞ Posibilidad de vida a los microorganismos, especialmente los fijadores de N, que producen sustancias de crecimiento, que tienen un efecto muy positivo sobre el desarrollo vegetal;
- ☞ Alimento a los organismos activos en la descomposición, produciendo antibióticos que protegen a las plantas de plagas, contribuyendo así a la salud vegetal;
- ☞ Sustancias intermediarias producidas en su descomposición, que pueden ser absorbidas por las plantas, aumentando el crecimiento;

- ✍ Cuando la materia orgánica es, además, humificada, aumenta la capacidad de intercambio de cationes del suelo;
- ✍ Además aumenta el poder buffer, es decir, la resistencia contra las variaciones bruscas del pH;
- ✍ Sustancias como fenoles contribuyen, no solo para la respiración y la mayor absorción de fósforo, sino también a la sanidad vegetal.

### **2.5.2.- Descomposición de la materia orgánica.**

La descomposición se define como la desintegración paulatina de materia orgánica muerta (Ulrich *et al.* 1981; Etherington, 1982) y es producto de la interacción de dos fuerzas: la reducción mecánica del tamaño de las partículas y la mineralización del material, osea la conversión de elementos de su forma orgánica a su forma inorgánica (Swift *et al* 1981). La descomposición de residuos vegetales sobre la superficie del suelo es de particular importancia para los procesos de transformación de la materia orgánica y las relaciones tróficas del suelo, las que dependen de las condiciones del suelo, pH, humedad y temperatura (Bahuguna *et al*, 1990) y el manejo brindado al suelo. También se mencionan otros factores, como son: la aireación, la acidez y el poder nutricional del suelo (De la Salas, 1987).

Además es el paso inicial para la consiguiente liberación de nutrientes en el sistema; la cual desempeña dos papeles fundamentales (Swift *et al.* 1981):

- ✍ La mineralización de los elementos esenciales contenidos en la fitomasa
- ✍ Ayudar a la formación del suelo (agregados con la formación de ácidos húmicos que sirven como cemento).

Este proceso de descomposición se regula con el efecto combinado que ejercen el tipo de sustrato y el ambiente sobre las poblaciones de organismos descomponedores (Lal, 1987). A continuación se describen en orden de importancia los factores que afectan la dinámica de nutrientes:

#### **2.5.2.1.- Influencia de las condiciones ambientales**

La temperatura y la precipitación modifican marcadamente la naturaleza y la rapidez de la descomposición del follaje (Singh y Gupta 1977). Un cambio en la temperatura puede alterar la composición de la flora activa e igualmente tener influencia sobre cada organismo vivo en la comunidad, afectando los procesos de descomposición y liberación de nutrientes (Alexander, 1977). Estos dos factores afectan indirectamente la tasa de descomposición y en sí la mineralización de nutrientes (Jordan, 1985; Meentemeyer, 1978).

Alexander, (1977) señala que el nivel óptimo de humedad para los organismos descomponedores que se hallan en el suelo es de 60-70%. Sin embargo el nivel óptimo puede variar dependiendo de la temperatura.

Generalmente, el ritmo en la descomposición de la materia orgánica sigue siendo igual en las diferentes temperaturas, excepto que la velocidad de su descomposición y la evolución del CO<sub>2</sub> es mayor a altas temperaturas (Cajuste, 1977). Inicialmente, el residuo del material orgánico estará formado de células microbianas, sustancias que se parecen a la lignina y minerales; estos productos, a su vez, sufren cambios posteriores de tipo enzimático y químico para así originar sustancias, más bien coloidales, que se conocen bajo el nombre de humus.

#### **2.5.2.2.- Acumulación de materia orgánica en el suelo**

La acumulación de materia orgánica a través del proceso de fotosíntesis y de la absorción de elementos nutritivos, se refleja en la biomasa de los sistemas de producción agroforestales (Fassbender, 1993). El patrón mensual de aporte de residuos al suelo en sistemas agroforestales, depende de las características fisiológicas de las especies involucradas en el sistema y las condiciones climáticas reinantes (Fassbender, 1993; Cole y Rapp, 1981), pero puede ser modificada por el manejo de podas.

La materia orgánica que llega al suelo, tras un proceso de descomposición, sufre profundas modificaciones en su composición hasta dar lugar a las llamadas sustancias húmicas, que son propias y exclusivas del suelo, es lo que se conoce como proceso de humificación. En este proceso interviene un gran número de grupos de microorganismos, unos específicos y otros no (Palm, 1995). Estas sustancias húmicas son el constituyente principal de los horizontes A y de algunos B formados por acumulación de los complejos móviles formados en el proceso anterior.

Solís, (1981) señala que la materia orgánica no permanece de forma indefinida en el suelo sino que, tras un tiempo, sufre el ataque microbiano y termina mineralizándose y desapareciendo como tal. El tiempo de residencia de la materia orgánica en el suelo está en función de los llamados coeficientes de humificación y de mineralización. Cuanto mayor es este tiempo también lo es la acumulación de materia orgánica, de modo que para un mismo aporte, el contenido del suelo varía en función de la variable anterior.

#### **2.5.2.3.- Propiedades físico-químicas de la materia**

La constitución química y propiedades físicas del sustrato son factores que afectan la actividad de organismos descomponedores de la materia orgánica. Una baja disponibilidad del N y un alto contenido de fenoles son factores limitantes en la descomposición de la materia orgánica. La baja concentración de N en tejidos vegetales tiene una relación directamente proporcional con la velocidad de descomposición (Esquivel, 1997). La resistencia a la descomposición del sustrato, puede estar relacionada con factores como los contenidos de nutrientes, contenido de ligninas, consistencia, tamaño de las partículas (Anderson y Swift, 1983). Algunos

autores consideran que el factor más importante que regula la descomposición es la relación C/N inicial del sustrato (Singh, 1969; Singh y Gupta, 1977; Meentemeyer, 1978, Mafongoya *et al.*, 1998).

La cantidad de material vegetal, su composición y propiedades son esenciales dado que controlan los procesos de descomposición, mineralización y humificación (Kogen-Knabner, 2002) y actúa como la fase de transición entre la biomasa viva y el suelo (Cuenca *et al* 1983).

Las tasas de descomposición y liberación de nutrientes son determinadas por la calidad de la materia orgánica (Swift *et al.*, 1979). La calidad del material vegetal es definida por los constituyentes orgánicos y los contenidos de nutrientes. Varios factores se deben considerar para describir la calidad de la planta: (1) el proceso de descomposición y liberación de nutrientes puede ser controlada por diferentes parámetros; (2) los parámetros críticos dependerán del tiempo estimado del estudio (Melillo *et al.*, 1989); y (3) la importancia de ciertos cambios de parámetros con el tipo del materia vegetal (Palm, 1995). El último objetivo es identificar los parámetros que predicen la descomposición y liberación de nutrientes (Mafongoya *et al.*, 1998). Esos parámetros se podrían utilizar para valorar la descomposición y los patrones de liberación de material orgánico, y reemplazar la necesidad de estudios detallados para cada material vegetal en cada sitio.

La calidad del carbono de un material orgánico depende de las proporciones del carbón soluble, celulosa (hemicelulosa) y lignina; la calidad, en este caso se refiere a la energía disponible para los organismos descomponedores. El carbón soluble que incluye carbón metabólico y de almacenamiento, es de alta calidad y es principalmente responsable de promover el crecimiento y la actividad microbial (Smith, 1994). La cantidad de carbón soluble es también quien determina la mineralización de nutrientes o patrones de inmovilización. La celulosa, o estructuras polisacáridas, son de calidad intermedia para la descomposición y son atacados por microbios después que los carbohidratos solubles se han agotado (Swift *et a.*,1979). La lignina es considerada como el componente más importante para la determinación de las tasas de descomposición (Meentemeyer, 1978).

#### **2.5.2.4.- Organismos descomponedores de la materia orgánica**

El proceso de descomposición, en su fase inicial, es realizado por invertebrados tales como artrópodos, los cuales fragmentan físicamente la hojarasca, mejorando así las condiciones para que la microfauna (microartrópodos y nemátodos) puedan continuar con el proceso. Finalmente la descomposición bioquímica es llevada a cabo por hongos y bacterias del suelo (Reynolds y Hunter 2001).

La macrofauna promueve ciclos de nutrientes rápidos y cortos, a la vez que contribuye con el desarrollo del suelo al construir galerías que mejoran las propiedades físicas del suelo (Tian *et al.*, 1995). También se ha

observado una mejora en las propiedades químicas y biológicas de la materia orgánica, al ingerir y mezclar el suelo con los desechos tanto de animales como de vegetales (Lavelle y Swift, 1994; Mcgrath y Jarvis, 1994).

Algunos autores (Magill y Aber 2000; Madritch y Hunter 2003) han reportado que el aumento en la riqueza de especies vegetales produciría un aumento de la actividad biológica en la hojarasca, reflejado en un aumento de la respiración del suelo. Mientras que otros autores (McTiernan et al. 1997; Maly et al. 2000; Ekschmit et al. 2001) sostienen que la respiración en la hojarasca no presenta cambios en respuesta al aumento de diversidad de especies.

Siendo la descomposición un proceso principalmente microbiológico, la composición y cantidad de microorganismos son los factores edáficos más importantes. Este proceso se debe fundamentalmente a los requerimientos nutricionales de diversos organismos heterótrofos que utilizan las sustancias contenidas en los sustratos como fuente de energía y de elementos necesarios para la síntesis de su protoplasma (Alexander, 1977). Otros factores como el pH, granulometría, riqueza, y disponibilidad de nutrientes, régimen hídrico y condiciones de aireación, inciden sobre la flora y la fauna del suelo e influyen directamente sobre la descomposición de la materia orgánica (Vilas, 1990). En el suelo, el pH controla el tipo de cultivo que puede crecer y, en consecuencia, el tipo de residuos que regresan al suelo. Un valor alto de pH así como un contenido alto de nitrógeno en los residuos vegetales, favorecen el crecimiento de bacterias, mientras que los hongos requieren para su desarrollo condiciones completamente opuestas (Cajuste, 1977).

## **2.6.- Ciclaje de nutrientes**

Charley y Richards (1983), establecen que la circulación de los minerales en los ecosistemas se produce siguiendo tres vías:

☞ *Bioquímica*: o de circulación interna de los nutrimentos dentro de las plantas, respondiendo a procesos de traslocación interna ordenados por su mismo sistema metabólico.

☞ *Geoquímica*: o de circulación de nutrimentos entre los distintos componentes abióticos del sistema, la que comprende procesos de meteorización, precipitación, equilibrio químico entre fases sólidas y líquidas, absorbidas y disueltas.

☞ *Biogeoquímica*: o de circulación entre componentes bióticos y abióticos como la descomposición de la M.O. por parte de los microorganismos del suelo y la consecuente absorción de los elementos mineralizados por parte de las raíces.

Los nutrientes que son absorbidos por las plantas son devueltos rápidamente al suelo a través de la descomposición de los residuos vegetales como hojas, ramas, flores, frutos, raíces y tallos, que al descomponerse son incorporados al material mineral del suelo. Estos residuos orgánicos aportados por los árboles de sombra,

constituyen una importante fuente de nutrientes (Beer 1988; Fassbender 1993), lo que hace que los árboles en asocio tengan un importante papel en el reciclaje de nutrientes para los cultivos (Young, 1999).

Sin embargo, existe aún la necesidad de realizar estudios más profundos acerca de su efecto sobre las variables edafológicas; especialmente sobre la acumulación/descomposición de los diferentes tipos de materiales orgánicos dentro de sistemas “orgánicos” (Vaast y Snoeck 1999; Fernández y Muschler 1999) y sobre las diferentes fracciones de la materia orgánica en el aprovechamiento por los cafetos de los nutrientes contenidos en los residuos de poda de los árboles (Beer *et al.*, 1998).

### 2.6.1.- Carbono

Los estudios sobre materia orgánica son invariablemente estudios de carbón orgánico (Nair, 1993). El carbono es la fuente de energía o el sustrato sobre el que los microbios se alimentan, su actividad depende directamente de la cantidad de carbono disponible en cualquier tiempo particular, y la cantidad de carbono así perdido es proporcional al presente inicialmente (Young, 1989).

La importancia de las fracciones de la materia orgánica en la fertilidad del suelo ha sido estudiada por Smith, 1979; Paul and Van Veen *et al.*, 1984, Theng *et al.*, 1986; Parton *et al.* 1987, describiendo los procesos de formación y las tasas de descomposición de las diferentes clases de la materia orgánica. De acuerdo con los anteriores autores, la materia orgánica se divide en tres fracciones: Activa, lenta y pasiva con tasas de descomposición de < 1 año, 5 – 25 años, y 1000 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). Meléndez, 2003, comenta que las diferencias en las tasas de reciclaje entre estas fracciones son debido a la naturaleza química de los compuestos orgánicos y su asociación con las partículas del suelo.

?? **La fracción activa** incluye la biomasa microbiana y las sustancias fácilmente descompuestas (como exudados) que provienen de las plantas y microbios

?? **La fracción lenta** incluye residuos orgánicos químicamente complejos o medio descompuestos que se encuentran disponible a los microorganismos (usualmente existen entre los macroagregados del suelo) y que aún no es considerada como humus.

?? **La fracción pasiva** incluye los compuestos químicos complejos que son difícilmente descompuestos y/o existen dentro de los microagregados y consecuentemente no son físicamente disponibles a los microorganismos (Duxbury *et al.*, 1989).

El carbono orgánico presente en los suelos naturales representa un balance dinámico entre la deposición de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo,



gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y solo una pequeña fracción (1%) del que ingresa se acumula en la fracción húmica estable (Robert 2002).

### **2.6.2.- Nitrógeno**

El N es el elemento mayormente limitante para la productividad de los agrosistemas de café (Carvajal, 1984). Las especies de árboles de sombra y las prácticas de manejo, tales como régimen de podas del árbol e intensidad de la fertilización, pueden afectar la disponibilidad del N en el suelo. Por ello, las tasas de mineralización de N pueden diferir entre agroecosistemas, dado que las prácticas de manejo influyen sobre la temperatura del suelo, disponibilidad de agua, cantidad y calidad del sustrato y la mineralización de la materia orgánica del suelo (Douglas y Magdoff, 1991; Babbar y Zak, 1994).

Igualmente, el N es necesario para la descomposición de la materia orgánica del suelo que es realizada por los microorganismos heterótrofos del suelo y si el material orgánico tiene poco N en relación al C, los microorganismos utilizan en amonio y los nitratos presentes en el suelo. Este N permite el rápido crecimiento de los microorganismos que proporcionan material con C al suelo (Robertson *et al.*, 1982)

Existe una relación directa entre la velocidad de degradación de la materia orgánica con el incremento de los nutrientes en el suelo. Bross *et al* (1995) y Palm y Sánchez (1990) demostraron esta misma relación; sin embargo, mencionan que una rápida liberación, al inicio del proceso de degradación, puede resultar en una pérdida de nutrientes, sobre todo de potasio y nitrógeno por lixiviación durante la lluvia. Sin embargo, con relaciones C:N mayores de 15:1 prácticamente no existe mineralización en el suelo, ya que el poco N presente es utilizado por los microorganismos (Sprent, 1983).

Por tal motivo, es recomendable, cuando se aplica abono verde, utilizar especies con diferentes velocidades de degradación para asegurar un flujo continuo de nutrientes y protección al suelo en el tiempo. La limitación del N en SAF no está definida primordialmente por los factores que afectan la descomposición de las hojas, sino por la cantidad del material depositado (hojarasca) en el suelo y por su distribución en el tiempo (Glover y Beer, 1987; Imbach, 1987).

#### **2.6.2.1.- Formas del nitrógeno en el suelo**

##### **?? Nitrógeno orgánico**

Estiércol y plantas, microorganismos y animales muertos en descomposición son importantes fuentes de nitrógeno para el suelo. Si bien la mayor parte de este nitrógeno es insoluble y no está disponible de inmediato para que lo utilicen las plantas. Esta fracción orgánica se abastece también de N a partir de microorganismos

fijadores de N atmosférico en forma asimbiótica y de la inmovilización de la fracción soluble que realizan los microorganismos (Salisbury y Ross, 1994; Bertsch, 1995).

## ?? **Nitrógeno inorgánico**

El primer producto resultante de la descomposición de la materia orgánica (mineralización) es el  $\text{NH}_4^+$ , proveniente de la descomposición de proteínas, aminoácidos y otros compuestos. Las tres formas inorgánicas más importantes,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  representan generalmente del 2 al 5% del N total del suelo. La fuente de  $\text{NH}_4^+$  proviene de la mineralización del N orgánico y de los fertilizantes.

El N disponible en el suelo depende en gran medida de la mineralización del N orgánico. Mediante este proceso los componentes orgánicos, ya sea del humus del suelo o de los residuos vegetales y animales recién incorporados al mismo se transforman a formas inorgánicas nitrogenadas tales como el amonio, nitrito y nitrato. Esta mineralización consiste en tres etapas:

- \* Aminización, la transformación de proteínas a amina
- \* Amonificación, transformación de amina en amonio
- \* Nitrificación, transformación de amonio en nitrato con una etapa intermedia corta de formación de nitrito (Sánchez, 1982; Bertsch, 1998).

El N puede también pasar de una forma inorgánica a una forma orgánica, presentándose el proceso de inmovilización. La inmovilización ocurre cuando se incorporan al suelo residuos de cultivos con contenido alto de C y bajo de N. La mineralización y la inmovilización ocurren simultáneamente en el suelo. El cambio de un suelo a dominancia de formas orgánicas o inorgánicas de N depende principalmente por la relación C/N de la materia orgánica que se está descomponiendo. En forma general, una relación C/N baja tiende a favorecer la mineralización, en tanto que relaciones mayores de 25 conducen a una lenta mineralización o bien a la inmovilización del N (Bertsch, 1995).

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1.- Localización y descripción de los sitios de muestreo**

##### **3.1.1.- Localización**

Esta investigación se realizó en fincas y parcelas cafetaleras de Costa Rica, ubicadas en las localidades de Aserri, Turrialba, Pejibaye y Paraíso, a razón de dos fincas por localidad (una orgánica y otra convencional) y en tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café, en la finca del CATIE en Turrialba (Figura 1).



Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo para determinar los contenidos de C y N del suelo en fincas con manejo orgánico y convencional, Costa Rica. 2004

### 3.1.2 Caracterización general de las áreas de muestreo

#### 3.1.2.1 Finca del CATIE en Turrialba

El muestreo se realizó en parcelas con manejo orgánico y convencional de la finca comercial del CATIE y en el Ensayo de Sistemas Agroforestales, el cual tiene un área de aproximadamente 9.2 hectáreas. La finca del CATIE ubicada en el Cantón de Turrialba, se encuentra en las coordenadas geográficas de 9°53'44" N y 83° 40'7" O; con una elevación de 600 msnm. Para la zona los datos meteorológicos de la estación de CATIE indican los siguientes promedios: precipitación 2651 mm/año, temperatura 21,8°C, humedad relativa de 88% y radiación solar de 16.9 MJ/m<sup>2</sup>. Los suelos se caracterizan como aluviales mixtos, Ultisol e Inceptisol, con texturas entre franco y franco-arcilloso (primeros horizontes). En el ensayo de sistemas, la principal limitante encontrada a la

hora de establecer el ensayo fue la situación de mal drenaje en las capas más inferiores (a partir de los 20 o 30 cm) donde se presentó condiciones de redoximorfismo (manchas de oxidación). El relieve es de poco declive y el terreno anteriormente estuvo dedicado al cultivo de caña (De Melo *et al*, 2002).

### **3.1.2.2 Paraíso**

El muestreo se realizó en un par de fincas, una con manejo orgánico y otra con manejo convencional ubicadas en el Cantón Paraíso, Provincia de Cartago. El lugar se localiza al Oeste del Valle Central de Costa Rica en los 09°50' N y 83°60' O en la vertiente Sur del volcán Irazú, con una elevación de 1200 a 1300 m.s.n.m, una temperatura que oscila entre los 18 °C y una precipitación pluvial promedio de 2400 mm anuales. Los suelos son Ultisoles, agrupados dentro de la subunidad geomorfológica Volcán Irazú. Su topografía se caracteriza por lomas redondeadas sobre lavas volcánicas recientes, con diferente grado de meteorización (Chinchilla, 1987).

### **3.1.2.3 Aserrí :**

El muestreo se realizó en el Distrito la Legua, Cantón de Aserrí, provincia de San José. El lugar se ubica en las coordenadas geográficas 09° 44'50" N y 84°08'44" O. Tiene una altura sobre el nivel del mar que varía de los 1300 a los 1650 m. Esta constituido geológicamente por materiales de los períodos cretácicos, terciario y cuaternario; siendo las rocas sedimentarias del terciario las que predominan en la región. El cantón de Aserrí presenta 4 unidades geomórficas denominadas forma de Origen Tectónico y Erosivo, originada por acción intrusiva de origen volcánico y de origen estructural (Chinchilla, 1987).

### **3.1.2.4 Pejibaye**

El muestreo se realizó en el caserío de Villa Pejibaye, Distrito de Tucurrique, Cantón de Jiménez, Provincia de Cartago. El lugar se ubica en las coordenadas geográficas 09° 47'51" N y 83°41'57" O. Tiene una altura sobre el nivel del mar de 643 m, con una precipitación promedio en la zona de 2027 mm al año y una temperatura promedio de 21.4 °C. El Cantón de Jiménez esta constituido geológicamente por materiales de los períodos terciario y cuaternario; siendo las rocas sedimentarias del terciario las que predominan en la región. Presenta 4 unidades geomórficas denominadas forma de Origen Tectónico y Erosivo de origen volcánico, de sedimentación aluvial y de origen estructural (Chinchilla, 1987).

## **3.2 Selección de áreas de muestreo**

Se localizaron las áreas de muestreo dentro de cuatro pares de fincas cafetaleras (dos por localidad) ubicadas en los Cantones de Aserrí, Turrialba, Pejibaye y Paraíso, las cuales hicieron parte del estudio que realizaron Payan

*et al.* (2002), donde se compararon fincas orgánicas y convencionales, así como en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café, del Programa CATIE-MIP-AF (NORAD), en el que se están evaluando niveles de insumos orgánicos y convencionales en café (*C. arabica*) asociado con poró (*E. poeppigiana*) y café a pleno sol.

Las fincas están una cerca de la otra (orgánica y convencional), con una distancia no mayor de 500 m entre ellas. Las fincas certificadas como orgánicas tienen un tiempo no menor de 10 años y las parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café tienen 4 años. Estas fincas y parcelas tienen análisis del contenido de C y N en el suelo de tres años y medio atrás, lo que permitió analizar los diferentes cambios ocurridos en el tiempo.

Las fincas son representativas de la región donde el paquete tecnológico aplicado es muy similar por todos los productores en la zona. Las fincas con tecnología convencional fueron seleccionadas por su cercanía a la finca orgánica y por aplicar un paquete tecnológico contrastante con la finca orgánica, en lo que se refiere al uso de herbicidas, fungicidas sintéticos y fertilizantes químicos. Sin embargo, estas fincas tienen condiciones de cultivo similares en lo que se refiere a las variedades de café y densidad de siembra, tipo de suelo y condiciones topográficas, climáticas y de altitud (msnm). Por lo general, la fisonomía del sistema orgánico difiere del convencional por la existencia de malezas y por la intensidad de poda del poró (más fuerte en el sistema convencional).

Debido a que en estas fincas no se encuentra el sistema de pleno sol, se seleccionaron las parcelas y/o tratamientos del ensayo de Sistemas Agroforestales con Café, que aunque apenas tiene 4 años de haberse establecido, nos permitió realizar diferentes contrastes y comparaciones entre sistemas (café con poró y café sin poró) y manejo (medio orgánico y medio convencional). Esto permitió medir la variación en el tiempo en un sistema con manejo medio orgánico y medio convencional, bajo el mismo manejo del poró. Para este estudio no se contó con los análisis de C y N Total de hace 3 años atrás, ya que no se realizaron esos análisis, pero como existían las muestras originales del suelo tomadas en el 2001 se usaron estas muestras para los análisis de C y N Total para poder realizar el estudio.

Por lo tanto, para el caso de los cuatro pares de fincas con manejo orgánico y convencional se compararon los datos y análisis de laboratorio obtenidos en el año 2000 por el Dr Fidel Payan con los obtenidos en el 2004 por este estudio y para las parcelas del ensayo de Sistemas agroforestales con café del CATIE se compararon los análisis recientes de laboratorio de las muestras de suelo tomadas en el 2001 por el MSc. Elias de Melo y los muestreos realizados en el 2004 bajo este estudio. Para realizar el estudio se aplicaron las mismas metodologías de muestreo y los tipos de análisis de laboratorio fueron realizados en la misma forma, esto con el fin de poder garantizar comparabilidad entre este estudio y los realizados tiempo atrás. Consecuentemente, se localizaron las mismas unidades experimentales dentro de las mismas fincas y parcelas que hicieron parte de ambos estudios y los muestreos se realizaron en las mismas épocas.

### 3.3 Sistemas de producción evaluados y su manejo

Para realizar esta investigación se seleccionaron los siguientes sistemas de producción y manejo:

En Fincas

?? *C. arabica* con *E. poeppigiana* bajo manejo orgánico

?? *C. arabica* con *E. poeppigiana* bajo manejo convencional

En el ensayo de sistemas de café del CATIE

?? *C. arabica* con *E. poeppigiana* bajo manejo medio orgánico

?? *C. arabica* con *E. poeppigiana* bajo manejo medio convencional

?? *C. arabica* con *E. poeppigiana* a pleno sol bajo manejo medio convencional

Es importante aclarar que el término medio se utilizó como una referencia a la búsqueda de aporte de nutrientes externos similar a la cantidad media que se emplean en el manejo convencional. En este sistema el manejo es plenamente orgánico intensivo. En cuanto al término medio convencional, éste se refiere de que las cantidades de nutrientes y algunas prácticas de manejo corresponden a la mitad de lo practicado por un manejo convencional de altos insumos.

En este estudio se incluyó una comparación del manejo realizado durante los últimos 3 a 4 años después del muestreo (julio de 2000 para el estudio de Payan y abril de 2001 para las parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café). Para ello se realizaron encuestas con los productores, con el fin de evaluar dentro de cada finca las condiciones de manejo que se han realizado desde el último muestreo en lo que se refiere al uso de sombra de poró, número de podas al año, control de malezas, aplicación de fertilizantes y/o abonos orgánicos, entre otros (Anexo 1). Para las parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café esta información se recopiló de los historiales de manejo del proyecto.

A continuación se presenta la información recopilada en las encuestas en lo que se refiere al manejo de cada uno de los sistemas de producción que hicieron parte del estudio:

#### 3.3.1.- Fincas con café (*C. arabica*) y poró (*E. poeppigiana*) bajo manejo orgánico

Dentro de este sistema de producción y manejo se seleccionaron cuatro fincas cafetaleras certificadas como orgánicas, ubicadas en Turrialba, Paraíso, Aserri y Pejibaye. Este sistema de producción se caracterizó en las cuatro localidades por usar árboles de poró como sombra del café, sembrados a una distancia aproximada de 4 x 4 m al Cuadro. La altura de la copa del poró es de 1.5 a 2 m por encima de la copa del café y un diámetro de

copa promedio de 3 m. Se realiza un arreglo de sombra en los primeros meses de cada año en la que se dejan aproximadamente 3 a 4 ramas por árbol para que den sombra al café (Figura 2a). En algunos casos se realizan dos podas al año, siendo la primera una poda total y la segunda una poda parcial. Los residuos de la poda de *E. poeppigiana* se repican en el lugar donde caen y se distribuyen en los alrededores en forma homogénea (Figura 2b).

El café se encuentra por lo general sembrado a 1 m entre plantas y 1.30 m entre hileras. Su poda se realiza una vez al año por planta, dejando de 3 a 4 hijos. Los residuos de poda del café se pican donde caen y se distribuyen en los alrededores. En estas fincas el control de malezas se realiza con manejo de la sombra y con machete y van de 2 a 3 limpiezas por año, aunque por lo general el suelo permanece con cubierta vegetal como se observa en la Figura 2b.

El tipo de enmienda aplicado al suelo y la cantidad es variable entre las fincas y emplean para ello productos naturales como compost y gallinaza entre otros, acompañada de abonos verdes y en algunos casos de cal o KMAG. En cuanto la aplicación de gallinaza esta varió en las fincas orgánicas de 3000 a 4000 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, compost de 1800 a 2000 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, KMAG (22% K<sub>2</sub>O) aproximadamente 140 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>) 1000 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Mediante el manejo de luz realizan el control de plagas y enfermedades y en algunas ocasiones fumigan las plantaciones con preparados naturales o realizan controles biológicos con enemigos naturales del insecto plaga.



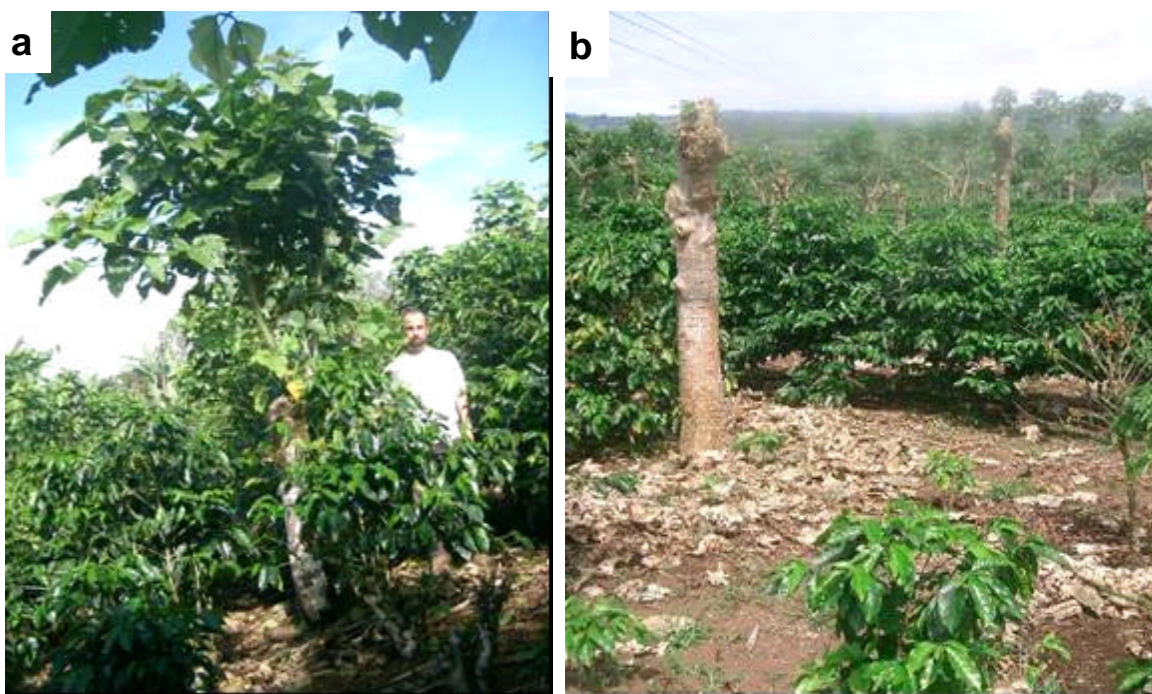
**Figura 2. Café (*Coffea arabica*) con Poró (*Erythrina Poeppigiana*) bajo manejo orgánico: a. Poda y arreglo de copa de poró b. Distribución homogénea de residuos de podas en los alrededores, Turrialba, CATIE, Costa Rica, 2004**



### 3.3.2 Fincas con café (*C. arabica*) y poró (*E. poeppigiana*) bajo manejo convencional

Se seleccionaron cuatro fincas cafetaleras bajo manejo tradicional, cerca o colindantes con las fincas orgánicas, ubicadas en Turrialba, Paraíso, Aserrí y Pejibaye. En este sistema de producción se usan árboles de poró como sombra del café, sembrados a una distancia aproximada de 4 x 4 m al Cuadro. La altura del tallo principal del poró es igual a la del café y la copa alcanza hasta 1.5 m de altura por encima de la copa del café al momento de la poda (Figura 3a). Se realizan dos podas al año, siendo la primera una poda total (Enero) y la segunda una poda parcial (Agosto) dejando una copa pequeña para que de algo de sombra al café. Los residuos de la poda de *E. poeppigiana* se repican en el lugar donde caen (cerca de la base del árbol) y no se distribuyen (Figura 3b).

El café se encuentra por lo general sembrado a 1 m entre plantas y 1.30 m entre hileras. Su poda se realiza una vez al año por planta, dejando de 3 a 4 hijos. Los residuos de poda del café se pican un poco donde caen. En la mayoría de las fincas bajo este manejo se encuentra asociado el plátano (*Musa* sp) para producción y sombrío, también la parte vegetativa de la planta sirve como abono verde una vez es cosechada. En estas fincas el control de malezas se realiza de 1 a 2 veces por año con herbicida realizando primero una chapea antes de fumigar para que el herbicida sea más efectivo.



**Figura 3. Café (*Coffea arabica*) con Poró (*Erythrina poeppigiana*) bajo manejo convencional: a. Altura y copa de poró b. Poda total de poró y concentración de residuos cerca de la base del árbol, Costa Rica, 2004**

Por lo general el suelo permanece la mayor parte del año sin cobertura vegetal como se aprecia en la Figura 3b. La fertilización la realizan mediante el uso de productos químicos como la Formula completa 18-5-15-8-1.2 (N, P, K, Mg y B) acompañada del abono verde proveniente del poró y en algunos casos de cal. La aplicación de

formula completa es de 400 a 650 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y el Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>) de 1000 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El control de malezas lo realizan cuatro veces al año con Glifosato, Paraquat o Raundap. El control de plagas y enfermedades se realiza con insecticidas y fungicidas comerciales.

### 3.3.3 Ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE

Con la financiación del Programa CATIE-MIP-AF (NORAD), el CATIE junto con la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Instituto del café en Costa Rica (ICAFE), establecieron en el año 2000 en la finca comercial del CATIE un ensayo de sistemas agroforestales con café. Esta investigación que durará 20 años, estudia las interacciones entre el café a pleno sol, 6 combinaciones de árboles (maderables y de servicios) y 4 tratamientos de insumos para el manejo de plagas y el manejo de la nutrición de los cafetos (De Melo E. *et al.*, 2002), tal como se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Tratamientos y subtratamientos aplicados dentro del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE. 2004**

Tratamientos con sombra de árboles	Café a pleno sol	Café + <i>Erythrina poeppigiana</i>	Café + <i>Terminalia amazonia</i>	Café + <i>Chloroleucon eurycyclum</i>	Café + <i>T amazonia</i> + <i>C. eurycyclum</i>	Café + <i>T amazonia</i> + <i>E. poeppigiana</i>	Café + <i>C. eurycyclum</i> + <i>E. poeppigiana</i>
Subtratamientos con niveles de insumos	AC, MC	AC, MC, MO, BO	AC, MC, MO, BO	MC, MO	MC, MO	MC, MO	AC, MC, MO, BO

Alto convencional (AC) = con aplicación alta de insumos químicos  
 Medio convencional (MC) = con aplicación media de insumos químicos  
 Medio orgánico (MO) = con aplicación media de insumos orgánicos  
 Bajo orgánico (BO) = con aplicación baja de insumos orgánicos

Para la realización de este estudio, se seleccionaron los siguientes tres parcelas o tratamientos que hacen parte del ensayo de sistemas agroforestales con café:

- ?? *C. arabica* con *E. poeppigiana* bajo manejo medio orgánico (Mo)
- ?? *C. arabica* con *E. poeppigiana* bajo manejo medio convencional (Mc)
- ?? *C. arabica* con *E. poeppigiana* a pleno sol bajo manejo medio convencional (Mc)

En estos tres tratamientos, el café esta sembrado a 1 m entre plantas y 2 m entre surcos. En los dos primeros tratamientos se usan árboles de poró como sombra del café, sembrados en las hileras de café a una distancia de 4m entre hileras y 6 m entre plantas. La altura de la copa del poró es de 1.5 m por encima de la copa del café. Se realizan tres arreglos de sombra en el año dejando aproximadamente 4 ramas por árbol para que den sombra al café (Figura 4a). Los residuos de la poda de *E. poeppigiana* se repican en el lugar donde caen y se distribuyen en

los alrededores en forma homogénea, a excepción de las ramas gruesas las cuales se amontonan sobre la calle para que se descompongan (Figura 4b). En el tercer tratamiento el café se encuentra sin asociación de ninguna especie arbórea. A continuación se describen los niveles de insumos (subtratamientos) aplicados en cada uno de los tres tratamientos seleccionados para este estudio.

### 3.3.3.1 Café (*C. arabica*) con Poró (*E. poeppigiana*) bajo manejo medio orgánico

Para efectos de este estudio se denominara **Mo** al sistema Café (*C. arabica*) con Poró (*E. poeppigiana*) bajo manejo medio orgánico. En Mo el tipo de enmienda al suelo corresponde a la aplicación de pulpa de café, gallinaza, piedra mineral molida, roca fosfórica, cal y Kmag (De Melo E. *et al*, 2002).

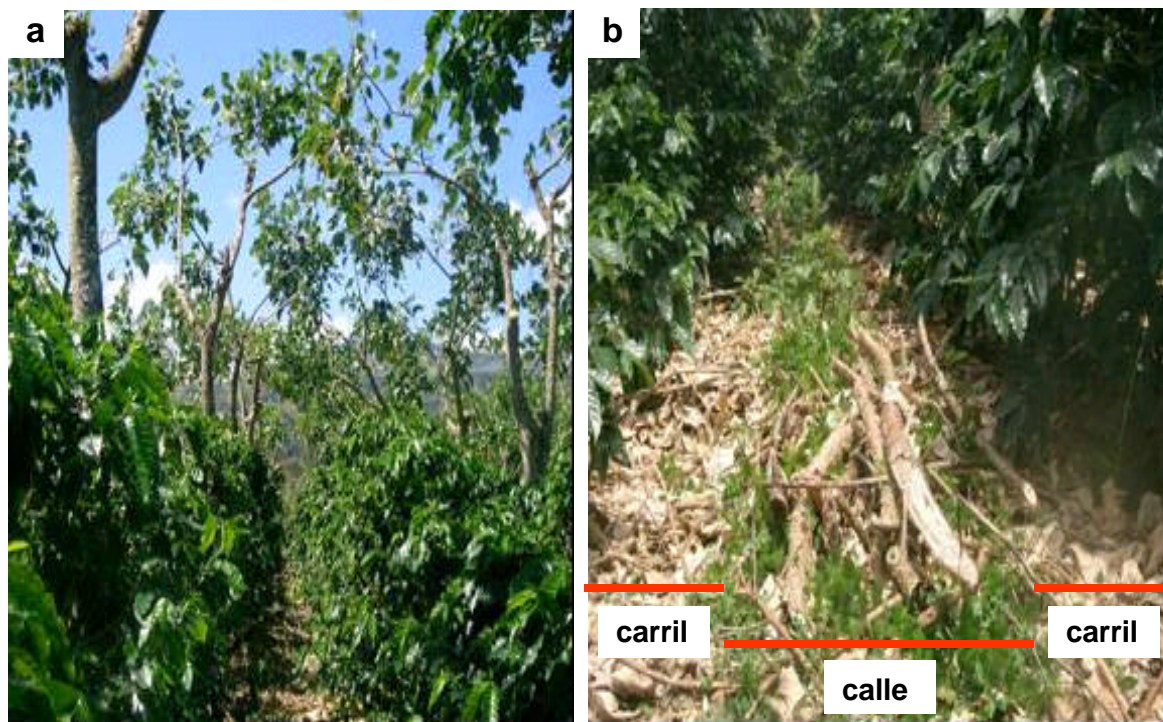


Figura 4. Café (*Coffea arabica*) con Poró (*Erythrina poeppigiana*) bajo manejo medio orgánico y medio convencional: a. Arreglo de copa de poró b. Distribución de los residuos de poda de poró, Turrialba, Costa Rica, 2004.

El tipo de enmienda aplicado al suelo es pollinaza 7500 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, broza de café 20 Ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, distribuida en dos aplicaciones de 10 Ton cada una (la primera en Marzo y la segunda en Septiembre), K MAG (22% K<sub>2</sub>O) 200 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y roca fosfórica 200 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El manejo de malezas en el Mo es selectivo con prácticas manuales, donde el área contigua al surco de café (unos 50 cm aproximadamente) denominada “carril”, permanece libre de malas hierbas mediante el uso de machete y guadaña. En este carril solo se permite la cobertura de hojarasca con el fin de reciclar nutrientes y controlar malezas. La zona central en medio de los surcos de café (de 1 m de ancho aproximadamente) denominada “calle”, permanece con cobertura vegetal donde la mala hierba como pastos se baja a ras del suelo y se favorece selectivamente las buenas coberturas con guadaña (Figura 4b). En este sistema el manejo de enfermedades se realiza mediante aplicaciones foliares de productos botánicos y biológicos y el manejo de plagas mediante observaciones sistemáticas sobre el estado de las plantas, las plagas y los agentes de control natural (De Melo E. *et al*, 2002).

### **3.3.3.2 Café (*C. arabica*) con Poró (*E. poeppigiana*) bajo manejo medio convencional**

Para efectos de este estudio se denominara **Mc** al sistema Café (*C. arabica*) con Poró (*E. poeppigiana*) bajo manejo medio convencional. En el tratamiento Mc, el tipo de enmienda aplicado al suelo son los fertilizantes químicos. Se aplican 400 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de formula completa 18-5-15-8-1.2 (N, P, K, Mg y B) distribuidos en dos aplicaciones de 200 Kg cada una (la primera en Mayo y la segunda en Agosto), roca fosfórica 200 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, nitrato de amonio 45 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y Urea 50 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El manejo de malezas en el Mc se realiza con prácticas químicas y mecánicas, donde el área contigua al surco de café (unos 50 cm aproximadamente) denominada “carril”, permanece libre de cobertura vegetal mediante el uso de herbicidas como Roundap. En este carril solo se permite la cobertura de hojarasca con el fin de reciclar nutrientes y controlar malezas. La zona central en medio de los surcos de café (de 1 m de ancho aproximadamente) denominada “calle”, permanece con cobertura vegetal la cual se corta con guadaña entre 15 y 20 cm de altura sobre el nivel del suelo (Figura 4b). En este sistema el manejo de enfermedades se realiza mediante el uso frecuente de fungicidas comerciales y el manejo de plagas insectiles con prácticas manuales y uso frecuente de insecticidas comerciales (De Melo E. *et al*, 2002).

### **3.3.3.3.- Café (*C. arabica*) a pleno sol bajo manejo medio convencional**

Para efectos de este estudio se denominara **Ps** al sistema Café (*C. arabica*) a pleno sol bajo manejo medio convencional. En este sistema el café esta sembrado a 1 m entre plantas y 2 m entre surcos y no se usan árboles para sombrío del cafetal. En el Ps el tipo de fertilizantes, el manejo de malezas y el manejo de plagas y enfermedades que se utiliza son los mismos empleados en el tratamiento café (*C. arabica*) con poró (*E. poeppigiana*) bajo manejo medio convencional (De Melo E. *et al*, 2002).

### 3.4 Evaluación del efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre los contenidos de C y N total del suelo en un par de fincas cafetaleras.

Se seleccionó un par de fincas, una con manejo orgánico y la otra con manejo convencional, ubicadas en el Cantón Paraíso, Provincia de Cartago. Para evaluar el efecto del árbol *E. Poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre las variaciones del contenido de C y N en el suelo, se realizó dentro de una misma finca la comparación del contenido de C y N del suelo en microsítios en dos posiciones, bajo el árbol (sitio A < 1m) y distante del árbol (sitio B > 2m).

#### 3.4.1.- Muestreo en un par de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Paraíso

Para el estudio de los contenidos de C y N en el suelo, dentro de cada finca se seleccionaron seis unidades experimentales al azar, cada una conformada por tres sub-unidades de muestreo, las cuales a su vez estuvieron conformadas por la presencia de cuatro árboles de *E. poeppigiana* y cinco hileras de café, en las cuales el poró se encuentra sembrado en Cuadro a 5 m entre plantas y 5.20 m entre hileras, mientras que el café está a 1 m entre plantas y 1.30 m entre surcos (Figura 5).

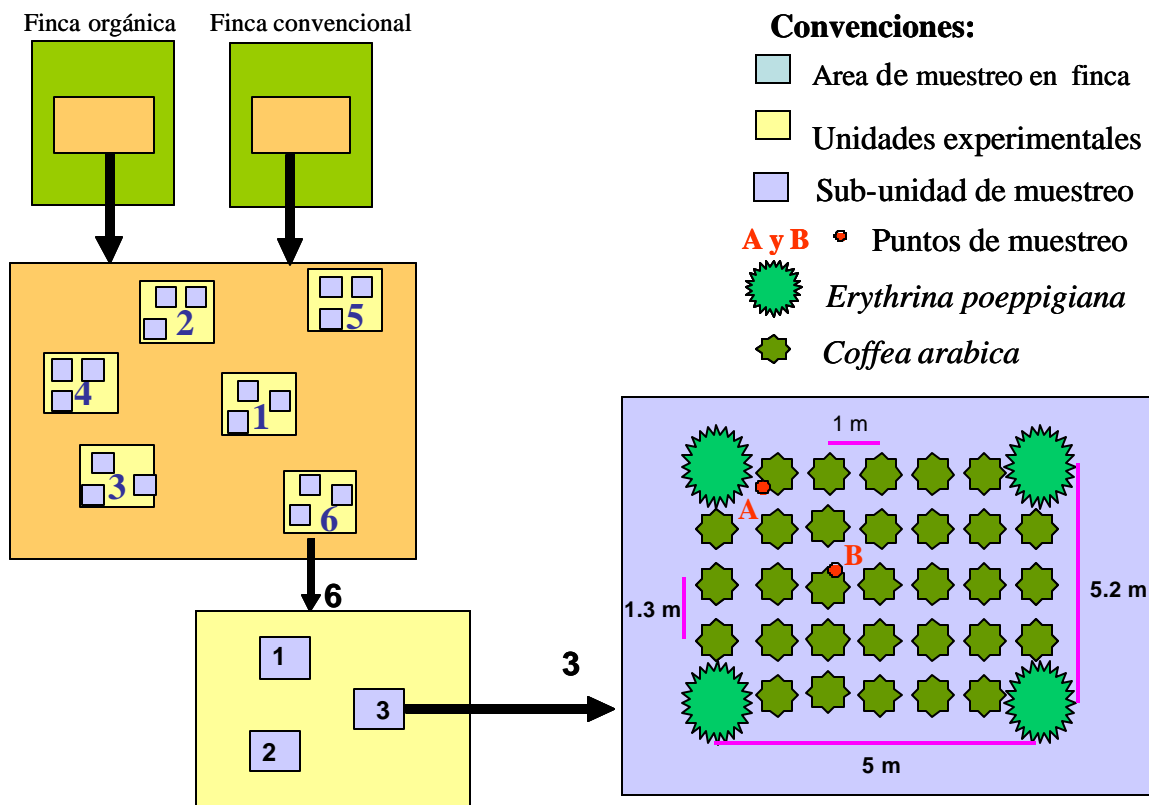


Figura 5. Diseño del muestreo en fincas para evaluar el efecto de *Erythrina poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre los contenidos de C y N total del suelo. Paraíso, Cartago, 2004. Adaptado de Payan *et al.*, 2002.

En cada una de las sub-unidades de muestreo se seleccionó al azar un árbol de *E. poeppigiana* donde se determinaron dos sitios de muestreo de la siguiente manera (Figura 6):

**Sitio A:** debajo de una planta de café a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m del árbol de *E. poeppigiana*.

**Sitio B:** debajo de una planta de café a 40 cm de su tallo y a más de 2 m del árbol de *E. poeppigiana*, en dirección hacia el centro de la sub-unidad de muestreo.

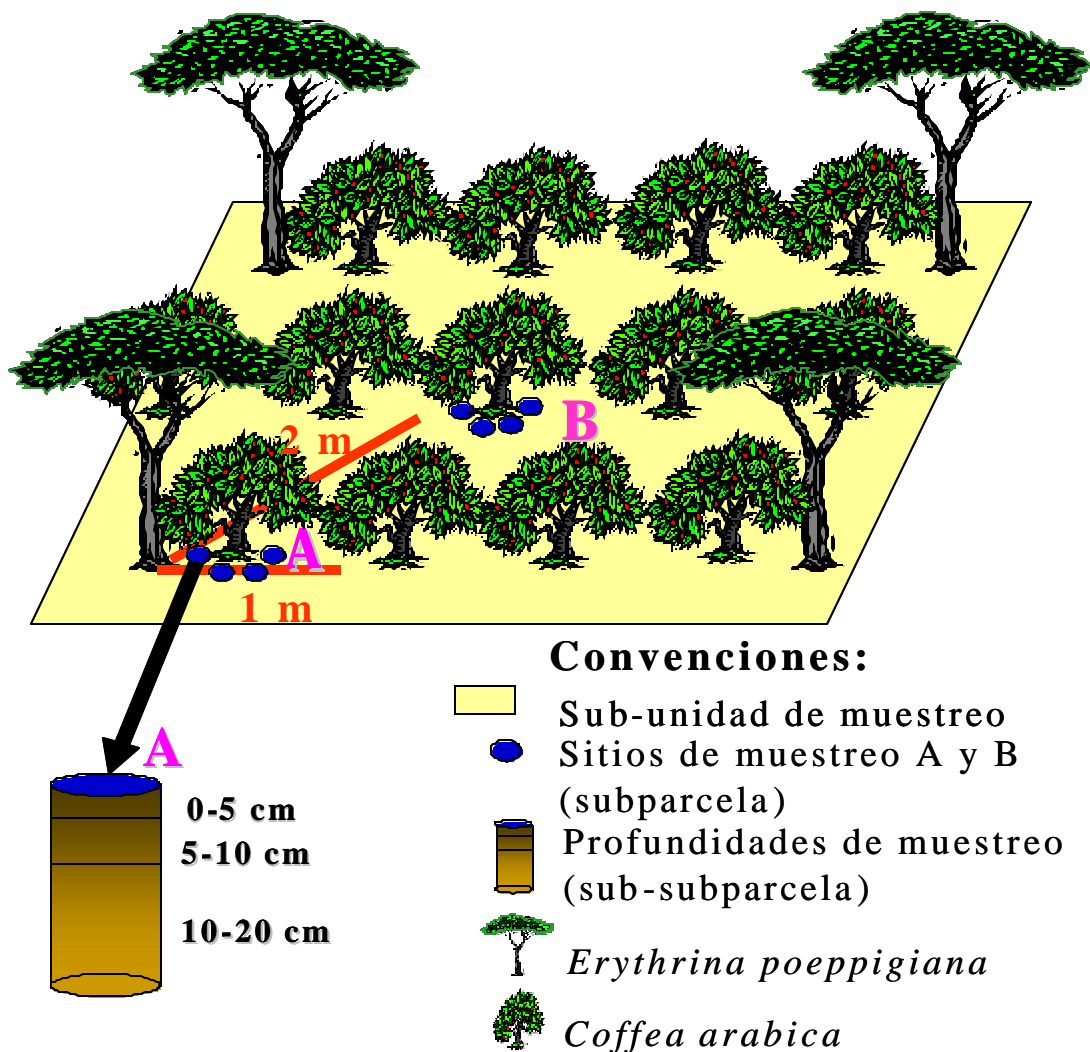


Figura 6. Sitios y profundidades de muestreo para determinar densidad aparente (DA) y contenidos de C y N Total del suelo en fincas orgánicas y convencionales de café. Paraíso, Cartago, 2004.

Una vez ubicados los sitios A y B se procedió a muestrear el suelo para lo cual se empleó un barreno helicoidal de hierro. En caso de encontrar raíces estructurales se realizó una nueva barrenación a la par. Las muestras fueron tomadas en cada uno de los dos sitios (A y B) y en tres profundidades (0-5, 5-10 y 10-20 cm).

Después de retirar manualmente la hojarasca hasta encontrar el suelo mineral, se realizaron 4 barrenaciones por cada profundidad para obtener muestras mezcladas representativas de cada sitio. En cada barrenación, excepto en la de 0-5 cm, se desecharon los primeros 2-3 cm de suelo suelto en la parte superior del barreno debido a que se trata de suelo desprendido de las paredes del agujero de la barrenación anterior, correspondiente a una menor profundidad. Luego se mezclaron las tres muestras de las tres sub-unidades correspondientes de un mismo sitio y profundidad. De esta manera se obtuvieron 36 muestras cada uno compuestas de 12 barrenaciones por cada finca (2 sitios (A y B), por 3 profundidades, por 6 repeticiones), para un total de 72 muestras.

Con el fin de estimar el contenido de C y N, se determinó la densidad aparente (DA) del suelo, para lo cual dentro de cada finca se seleccionaron tres unidades experimentales al azar, cada una conformada por la presencia de cuatro árboles de *E. poeppigiana* y cinco hileras de café, donde se seleccionó al azar un árbol de poró y se determinaron los dos sitios de muestreo A y B, tal como lo muestra la Figura 6.

La DA se evaluó por el método del “cilindro” descrito por MacDicken (1997), para lo cual con un cilindro de volumen conocido, se tomaron muestras de suelo sin disturbar en dos sitios A y B y en tres profundidades (0-5, 5-10 y 10-20 cm). Para este estudio solo se muestreó en la profundidad 10-20 cm, ya que los valores de DA de las profundidades 0-5 y 5-10 cm fueron suministrados por Payan (2004), quien realiza trabajos de investigación en las mismas parcelas. Para la toma de muestras se realizaron minicalicatas de 40\*40 cm de lado y de 30 cm de profundidad. El cilindro muestreador fue ubicado en el tercio medio de la profundidad de muestreo con la ayuda de un martillo de hule y sin comprimir el suelo contenido en el cilindro. Una vez tomada la muestra de suelo se rebanó con un cuchillo bien afilado el suelo sobrante en cada uno de los extremos del cilindro. Luego se taparon los extremos con tapas plásticas y se puso cada anillo con la muestra de suelo en bolsas plásticas bien etiquetadas para ser llevadas al laboratorio del CATIE.

Una vez estuvieron los anillos con la muestra de suelo en el laboratorio del CATIE, se pusieron en latas previamente marcadas y se introdujeron en una estufa de aire forzado para ser secadas las muestras a una temperatura de 105 °C por 24 horas, luego de lo cual se dejó enfriar la muestra y se procedió a pesarla para determinar su peso seco.

Los cálculos del contenido de C y N se realizaron con las siguientes formulas que relacionan el porcentaje de C y N en el suelo con la densidad aparente y la profundidad del mismo:

$$CS = \% CC * DA * P$$

$$CN = \% CN * DA * P$$

Donde:

CS es la cantidad del carbono en el suelo en t C ha<sup>-1</sup>, % CC es el contenido de carbono en porcentaje en el suelo, CN es la cantidad del nitrógeno en el suelo en t C ha<sup>-1</sup>, % CN es el contenido de nitrógeno en porcentaje en el suelo, DA es la densidad aparente del suelo en g/cm<sup>3</sup> y P la profundidad de muestreo en centímetros (cm).

Para determinar la DA se utilizó la formula que relaciona la masa del suelo seco (Ms) y el volumen del cilindro (Vc):

$$DA = Ms / Vc$$

Donde:

DA es la densidad aparente del suelo en g/cm<sup>3</sup>, Ms es la masa o peso del suelo seco en gramos (g) y Vc es el volumen del cilindro en cm<sup>3</sup>.

El volumen del cilindro se cálculo con la siguiente formula:

$$Vc = p * r^2 * h$$

Donde:

Vc es el volumen del cilindro en cm<sup>3</sup>, p es la constante (3.1416), r es el radio del cilindro en centímetros (cm) y h la altura del cilindro en centímetros (cm).

### 3.4.2.- Diseño Muestreal

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre los contenidos de C y N Total en el suelo se empleo un diseño de muestreo en parcelas subdivididas, con seis repeticiones para los contenidos de C y N, donde las parcelas principales fueron las fincas (F), las subparcelas, los sitios de muestreo o la distancia al árbol (S) y las sub-subparcelas las profundidades de muestreo (P), tal como lo muestra la Figura 7.

FO						FC					
SA			SB			SA			SB		
P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3

Figura 7. Distribución de los tratamientos bajo un diseño de parcelas subdivididas, en un par de fincas cafetaleras (orgánica y convencional) de Paraíso, Costa Rica, 2004.



El factor F comprendió dos niveles, la finca orgánica (FO) y convencional (FC), el factor S dos niveles (sitios A y B) y el factor P constó de tres niveles (0-5, 5-10 y 10-20 cm).

### 3.4.3.- Modelo Matemático y Análisis estadístico

Los datos obtenidos en todos los ensayos de este estudio se analizaron con la ayuda del programa Statistical Analysis Systems para Windows V8 (SAS V8). El nivel de significancia utilizado en las pruebas estadísticas realizadas fue de 95% ( $\alpha = 0.05$ ).

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* sobre los contenidos de C y N del suelo, en un par de fincas con manejo orgánico y convencional, del Cantón de Paraíso, se empleó un análisis de varianza (ANDEVA) de parcelas subdivididas que conllevó al siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + M_i + e_i + S_j + MS_{ij} + e_{ij} + P_k + PM_{ik} + PS_{jk} + MSP_{ijk} + e_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  = media

$M_i$  = efecto del i-ésimo Manejo

$e_i$  = error debido al Manejo (parcela principal)

$S_j$  = efecto del j-ésimo sitio de muestreo

$MS_{ij}$  = efecto de interacción del i-ésimo manejo con el j-ésimo sitio de muestreo

$e_{ij}$  = error debido al sitio de muestreo (subparcela)

$P_k$  = efecto de la k-ésima profundidad

$PM_{ik}$  = efecto de interacción entre el i-ésimo manejo con la k-ésima profundidad

$PS_{jk}$  = efecto de interacción entre el j-ésimo sitio de muestreo con la k-ésima profundidad

$MSP_{ijk}$  = efecto de interacción entre el i-ésimo manejo, el j-ésimo sitio de muestreo y la k-ésima profundidad

$e_{ijk}$  = error debido a la profundidad (sub-subparcela).

Se aplicaron pruebas de comparación múltiple de Duncan para determinar diferencias estadísticas, tanto a los efectos principales (Manejo, sitio y profundidad) como a las interacciones. También se aplicaron pruebas de t pareadas para muestras dependientes para los diferentes tipos de manejo, sitio y profundidad.

### **3.5.- Evaluación del efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre los contenidos de C y N total del suelo a través del tiempo**

Con el fin de determinar la variación del contenido de C y N del suelo a través del tiempo (3 a 4 años), se localizó el área de muestreo dentro de fincas cafetaleras que hicieron parte del estudio que realizaron Payan *et al.* (2002), donde se compararon fincas orgánicas y convencionales, así como en tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café, del Programa CATIE-MIP-AF (NORAD), donde se están evaluando niveles de insumos orgánicos y convencionales en café asociado con poró y café a pleno sol aplicados desde hace 3 años.

#### **3.5.1.- Variaciones del contenido de C y N total del suelo en cuatro pares de fincas cafetaleras a través del tiempo.**

Para determinar la variación del porcentaje de C y N del suelo a través del tiempo (4 años) en fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional, se tomaron cuatro pares de fincas que hicieron parte del estudio de Payan *et al.* (2002), ubicadas en los Cantones de Aserrí, Turrialba, Pejibaye y Paraíso en Costa Rica, dos fincas por localidad (una orgánica y otra convencional). Con el fin de estimar el contenido de C y N, también se determinó la densidad aparente (DA) del suelo por el método del “cilindro” descrito en el punto 3.4.1.

##### **3.5.1.1 Muestreo en cuatro pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional**

Primero se identificó en cada finca la unidad experimental (30 x 50 m) donde se realizó el muestreo hace aproximadamente cuatro años atrás. Luego, dentro de cada unidad experimental se seleccionaron tres sub-unidades de muestreo al azar (4 x 4 m), cada una determinada por la presencia de cuatro árboles de *E. poeppigiana* y aproximadamente cinco hileras de café (Figura 8). En cada una de las sub-unidades de muestreo se seleccionó al azar un árbol de *E. poeppigiana* donde se localizaron los siguientes dos sitios de muestreo (A y B), de la misma manera como se indicó en la Figura 6:

**Sitio A:** debajo de una planta de café a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m del árbol de *E. poeppigiana*.

**Sitio B:** debajo de una planta de café a 40 cm de su tallo y a más de 2 m del árbol de *E. poeppigiana*, en dirección hacia el centro de la sub-unidad de muestreo.

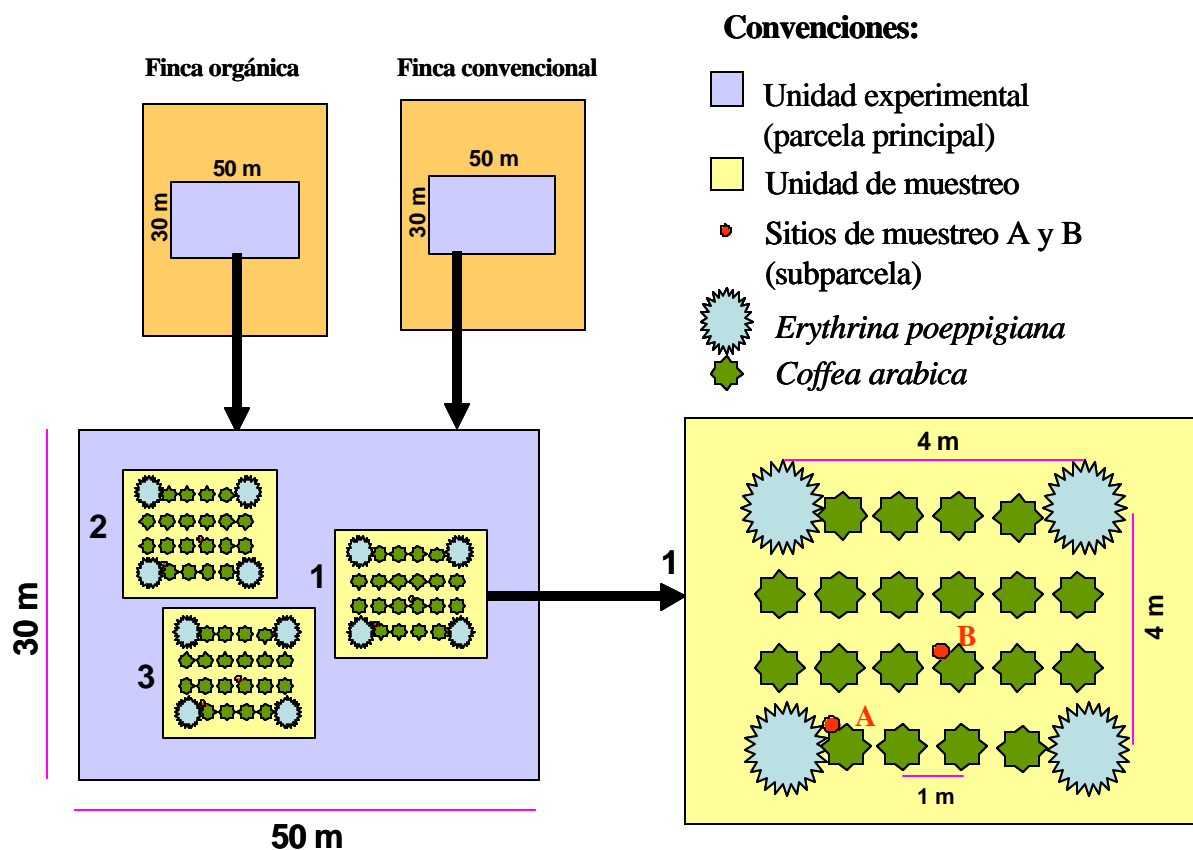


Figura 8. Diseño del muestreo para la dinámica del C y N total del suelo a través del tiempo en fincas orgánicas y convencionales de café. Aserrí, Turrialba, Pejibaye y Paraíso, Costa Rica, 2004.

Para la toma de muestras se empleó un barreno helicoidal de hierro. Las muestras fueron tomadas en cada uno de los dos sitios (A y B) y a dos profundidades (0-5 y 5-10 cm). Se realizaron 4 barrenaciones por cada profundidad para obtener muestras representativas de cada sitio. De esta manera se obtuvieron 4 muestras compuestas (2 sitios por 2 profundidades) por cada finca cada una, conformada por la mezcla de tres submuestras (12 barrenaciones) correspondientes de un mismo sitio y profundidad, para un total de 32 muestras.

### 3.5.1.2.- Diseño Muestreal

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre las variaciones del porcentaje de C y N total en el suelo a través del tiempo (4 años), en cuatro pares de fincas (orgánica y convencional), se empleó un diseño de muestreo en bloques completos al azar en parcelas subdivididas, con

cuatro repeticiones donde las parcelas principales fueron las fincas (F), las subparcelas, los sitios de muestreo o distancia al árbol (S) y las sub-subparcelas los tiempos de muestreo (T), tal como lo muestra la Figura 9.

FO								FC							
SA				SB				SA				SB			
P1		P2		P1		P2		P1		P2		P1		P2	
T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2

Figura 9. Distribución de los tratamientos bajo un diseño de bloques en parcelas subdivididas en fincas cafetaleras de Aserri, Paraíso, Pejibaye y Turrialba, Costa Rica, 2004.

El factor F comprendió dos niveles, fincas orgánicas (FO) y fincas convencionales (FC), el factor S dos niveles, cerca del árbol (sitio A <1m) y lejos del árbol (sitio B >2m) y el factor T constó de dos niveles, el año 2000 (T1) y el año 2004 (T2).

### 3.5.1.3.- Modelo Matemático y Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre las variaciones del porcentaje de C y N en el suelo en sistemas de café, a través del tiempo (4 años), en los Cantones de Aserri, Paraíso, Pejibaye y Turrialba, se empleó un análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño de muestreo de bloques completos al azar en parcelas sub-subdivididas en el tiempo, donde el modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + F_j + e_{ij} + S_k + FS_{jk} + e_{ijk} + P_l + PF_{jl} + PS_{kl} + PSF_{jkl} + e_{ijkl} + T_m + TF_{jm} + TS_{km} + TP_{lm} + TFS_{jkm} + TPF_{jlm} +$$

$$TPSF_{jklm} + e_{ijklm}$$

Donde:

$\mu$  = media

$B_i$  = efecto de la i-ésima repetición

$F_j$  = efecto de la j-ésima manejo (parcela principal)

$e_{ij}$  = error debido al manejo

$S_k$  = efecto del k-ésimo sitio de muestreo subparcela

$FS_{jk}$  = efecto de interacción del j-ésimo manejo con el k-ésimo sitio de muestreo

$e_{ijk}$ : = error debido al sitio de muestreo

$P_l$  = efecto de la l-ésima profundidad

$PF_{jl}$  = efecto de interacción entre el j-ésimo manejo con el l-ésimo tiempo

$PS_{kl}$  = efecto de interacción entre el k-ésimo sitio de muestreo con el l-ésimo tiempo

$PFS_{jkl}$  = efecto de interacción entre el j-ésimo manejo, el k-ésimo sitio de muestreo y el l-ésimo tiempo

$e_{ijkl}$  = error debido a la profundidad.

$T_m$  = efecto del m-ésimo tiempo

$TF_{jm}$  = efecto de interacción entre el j-ésimo manejo con el m-ésimo tiempo

$TS_{km}$  = efecto de interacción del k-ésimo sitio de muestreo con el m-ésimo tiempo

$TP_{lm}$  = efecto de interacción entre la l-ésima profundidad con el m-ésimo tiempo

$TFS_{jkm}$  = efecto de interacción entre el j-ésimo manejo, el k-ésimo sitio de muestreo y el m-ésimo tiempo

$TPF_{jlm}$  = efecto de interacción entre el j-ésimo manejo, la l-ésima profundidad y el m-ésimo tiempo

$TPSF_{jklm}$  = efecto de interacción entre el j-ésimo manejo, la l-ésima profundidad, el k-ésimo sitio de muestreo y el m-ésimo tiempo

$e_{ijklm}$  = error debido al tiempo

Se aplicaron pruebas de comparación múltiple de Duncan para determinar diferencias estadísticas, tanto a los efectos principales (Manejo, sitio y profundidad) como a las interacciones. También se aplicaron pruebas de t pareadas para muestras dependientes para los diferentes tipos de manejo, sitio, profundidad y tiempo.

### **3.5.2.- Variaciones del contenido de C y N total del suelo a través del tiempo en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.**

Para determinar la variación del contenido de C y N del suelo a través del tiempo (3 años), se seleccionaron las siguientes parcelas que hacen parte del ensayo de sistemas agroforestales con café, del Programa CATIE-MIP-AF (NORAD), ubicados en la finca experimental del CATIE, en Turrialba:

~~☒~~ *C. arabica* con *E. poeppigiana* bajo manejo medio orgánico (Mo)

~~☒~~ *C. arabica* con *E. poeppigiana* bajo manejo medio convencional (Mc)

~~☒~~ *C. arabica* con *E. poeppigiana* a pleno sol bajo manejo medio convencional (Ps)

Con el fin de estimar el contenido de C y N, también se determinó la densidad aparente (DA) del suelo por el método del “cilindro” descrito en el punto 3.4.1.

### **3.5.2.1.- Muestreo en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.**

En cada una de las anteriores tres parcelas se identificó la unidad experimental donde se realizó el muestreo hace aproximadamente 3 años atrás. Luego, dentro de cada unidad experimental se establecieron al azar cuatro sub-unidades de muestreo, ubicadas preferentemente en el centro de la parcela para evitar efectos de colindancia con otras parcelas. Dentro de cada sub-unidad de muestreo o repetición se seleccionaron tres unidades de muestreo con un área de 4 x 6 m, cada una determinada por la presencia de cuatro árboles de *E. poeppigiana* y tres hileras de café, esto para el caso de las dos parcelas de café con poró y para el caso de la parcela con café a pleno sol en cada repetición se seleccionó una unidad de muestreo con un área de 4 x 6 m, cada una determinada por la presencia de 21 plantas de café, distribuidas en tres hileras (Figura 10).

En cada una de las unidades de muestreo de 4 x 6 m, de las parcelas de café más poró bajo manejo medio orgánico (Mo) y medio convencional (Mc), se muestreó el suelo en cada una de las tres posiciones siguientes, determinadas por la mayor o menor distancia a un árbol de *E. poeppigiana* (Figura 11):

**Sitio A:** cerca del árbol, a 1 m en promedio de distancia de *E. poeppigiana* y conformado por cuatro puntos, dos puntos ubicados debajo de la primera y segunda planta de café a 30 cm de cada tallo sobre el carril y los otros dos puntos en el centro de la calle y al frente de los dos primeros puntos.

**Sitio B:** retirado del árbol, a 2 m en promedio de distancia de *E. poeppigiana* y conformado por cuatro puntos, dos puntos ubicados debajo de la segunda y tercera planta de café a 30 cm de cada tallo sobre el carril y los otros dos puntos en el centro de la calle y al frente de los dos primeros puntos.

**Sitio C:** lejos del árbol, a 3 m en promedio de distancia de *E. poeppigiana* y conformado por cuatro puntos, dos puntos ubicados debajo de la tercera y cuarta planta de café a 30 cm de cada tallo sobre el carril y los otros dos puntos en el centro de la calle y al frente de los dos primeros puntos.

En la parcela de café a pleno sol bajo manejo medio convencional no existen los sitios A, B y C de muestreo, ya que no hay presencia de árboles. Para este sistema en cada una de las unidades de muestreo de 4 x 6 m se muestreó el suelo en la siguiente posición (Figura 10):

**Sitio D:** conformado por cuatro puntos, dos puntos ubicados debajo de dos plantas seguidas de café a 30 cm de cada tallo sobre el carril y los otros dos puntos en el centro de la calle y al frente de los dos primeros puntos.

Debido a esto se tomó cada manejo por sitio como un tratamiento, quedando de esta manera los siguientes siete tratamientos (Figura 10):

Tres en la parcela de café con poró bajo manejo medio orgánico

?? **Mo A**= Café más Poró bajo manejo medio orgánico en el sitio A

?? **Mo B**= Café más Poró bajo manejo medio orgánico en el sitio B

?? **Mo C**= Café más Poró bajo manejo medio orgánico en el sitio C

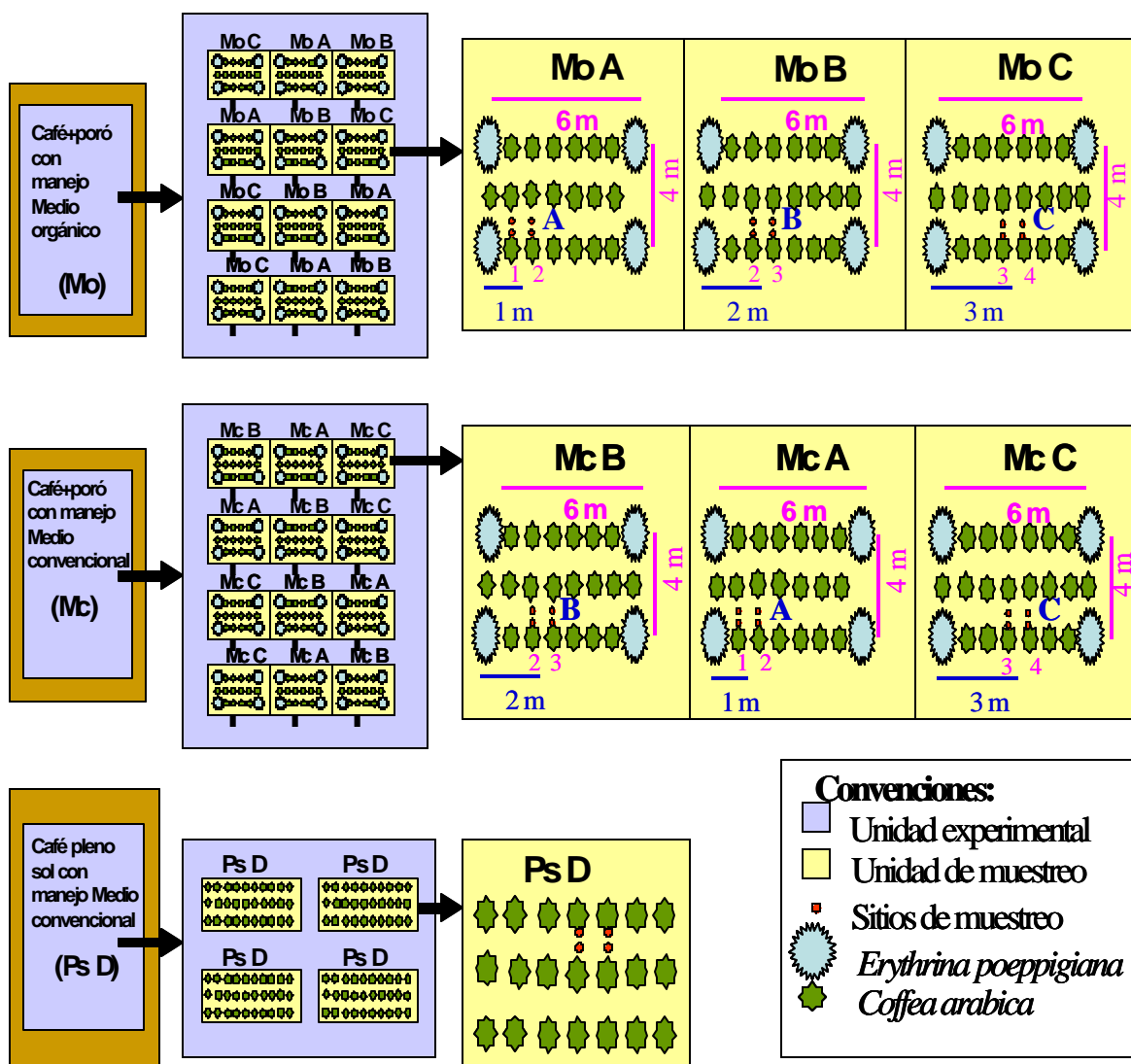


Figura 10. Diseño del muestreo para determinar la dinámica del C y N total del suelo a través del tiempo en parcelas de café con sombra (Mo y Mc) y café a pleno (Ps) del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE, Turrialba, 2004.

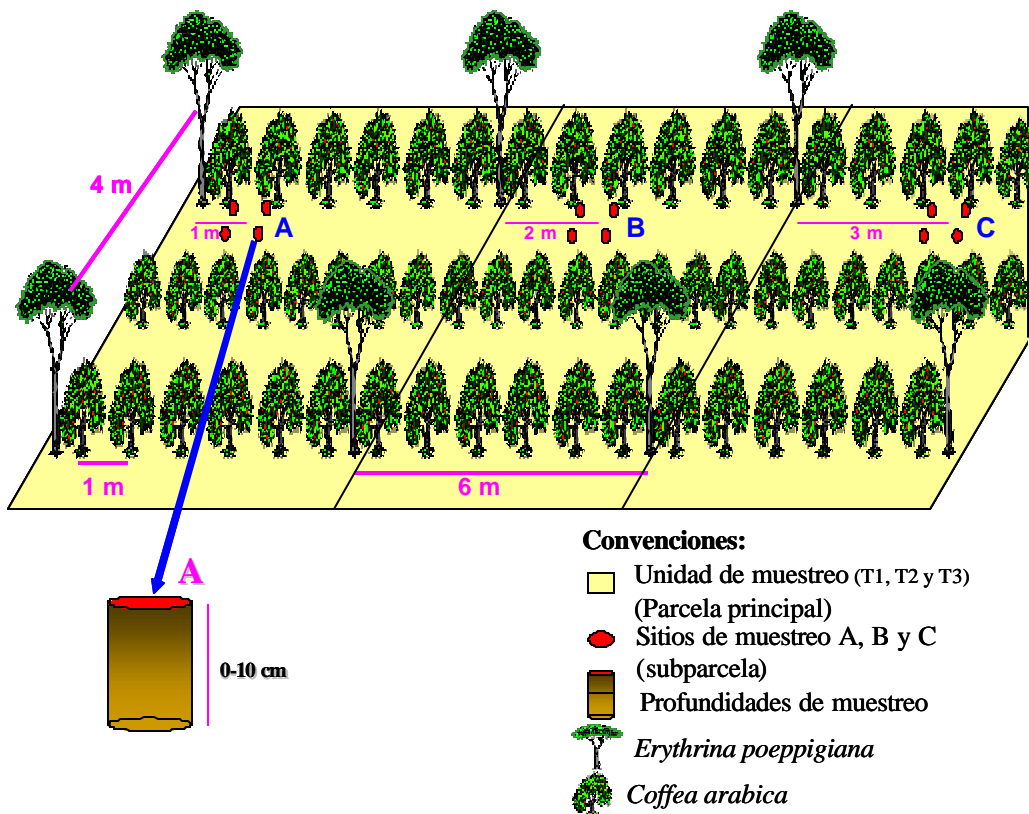


Figura 11. Sitios y profundidad de muestreo para C y N Total del suelo en parcelas de café con poró del ensayo de Sistema Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, 2004

Tres en la parcela de café con poró bajo manejo medio convencional

- ?? **Mc A**= Café más Poró bajo manejo medio convencional en el sitio A
- ?? **Mc B**= Café más Poró bajo manejo medio convencional en el sitio B
- ?? **Mc C**= Café más Poró bajo manejo medio convencional en el sitio C

Y una en la parcela de café a pleno sol bajo manejo medio convencional

- ?? **Ps D**= Café a pleno sol bajo manejo medio convencional en el sitio D

Una vez ubicados los sitios se procedió a muestrear el suelo para lo cual cada sitio de muestreo estuvo conformado por 4 subpuntos (submuestras) donde se muestreó con barreno helicoidal en la profundidad 0-10 cm y luego se mezclaron los 4 subpuntos por profundidad para obtener muestras compuestas representativas por cada tratamiento. De esta manera se obtuvieron 24 muestras compuestas de los sistemas café con poró (4 repeticiones x 3 sitios (A, B y C) x 1 profundidad x 2 manejos (medio orgánico y medio convencional)) y 4



muestras compuestas del sistema café a pleno sol (4 repeticiones x 1 profundidad x 1 manejo (medio convencional)), para un total de 28 muestras.

### 3.5.2.2.- Diseño Muestreal

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre las variaciones de los contenidos de C y N total en el suelo a través del tiempo (3 años), en tres parcelas y/o tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales del proyecto CATIE-MIP-AF (NORAD), se empleó un diseño de muestreo en parcelas divididas, con cuatro repeticiones donde las parcelas principales fueron el manejo por sitio y las subparcelas las fechas ó tiempos de muestreo (T), tal como lo muestra la Figura 12.

MoA		MoB		MoC		McA		McB		McC		Ps D	
T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2

Figura 12. Distribución de los tratamientos bajo un diseño de parcelas divididas en tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales del CATIE. Turrialba, Costa Rica, 2004.

El factor manejo por sitio comprendió siete niveles, café más poró bajo manejo medio orgánico en el sitio A (Mo A), café más poró bajo manejo medio orgánico en el sitio B (Mo B), café más poró bajo manejo medio orgánico en el sitio C (Mo C), café más poró bajo manejo medio convencional en el sitio A (Mc A), café más poró bajo manejo medio convencional en el sitio B (Mc B), café más poró bajo manejo medio convencional en el sitio C (Mc C) y café a pleno sol bajo manejo medio convencional en el sitio D (Ps D), el factor T constó de dos niveles, el año 2001 (T1) y el año 2004 (T2).

### 3.5.2.3.- Modelo Matemático y Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre las variaciones de los contenidos de C y N total en el suelo a través del tiempo, en tres parcelas y/o tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales del CATIE, se empleó un análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño completamente al azar en el tiempo, donde el modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + e_{k(i)} + T_j + MT_{ij} + e_{k(ij)}$$

Donde:

$\mu$  = media general

$M_i$  = efecto del i-ésimo manejo por sitio

$e_{k(i)}$  = error debido al k-ésimo manejo por sitio

$T_j$  = efecto del j-ésimo tiempo de muestreo

$MT_{ij}$  = efecto de interacción del i-ésimo manejo por sitio con el j-ésimo tiempo de muestreo

$e_{k(ij)}$  = error debido al k-ésimo tiempo de muestreo

Se aplicaron pruebas de comparación múltiple de Duncan para determinar diferencias estadísticas, tanto a los efectos principales como a las interacciones. Igualmente se aplicaron pruebas de t pareadas para muestras dependientes para los diferentes tipos de manejo por sitio y tiempo. También se realizaron contrastes ortogonales con el fin de seleccionar bien las comparaciones.

### **3.6.- Determinación del efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre la dinámica de la fracción macro-orgánica del suelo.**

Se realizó el fraccionamiento de la materia orgánica del suelo (MOS) para la fracción 53 a 210  $\mu$ m y 210 a 2000  $\mu$ m, en muestras extraídas de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales del CATIE. El fraccionamiento se realizó en la profundidad de 0.5 cm, siguiendo la metodología descrita por Cambardella y Elliot (1992).

#### **3.6.1.- Muestreo en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE**

Para realizar este estudio solo se tomaron los siguientes tres puntos de muestreo:

?? **Mo A** = Café más Poró bajo manejo medio orgánico en el sitio A

?? **Mc A** = Café más Poró bajo manejo medio convencional en el sitio A

?? **Ps D** = Café a pleno sol bajo manejo medio convencional en el sitio D

Una vez ubicados los tres sitios se procedió a muestrear el suelo para lo cual se empleó un barreno helicoidal de hierro. Las muestras fueron tomadas en cada uno de los tres sitios y en la profundidad 0.5 cm. Para este estudio se utilizaron 8 muestras de suelo compuestas de los sistemas café con poró (Mo A y Mc A) y 4 muestras del sistema café a pleno sol (Ps D) para un total de 12 muestras.

#### **3.6.2 Diseño Muestreal**

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo, en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales del proyecto CATIE-MIP-AF (NORAD), se empleó un diseño de muestreo completamente al azar en el tiempo donde las parcelas principales fue el manejo por sitio y las subparcelas las fracciones (F), tal como se observa en la Figura 13.

Mo A		Mc A		Ps D	
F1	F2	F1	F2	F1	F2

**Figura 13. Distribución de los tratamientos para fraccionamiento de la MO del suelo bajo un diseño de parcelas divididas en el ensayo de sistemas agroforestales del CATIE. Turrialba, Costa Rica, 2004.**

El factor manejo por sitio comprendió tres niveles, café más poró bajo manejo medio orgánico en el sitio A (Mo A), café más poró bajo manejo medio convencional en el sitio A (Mc A) y café a pleno sol bajo manejo medio convencional en el sitio D (Ps D), el factor F comprendió dos niveles, fracción 53 a 210  $\mu\text{m}$  (F1) y 210 a 2000  $\mu\text{m}$  (F2).

### 3.6.3.- Modelo Matemático y Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de *E. Poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre la dinámica de la fracción macro-orgánica del suelo en tres parcelas y/o tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales del CATIE, se empleó un análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño de muestreo en parcelas divididas, donde el modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + e_{k(i)} + F_j + MF_{ij} + e_{k(ij)}$$

Donde:

$\mu$  = media general

$M_i$  = efecto del i-ésimo manejo por sitio

$e_{k(i)}$  = error debido al manejo por sitio

$F_j$  = efecto de la j-ésima fracción

$MF_{ij}$  = efecto de interacción del i-ésimo manejo por sitio con la j-ésima fracción

$e_{k(ij)}$  = error debido al k-ésimo fracción

Se aplicaron pruebas de comparación múltiple de Duncan para determinar diferencias estadísticas a los efectos principales. También se realizaron contrastes ortogonales con el fin de seleccionar bien las comparaciones.

### 3.7.-Mineralización aeróbica del Nitrógeno “in vitro”

Para este estudio se tomaron muestras de suelo fresco en la profundidad de 0-5 cm de tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café en la finca experimental del CATIE. Todos los tratamientos fueron evaluados a las 0, 1, y 5 semanas.

#### 3.7.1.- Muestreo en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.

Para realizar el muestreo del suelo para la mineralización aeróbica del Nitrógeno “in vitro”, se tomaron las parcelas café más poró bajo manejo medio orgánico (Mo), café más poró bajo manejo medio convencional (Mc) y café a pleno sol bajo manejo medio convencional (Ps D), las cuales hacen parte del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE. Dentro de cada parcela y/o tratamiento se tomaron únicamente los siguientes tres puntos de muestreo:

- ?? **Mo A**= Café más Poró bajo manejo medio orgánico en el sitio A
- ?? **Mc A**= Café más Poró bajo manejo medio convencional en el sitio A
- ?? **Ps D**= Café a pleno sol bajo manejo medio convencional en el sitio D

Una vez ubicados los tres sitios se procedió a muestrear el suelo para lo cual se empleó un barreno helicoidal de hierro. Las muestras fueron tomadas en cada uno de los tres sitios y en la profundidad 0-5 cm. Para este estudio se utilizaron 8 muestras de suelo compuestas de los sistemas café con poró (Mo A y Mc A) y 4 muestras del sistema café a pleno sol (Ps D) para un total de 12 muestras.

#### 3.7.2.- Diseño Muestreal

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre la mineralización aeróbica del Nitrógeno en tres parcelas y/o tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales del proyecto CATIE-MIP-AF (NORAD), se empleó un diseño de muestreo completamente al azar en el tiempo, donde las parcelas principales fueron el manejo por sitio y las subparcelas las fechas ó tiempos de extracciones del amonio y nitrato ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) (T), tal como lo muestra la Figura 14.

MoA			McA			Sol D		
T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2

Figura 14. Distribución de los tratamientos para mineralización del N bajo un diseño completamente al azar en parcelas divididas en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales del CATIE. Turrialba, Costa Rica, 2004.

El factor manejo por sitio comprendió tres niveles, café más poró bajo manejo medio orgánico en el sitio A (Mo A), café más poró bajo manejo medio convencional en el sitio A (Mc A) y café a pleno sol bajo manejo medio convencional en el sitio D (Ps D), el factor T constó de tres niveles, la semana cero de incubación (T0), la semana 1 de incubación (T1) y la semana 5 de incubación (T2).

### 3.7.3.- Modelo Matemático y Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre la mineralización aeróbica del Nitrógeno, en tres parcelas y/o tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales del CATIE, se empleó un análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño completamente al azar en el tiempo, donde el modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + M_j + e_{ij} + T_k + MT_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  = media general

$M_j$  = efecto del j-ésimo manejo

$e_{ij}$  = error debido al manejo por sitio

$T_k$  = efecto del k-ésimo tiempo de extracción de amonio y nitrato (subparcela)

$MT_{jk}$  = efecto de interacción j-ésimo manejo por sitio con el k-ésimo tiempo de extracción de amonio y nitrato

$e_{ijk}$  = error debido al k-ésimo tiempo de extracción de amonio y nitrato (subparcela)

Se aplicaron pruebas de comparación múltiple de Duncan para determinar diferencias estadísticas entre los efectos principales. Además, se realizaron regresiones lineales, cuadráticas, cúbicas y exponenciales con el fin de determinar cuál modelo de regresión se ajustó más a la curva, empleando para ello el análisis de varianza así como los valores calculados: a (intercepto) y b (coeficiente de regresión).

### 3.8.- Preparación de muestras de suelo y Análisis de laboratorio

Después de ser extraídas del campo, las muestras de suelo se llevaron al laboratorio del CATIE para realizar el análisis de los contenidos de C y N total del suelo, el fraccionamiento de la materia orgánica y la mineralización aeróbica del Nitrógeno. Una vez el suelo en el laboratorio se secó al aire libre y se pasó por un tamiz acerado de 2 mm para separar piedras, troncos y raíces gruesas con el fin de preparar las muestras para los respectivos análisis de laboratorio, los cuales se describen a continuación.

### 3.8.1.- Análisis de los contenidos de C y N total del suelo

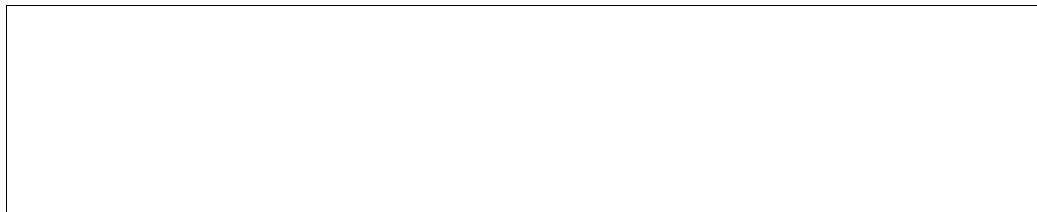
Primero se seco el suelo al aire. Posteriormente para determinar los porcentajes de C y N total se pulverizó el suelo de cada muestra en un mortero de porcelana y se pasó a través de un tamiz de 250  $\mu\text{m}$ . Se utilizaron entre 0.5 y 1 g de suelo de cada muestra para ser analizados por combustión total, en el equipo analizador de C y N total Thermofinigan.

### 3.8.2.- Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo.

Para realizar el fraccionamiento de la materia orgánica del suelo, primero se determinó la humedad de las muestras, para lo cual se pesaron 10 gramos de suelo de cada muestra y se colocaron en latas. Luego, se introdujeron las latas y el suelo en una estufa de aire forzado a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Una vez seco el suelo se registro su peso para determinar la humedad del mismo.

El fraccionamiento se realizó en la profundidad de 0-5 cm, siguiendo la metodología descrita por Cambardella y Elliot (1992), en el cual se realiza una combinación de un método de dispersión química con un método de separación física según el tamaño de las partículas. De cada submuestra se tomaron 12.5 g de suelo secado al aire y tamizado a 2 mm. y se depositaron en tubos plásticos de agitación de 100 ml. Luego se agitaron durante 1 hora con 50 ml de solución de hexametáfosfato de sodio  $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$  de concentración 5 g  $\text{L}^{-1}$  en un agitador horizontal a una velocidad de 120 rPmA, con el fin de separar los macro y micro agregados del suelo (Figura 15).

Al finalizar el periodo de agitación se realizó una separación física del tamaño de las partículas por medio de un tamizaje. Se separó primero la macromateria orgánica del suelo  $>$  de 210  $\mu\text{m}$ ; enseguida la de 53 a 210  $\mu\text{m}$ , para lo cual se pasó la suspensión por tamices de 210  $\mu\text{m}$  y 53  $\mu\text{m}$ , pasando todo el contenido del tubo plástico a los tamices, utilizando una pizeta con agua destilada. La fracción de arena más la macro materia orgánica (fracción lenta) retenida sobre los dos tamices (210  $\mu\text{m}$  y 53  $\mu\text{m}$ ) se recolectaron en beakers previamente pesados. La fracción de materia orgánica  $<$  53  $\mu\text{m}$  (fracción pasiva) asociada al mineral (limos + arcillas) que pasó a través de los dos tamices, se recolectó en un recipiente, la cual no fue utilizada en este estudio.



**Figura 15. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo basado en el tamaño de partículas en muestras procedentes de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba. 2004.**

Posteriormente se secaron ambas fracciones a 50 °C hasta obtener el peso seco, en una estufa con recirculación de aire. Cuando las muestras estuvieron secas, se pesaron los beakers para determinar la cantidad de material de cada fracción (Cambardella y Elliot 1992). Posteriormente, con un mortero, se morterizó cada material y se tamizó a 250 µm, para luego determinar el C y N total por combustión con el equipo analizador de C y N total Thermofinigan en el laboratorio de suelos del CATIE. Este equipo transforma la muestra del suelo en una mezcla de gases, mediante una oxidación completa de la muestra dentro de un reactor en el que se alcanzan hasta 1800 °C de temperatura aproximadamente, separando posteriormente los gases por medio de una columna cromatográfica.

### **3.8.3.- Mineralización aeróbica del Nitrógeno “in vitro”**

Inicialmente se pesaron 60 g de suelo de cada una de las muestras provenientes de las parcelas del Ensayo de Sistemas Agroforestales de la finca experimental del CATIE y se depositaron en envases plásticos de 266 ml, los cuales se taparon con papel Parafilm semipermeable para permitir el intercambio gaseoso. Luego las muestras fueron incubadas a una temperatura de 28°C en el laboratorio. La humedad del suelo fue la original en campo y el contenido de humedad de las muestras, respecto al peso inicial, se reajustó por peso semanalmente (Figura 16).

Las extracciones del amonio y nitrato ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) se realizaron en el laboratorio de suelos del CATIE a las 0, 1, y 5 semanas de incubación. Para la extracción se utilizó KCl 1N y la determinación se hizo por colorimetría (Soil Science Society of America, 1994). De cada muestra de suelo, se pesaron 10 gramos los cuales se colocaron en botellas de centrífugas de 250 ml de capacidad. Simultáneamente, de cada muestra, se pesaron 5 gramos que se colocaron en latas. Luego, se secaron estas muestras en el horno a 105 °C durante 24 horas para determinar la humedad del suelo. A cada botella de centrífuga con la muestra, se agregó 100 ml el reactivo KCl 1N, mediante el uso de un dispensador previamente calibrado. Inmediatamente se taparon las botellas con un tapón de hule para evitar la fuga de la solución (Figura 16).

Posteriormente se agitaron las muestras del suelo durante una hora, mediante el uso de un agitador mecánico horizontal a una velocidad de 120 rPmA. La centrifugación de las muestras del suelo se realizó mediante el uso de centrífugas con cabezote para tubos de 250 ml durante un periodo de cinco minutos a 3000 rpm. Igualmente, se preparó una muestra de blanco con el reactivo menos la muestra del suelo, la cual fue agitada junto con las muestras. Finalmente, se filtraron las muestras utilizando papel filtro Whattman No. 42 y se guardaron los extractos claros. Los Extractos que no fueron analizados inmediatamente, se guardaron en el refrigerador (5°C) hasta que llegara el momento para la determinación de los contenidos de amonio y nitrato.





**Figura 16. Pasos en la evaluación de la mineralización de la materia orgánica del suelo en muestras procedentes de parcelas de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, 2004.**

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1.- Efecto de *Erythrina poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional sobre la dinámica del contenido de C y N total del suelo a través del tiempo fincas cafetaleras de Costa Rica**

##### **4.1.1.- Efecto de *Erythrina poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional en los contenidos de C y N Total del suelo a través del tiempo en un par de fincas cafetaleras en la localidad de Paraíso.**

Para determinar la dinámica de los contenidos de C y N total del suelo en el tiempo (2000-2004) se utilizaron los datos obtenidos por el Dr Fidel Payan en un par de fincas en el año 2000 en la localidad de Paraíso de Cartago, Costa Rica y se hizo un muestreo en el 2004 siguiendo el mismo procedimiento.

##### **4.1.1.1.- Contenidos de C y N Total en el suelo en el año 2000 en un par de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.**

A continuación se presentan los promedios para el año 2000 de los contenidos de C y N en el suelo y la relación C/N, realizado en muestras únicas, dentro del estudio realizado por Payan *et al.* (2002), en las profundidades 0-5, 5-10 y 10-20 cm, correspondiente a un par de Fincas (orgánica y convencional) en la localidad de Paraíso de Cartago en Costa Rica. Aunque no hubo diferencias significativas, las tendencias observadas fueron las siguientes: al calcularse un promedio del carbono y nitrógeno de las tres profundidades para cada sitio y por cada tipo de finca (Orgánica y Convencional), se encontró que el manejo orgánico presentó los mayores promedios del contenido de C y N total, para los sitios A y B con valores de 4.40 y 4.06 % de C y 0.34 y 0.31 % de N, respectivamente, mientras que la finca convencional presentó para los sitios A y B valores de 4.13 y 3.25 % para C y 0.34 y 0.26% para N, respectivamente.

Para las profundidades 0-5, 5-10 y 10-20 cm, la capa 0-5 cm presentó los mayores promedios de los contenidos de C total, N total y la relación C/N (Cuadro 2), ya que el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) en la primera capa es alta con respecto a las capas subsiguientes, por lo tanto, la disminución de la MOS a mayores profundidades es notoria dado que la acumulación de restos orgánicos y la actividad de los microorganismos se da en los primeros centímetros del suelo.

**Cuadro 2. Contenidos de C y N del suelo en el año 2000, en tres profundidades, para un par de Fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004**

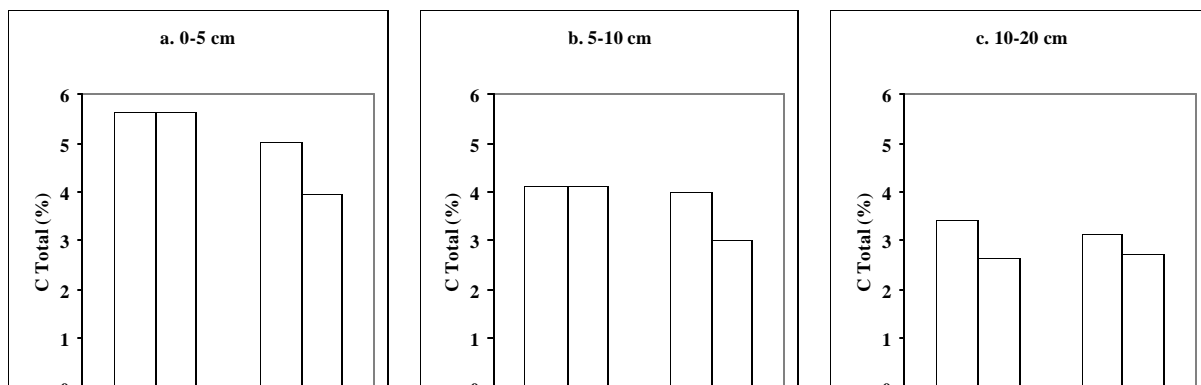
	<b>Finca orgánica</b>	<b>Finca convencional</b>
--	-----------------------	---------------------------

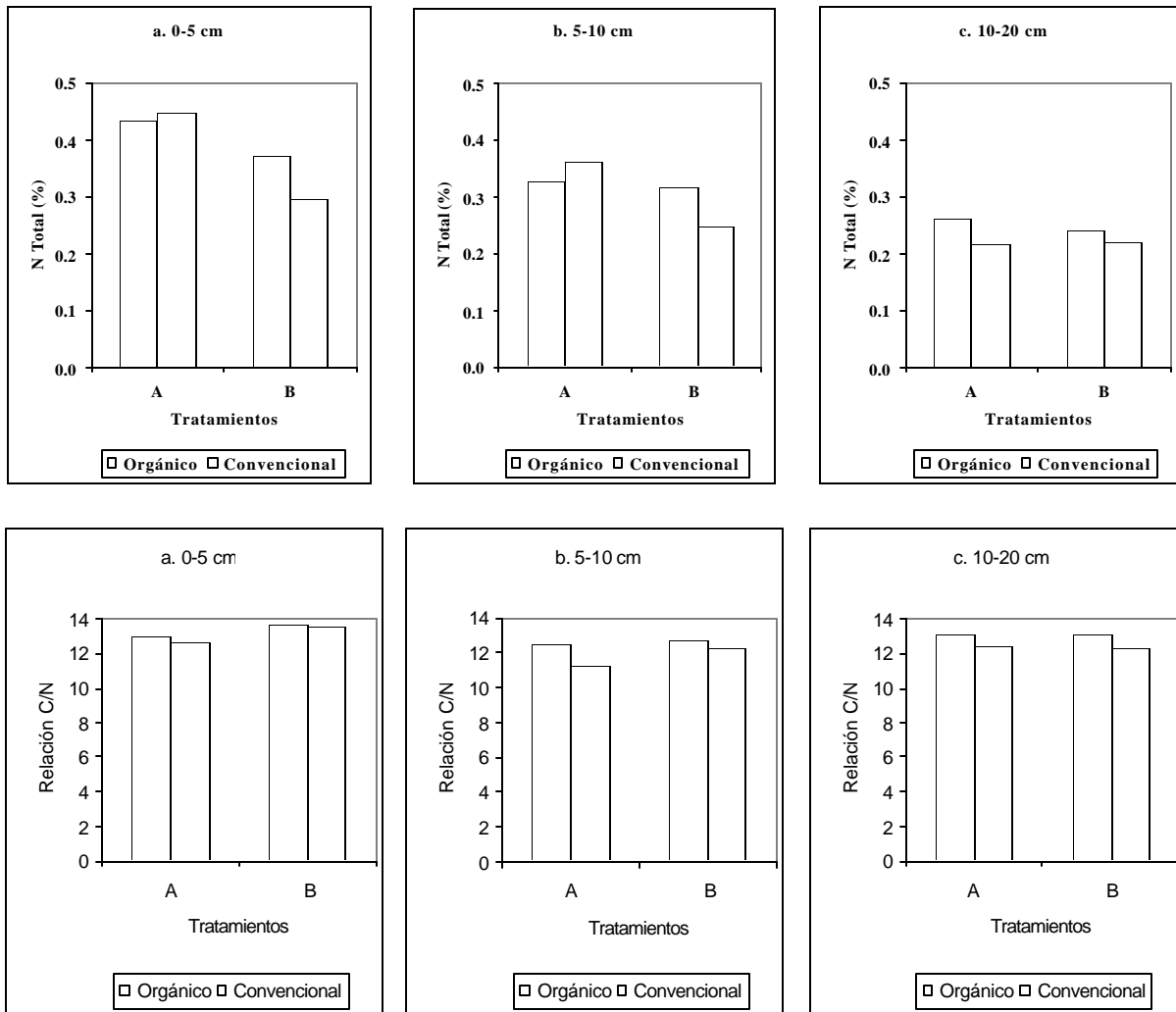
Profundidades (cm)	Finca orgánica			Finca convencional		
	C Total	N Total	Relación	C Total	N Total	Relación
0-5	5.37	0.40	13.43	4.83	0.31	15.58
5-10	4.07	0.23	17.74	3.58	0.21	17.02
10-20	3.28	0.25	13.10	2.69	0.22	12.35

En el análisis de frecuencias para los sitios A y B y para la finca orgánica y convencional (Figura 17), se encontró que en general las tendencias en las concentraciones de C y N total en las dos fincas, para la profundidades 0-5 y 5-10 cm, se comportaron de manera similar para el año 2000: para las posiciones a menos de 1 m del árbol (Sitio A) y a más de 2 m del árbol (Sitio B), ambas fincas (orgánica y convencional) presentaron mayor concentración de C y N en el sitio A que en el sitio B. En las profundidades 5-10 y 10-20 cm se presentaron concentraciones más bajas de C y N que en 0-5 cm para ambos sistemas.

La finca orgánica y convencional en la posición A no mostraron diferencias en cuanto al contenido de C en las capas 0-5 y 5-10 cm, mientras que para el sitio B la finca orgánica presentó contenidos mayores de C que la finca convencional en las tres profundidades. Para el N la finca convencional presentó la tendencia a tener más N que la finca orgánica en el sitio A en las dos primeras capas, mientras que la finca orgánica fue en el sitio B. En la capa 0-5 cm se observa que hubo diferencias entre los sitios en los contenidos de C total y N total, siendo mayor en el sitio A que en el sitio B, en ambos manejos, mientras que la relación C/N fue mayor en el sitio B en ambos manejos. En la profundidad 5-10 cm los contenidos de C total y N total fueron mayor en el sitio A que en el B, en ambos manejos. La relación C/N fue mayor en el manejo orgánico que en el convencional en los sitios A y B. En la profundidad 10-20 cm los más altos contenidos de C, N y la relación C/N estuvieron el manejo orgánico en los sitios A y B.

En general, la tendencia en el año 2000 de la finca orgánica y convencional fue que presentaron en el sitio A el mayor promedio de los contenidos de C total, N total y la relación C/N. Lo anterior indica que el suelo en el sitio A, tuvo contenidos de C y N más altos en la posición cerca del árbol (sitio A) que en la posición lejos del árbol (sitio B). Payan *et al.* (2002) encontraron que la tendencia en la finca orgánica fue a no presentar diferencias en los sitios A y B mientras que en la finca convencional si se presentaron diferencias siendo menor los valores de C y N en el sitio B que en el sitio A.





Fuente: Payan *et al.* 2002

**Figura 17. Concentraciones de C, N y relación C/N en el suelo en el año 2000, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

A= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

Esto se debió a la forma de distribución de los residuos de poda y a la cobertura del suelo. En la finca orgánica la restitución de los residuos de poda es homogénea entre los sitios A y B, y el suelo permanece con cobertura vegetal, mientras que en la finca convencional se presenta concentración de los residuos de poda en la zona cerca del árbol (sitio A) y el suelo permanece la mayor parte del tiempo sin cobertura vegetal debido al uso frecuente de herbicidas, lo cual favorece los procesos erosivos del suelo y con ello la pérdida de la materia orgánica del suelo. Las áreas cercanas a los árboles presentaron valores similares para C y N en las dos fincas, indicando que

los residuos de los árboles ejercieron una acción benéfica en las fincas convencionales. La capa 0-5 cm fue la más adecuada para observar las diferencias entre fincas.

#### 4.1.1.2.- Contenidos de C y N Total en el suelo en el año 2004 en un par de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.

A continuación se presentan los contenidos de C y N en el suelo y la relación C/N, para muestras tomadas en el año 2004, en las profundidades 0-5, 5-10 y 10-20 cm, en el mismo par de fincas (orgánica y convencional) ubicadas en la localidad de Paraíso, en las mismas parcelas donde fueron tomadas las muestras en el año 2000, por parte del Dr Payan. El análisis de ANDEVA para los dos tipos de manejo no mostró diferencias significativas para las variables C Total, N Total y para la relación C/N. El análisis de ANDEVA para los sitios A y B presentó diferencias altamente significativas para la variable N total, mientras que para la variable C total diferencias significativas. La relación C/N no presentó diferencias significativas entre los sitios.

Comparando las profundidades 0-5, 5-10 y 10-20 cm, el análisis de ANDEVA mostró diferencias altamente significativas para las variables C total, N total y la relación C/N (Cuadro 3). La capa 0-5 cm presentó los mayores promedios de los contenidos de C total y N total que las dos capas subsiguientes, pero la relación C/N fue mayor en la profundidad 10-20 cm.

**Cuadro 3. Contenidos de C y N del suelo en el año 2004, en tres profundidades, para un par de Fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

<b>Profundidades (cm)</b>	<b>C Total (%)</b>	<b>N Total (%)</b>	<b>Relación C/N</b>
<b>0-5</b>	5.78 a	0.51 a	11.23 b
<b>5-10</b>	4.49 b	0.40 b	11.34 b
<b>10-20</b>	3.73 c	0.31 c	11.83 a
<b>Pr&gt;F</b>	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo ( $P < 0.0001$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns= No significativo

En la Figura 18 se presentan para el año 2004 los contenidos de C total, N total y la relación C/N en la profundidades 0-5, 5-10 y 10-20 cm. Caso contrario al año 2000, se observa que en las tres profundidades no se presentó diferencias significativas entre los sitios en los contenidos de C total, N total y la relación C/N.

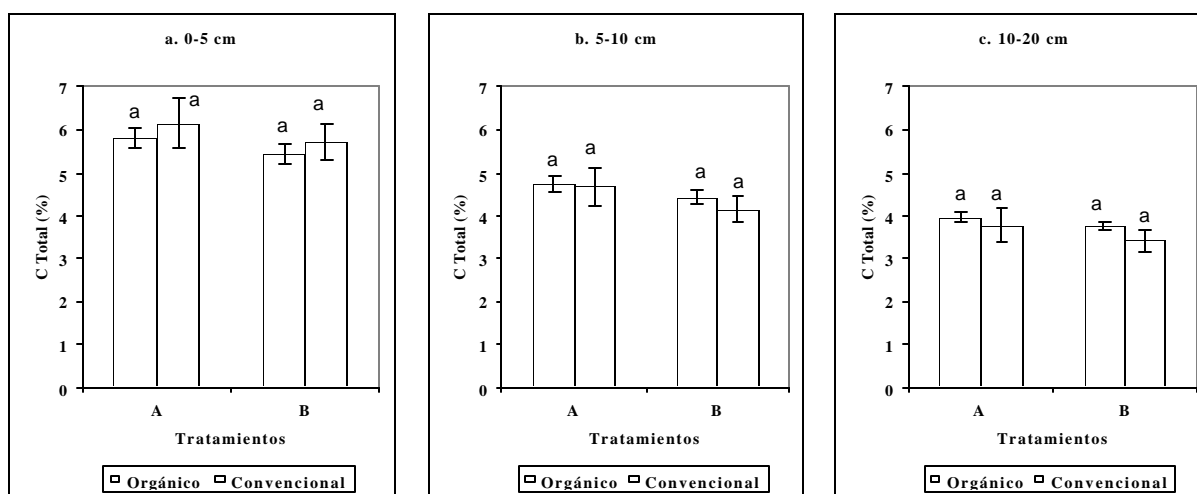
Entre sitios A y B para las variables C total, N total y la relación C/N no se presentaron diferencias significativas tanto dentro de la finca orgánica como dentro de la convencional. En general, la tendencia presentada en la finca orgánica y convencional fue de contener valores más altos de C y N en el sitio A (cerca del árbol) que en el sitio B (lejos del árbol).

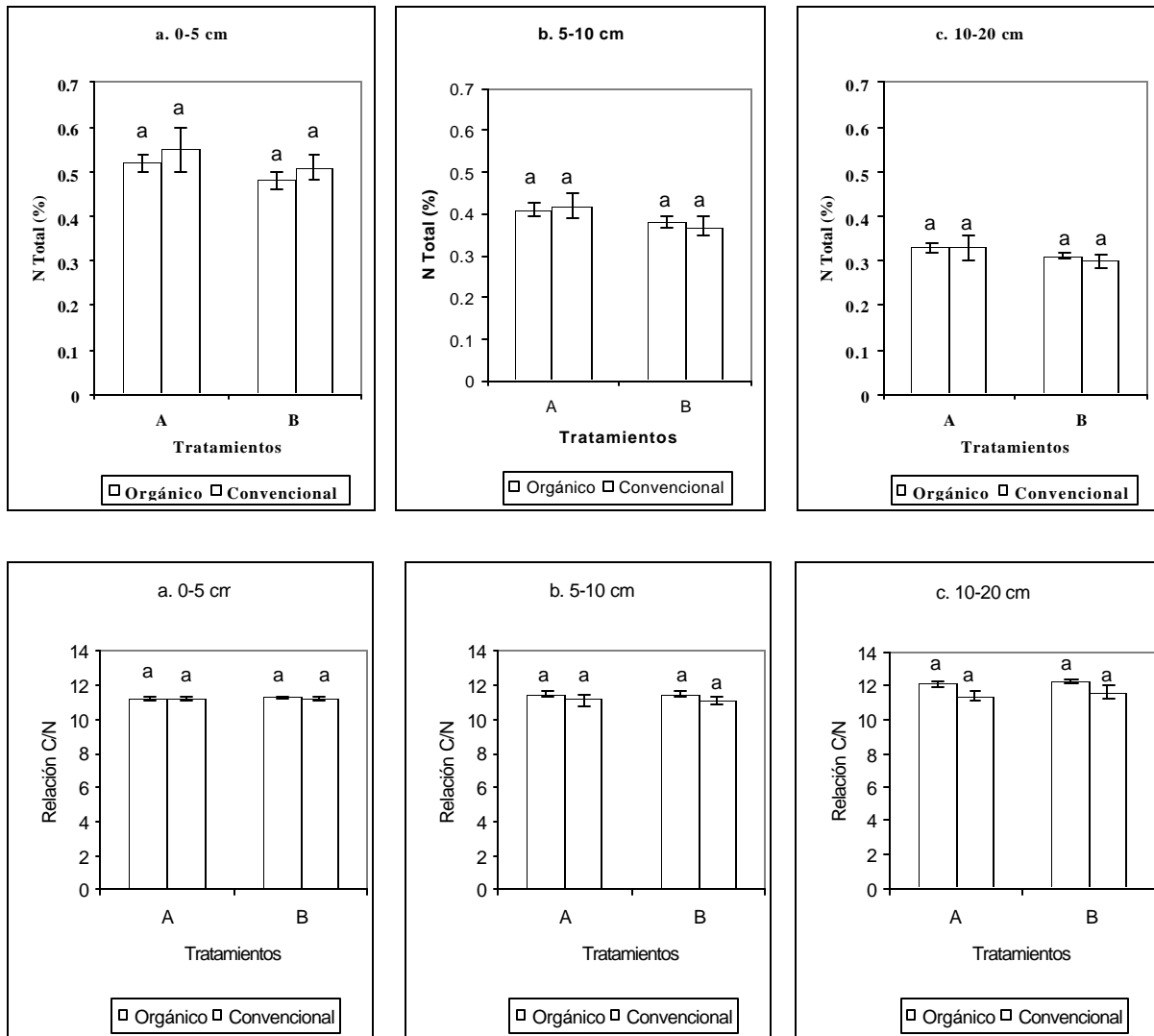
Los anteriores resultados muestran que no hubo diferencias entre los manejos y sitios pero si en las profundidades en los contenidos de materia orgánica del suelo y el N, debido posiblemente al efecto producido por el árbol y por el tipo de manejo que se ha venido dando durante estos últimos cuatro años en la finca convencional, en la que se dejó de aplicar insumos químicos y se disminuyó la aplicación de herbicidas, lo que contribuyó a un mayor aporte de materia orgánica proveniente de los árboles de *E poeppigiana* y de las malezas, así como del plátano asociado al café.

En cuanto a las reservas de C y N para el año 2004 no se presentaron diferencias significativas (Anexo 2). Sin embargo, la finca convencional en el sitio A tuvo la tendencia a ser superior con una reserva de 25.84 toneladas de C por ha en comparación con el sitio B que tuvo 24.04 toneladas de C por ha, mientras que en la finca orgánica se presentaron valores similares de 25.2 y 25.66 toneladas de C por ha en los sitios A y B, respectivamente. Las reservas de N presentaron la misma tendencia.

#### 4.1.1.3.- Diferencias en los contenidos de C y N del suelo en un periodo de cuatro años en un par de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.

Debido a que solo existe un valor del contenido de C y N y de densidad aparente (DA) por cada finca, sitio y profundidad del año 2000, solo se realizó un análisis de las diferencias (2004-2000) meramente descriptivo, ya que tenemos las mismas tendencias. En el Anexo 3, se presentan los incrementos ocurridos entre el año 2000 y 2004, en los contenidos de C y N del suelo y en la relación C/N, en dos sitios y en las profundidades 0-5, 5-10 y 10-20 cm, en un par de fincas (orgánica y convencional) ubicadas en la localidad de Paraíso. Todos los tratamientos mostraron incrementos en los contenidos de C y N del suelo, lo que significa que hubo incorporación de materia orgánica al suelo durante estos últimos cuatro años en las dos fincas. En general, la finca convencional presentó mayor incremento de C total y N total que la finca orgánica. La relación C/N bajo en 1.29 para el sistema orgánico y en 1.13 para el sistema convencional (Anexo 4).





**Figura 18. Concentraciones de C y N total y la relación C/N en el suelo en el año 2004, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

A= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

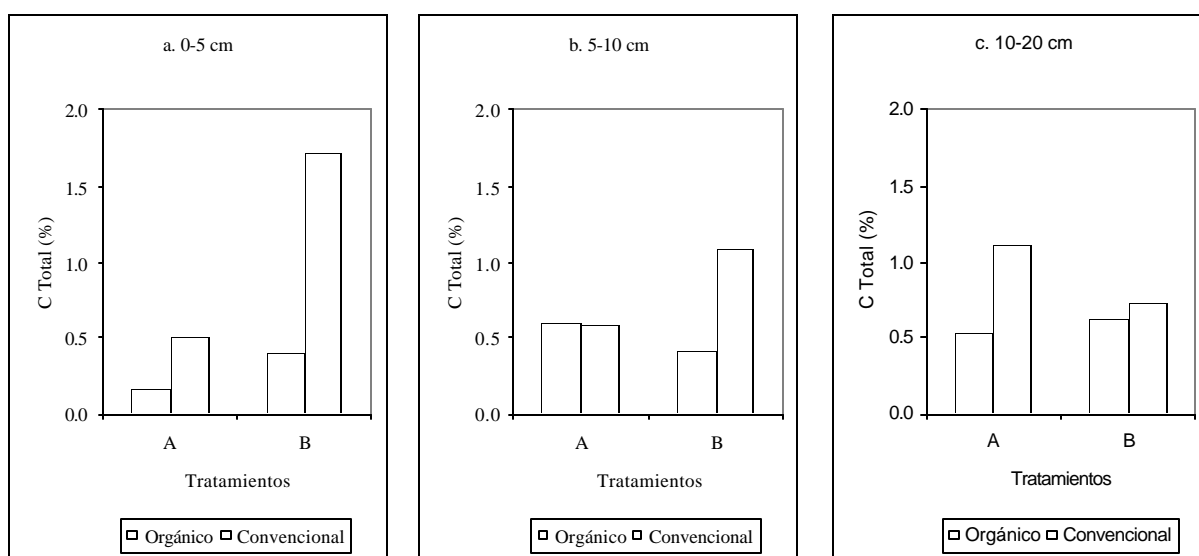
En el Cuadro 4 se presentan los incrementos promedio para las profundidades 0-5 cm, 5-10 y 10-20 cm. Lo mayores cambios en el C se presentaron en la capa 10-20, mientras que para el N total el mayor incremento se presentó en la capa 0-5 cm. La relación C/N disminuyó con respecto al año 2000 en las tres profundidades.

**Cuadro 4. Incrementos promedio en los contenidos de C y N total y la relación C/N del suelo durante cuatro años en tres profundidades, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

Profundidades (cm)	C Total (%)	N Total (%)	Relación C/N
0-5	0.70	0.13	-1.96

<b>5-10</b>	0.67	0.08	-0.79
<b>10-20</b>	0.75	0.08	-0.90

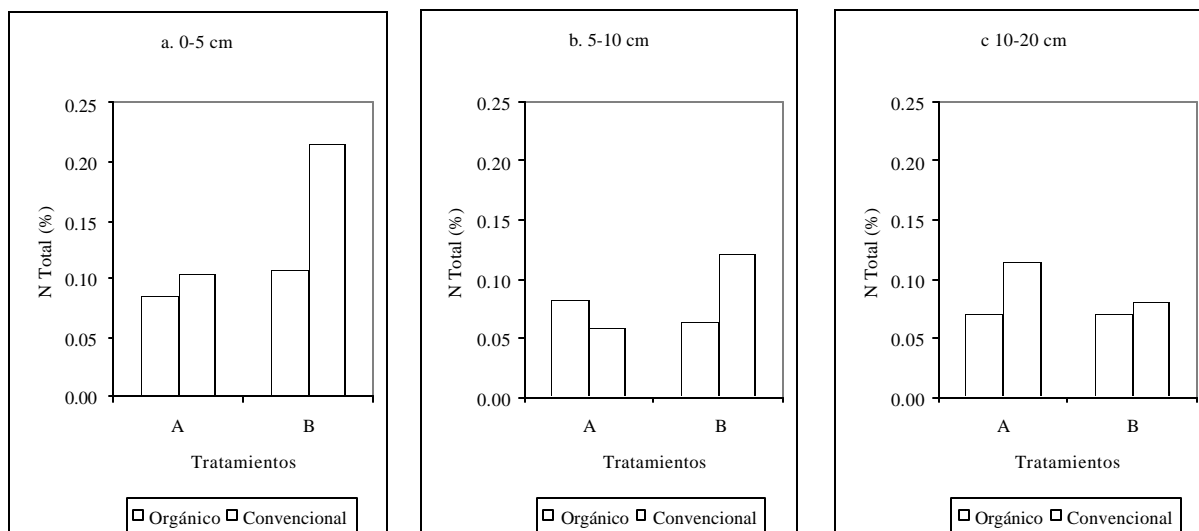
En las Figuras 19 y 20 se presentan las tendencias que tienen los incrementos de las concentraciones de C y N en las diferentes profundidades. Se observó que en la primera capa los incrementos de N fueron mayores que en las dos capas profundas. En la capa 0-5 cm la tendencia fue a presentarse mayor incremento en la concentración de C y N en el sistema convencional que en el orgánico en ambos sitios A y B, siendo mayor en el sitio B (Figura 19a y 20a). En la profundidad 5-10 cm los cambios en las concentraciones de C fueron similares en el sitio A para ambos manejos pero diferentes en el sitio B, presentándose un incremento superior en la finca convencional (Figura 19b).



**Figura 19. Incrementos en las concentraciones de C del suelo en tres profundidades durante cuatro años, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*





**Figura 20. Incrementos en las concentraciones de N del suelo en tres profundidades durante cuatro años, para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

En la capa 10-20 cm, el mayor incremento en la concentración de C y N fue en el sistema convencional en ambos sitios A y B (Figura 19c y 20c). Con respecto al N, este presentó la misma tendencia del C. El bajo incremento en los contenidos de C y N en el suelo en el sistema orgánico es debido al equilibrio en el suelo ya logrado por el manejo que se ha realizado a través de más de 14 años (tiempo de haber sido convertida esta finca en orgánica), en la cual se han realizando abonamientos con Kmag y broza de café, además de la incorporación como abono verde de los residuos de podas provenientes del poró, café y de arvenses (malezas), los cuales han sido distribuidos en forma uniforme en el terreno, lo que ha permitido que el incremento de la materia orgánica en el suelo sea muy similar entre los dos sitios A y B (Figura 2a). Este tipo de manejo quizás ha permitido que los niveles de C estén en un punto próximo a la saturación (Six *et al.*, 2002) en la primera capa del suelo y por eso el poco incremento de C en esta profundidad, no siendo así en las dos capas subsiguientes donde el incremento fue más notorio y la saturación de C menor. También, quizás en este sistema puede haber equilibrio entre la restitución de los residuos y la mineralización del N.

En la finca convencional el mayor incremento se presentó en la posición lejos del árbol (sitio B) en las dos primeras capas del suelo, lo que pudo ser debido a la forma de cómo se manejan los residuos de poda de *E. poeppigiana*, los cuales antes se dejaban concentrados en el sitio A (cerca del árbol), lo que generó una mayor concentración de MOS en este sitio en la primera capa y posiblemente una saturación de C con el transcurrir de los años (Six *et al.*, 2002), por lo que el incremento en el sitio A fue menos notorio que en el punto B en los últimos años.

En la finca convencional cambió el manejo en estos últimos años debido al bajo precio del café y al alto costo de los insumos agro-químicos, lo que generó que se dejara de fertilizar el cultivo y se disminuyera el número de aplicaciones de herbicidas. Desde los últimos cuatro años la fertilización se realizó con los residuos de poda del poró y del café y la biomasa de las arvenses y el plátano (*Musa sp*). Esto permitió que el suelo en el sitio B se favoreciera en este tiempo con la concentración de materia orgánica en la primera capa y por consiguiente incrementara los contenidos de C y N con el pasar de los años, por lo que fue más evidente el cambio en estos dos elementos en la posición lejos del árbol (sitio B), teniendo en cuenta además de que se partió de un punto más bajo en los contenidos de C en el año 2000 debido al manejo que se venía dando hasta entonces.

**4.1.2.- Dinámica de los contenidos de C y N total del suelo a través del tiempo en 4 pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.**

Para determinar la dinámica de los contenidos de C y N total del suelo durante 4 años (2000-2004) en cuatro pares de fincas se utilizaron los datos obtenidos por el Dr Fidel Payan en estas mismas fincas en el año 2000. Las fincas escogidas estuvieron en las localidades de Aserri, CATIE, Pejibaye y Paraíso.

**4.1.2.1.- Contenidos de C y N del suelo en el año 2000 para 4 pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.**

A continuación se presentan los resultados de los análisis de laboratorio realizado en el año 2000 para los contenidos de C y N en el suelo, dentro del estudio realizado por Payan *et al.* (2002), en las profundidades 0-5 y 5-10 cm, correspondiente a cuatro pares de Fincas (orgánica y convencional) en cuatro localidades de Costa Rica. El análisis de ANDEVA no mostró diferencias significativas entre manejos para las variables C Total, N Total y para la relación C/N.

Para las profundidades 0-5 cm y 5-10 cm, el análisis de ANDEVA mostró diferencias altamente significativas para las variables C Total y N Total, mientras que para la relación C/N no hubo diferencias significativas (Cuadro 5). La capa 0-5 cm presentó los mayores promedios de los contenidos de C total, N total y la relación C/N como era de esperarse, ya que hay más C arriba del suelo dado que la MOS se incorpora más en el horizonte superior debido al aporte aéreo de hojarasca y a la densidad de raíces finas más alta en la primera capa del suelo.

**Cuadro 5. Contenidos de C y N del suelo en el año 2000, en dos profundidades, para cuatro pares de Fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserri, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.**

<b>Profundidades (cm)</b>	<b>C Total (%)</b>	<b>N Total (%)</b>	<b>Relación C/N</b>
<b>0-5</b>	4.89 a	0.40 a	12.18 a
<b>5-10</b>	3.97 b	0.33 b	11.97 a
<b>Pr&gt;F</b>	<b>0.0001 **</b>	<b>0.0001 **</b>	<b>0.4965 ns</b>

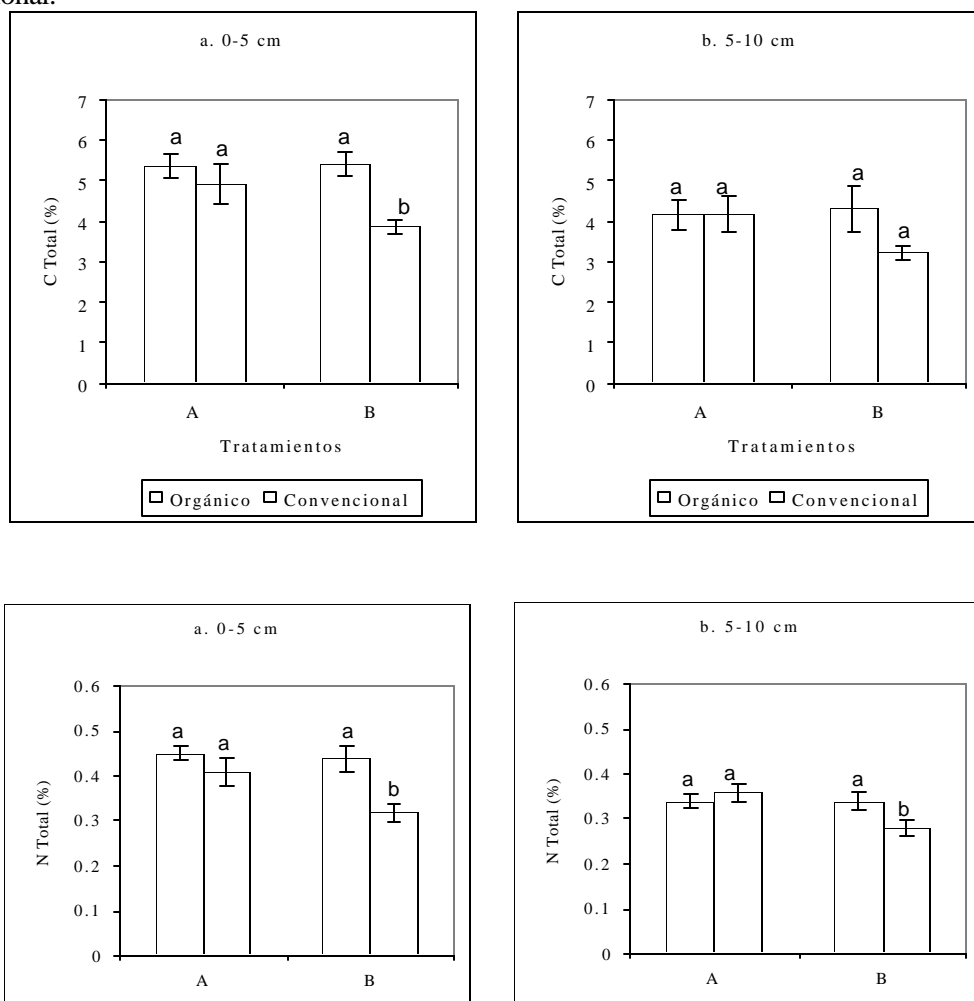
Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si (p<0.05), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

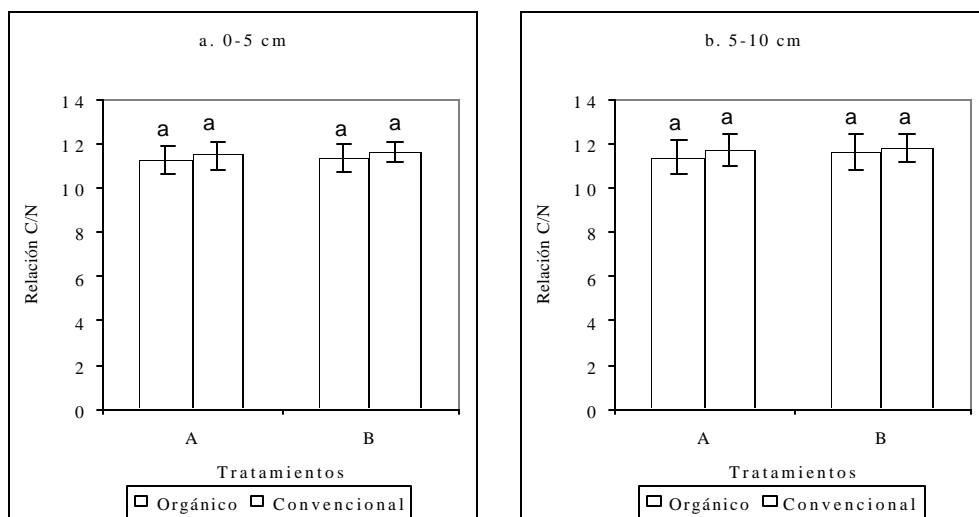
En la Figura 21 se presenta el análisis de varianza para el año 2000, para los contenidos de C total, N total y la relación C/N en la. Se observa que para la profundidad 0-5 cm hubo diferencias significativas entre los sitios en los contenidos de C total y N total, mientras que para la relación C/N no se presentaron diferencias significativas. En la profundidad 5-10 se presentó diferencias significativas entre los sitios en los contenidos de N total, mientras que para el C total y la relación C/N no se presentaron diferencias significativas. Los valores promedio de C y N variaron en función del manejo, sitio y la profundidad, mientras que la relación C/N no varió. En la misma Figura se puede observar que en las fincas orgánicas los dos sitios A y B no presentaron diferencias

en cuanto a la concentración de C, ni a la de N. En las fincas convencionales los contenidos de C total fue mayor en la cercanía del árbol (sitio A) en la primera profundidad, mientras que en la capa más profunda los sitios A y B no presentaron diferencias. El contenido de N total en las fincas convencionales fue mayor en el sitio A en ambas profundidades.

En el sitio A el valor bajo manejo convencional fue similar al valor bajo manejo orgánico en los contenidos de C y N, mientras que en el sitio B el manejo orgánico fue mayor al convencional, a excepción del contenido de C total en la profundidad 5-10 cm que mostró la misma tendencia pero sin ser significativa la diferencia. En el manejo convencional el sitio A presentó mayor contenido de C y N que el sitio B para ambas capas (Payan *et al.*, 2002)

Entre sitios A y B para las variables C total, N total y la relación C/N no se presentaron diferencias significativas dentro del manejo orgánico (Anexo 5), mientras que para el manejo convencional entre los sitios A y B se presentaron diferencias altamente significativas para la variable N total y diferencias significativas para C total. Para la relación C/N no se presentaron diferencias significativas (Anexo 6). En general, las fincas convencionales en las cuatro localidades presentaron en el sitio A los mayores promedios comparado con los contenidos de C total y N total. Lo anterior indica que el suelo en el sitio A, en el año 2000 tuvo contenidos de C y N más altos en la posición cerca del árbol (sitio A) que en la posición lejos del árbol (sitio B) en el caso del convencional.





Fuente: Payan *et al.*, 2002

**Figura 21. Contenido promedio de C y N total y la relación C/N en el año 2000 por cada profundidad y sitio en el suelo de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional. Costa Rica 2004.**

A= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

En el análisis de frecuencias (Figura 22), se encontró que en general las concentraciones de C Total en las cuatro pares de fincas, para la profundidad 0-5 cm, se comportaron de manera similar para el año 2000: tres de las cuatro fincas orgánicas tuvieron mayores concentraciones de C en el sitio B que en el sitio A, y solo en una finca (Paraíso) la tendencia fue contraria; en el sitio A (Figura 22a).

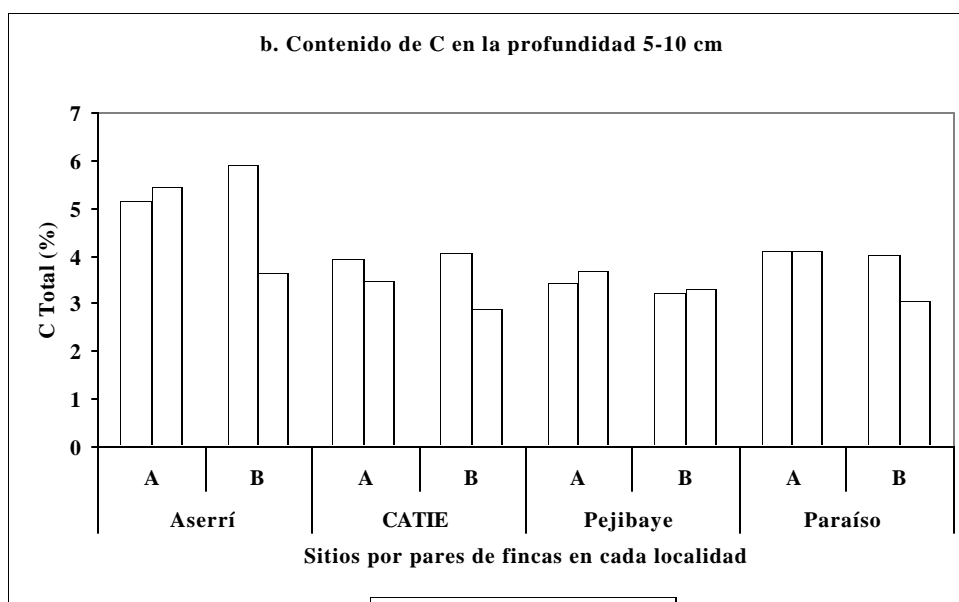
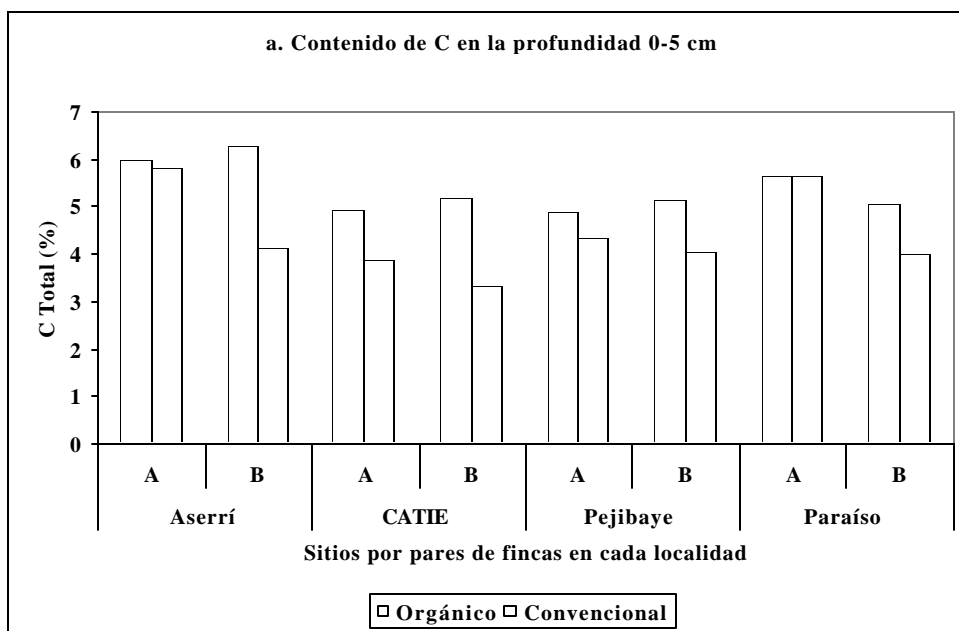
En la profundidad 5-10 cm se presentaron concentraciones más bajas de C que en 0-5 cm para ambos sistemas. No hubo diferencias entre las posiciones cerca del árbol (Sitio A) que en el sitio B (Pejibaye y Paraíso) y las otras dos fincas tuvieron los valores más altos en la posición lejos del árbol en el sitio B (Aserrí y CATIE) (Figura 22b).

En lo que respecta a los contenidos de N para el año 2000 (Figura 23), en la capa 0-5 cm, en el análisis de frecuencias para ambos manejos muestra que se presentó la misma tendencia que con C. En la profundidad 5-10 cm se presentaron concentraciones más bajas de N que en la profundidad 0-5 cm en ambos manejos. Para las posiciones cerca del árbol (Sitio A), dos de las cuatro fincas orgánicas presentaron mayores contenidos de N en el sitio A que en el sitio B (Paraíso) y las otras dos fincas tuvieron los valores más altos en la posición lejos del

árbol en el sitio B (Aserrí) (Figura 23b). En el sistema convencional, las cuatro fincas tuvieron mayores concentraciones de N en el sitio A que en el sitio B.

Al calcularse un promedio del carbono y nitrógeno de las dos posiciones y las dos profundidades para cada tipo de finca (Orgánica y convencional) por localidad, se encontró que las cuatro fincas orgánicas presentaron mayor contenido de C que su contraparte convencional (Anexo 7a), mientras que para el nitrógeno tres de las cuatro fincas orgánicas presentaron mayor contenido de N que la convencional y en una sola finca (Pejibaye) la concentración de N fue ligeramente mayor en la finca convencional (Anexo 7b). En promedio las fincas orgánicas tuvieron contenidos de C y N más altos que las fincas convencionales.

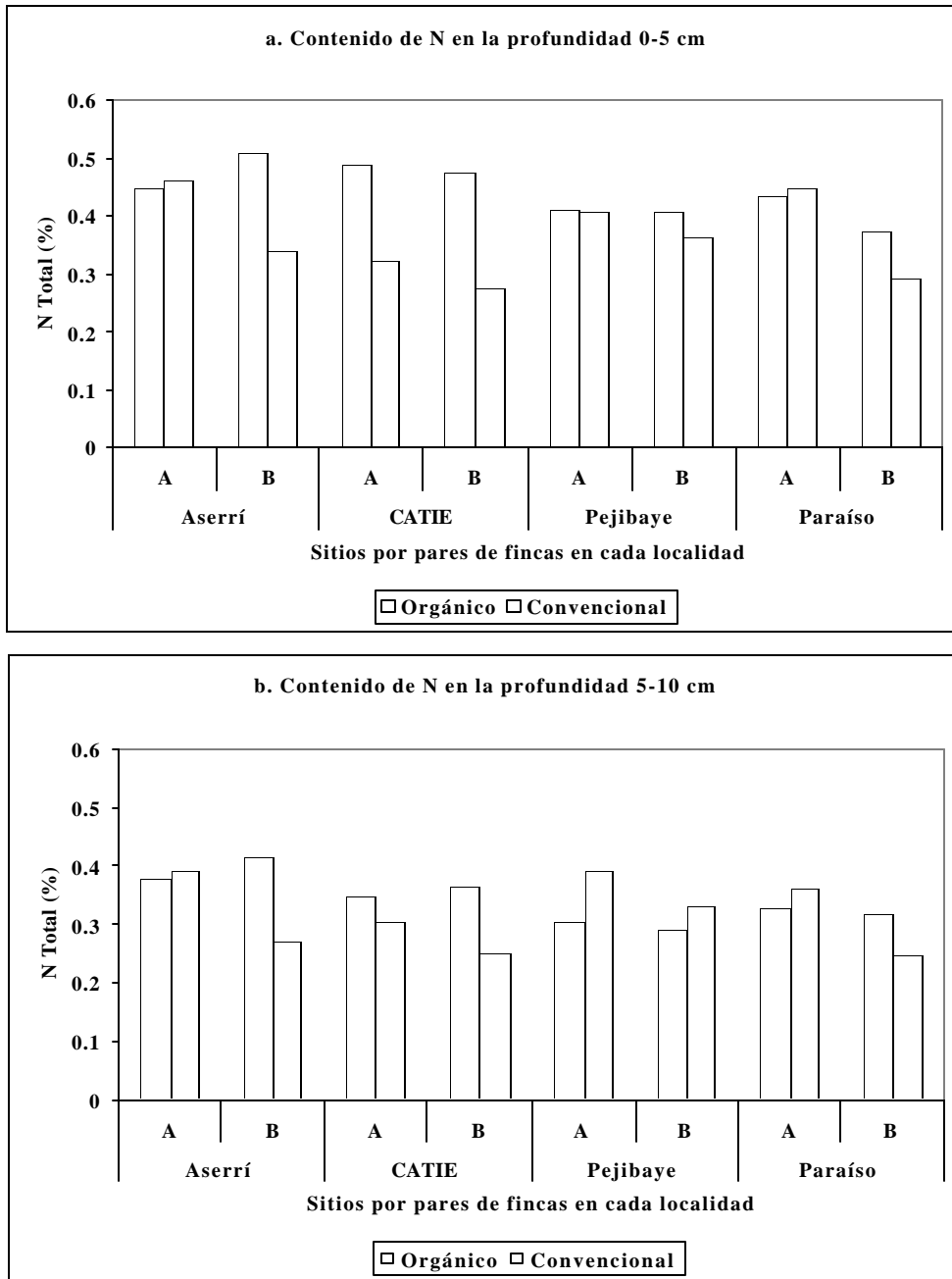
En conclusión en los sistemas orgánicos no se encontraron diferencias espaciales con respecto a los árboles de sombra; en los sistemas convencionales, las posiciones de muestreo situadas a más de 2 m de los árboles resultaron con menores valores de C y N. Las áreas cercanas a los árboles presentaron valores similares para C y N en los dos sistemas, que los árboles ejercieron una acción benéfica en los sistemas convencionales a poca distancia del árbol. Eso pudo explicarse por la ausencia de residuos de poda en las zonas lejos del árbol (Payan, 2002).



Fuente: Payan *et al.*, 2002

**Figura 22. Concentraciones de C en el suelo en el año 2000, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004**

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*  
B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*



Fuente: Payan *et al.*, 2002

**Figura 23. Concentraciones de N en el suelo en el año 2000, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004**

A= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*  
 B= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

Según Payan *et al.* (2002) de los datos analizados se desprendió como hipótesis, que las fincas orgánicas tuvieron más C en el suelo por la mayor producción de biomasa de las arvenses que fueron cortadas, por el uso de abonos orgánicos y en algunos casos, por una mayor densidad de sombra. En los sistemas convencionales los árboles elevaron la concentración de C en el suelo en un área circundante que puede llegar a representar 20 por ciento del área total en altas densidades de población de *E.poeppigiana* (625 árboles ha<sup>-1</sup>).

#### 4.1.2.2.- Contenidos de C y N del suelo en el año 2004 para 4 pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.

Los contenidos de C y N en el suelo y la relación C/N, para muestras tomadas en el año 2004, en las profundidades 0-5 y 5-10 cm, en los mismos cuatro pares de fincas (orgánica y convencional) ubicadas en las localidades de Aserrí, Paraíso, CATIE y Pejibaye, se presentan a continuación. En el análisis de ANDEVA no se presentó diferencias significativas entre manejos para las variables C Total, N Total y para la relación C/N (Figura 24).

La capa 0-5 cm presentó mayores promedios de los contenidos de C total y N total que la capa 5-10 cm (Cuadro 6). No hubo diferencias significativas entre profundidades, para la relación C/N debido a que la MOS se concentra más en la primera capa del suelo por el mayor aporte de hojarasca y residuos vegetales, así como por la mayor concentración de raíces finas y la mayor actividad de los microorganismos.

**Cuadro 6. Contenidos de C y N del suelo en el año 2004, en dos profundidades, para cuatro pares de Fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.**

Profundidades (cm)	C Total (%)	N Total (%)	Relación C/N
0-5	5.70 a	0.50 a	11.43 a
5-10	4.54 b	0.39 b	11.62 a
Pr>F	0.0001 **	0.0001 **	0.0884 ns

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si (p<0.05), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

En el Anexo 8 se presenta el análisis de varianza para el año 2004, para los contenidos de C total, N total y la relación C/N en la profundidad 0-5 cm. Se observa que no hubo diferencias significativas entre los sitios en los contenidos de C total, N total y la relación C/N. Igualmente, en la profundidad 5-10 no se presentó diferencias significativas entre los sitios en los contenidos de N total, C total y la relación C/N (Anexo 9). En la Figura 24 se puede observar las tendencias de los promedios de las concentraciones de C y N para las posiciones en las capa 0-5 y 5-10 cm.



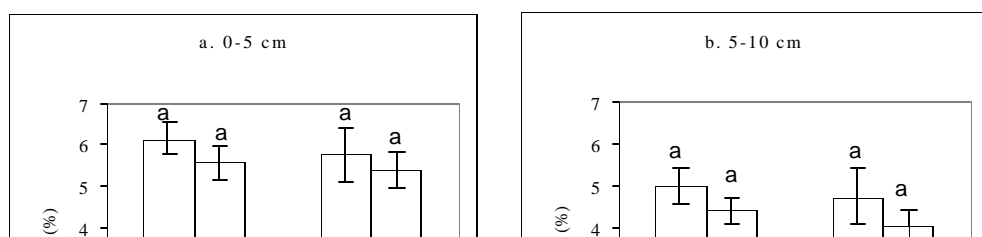
Tanto en las fincas orgánicas como en las convencionales, los dos sitios A y B presentaron valores similares dentro de cada profundidad, en cuanto a la concentración de C total y N total. Sin embargo, la tendencia fue consistente a acumularse mayor C y N en las fincas orgánicas en ambos sitios y profundidades.

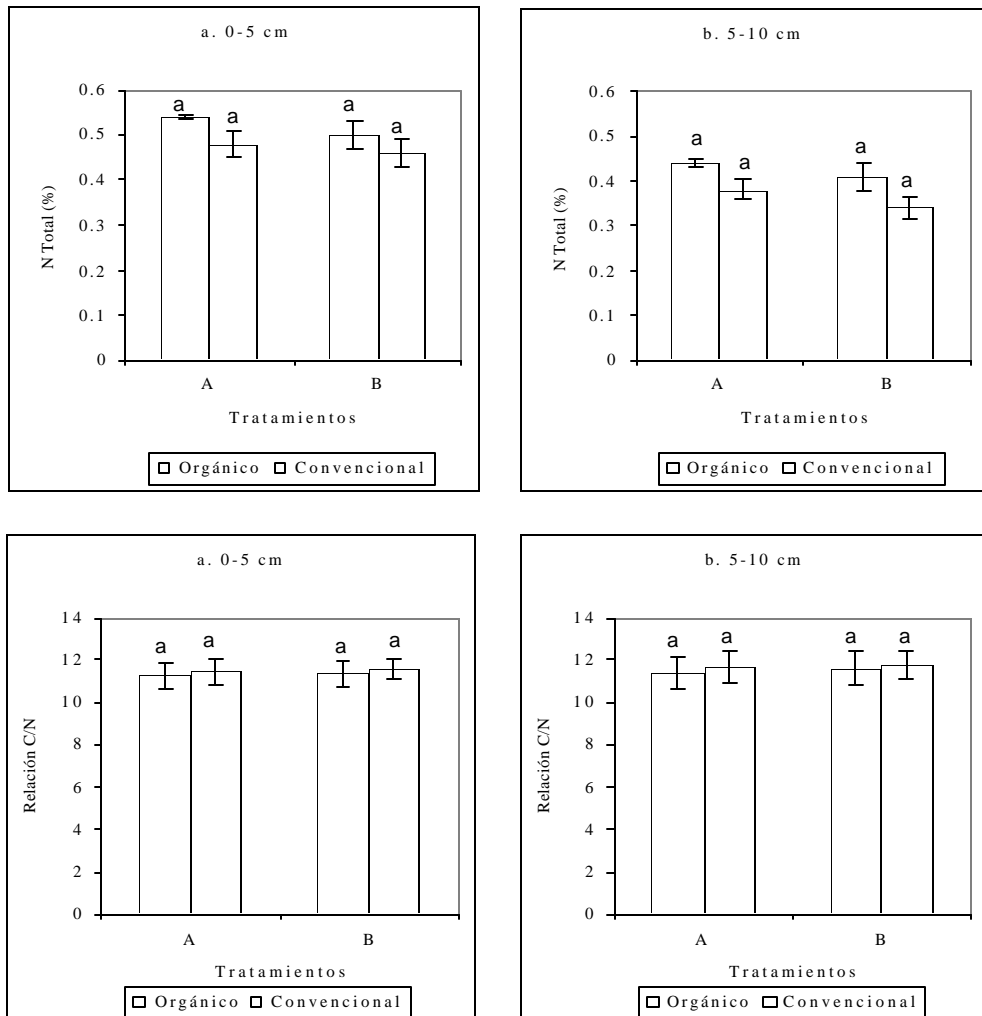
Entre sitios A y B para las variables C total, N total y la relación C/N no se presentaron diferencias significativas dentro del manejo orgánico (Anexo 10), pero la tendencia fue más debil a concentrarse más C y N en la posición cerca del árbol (sitio A). Igual situación se presentó para el manejo convencional entre los sitios A y B para las dos variables (Anexo 11).

En el análisis de frecuencias para el año 2004 (Figura 25), para la profundidad 0-5 cm, tres de las cuatro fincas orgánicas tuvieron mayores concentraciones de C total en el sitio A que en el sitio B y solo en la finca orgánica de Aserrí la tendencia fue contraria; en el sitio B (Figura 25a). Para 5-10 cm tres de las cuatro fincas orgánicas presentaron mayores contenidos de C en el sitio A que en el sitio B y solo la finca orgánica de Aserrí tuvo el valor más alto en la posición lejos del árbol en el sitio B (Figura 25b). En esta misma profundidad las fincas convencionales presentaron la misma tendencia que las fincas orgánicas.

En lo que respecta al análisis de frecuencias para el N total en la profundidad 0-5 cm, para el año 2004 (Figura 26), tres de las cuatro fincas orgánicas tuvieron mayores concentraciones de N en el sitio A que en el sitio B (Figura 26a), y solo en una finca (Aserrí) la tendencia fue contraria; en el sitio B. Para los sistemas convencionales, dos fincas (CATIE y Pejibaye) presentaron los valores más altos de N en la posición cerca del árbol (Sitio A), mientras que en Aserrí y Paraíso se presentó en el sitio B.

En la profundidad 5-10 cm, para las posiciones cerca del árbol (Sitio A), tres de las cuatro fincas orgánicas presentaron mayores contenidos de N en el sitio A que en el sitio B y una finca (Aserrí) tuvo el valor más alto en la posición lejos del árbol en el sitio B (Figura 26b). Las fincas convencionales presentaron igual tendencia para el N que las fincas orgánicas en esta profundidad. Al calcularse un promedio del carbono y nitrógeno de las dos posiciones y las dos profundidades para cada tipo de finca (Orgánica y convencional) por localidad, se encontró que tres de las cuatro fincas orgánicas presentaron mayor promedio de C que su contraparte convencional y solo en la finca del CATIE la parcela convencional tuvo mayor contenido de C total que la parcela orgánica (Anexo 12a).

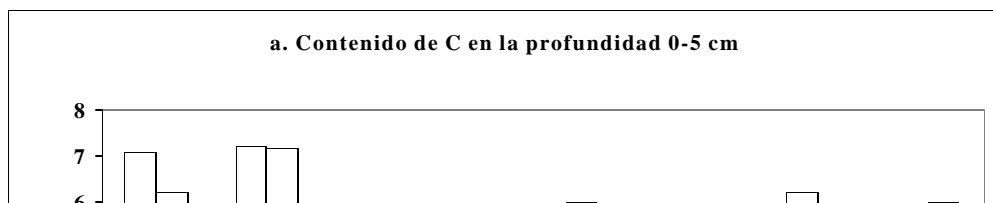




**Figura 24. Contenido promedio de C y N total y de la relación C/N en el año 2004 por cada profundidad y sitio en el suelo de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional. Costa Rica 2004.**

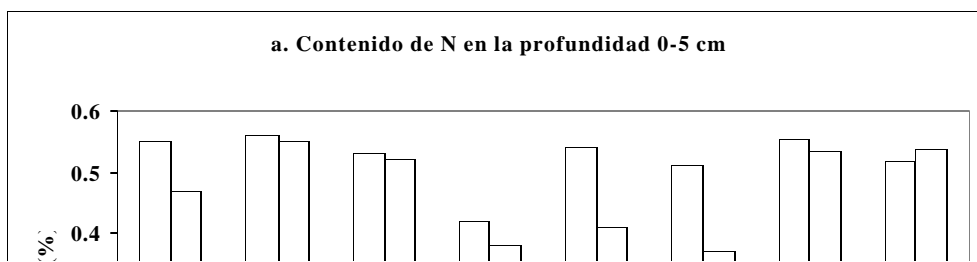
A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*



**Figura 25. Concentraciones de C en el suelo en el año 2004, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004**

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*  
B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*



**Figura 26. Concentraciones de N en el suelo en el año 2004, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004**

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

Para el nitrógeno las cuatro fincas orgánicas presentaron mayor promedio que las fincas convencionales (Anexo 12b). En promedio las fincas orgánicas en el 2004 tuvieron contenidos de C y N más altos que las fincas convencionales.

Para el año 2004, no se encontraron diferencias entre las posiciones con respecto al árbol en las fincas orgánicas y convencionales, lo cual indica que *E. poeppigiana* y las arvenses jugaron un papel importante en el cambio de

C y N en las fincas convencionales, debido posiblemente al cambio que tuvieron en el manejo durante estos cuatro años de menos aplicación de herbicidas y fertilizantes químicos y de otro tipo.

#### **4.1.2.3.- Incrementos en los contenidos de C y N del suelo en un periodo de cuatro años en 4 pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.**

El contenido de C y N del suelo se expresó en unidad de volumen, por lo que fue necesario determinar la densidad aparente (DA) del suelo en los dos manejos, los dos sitios y en las dos profundidades, para lo cual se utilizaron los datos obtenidos por el Dr Fidel Payan en este mismos cuatro pares de fincas en el año 2004 en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye.

##### **4.1.2.3.1.- Densidad aparente (DA) del suelo en cuatro pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional.**

En el análisis de varianza realizado para la DA no se encontró diferencias significativas entre los manejos y los sitios para las profundidades 0-5 y 5-10 cm ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, la tendencia fue consistente a presentarse mayor DA en las fincas convencionales en las dos posiciones con respecto a las fincas orgánicas en las dos profundidades (Cuadro 7).

La capa 0-5 cm tuvo más bajos valores de DA que la capa 5-10 cm, dado que el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) en la primera capa es alta con respecto a las capas más profundas, por lo tanto, la disminución de la MOS a mayores profundidades y el incremento de la DA es notorio debido a que el incremento de la MOS tiende a disminuir la DA del suelo, ya que sus componentes son menos densos que los componentes minerales (Henríquez 1999).

Ramos (2003) encontró comparando tres sistemas de producción donde correlacionó los contenidos de biomasa de raíces finas con la DA a lo largo del perfil del suelo, que la DA fue menor en las dos primeras capas del suelo (0-20 y 20-40 cm) donde se presentó la mayor concentración de raíces con respecto a la capa 60-80 cm donde la DA fue mayor y la presencia de raíces baja.

**Cuadro 7. Densidad Aparente (DA) promedio del suelo en dos sitios y dos profundidades para cuatro pares de Fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Costa Rica, 2004.**

Manejo	Sitio	Densidad Aparente (g cm <sup>-3</sup> )	
		0-5 cm	5-10 cm
Convencional	A	0.84 a	0.87 a
	B	0.82 a	0.86 a
Orgánico	A	0.81 a	0.84 a
	B	0.81 a	0.84 a
Pr > F		0.7802 ns	0.5510 ns

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

Igualmente, especies con raíces gruesas, fuertes y pivotantes como *E poeppigiana*, *Inga* spp. y muchas especies maderables, pueden ayudar a la mejoría de las capas más profundas del suelo mediante los procesos de arada biológica e introducción de microvida (Da Costa, 1995)

Igualmente, las rotaciones de cultivos y los sistemas de manejo inciden sobre la densidad y la estabilidad estructural del suelo, factores determinantes de una adecuada distribución de la porosidad que influye en el perfil de humedad y el correcto intercambio gaseoso, los cuales posibilitan que las raíces exploren el suelo para proveer a la parte aérea de la planta de los nutrientes y agua necesarios para su desarrollo. Si tenemos en cuenta que las raíces del café se ven limitadas a una densidad mayor de 1.4 g cm<sup>-3</sup> (Kupper *et al.*, 1977) en los dos sistemas en evaluación aún no se presentan problemas de adensamiento en el suelo, ya que en promedio ambos sistemas presentan 0.84 g cm<sup>-3</sup>.

#### 4.1.2.3.2.- Cambios en los contenidos de C y N del suelo en cuatro pares de fincas .

A continuación se presentan los incrementos en los contenidos de C y N del suelo durante cuatro años aproximadamente, en las profundidades 05 y 5-10 cm, en cuatro pares de fincas (orgánica y convencional) ubicadas en las localidades de Aserri, Paraíso, CATIE y Pejibaye. Todos los tratamientos mostraron incrementos en los contenidos de C y N del suelo, lo que significa que hubo incorporación de materia orgánica al suelo durante estos últimos cuatro años en los dos tipos de manejo. El análisis no mostró diferencias significativas para los incrementos en las variables C total y N total. Para las profundidades 05 cm y 5-10 cm, el análisis de ANDEVA no mostró diferencias significativas entre tratamientos para los incrementos de los contenidos de C y N total (Cuadro 8). Sin embargo en la Figura 27 se puede observar la tendencia de los contenidos de C y N en el suelo para las dos posiciones en las capas 05 y 5-10 cm. En ambos sistemas, los sitios A y B presentaron contenidos de C y N similares dentro de cada profundidad, según la prueba de Duncan. La tendencia fue

acumularse en el sitio A mayor C y N en las fincas orgánicas en ambas profundidades. En el sitio B la finca convencional presentó los mayores incrementos de C.

Las diferencias en las concentraciones de C y N dentro de cada sistema, entre las posiciones y sitios, fueron más evidentes en el sistema convencional. En la capa 0-5 cm, el incremento de C y N fue mayor que en la capa 5-10 cm. Esto puede indicar que el efecto de la deposición de la materia orgánica de los residuos de podas y de las arvenses fue más importante que el aporte de la descomposición de las raíces de los árboles y del café (Payan *et al.*, 2002). Vaast y Snoeck (1999) señalan que el aporte de la materia orgánica proviene mayoritariamente de la parte aérea de los árboles, que de la descomposición de los nódulos y raíces en el suelo.

**Cuadro 8. Incrementos en los contenidos de C y N total del suelo durante un periodo de cuatro años, en dos sitios y en las profundidades 0-5 y 5-10 cm para cuatro pares de fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.**

Manejo	Sitio	0-5 cm		5-10 cm	
		C total (%)	N total (%)	C total (%)	N total (%)
Convencional	A	0.64 a	0.08 a	0.22 a	0.013 a
	B	1.51 a	0.14 a	0.81 a	0.07 a
Orgánico	A	0.75 a	0.10 a	0.82 a	0.092 a
	B	0.33 a	0.06 a	0.43 a	0.06 a
<b>Pr &gt; F</b>		<b>0.3384 ns</b>	<b>0.5668 ns</b>	<b>0.5728 ns</b>	<b>0.3737 ns</b>

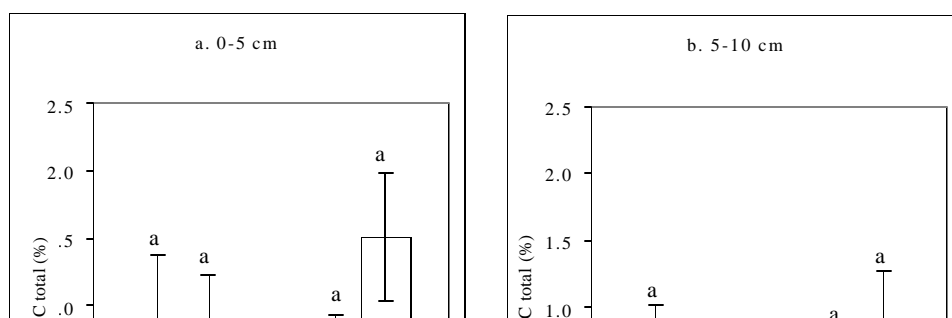
Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan

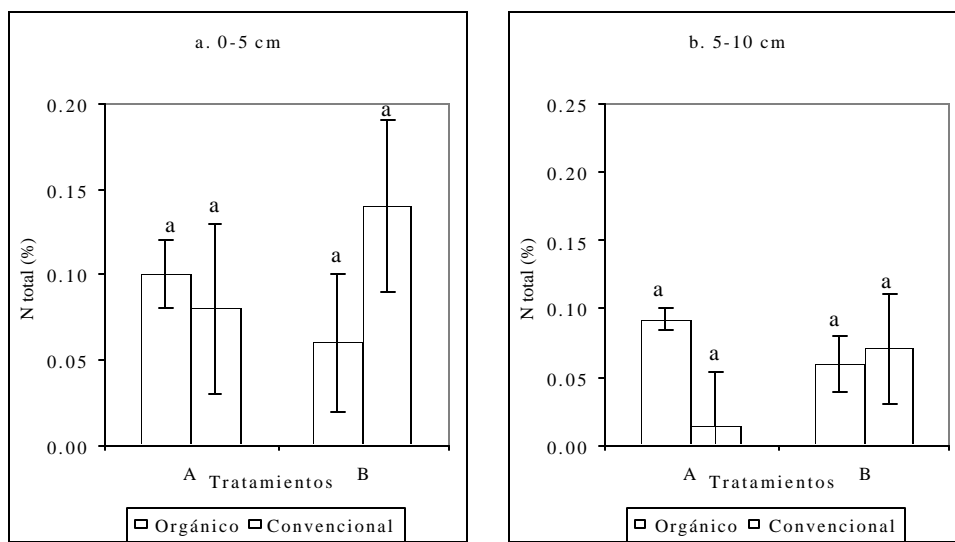
\*\* = Altamente significativo ( $P < 0.0001$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

En el Anexo 13 se presenta el análisis de varianza para los incrementos en las reservas para los contenidos de C y N total en cada una de las profundidades 0-5 y 5-10 cm. Se observa que no hubo diferencias significativas entre los sitios en los incrementos de las reservas de C y N total para ambas profundidades. Sin embargo, se puede observar las tendencias de las reservas de C y N para las dos posiciones en las capa 0-5 y 5-10 cm. En las fincas orgánicas y convencionales, los dos sitios A y B presentaron valores similares dentro de cada profundidad, según la prueba de Duncan ( $P > 0.05$ ) en cuanto a la concentración de C total y N total. Sin embargo, la tendencia fue a acumularse mayor C y N en el sitio A en las fincas orgánicas en ambas profundidades, mientras que en el sitio B los mayores incrementos de C y N fueron en las fincas convencionales a excepción del N en la profundidad 5-10 cm.





Las barras representan los valores promedios y las líneas verticales el error estándar

**Figura 27. Incremento promedio de C y N total del suelo durante cuatro años por cada profundidad y sitio en cuatro pares de fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional, Costa Rica 2004.**

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

Segun el sitio y la capa (0-5 cm o 5-10 cm), el aumento de la reserva de C durante 4 años, vario de 1 a 3 toneladas de C por ha en el sistema organico establecido desde hace mas de 8 años. En el sistema convencional que ha cambiado de manejo, el incremento de C varió de 3 a 6 toneladas de C por ha en la capa 0-5 cm y de 1 a 2 toneladas de C por ha en la capa 5-10 cm. En el manejo orgánico, el uso de abonos orgánicos, así como la incorporación de mulch proveniente de las plantas arvenses (cortadas 3 veces por año) y residuos de podas del poró (2 veces por año) cuya distribución es uniforme entre los sitios A y B tuvo como efecto un aumento de C similar en los dos sitios, eso pudo ser debido a una mayor saturación del suelo en C en este sistema que en el sistema convencional donde el incremento fue más alto.

En el año 2000 se partió de un contenido de C y N en el sitio B significativamente más bajo que en el sitio A y con el cambio de manejo en el sistema convencional se aumento el C en el sitio B hasta el mismo nivel que en el sitio A. Debido a los altos costos de producción por los precios de fertilizantes y herbicidas las fincas



convencionales disminuyeron la aplicación de estos insumos, por lo tanto, hubo más malezas en el sistema y mayor restitución de materia orgánica de parte de las malezas.

Otro aspecto que pudo haber influido en el mayor incremento de C en el sitio B, en el sistema convencional, es la presencia de plantas de plátano (*Musa sp*) que han sido sembradas entre los árboles, las cuales una vez cosechadas son picadas sobre el suelo incorporando su biomasa como abono verde, favoreciéndose así el contenido de materia orgánica en el punto B. Este incremento en la concentración de C y N, contrarresta los efectos negativos sobre la materia orgánica del suelo producidos en el manejo convencional del café.

En el manejo orgánico, la poca diferencia en los aumentos de C y N en los sitios A y B y en las dos profundidades del suelo pudo ser debido al uso de abonos orgánicos, así como por la incorporación de mulch proveniente de las plantas arvenses (cortadas 3 veces por año) y residuos de podas del poró (2 veces por año) cuya distribución es uniforme entre los puntos A y B (Figura 2b), lo que podría ser el resultado de una progresiva saturación del C del suelo (Six *et al.* 2002) en los dos sitios y las dos profundidades.

La relación C/N a pesar de presentar un ligera baja con respecto al año 2000, esta se mantuvo prácticamente igual (entre 11 y 12) para los sistemas y posiciones de muestreo en las 2 profundidades, lo que significa que en estos cuatro años las fincas bajo el sistema orgánico todavía no han podido modificar una relación tan estable entre las variables del suelo como es la relación C/N, así confirmando lo concluido por Payan, 2002.

#### **4.2.- Efecto de *E. poeppigiana* y del manejo orgánico y convencional a través del tiempo en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.**

##### **4.2.1.- Contenidos de C y N para muestras de suelo tomadas en el año 2001 en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.**

En el Cuadro 9, se presentan los contenidos de C y N en el suelo y la relación C/N, para muestras de suelo tomadas en el año 2001 en la profundidad 0-10 cm, correspondiente a tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del programa CATIE-MIP-AF (NORAD). El análisis no mostró diferencias significativas entre parcelas para las variables C total, N total y la relación C/N. Pero, en el análisis de los contrastes (sitio por sitio) para el año 2001 (Anexo 14a), para la variable carbono presentó diferencias altamente significativas ( $P=0.0081$ ) en el contraste Mo B Vs Mo C y diferencias significativas ( $P=0.0183$ ) en el contraste medio orgánico en los sitios A, B y C (**Mo ABC**) Vs manejo medio convencional en los sitios A, B y C (**Mc ABC**), mientras que el resto de los contrastes no presentaron diferencias significativas. Para las variables N total y la relación C/N, los contrastes no presentaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ).

**Cuadro 9. Contenidos de C y N en muestras de suelo (0 - 10 cm) tomadas en el año 2001 bajo tres tratamientos en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.**

Tratamientos	C Total (%)	N Total(%)	Relación C/N
Medio orgánico (Mo)	3.18 a	0.33 a	9.63 a
Medio convencional (Mc)	2.88 a	0.31 a	9.21 a
Pleno sol (Ps)	2.72 a	0.30 a	9.05 a
Pr>F	<b>0.0664 ns</b>	<b>0.1507 ns</b>	<b>0.1389 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \* \* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns= No significativo

Igualmente, en el análisis de contrastes ortogonales por tratamiento (Anexo 14b), para la variable carbono se presentó diferencias significativas ( $P = 0.0314$ ) en el contraste café más poró con manejo medio orgánico (Mo) Vs café con manejo medio convencional con y sin árbol (Mc + Ps), mientras que el contraste café más poró con manejo medio convencional (Mc) Vs café a pleno sol (Ps) no presentó diferencias significativas. Para las variables N total y la relación C/N, los contrastes no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). El manejo medio orgánico (Mo) presentó los mayores promedios de los contenidos de C total que los manejos medio convencional (Mc) y pleno sol (Ps), lo cual indica que el suelo de la parcela Mo en la profundidad 0-10 cm fue más rico en materia orgánica aunque su contenido de N total no fue significativamente diferente que el de la parcela Mc con sombra y Ps.

En el Cuadro 10 se presenta el análisis de varianza para el año 2001, para los contenidos de C total, N total y la relación C/N en los diferentes sitios evaluados bajo este estudio. Se observa que hubo diferencias altamente significativas entre los sitios en los contenidos de C total, mientras que para el N total y la relación C/N no se presentaron diferencias significativas.

La comparación múltiple de Duncan con un  $\alpha$  del 5%, encontró para los contenidos de C total que el manejo medio orgánico en el sitio B (Mo B) obtuvo los mayores valores, mientras que en el manejo medio convencional con sombra en el sitio C (Mc C) y pleno sol (Ps D) los valores más bajos. Los otros sitios fueron intermedios (Anexo 27). Para las variables N total y C/N los valores fueron similares.

**Cuadro 10. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2001, en sitios diferentes en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.**

Tratamiento	Sitio	C Total (%)	N Total (%)	Relación C/N
Café más poró con manejo medio orgánico (Mo)	Mo A	3.26 ab	0.34 a	9.67 a
	Mo B	3.42 a	0.342 a	10.00 a
	Mo C	2.85 bc	0.31 a	9.23 a

<b>Café más poró con manejo medio convencional (Mc)</b>	Mc A	3.11 abc	0.33 a	9.41 a
	Mc B	2.83 bc	0.30 a	9.43 a
	Mc C	2.72 c	0.31 a	8.78 a
<b>Café a pleno sol con manejo medio convencional (Ps)</b>	Ps D	2.72 c	0.30 a	9.05 a
<b>Pr&gt;F</b>		<b>0.0079 **</b>	<b>0.0764 ns</b>	<b>0.1071 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

A = a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*

B = a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*

C = a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*

D = a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*

Los anteriores resultados muestran que hubo diferencias significativas entre los sitios en los contenidos de materia orgánica del suelo en los estados iniciales del ensayo de sistemas (antes del efecto de los tratamientos), en la capa 0-10 cm, debido posiblemente al uso anterior que tenía el suelo que era caña, en el cual una vez cosechada la planta los restos eran quemados e incorporados al suelo. Entre los sitios Mo A, Mo B y Mc A no se presentaron diferencias significativas, siendo estos puntos los que presentaron los mayores contenidos de C Total y por lo que partieron de un estado inicial del ensayo un poco diferente del resto, en lo que respecta al contenido de materia orgánica. En promedio la parcela de Mo tuvo contenidos de C más altos que las otras dos parcelas.

#### 4.2.2.- Contenidos de C y N del suelo en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE para el año 2004.

En el Cuadro 11, se presentan los contenidos de C y N en el suelo y la relación C/N, para muestras tomadas en el año 2004, en la profundidad 0-10 cm, en los mismos tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales, donde se tomaron las muestras en el año 2001.

El análisis mostró diferencias significativas para las variables C total y N total, pero para la relación C/N no hubo diferencias significativas.

**Cuadro 11. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2004 bajo tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.**

<b>Tratamientos</b>	<b>C Total (%)</b>	<b>N Total (%)</b>	<b>Relación C/N</b>
<b>Medio orgánico (Mo)</b>	4.06 a	0.39 a	10.40 a
<b>Medio convencional (Mc)</b>	3.32 b	0.33 b	9.98 a
<b>Pleno sol (Ps)</b>	3.40 b	0.34 b	10.07 a

<b>Pr&gt;F</b>	<b>0.0245*</b>	<b>0.0171*</b>	<b>0.1483 ns</b>
----------------	----------------	----------------	------------------

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns= No significativo

El análisis de los contrastes entre tratamientos y sitios (Anexo 16a), para el año 2004 y para las variables C total y N total, presentó diferencias altamente significativas ( $P < 0.0001$ ) para el contraste entre medio orgánico en los sitios A, B y C (**Mo ABC**) Vs manejo medio convencional en los sitios A, B y C (**Mc ABC**), mientras que el resto de los contrastes no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). Para la relación C/N se presentó diferencias significativas ( $P = 0.0125$ ) solamente para el contraste Mo ABC Vs Mc ABC, mientras que el resto de los contrastes no presentaron diferencias significativas.

En el análisis de contrastes ortogonales por tratamiento (Anexo 16b), se confirmó lo anterior. Para las variables C total y N total se presentó diferencias altamente significativas para en el contraste café más poró con manejo medio orgánico (Mo) Vs café con manejo medio convencional con y sin árbol (Mc + Ps), mientras que el contraste café más poró con manejo medio convencional (Mc) Vs café a pleno sol (Ps) no presentó diferencias significativas. Para la relación C/N los contrastes no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

El manejo medio orgánico (Mo) tuvo los mayores contenidos de C Total, N Total y la más alta relación C/N, que los manejos medio convencional (Mc) y pleno sol (Ps), lo cual indica que el suelo bajo el manejo Mo en la profundidad 0-10 cm fue más rico en materia orgánica para el año 2004. Los contenidos de C total y N total no fueron significativamente diferentes para los tratamientos Mc con sombra y Ps, sin embargo, Mc con sombra tuvo los valores mas bajos y Ps estuvo intermedio.

En el Cuadro 12 se presenta el análisis de varianza para el año 2004, para los contenidos de C total, N total y la relación C/N en los diferentes sitios evaluados. Se observa que hubo diferencias altamente significativas entre los sitios en los contenidos de C total y N total, mientras que para la relación C/N no se presentaron diferencias significativas.

**Cuadro 12. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2004, en sitios diferentes en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Sitio</b>	<b>C Total (%)</b>	<b>N Total (%)</b>	<b>Relación C/N</b>
<b>Café más poró con manejo medio orgánico (Mo)</b>	Mo A	4.27 a	0.40 a	10.59 a
	Mo B	4.12 a	0.40 a	10.34 a
	Mo C	3.81 ab	0.37 ab	10.27 a
<b>Café más poró con manejo medio convencional (Mc)</b>	Mc A	3.49 bc	0.35 bc	10.10 a
	Mc B	3.42 bc	0.34 bc	9.98 a

	Mc C	3.05 c	0.31 c	9.85 a
<b>Café a pleno sol con manejo medio convencional (Ps)</b>	Ps D	3.40 bc	0.34 bc	10.07 a
<b>Pr&gt;F</b>		<b>0.0029 **</b>	<b>0.0019 **</b>	<b>0.1663 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*

B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*

C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*

D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*

Para los contenidos de C y N total, la comparación múltiple de Duncan (con un  $\alpha$  del 5%), encontró que el manejo medio orgánico en el sitio A (Mo A) obtuvo el mayor valor, mientras que en el manejo medio convencional con sombra en el sitio C (Mc C) el valor más bajo. Los otros sitios fueron intermedios (Anexo 17)

Como se pudo observar, los anteriores resultados muestran que actualmente se presentan diferencias significativas en los contenidos de C y N, entre los tratamientos con sombra de *E. poeppigiana*, **Mo** (con aplicación de abonos orgánicos, presencia de malezas y restitución de residuos de poda) y **Mc** (con aplicación de insumos químicos, presencia de malezas y restitución de residuos de poda). Los sitios bajo Mo (Mo A, Mo B y Mo C) presentaron los mayores cambios en los contenidos de materia orgánica en la capa 0-10 cm y actualmente presentan un estado diferente a los sitios bajo Mc (Mc A, Mc B y Mc C), en lo que respecta a los contenidos de materia orgánica y N total. Debido a que el manejo del poró es igual y las cantidades aportadas de biomasa provenientes de las podas del árbol son similares en los dos manejos, las discrepancias encontradas entre las parcelas bajo Mo y Mc con árboles, demuestran el efecto del tipo de enmienda aplicado al suelo, así como el manejo de las malezas en cada tratamiento, **Mo** (con limpiezas con guadaña y machete en el carril y la calle) y **Mc** (con aplicación de herbicidas en el carril y en la calle en parches de pasto, más limpiezas con guadaña en la calle) realizados durante estos tres últimos años. Es de anotar, que se partió de un punto inicial más alto en el Mo (contraste ortogonal más alto), por lo que hay la necesidad de estudiar el incremento de cada sistema.

También, se pudo observar que en el manejo medio convencional (Mc) con sombra de *E. poeppigiana* (Mc A, Mc B y Mc C) y sin sombra (Ps D) no se presentaron diferencias significativas, lo que permite ver que no hubo ningún efecto del árbol sobre los contenidos de C total y N total del suelo bajo estos dos tratamientos.

#### **4.2.3.- Incrementos en los contenidos de C y N del suelo en un periodo de tres años en tres parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE**

Con el fin de determinar el incremento en las reservas de C y N del suelo en unidad de volumen, fue necesario determinar la densidad aparente (DA) del suelo por el método del cilindro en las tres parcelas en evaluación.

#### 4.2.3.1.- Densidad aparente (DA) del suelo en tres parcelas del ensayo de sistemas.

La tendencia fue a presentarse mayor DA en el manejo convencional a pleno sol que los manejos Mo y Mc con *E. poeppigiana* (Anexo 18). Para las dos profundidades, la capa 0-5 cm presentó la tendencia a tener más bajos valores de DA que la capa 5-10 cm en los tres manejos, dado que el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) en la primera capa es alta con respecto a las capas más profundas.

#### 4.2.3.2.- Cambios en los contenidos de C y N del suelo en tres parcelas del ensayo de sistemas.

En el Cuadro 13, se presentan los incrementos en los contenidos de C y N del suelo y en la relación C/N durante tres años aproximadamente, en la profundidad 0-10 cm, para muestras de suelo tomadas en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE. Todos los tratamientos mostraron incrementos en los contenidos de C y N del suelo y también en la relación C/N, lo que significa que hubo incorporación de materia orgánica al suelo durante estos últimos tres años en todos los tratamientos. El análisis no mostró diferencias significativas para las variables C total, N total y la relación C/N.

**Cuadro 13. Incrementos en los contenidos de C y N total y la relación C/N del suelo, durante tres años aproximadamente, en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.**

Tratamientos	C Total (%)	N Total (%)	Relación C/N
Medio orgánico (Mo)	0.89 a	0.060 a	0.767 a
Medio convencional (Mc)	0.44 a	0.020 a	0.773 a
Pleno sol (Ps)	0.69 a	0.038 a	1.023 a
Pr>F	<b>0.2229 ns</b>	<b>0.0998 ns</b>	<b>0.7262 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \* = Altamente significativo ( $P < 0.0001$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

En el Anexo 19 a se presenta el análisis de los contrastes entre sitios para los incrementos de C total, N total y la relación C/N, entre el año 2001 y 2004. Se puede observar que para la variable N total se presentó diferencias altamente significativas ( $P = 0.0056$ ) para el contraste entre manejo medio orgánico en los sitios A, B y C (**Mo ABC**) Vs manejo medio convencional en los sitios A, B y C (**Mc ABC**), mientras que para el C total se presentó diferencias significativas ( $P = 0.0295$ ), en el mismo contraste. El resto de los contrastes no presentaron diferencias significativas. Para la variable relación C/N, los contrastes no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos.

En el análisis de contrastes ortogonales por tratamiento (Anexo 19b), para las variables C total y N total se presentó diferencias altamente significativas para en el contraste café más poró con manejo medio orgánico (Mo) Vs café con manejo medio convencional con y sin árbol (Mc + Ps), mientras que el contraste café más poró con manejo medio convencional (Mc) Vs café a pleno sol (Ps) no presentó diferencias significativas. Para la relación C/N los contrastes no presentaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ).

El manejo medio orgánico (Mo) tuvo los mayores aumentos de C Total, N Total y el más bajo incremento de la relación C/N, que los manejos medio convencional (Mc) y pleno sol (Ps), lo cual indica que el suelo bajo el manejo Mo, en la profundidad 0-10 cm, tuvo el más alto incremento en materia orgánica durante los últimos tres años.

En el análisis de varianza para los cambios ocurridos entre el año 2001 y 2004 (Cuadro 14), se observa que en los diferentes sitios evaluados bajo este estudio no hubo diferencias significativas entre los tratamientos y sitios para los incrementos en las variables C total, N total y la relación C/N. La comparación múltiple de Duncan (con un  $\alpha$  del 5%), para los incrementos de C y N total, encontró que el manejo medio orgánico en el sitio A (Mo A) obtuvo el mayor aumento, mientras que en el manejo medio convencional con sombra en el sitio C (Mc C) el valor más bajo. Los otros sitios fueron intermedios (Anexo 20).

**Cuadro 14. Incrementos en los contenidos de C y N total y la relación C/N del suelo, durante tres años aproximadamente, en sitios diferentes en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.**

Tratamiento	Sitio	C Total (%)	N Total (%)	Relación C/N
Café más poró con manejo medio orgánico (Mo)	Mo A	1.01 a	0.07 a	0.93 a
	Mo B	0.69 a	0.06 a	0.32 a
	Mo C	0.96 a	0.06 a	1.05 a
Café más poró con manejo medio convencional (Mc)	Mc A	0.38 a	0.02 a	0.69 a
	Mc B	0.59 a	0.04 a	0.56 a
	Mc C	0.34 a	0.003 a	1.07 a
Café a pleno sol con manejo medio convencional (Ps)	Ps D	0.69 a	0.04 a	1.02 a
<b>Pr&gt;F</b>		<b>0.3485 ns</b>	<b>0.0860 ns</b>	<b>0.7928 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p<0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo ( $P<0.0001$ ) \* = Significativo ( $P<0.05$ ) ns= No significativo

A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*

B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*

C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*

D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*

Como se pudo apreciar, hubo incrementos durante estos tres años en todos los tratamientos, sólo que en diferentes proporciones. Los cambios en las concentraciones de C y N en el tratamiento Mc fueron inferiores al Mo, pese a encontrarse una ligera mayor producción de residuos de poda, tal como lo determinó Montenegro (2004), quien estimó una producción promedio de biomasa del poró, proveniente de dos podas al año en las mismas dos parcelas, de 5036 y 5895 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para el Mo y Mc, respectivamente. Por lo tanto, la diferencia pudo deberse al tipo de enmienda aplicado al suelo y el manejo de malezas, ya que en ambos tratamientos el manejo del poró y la restitución de los residuos de poda son iguales.

Posiblemente, el uso de abonos orgánicos como broza de café, gallinaza, piedra mineral molida y residuos de poda, pudieron haber afectado el contenido de C y N total del suelo. Igualmente, el incremento paulatino en la presencia de materia orgánica del suelo (MOS) a través del tiempo, pudo jugar un papel importante en la estructura y capacidad del suelo para retener el agua y ofrecer un medio favorable para el crecimiento de las raíces de todas las plantas del sistema (Arbóreas, arbustivas y herbáceas) y promover la actividad de los macro y microorganismos del suelo, los cuales favorecieron los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica (Woomer *et al.*, 1994; Vaast, y Snoeck, 1999).

Entre los tratamientos medio convencional con y sin *E. poeppigiana* (Mc y Ps) no se presentaron diferencias significativas en los incrementos de C y N (Cuadro 14 y Anexo 20), debido posiblemente a que el ensayo es aún joven (3 años aproximadamente) y requiere de más tiempo para que se pueda ver el efecto del árbol en el suelo, ya que los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se expresan a largo plazo (Nair *et al.*, 1999).

En el ensayo de sistemas del CATIE, el uso anterior del suelo fue caña de azúcar durante más de 10 años y en 2000 fue quemada y cortada la caña por última vez y reemplazada por sistemas de café. Por eso, hubo volteo del suelo y limpieza constante de las malezas hasta abril 2001, fecha del primer muestreo. Después todos los tres sistemas de café estudiados presentaron incremento de C, N y C/N durante los 3 años (2001-2004). Eso significa que hubo secuestro de C en el suelo a partir de 2001. Sin embargo, el manejo orgánico con poro presentó una tendencia con mayor incremento de C y N que los manejos convencionales con y sin sombra.

En el Anexo 21 se presenta el análisis de varianza para los incrementos en las reservas para los contenidos de C y N total para los tres tratamientos y las tres posiciones con respecto al árbol, en la profundidad 0-10 cm. Se observa que no hubo diferencias significativas entre los sitios en los incrementos de las reservas de C y N total. Sin embargo, se puede observar las tendencias de las reservas de C y N para las tres posiciones en la capa 0-10 cm. La tendencia fue a acumularse mayor C y N en el sitio A en el manejo medio orgánico, seguido del sistema a pleno sol.



Segun el sitio el aumento de la reserva de C durante 3 años, vario de 3.5 a 4.95 toneladas de C por ha en el sistema medio orgánico. En el sistema medio convencional con árbol, el incremento de C varió de 1 a 2.74 toneladas de C por ha, mientras que en el sistema pleno sol el incremento fue de 3.7 toneladas de C por ha. En el manejo medio orgánico, el uso de abonos orgánicos, así como la incorporación de mulch proveniente de las plantas arvenses (cortadas 4 veces por año) y residuos de podas del poró (2 veces por año) tuvo como efecto un aumento de C en el suelo.

#### 4.3.- Contenidos de C y N en la macromateria orgánica del suelo (53 µm a 2000 µm) en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE.

En el Cuadro 15, se presentan los contenidos de C y N total encontrados en la macro-materia orgánica del suelo (53 µm a 2000 µm), en la profundidad 0-5 cm, correspondiente a tres tratamientos de las parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del programa CATIE-MIP-AF (NORAD). El análisis mostró diferencias significativas entre tratamientos para las variables C total, N total y la relación C/N. Los mayores valores de C y N en la Fracción > 53 µm se encontraron en el manejo medio orgánico (Mo), seguido por el pleno sol (Ps) y medio convencional (Mc), mientras que para la relación C/N fue en los tratamientos Mo y Mc y el más bajo en Ps, lo cual indica que el suelo de la parcela Mo en la profundidad 0-5 cm fue más rico en C y N en la fracción 53 µm a 2000 µm que las parcelas Mc y Ps.

**Cuadro 15. Contenidos de C total, N total y la relación C/N en la fracción 53-2000 µm en tres tratamientos en parcelas del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.**

Tratamientos	C Total	N Total	Relación
	g 100 <sup>-1</sup> g suelo		C/N
Medio orgánico (Mo)	2.12 a	0.18 a	11.69 a
Medio convencional (Mc)	1.42 b	0.12 b	11.67 a
Pleno sol (Ps)	1.62 ab	0.15 ab	11.08 b
Pr>F	<b>0.0050**</b>	<b>0.0088**</b>	<b>0.0396 *</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si (p<0.05), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo (P<0.01) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

En el análisis de los contrastes por sitio (Anexo 22a), para las variables carbono y nitrógeno se presentó diferencias altamente significativas en el contraste medio orgánico en los sitios A, B y C (**Mo ABC**) Vs manejo medio convencional en los sitios A, B y C (**Mc ABC**), mientras que el resto de los contrastes no presentaron diferencias significativas. Para la relación C/N, se presentó diferencias altamente significativas para el contraste entre pleno sol Vs Mo (ABC) más Mc (ABC) y diferencias significativas en el contraste Mc B Vs Mc C, mientras que el resto de los contrastes no presentaron diferencias significativas (P>0.05).

Igualmente, en el análisis de contrastes ortogonales por tratamiento (Anexo 22b), para la variable C total se presentó diferencias significativas ( $P=0.0492$ ) en el contraste café más poró con manejo medio orgánico (Mo) Vs café con manejo medio convencional con y sin árbol (Mc + Ps), mientras que el contraste café más poró con manejo medio convencional (Mc) Vs café a pleno sol (Ps) no presentó diferencias significativas. Para la variable N total los contrastes no presentaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ). En la relación C/N se presentó diferencias significativas ( $P=0.0272$ ) en el contraste café más poró con manejo medio convencional (Mc) Vs café a pleno sol (Ps), mientras que en el contraste café más poró con manejo medio orgánico (Mo) Vs café con manejo medio convencional con y sin árbol (Mc + Ps) no se presentó diferencias significativas.

En el Cuadro 16 se presenta el análisis de varianza para los contenidos de C total y N total en la fracción 53  $\mu\text{m}$  a 2000  $\mu\text{m}$ , en los diferentes sitios evaluados bajo este estudio. Se observa que hubo diferencias significativas entre los sitios en los contenidos de C y la relación C/N, mientras que para el N total no hubo diferencias significativas.

**Cuadro 16. Contenidos de C total, N total y la relación C/N en la fracción 53-2000  $\mu\text{m}$  en sitios diferentes, en tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.**

Tratamiento	Sitio	C Total	N Total	Relación
		g 100 <sup>-1</sup> g suelo		C/N
Café más poró con manejo medio orgánico (Mo)	A	2.39 a	0.20 a	11.96 a
	B	2.08 ab	0.18 a	11.46 abc
	C	1.89 abc	0.16 a	11.63 abc
Café más poró con manejo medio convencional (Mc)	A	1.63 abc	0.14 a	11.83 ab
	B	1.27c	0.12 a	11.28 bc
	C	1.38 bc	0.12 a	11.89 a
Café a pleno sol con manejo medio convencional (Ps)	D	1.62 abc	0.15 a	11.08 c
<b>Pr&gt;F</b>		<b>0.0408 *</b>	<b>0.0746 ns</b>	<b>0.0163 *</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p<0.05$ ), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo ( $P<0.01$ ) \* = Significativo ( $P<0.05$ ) ns= No significativo

A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*

B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*

C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*

D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*

La comparación múltiple de Duncan con un  $\alpha$  del 5%, encontró para los contenidos de C total en la fracción  $> 53 \mu\text{m}$  que el manejo medio orgánico en el sitio A (Mo A) obtuvo el mayor valor, mientras que en el manejo medio convencional con sombra en el sitio B (Mc B) el valor más bajo. Los otros sitios fueron intermedios (Anexo 23).

Para el C respecto a los sitios los valores más altos fueron en el manejo medio orgánico (Mo) y los más bajos en el manejo medio convencional (Mc y Ps). En general, se pudo observar que el sistema Mo presentó valores de C mayores que el manejo Mc y Ps, en la fracción macro-orgánica del suelo (53  $\mu\text{m}$  a 2000 $\mu\text{m}$ ). Esta tendencia puede ser probablemente por las mayores adiciones de abonos orgánicos en el sistema Mo, los cuales incrementan primero la fracción macro-orgánica.

Igualmente, se puede observar que para el C y N total no se presentaron diferencias significativas entre el manejo medio convencional (Mc) con sombra de *E. poeppigiana* (Mc A, Mc B y Mc C) y sin sombra (Ps D), lo que permite ver que no hubo ningún efecto del árbol en este sistema sobre los contenidos de C y N total en la fracción macro-orgánica del suelo (53  $\mu\text{m}$  a 2000  $\mu\text{m}$ ), en la capa 0-5 cm. La relación C/N fue más baja en el manejo convencional a pleno sol (Ps) respecto al manejo con sombra de poro (Mc y Mo), lo cual puede ser debido a la menor incorporación de residuos frescos en el sistema de PS en comparación a los sistemas con poro que tienen mas restitución de hojarasca y residuos vegetales.

#### 4.4.- Mineralización del N del suelo en tres tratamientos del ensayo sistemas agroforestales con café en el CATIE

Para este estudio se seleccionaron tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE: Mo (a 1 m del árbol de *E. poeppigiana*), Mc (a 1 m del árbol de *E. poeppigiana*) y Ps (a 0.70 m de la planta de café). En el Cuadro 17 se presenta el análisis de varianza para los contenidos de N en forma de amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) durante cinco semanas de incubación. El ANDEVA presentó diferencias altamente significativas para el  $\text{N-NH}_4^+$  en la semana cero y diferencias significativas en la semana cinco, mientras que en la primera semana no hubo diferencias significativas. Para el  $\text{N-NO}_3^-$  se presentó diferencias altamente significativas durante las semanas 0, 1 y 5.

**Cuadro 17. Cambio en las concentraciones de Amonio y Nitrato del suelo durante 35 días de incubación bajo tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2004.**

Tratamiento	$\text{NH}_4^+$ mg kg <sup>-1</sup> de suelo			$\text{NO}_3^-$ mg kg <sup>-1</sup> de suelo		
	Semanas de incubación			Semanas de incubación		
	0	1	5	0	1	5
Mo	1.0 a	12.49 a	0.99 a	14.41 a	30.53 a	58.82 a
Mc	1.12 a	1.17 a	0.79 ab	12.13 b	30.99 a	55.70 a
Ps	0.58 b	0.64 a	0.30 b	1.27 c	7.51 b	22.33 b
Pr>F	<b>0.0076**</b>	<b>0.1242 ns</b>	<b>0.0311*</b>	<b>0.0001**</b>	<b>0.0001**</b>	<b>0.0001**</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns= No significativo

$\text{NH}_4^+$  = Amonio

$\text{NO}_3^-$  = Nitrato

Mo= Café más poró con manejo medio orgánico

Mc= Café más poró con manejo medio convencional  
Ps= Café a pleno sol con manejo medio convencional

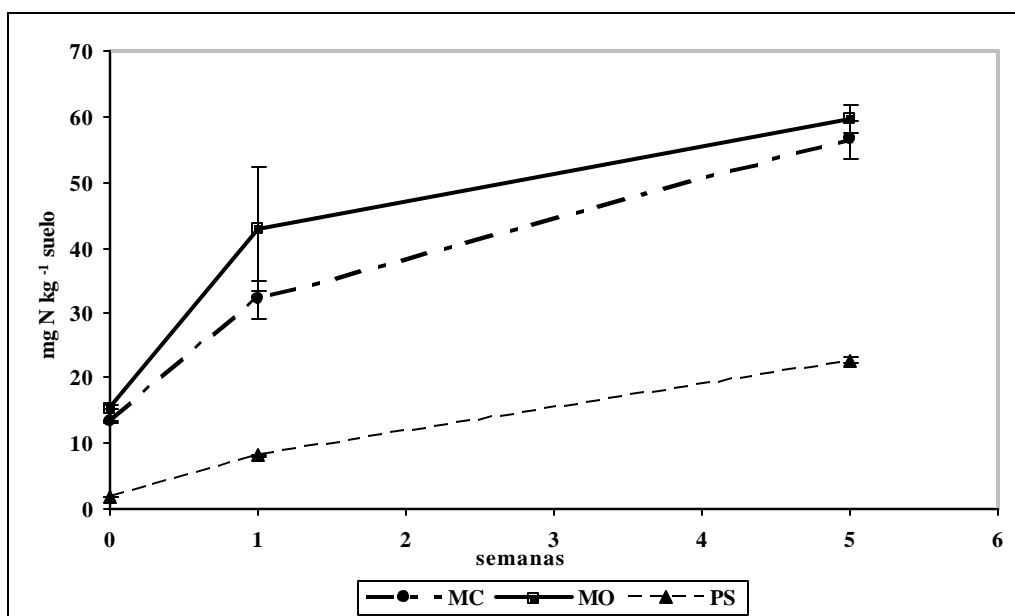
Al inicio de la incubación (semana 0), las cantidades extraídas de N-  $\text{NH}_4^+$  fueron muy similares en los tratamientos Mo y Mc, variando de 1.0 a 1.12 mg N por kg de suelo respectivamente, mientras que en Ps la concentración fue menor. En la semana 1 se observó que la mineralización de N en forma de amonio fue alta en Mo incremento de 12.49 mg N por kg de suelo, con respecto a los otros dos tratamientos, lo cual se debió posiblemente a la presencia de abono orgánico (Gallinaza) en el suelo aplicada unas semanas antes del muestreo, la cual provocó una alta producción de N-  $\text{NH}_4^+$  en la primera semana. A la quinta semana de incubación se presentaron los menores valores de N-  $\text{NH}_4^+$ . En general, las concentraciones de N-  $\text{NO}_3^-$  incrementaron de una semana a otra en todos los tratamientos durante el tiempo de incubación, mientras que el N-  $\text{NH}_4^+$  disminuyó, lo cual muestra una relación inversamente proporcional entre estos dos elementos. Los contenidos de nitratos fueron muy similares en Mo y Mc y diferentes al de Ps (Cuadro 17).

En el Cuadro 18 se presenta el contenido de N total y N mineral del suelo en los diferentes tratamientos. En los suelos bajo manejo medio orgánico (Mo), medio convencional (Mc) y pleno sol (Ps) los contenidos de N total fueron de 0.40, 0.35 y 0.34%, respectivamente. Para el N mineral, el análisis de ANDEVA mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos durante el periodo de incubación (semanas 0, 1 y 5) (Anexo 24). En la semana 0 el tratamiento que mostró mayor N mineral fue el Mo seguido de Mc mientras que Ps presentó el valor más bajo. En las semanas 1 y 5 los tratamientos Mo y Mc fueron similares presentando los mayores valores, mientras que Ps presentó los valores más bajos de N mineral.

En la Figura 28 se muestra la dinámica del N mineral (durante un periodo de 5 semanas de incubación para los tratamientos Mo (a 1 m del árbol de *E. poeppigiana*), Mc (a 1 m del árbol de *E. poeppigiana*) y Ps (a 0.70 m de la planta de café).

**Cuadro 18. Contenido de N total del suelo de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.**

Tratamientos	N total (%)
Mo Medio orgánico	0.40
Mc Medio convencional	0.35
Ps Pleno sol	0.34



Las líneas representan los valores promedios y las líneas verticales el error estándar

Mo: Café más Poró bajo manejo medio orgánico

Mc: Café más Poró bajo manejo medio convencional

Ps: Café a pleno sol bajo manejo medio convencional

**Figura 28.** N mineral presentado por los tratamientos evaluados a lo largo de 5 semanas de incubación. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2004.

Las tasas de mineralización de los diferentes tratamientos fueron calculadas para tres periodos por días: una semana (T1-T0) denominada T1, cuatro semanas (T5-T1) denominada T2 y cinco semanas (T5-T0) denominada T3, para lo cual en cada tiempo se hizo la diferencia entre dos tiempos y se dividió por el número de días del periodo (para tener un valor de producción de N mineral por kg de suelo y por día).

El Cuadro 19, muestra el análisis de varianza para las tasas de mineralización promedio por día del suelo de los tres tratamientos del ensayo de sistemas. Mo y Mc fueron similares entre ellos y presentaron mayores valores en sus tasas de mineralización que Ps. La tendencia en las tres tasas fue a presentar mayor nitrógeno mineralizado en los tratamientos con árbol (Mo y Mc) que en el sistema sin árbol (Ps), mostrando un efecto del árbol sobre el ciclo del N aumentando la movilización del N del suelo.

**Cuadro 19.** Tasas de mineralización presentadas durante 35 días de incubación del suelo de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.

Tratamientos	Tasa 1	Tasa 2	Tasa 3
--------------	--------	--------	--------

	<b>mg N kg<sup>-1</sup> día</b>		
<b>Mo</b> <b>Medio orgánico</b>	3.95 a	0.60 a	1.27 a
<b>Mc</b> <b>Medio convencional</b>	2.71 a	0.87 a	1.24 a
<b>Ps</b> <b>Pleno sol</b>	0.90 b	0.52 b	0.59 b
<b>Pr &gt; F</b>	<b>0.0178 *</b>	<b>0.0123 *</b>	<b>0.0001 **</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo ( $P < 0.0001$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns= No significativo

Tasa 1: N mineralizado entre el día 0 y el día 7  
 Tasa 2: N mineralizado entre el día 8 y el día 35  
 Tasa 3: N mineralizado entre el día 0 y el día 35

Al comparar los resultados estimados para el nitrógeno mineralizado entre los suelos con distintos manejos se observa un comportamiento que puede definirse de acuerdo con el ingreso, tanto en calidad como cantidad de los residuos al suelo (Matus y Rodríguez, 1994; Rodríguez, *et al.*, 2000, citado por Pinochet, 2001).

La diferencia encontrada entre la mineralización en los tratamientos con árboles (Mo y Mc) y Ps muestran el efecto de *E. poeppigiana* sobre la mineralización del N en el suelo, por tanto, los suelos bajo árboles leguminosos presentan mayor mineralización que sin árboles leguminosos, lo cual coincide con lo reportado por Bernhard-Reversat, 1982; Palm, 1988; Oglesby, 1990. Las especies de árboles de sombra y las prácticas de manejo, tales como régimen de podas del árbol e intensidad de la fertilización, pueden afectar la disponibilidad del N en el suelo. Por ello, las tasas de mineralización de N pueden diferir entre agroecosistemas, dado que las prácticas de manejo influyen sobre la temperatura del suelo, disponibilidad de agua, cantidad y calidad del sustrato y la mineralización de la materia orgánica del suelo (Douglas y Magdoff, 1991; Babbar y Zak, 1994) y en este caso es la calidad de la materia orgánica restituida al suelo rica en N la cual influye sobre la tasa de mineralización.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Todos los tratamientos mostraron incrementos durante los tres años en los contenidos de C y N del suelo, lo que significa que hubo incorporación de materia orgánica al suelo durante estos últimos cuatro años tanto en las fincas bajo manejo orgánico como en las convencionales.

Las fincas orgánicas presentaron un incremento de C y N más débil debido a un nivel inicial en el 2000 más alto principalmente a 2 metros del árbol que en las fincas convencionales. El cambio fue más importante debido a la modificación de manejo en el sistema y por tener un nivel inicial más bajo de C y N.

El suelo en el sistema orgánico tuvo una concentración promedio mayor de C y N que el sistema convencional y las concentraciones de estos dos elementos disminuyeron desde la capa más superficial hasta las de mayor profundidad en ambos manejos.

El sistema bajo manejo orgánico (Mo) presentó valores de C total mayores en la fracción macro-orgánica del suelo (53  $\mu\text{m}$  a 2000 $\mu\text{m}$ ) debido a las mayores adiciones de residuos vegetales y abonos orgánicos.

Respecto al sistema de café a pleno sol, la introducción de *Erythrina. Poepigiana* no tuvo efecto positivo en el incremento de C del suelo en tres años, pero tuvo efecto positivo sobre la mineralización del N.

Las diferencias entre los sistemas con árbol (Mo y Mc), con el sistema sin árbol (Ps) muestran el efecto de *Erythrina poepigiana* sobre el ciclo del nitrógeno aumentando la movilización del N del suelo.

El sistema bajo manejo orgánico (Mo) con poró presentó valores de C mayores que el manejo convencional (Mc) con poró y el pleno sol (Ps), en la fracción macro-orgánica del suelo (53  $\mu\text{m}$  a 2000 $\mu\text{m}$ ). Esta tendencia puede ser probablemente por las mayores adiciones de residuos vegetales y abonos orgánicos.

Las diferencias entre el manejo medio convencional con y sin árbol, en las tasas de nitrificación y mineralización muestran el efecto de *E. poepigiana* sobre la mineralización de N del suelo.

Se debe continuar con este tipo de investigaciones pero incluyendo la calle dentro de los análisis ya que en este estudio para las parcelas del CATIE se tomaron mezclas de suelo entre la banda de fertilización denominada “carril” y el centro de la calle y en el caso de Paraíso sólo fue cerca de las bandas de fertilización. Con esto se podrá determinar el efecto a través del tiempo del tipo de enmienda aplicado al suelo, así como el manejo de malezas.

Realizar dentro de 3 años este mismo estudio para ver la tendencia de la dinámica del carbono y nitrógeno en las mismas posiciones incluyendo la calle y a mayores profundidades.

## VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2 ed. New York, J. Willey. 474p.

Alpizar, O. 1988. Interacción de café y otras plantas con especial referencia a la sombra del tipo permanente. En curso general sobre nutrición mineral de café, PROMECAFE. (IICA). .P 7-18

Anderson, J.M; Swift, MJ. 1983. Decomposition in tropical forest in: Sutton SL, Whitmore TC and Chadwick AC (Eds.). Tropical Rain Forest: Ecology and Management. Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK. P 287-309.



- Aranguren, J; Escalante G; Herrera, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. I. coffee. *Plant and Soil*. 67: 247-258.
- Arguello, A. 1988. Tasa de descomposición y liberación de nutrimentos en el follaje de ocho especies de interés agroforestal en la franja Premontano de Colombia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 132 p.
- Babbar, L. I. 1983. Descomposición del follaje en ecosistemas sucesionales en Turrialba. Costa Rica. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 132 p.
- Babbar, L; Zak, D. 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.
- Bahuguna, V.K; Negi, J.D; Joshi, S.R; Naithani, K.C. 1990. Leaf litter decomposition and nutrient release in *Shorea robusta* and *Eucalyptus camdulensis* plantation. *Indian Forester*. 116(1):103-114.
- Balesdent, J. 1996. Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols. Submitted to *Agronomie*
- Barradas, V.L; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agric. For.Meteorol.* 38:101-112.
- Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. 157 p.
- Beer, J.W. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems*. 7:103-114.
- Beer, J.W; Muschler,R.G; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cocoa plantations-a review. *Agroforestry Systems*. 38:139-164.
- Bermúdez, S.E. 1954. Distribución del sistema radicular de *Coffea Arabica* Var. Typica en cinco tipos de suelos. MSc. Thesis. IICA. Turrialba, Costa Rica.60p.
- Bertrand, B; Rapidel, B. 1999. Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. IICA. PROMECAFE: CIRAD: IRD: CCCR. San José de Cota Rica. 496 p.
- Bornemisza, E. 1982. Nitrogen cycling in coffee plantation. *Planta and Soil*. 67:241-246
- Boyce, J.K; Fernandez, A; Furst, E;Segura, O. 1994. Café y desarrollo sostenible: Del cultivo agroquímico a la producción orgánica en Costa Rica. EFUNA, Heredia, Costa Rica. 248p.
- Bross , E.L; Gold, M.A; Nguyen, V. 1995. Quality and decomposition of black locust (*Robinia pseudoacasia*) and alfalfa (*Medicago sativa*) mulch of temperate alley cropping systems. *Agroforestry Systems*. 29:255-264.
- Brown, S.J. 1996. Low impact, high interest, Organic coffees: An overview, part II. *Tea & Coffee Trade Journal*. 168(10):32-36.

- Cajuste, L. 1977. Química de suelos con un enfoque agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Mexico. 178p.
- Cambardella, C.A; Elliott, E.T. 1992. particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society American Journal*. Vol. 56: 777-783.
- Cambardella, C.A. 1998. Experimental verification of simulate soil organic matter pools. In Lal, L.; Kimble, JM.; Follett, RA; Stewart, BA.eds. *Soil processes and Carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton FL. p 519-526
- Campos, E.1998. *Café orgánico*. Centro de Investigaciones en Café. ICAFE. Costa Rica. Sp.
- Carvajal, J.F. 1984. *Cafeto-Cultivo y fertilización*. Berna, Suiza, Instituto de la Potasa. 85p.
- Charley, J. L; Richards, B.N. 1983. Nutrient allocation in plant communities: mineral cycling in terrtrial ecosystems. *In Lange, O.L. (Ed.) Physiological plant ecology*. 120p.
- Chichilla, E. 1987. *Atlas cantonal de Costa Rica*. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal, San José de Costa Rica. P 175-178.
- Cole, D.W; Rapp, M. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. *In Richle, D.E. (ed.) Dynamic properties of forest ecosystems*. Cambridge, Cambridge University press. P 341-410.
- Coste, R. 1955. *Cafetos y café en el mundo*. I. Los cafetos. París, Larousse. 381p.
- Cuellar, N; Rosa, H; González, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: el caso del café de sombra en el Salvador. *PRISMA*. No. 34:1-16.
- Cuenca, G; Aranguren, J; Herrera, R. 1983. Root growth and litter decomposition in a coffee plantation under shade tree. *Plant and Soil*. 71:477-486.
- Da Costa M, 1995. Abonos verdes: una práctica indispensable en los sistemas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales en: García JE y Monte-Najera J (Eds.). *Agricultura Orgánica*. Simposio Centroamericano (1995, San José, Costa Rica). *Memorias*. San José, Costa Rica. P 91-119.
- De la Salas, G. 1987. *Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América Tropical*. IICA. San José, Costa Rica. 450p.
- De Melo. E.V; Hagggar, J; Staver, C. 2002. Sostenibilidad y Sinergismo en Sistemas Agroforestales con Café. *In Simposio Internacional de Café y Cacao*. Habana, Cuba. 4p.
- Díaz-Romeu, R.1970. Contenido de la materia orgánica y nitrógeno de los suelos de América Central. *Turrialba Costa Rica* 20:185-192.
- Douglas A; Magdoff, R. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. *Journal of Environmental Quality*. 20:372-386.
- Duxbury, J.M; Smith, M.S; Doran, J.W. 1989. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. p. 33-67. *In D.C. Coleman et al., (Ed) Tropical Soil Organic Matter*. Univ. of Hawaii Press Honolulu.

- Estivarez, J. J. 1997. Efecto de la sombra sobre la floración y producción de café (*Coffea arabica* var. Caturra), después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65 p.
- Etherington, J.R. 1982. Environmental and plant ecology. Chichester, U.K. Willey. 487 p.
- Fassbender, H.W. 1993. Modelos edafológicos de Sistemas Agroforestales. 2 (Ed.). Turrialba, CATIE. 530 p. (Serie Materiales de Enseñanza No.29).
- Fassbender, H.W; Bornemiza, E. 1987. Química de suelos. San José, Costa Rica., IICA. 420p.
- Fernández, C. E; Muschler,R.G. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. P. 69-96 In: Bertrand B, Rapidel B (Eds.). Desafios de la Caficultura en Centro América . CIRAD-IICA-PROMECAFE.
- Figueroa, R; Hömberg B.F; Ripken, R. 1996. Guía para la Caficultura Ecológica. Novella Publigráf S.R.L. Lima, Peru. 167p.
- Fischersworing, B; Robkamp, R. 2001. Guía para la Caficultura Ecológica. 3 (Ed.) Alemania, GTZ/BMZ. 153p.
- Fournier, L.A. 1980. Fundamentos Ecológicos del Cultivo del Café. IICA, zona norte, Publicación Micelania, Turrialba, Costa Rica.
- Franco, C.M. 1958. Influence of temperature on the growth of the coffe plant. IBEC. Research. 24p.
- Glover, N; Beer, J. W. 1983. Spatial and temporal fluctuation of litter fall in the agroforestry associations *Coffea arabica* – *Erythrina poeppigiana* and *C. arabica*- *E. poeppigiana*-*Cordia alliodora*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 43p.
- Glover, N; Beer. J.W. 1987. Nitrogen cycling in two traditional Central America Agroforestry Systems. Agroforestry Systems 4:77-87.
- Goldberg, A; Kigel, J. 1986. Dinamics of the Weed community in coffe plantation grown under shade trees: effect of clearing. Israel Journal of Botany. 35:121-131
- González, L. 1980. Efecto de la asociación de laurel (*Cordia alliodora*) sobre la producción de café con y sin sombra de poro (*Erythrina poeppigiana*) , en Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 110p.
- Gregorich, EG; Drury, C.F; Ellert, B.H; Liang, B.C. 1996. Fertilization effects on physically protected light fraction organic matter. Soil Sci Sc Am J. 60:472-476
- Guharay, F; Monterrey, J, Monterroso, D. Staver, C. 2000. Manejo Integrado de Plagas en el cultivo del café. Serie Técnica-Manual Técnico N° 44. CATIE: Managua, Nicaragua.
- 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. Vol. 8 (29):22-29.
- Hardí, F. 1953. Cacao Ecology: Cacao soils. The deterioration of cacao soils in Trinidad. In St. Agustín. Imperial College of Tropical Agriculture. A report on Cacao Research, 1945-1951. St. Augustine, Trinidad. P 83-88.

- Henríquez, C.; Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Universidad de Costa Rica, ACCS. 1 (Ed.) San José, Costa Rica. 112 p.
- Heuveltop, J; Alpizar, L; Fassbender H.W; Enriquez, G; Foster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. Serie Turrialba Vol. 35, N° 3. 233-242.
- Imbach, A.C. 1987. Lixiviación de nutrientes principales en cuatro sistemas agroforestales con cultivos perennes de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica. Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 167 p.
- ICAFFE. Instituto del Café de Costa Rica. 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. Heredia, Costa Rica. 193p.
- Robert, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelo No. 96. FAO. Roma, Italia. 61p.
- Jenkinson, D.S; Hart, P.S.B; Rayner, J.H; Pany, L.C. 1987. Modelling The turnover of organic matter in longterm experiments of Rothamsted. Intecol Bulletin 15. New York. 18p.
- Karlsson, S. 2000. Multilayered Governance. Pesticides in the South-environmental concerns in a globalised world. Department of Water and Environmental Studies. Linköping University, Suecia. 397 p.
- Kogel-Knabner, I. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as input to soil organic matter. Soil Biology & Biochemistry 34:139-162.
- Kupper, A; Grohmann, F; Franco, C.M. 1977. A massa específica aparente do solo como fator limitante do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. In. Manejo ecológico del suelo, Primavera. 69p.
- Lal, R. 1987. Tropical ecology and physical edaphology. Chichester, U.K. Wiley. 732. p.
- Lavelle, P; Swift, M.J. 1994. Origin and regulation of nutrient supply to plants in humid tropical grassland. In International Grassland Congress (1993, Palmerston North, New Zealand). (Congreso). N.Z.p. 1535-1540.
- Lutzeyer, H.J; Pulschen, I; Compart, W.; Scholten, S. 1994. Avances en el control de plagas y enfermedades en cultivos perennes tomando como referencia el café. Informes Técnicos del Ministerio Federal de Cooperación Economía y Desarrollo de Alemania. Bonn, Alemania. 151p.
- Lyngbaek, A; Muschler, R; Sinclair, F. 1999. Productividad, mano de obra y costos variables en fincas cafetaleras orgánicas y convencionales de Costa Rica. Agroforestería en las Américas. Vol. 6 (23): 24-26
- Lyngbaek, A; Muschler, R; Sinclair, F. 2001. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. Agroforestry Systems. 53:205-213.
- MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, Winrock International Institute for Agricultural Development. 91 p.

- McTiernan K.B; Ineson P; Coward, P.A. 1997. Respiration and nutrient release from tree leaf litter mixtures. *Oikos* 78:527–538.
- Madritch M.D; Hunter, M.D. 2003. Intraspecific litter diversity and nitrogen deposition affect nutrient dynamics and soil respiration. *Oecologia*. 136:124–128.
- Mafongoya, P.L; Giller, K.E; Palm, C.A. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns tree prunings and litter. *Agroforestry Systems*. 38:77-97
- Magill A, Aber J. 2000. Dissolved organic carbon and nitrogen relationships in forest litter as affected by nitrogen deposition. *Soil Biol Biochem* 32:603–613
- Maly, S; Korthals, GW; Van Dijk, C; Van der Putten, W.H; De Boer, W. 2000. Effect of vegetation manipulation of abandoned arable land on soil microbial properties. *Biol Fertil Soils* 31:121–127.
- Marin, G; Soto, G. 2002. Caficultura orgánica como alternativa a la crisis. En *Agricultura Orgánica*. Costa Rica. Nº 63. p 104-108
- McGrath, S; Jarvis, S.C. 1994. Recent considerations of grassland “soil quizlity” in temperate regions. *In* International Grassland Congress (1993, Palmerston North, New Zealand) (Congreso). N.Z.p.1409-1418.
- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59: 465-472.
- Meléndez, G. 2003. Residuos orgánicos y la materia orgánica del suelo. *In*: Taller de Abonos Orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), UCR. Sabanilla. 18p.
- Melillo, J.M; Aber, J.D; Linkins A.E. 1989. Carbon and nitrogen dynamics along a decay continuum : plant litter to soil organic matter. *In*: Clarholm M and Bergstrom L (eds) *Ecology of Arable Land*. P223-230.
- Molleadaza, A. 1979. Producción de biomasa de poró (*Erythrina poeppigiana*,) y del laurel (*Cordia alliodora*) asociados con café. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 80 p.
- Montenegro, E. 2004. Efecto del aporte de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra sobre la población microbiana en sistema café con manejo orgánico y convencional. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p. (en publicación).
- Monterroso, D. 1999. Interacción bajo sistema-sombra en el sistema café. *Actas de la IV Semana Científica*. Turrialba, Costa Rica: CATIE, P 156-161.
- Mungia,R. 2003. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de hojarasca de *E. deglupta*, *C.arabica* y de hojas verdes de *E. Poeppigiana* encontró que las hojas verdes de *E. Poeppigiana* solas y en mezclas. CATIE. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica 82p.
- Muschler, R.G. 2000. Árboles en cafetales. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 5. Turrialba, C.R. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 139 P.
- Nair, R. 1993. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Mexico.543p.

- Nair, P.K.R; Buresh, R.J; Mugendi, D.N; Latt ,C.R. 1999. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. Pp 1-31. en: Buck L.E, Lassoie, J.P, Fernandez, E.C.M (Eds.). Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems. Boca Raton: CRC Press.
- Palm, C. A. 1988. Mulch quality and nitrogen dynamics in an alley cropping system in the Peruvian Amazon. Ph. D. Dissertation . Raleigh, North Carolina, North Carolina State University. 84 p.
- Palm, C.A; Sánchez, P.A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* 22: 330-338.
- Palm, 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*. 30: 105-124
- Pavan, 1983 Efeito toxico de aluminio em cafeeiros. 167 *In* Desafíos de la caficultura en Centroamérica. Ed. Por Benoit Beltrand y Bruno Rapidel. San José, Costa Rica. IICA. PROMECAFE: CIRAD: IRD: CCCR. FRANCIA. 496p.
- Payan, F. A. 2004. Effects of Eritrina poeppigiana shade trees and manipulation of pruning residues on Soil Organic Matter in organic coffee plantations. CATIE – UWB Joint PhD program. (unpublished data)
- Payan, F; Beer, J; Jones, D; Harmand, J.M; Muschler, R. 2002. Concentraciones de carbono y nitrógeno en el suelo bajo *Erythrina poeppigiana* en plantaciones orgánicas y convencionales de café. *Agroforestería en las Américas*. Vol 9 No. 35-36. P 10-15.
- Parton, W.J; Schimel, D.S; Cole, C.V; Ojima, D.S. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1173-1179.
- Paul, E.A; van Veen, J.A. 1978. The use of traces to determine the dynamic nature of organic matter. p. 65-102. *In* Trans. Int. Congr. Soil Sci., 11th, Edmonton, Alberta. Vol3. Dep. of Soil Science, Univ. of Alberta, Edmonton.
- Pinochet, D; Mendoza, J; Galvis A. 2000. Potencia de mineralización de nitrógeno de un Hapludand con distintos manejos agrícolas. *Ciencia e Investigación Agraria, Chile*. 27(2):97-106
- Primavesi, A. 1982. Manejo del suelo: La agricultura en regiones tropicales. 5 (Ed.) Sao Paulo, Brasil. Ed. Librería Nobel S.A. 499p.
- Ramírez, L.G. 1993 Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. P 121-24. *In* Westley SB and Powell M.H (eds.) *Erythrina in the New and Old Worlds*. Paiaa, Hawaii: Nitrogen Fixing Tree Association.
- Ramírez, L. G. 1997. Estudio de tres sistemas de producción de café. *In* ICAFE. Informe anual de labores 1996. Barva, Heredia, Costa Rica. ICAFE-CICAFE. p 185-187
- Ramos, R. A. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San miguel de Barranca, Puntarenas, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 81 p.
- Rao, M. R; Nair, P. K. R ; Ong, C. K. 1998. Biophysycal interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry systems* 38:3-50.

- Reynolds, B.C; Hunter, M.D. 2001. Responses of soil respiration, soil nutrients, and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. *Soil Biol Biochem* 33:1641-1652.
- Rice, R. 1991. Observaciones sobre la transición en el sector cafetalero. *Agroecología Neo-Tropical* 2:1-6.
- Rice, R. 1996. Coffee modernization and ecological changes in northern Latin America. *Tea & Coffee Trade Journal*. 168(9):104-113.
- Rice, P; McLean, J. 1999. Sustainable coffee at the crossroads. A white paper prepared for the consumers Choice Council/ [www.consumerscouncil.org](http://www.consumerscouncil.org) 193 p.
- Robertson, G.P; Herrea,R.;Rosswall,T. 1982. Nitrogen Cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean. 430p.
- Robson, A.D; Abbott, L.K. 1988 The effect of soil acidity on microbial activity in soils. *In* Desafíos de la caficultura en Centroamérica. Ed. Por Benoit Beltrand y Bruno Rapidel. San José, Costa Rica. IICA. PROMECAFE: CIRAD: IRD: CCCR. FRANCIA. 496p.
- Roos, D.; Cairns, A. 1982. Effects of earth worms and ryegrass on respiratory and enzyme activities of soil. *Soil Biology and Chemistry* 14:581-587.
- Ruiz, M. E. 1983. Avances en la investigación en sistemas agrosilvopastoriles. *In* L. Babbar (ed.). Curso corto intensivo Agroforestal, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 20p
- Russo, R. 1983. Efecto de la poda de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook, sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal café-poró. CATIE. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica. 108 p.
- Russo, R; Budowski, G. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as coffee shade tree. *Agroforestry Systems* (Holanda). 4(2):145-162.
- Salisbury, F.B; Ross, C.W., 1994. Fisiología Vegetal. 4 (Ed). Editorial Iberoamérica. México D.C. 759
- Soil Science Society of America. 1994. Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. P 1006-1008.
- Somarriba, E. 1992. Timber harvest damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. Boletín Técnico No. 16. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Sprent, J. L. 1983. Agricultural and horticultural systems: Implications in forestry. *In* J.C Gordon, C.T. Wheeler (Eds.). Biochemical Nitrogen Fixation in Forest
- Segura, A. 1994. Algunas consideraciones agrofisiológicas en relación a la poda de los cafetos. Experiencias con los cafetales con alta densidad de siembra. *In* Simposio Internacional sobre Café Adensado. Londrina, Brasil. P199-220.
- Singh, K.P. 1969. Nutrient concentration in leaf litter of ten important trees species of deciduous forest alvaranasi. *Tropical Ecology* (India), 10:83-95.

- Singh, J.S; Gupta, S.R. 1977. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The Botanical Review* 43:449-528.
- Solis, J. 1981. *Fundamentos de Edafología*. UNED: San José, Costa Rica. 220p.
- Sommers, K. 1978. Use of radioisotopes in agricultura. Report to the government of Costa Rica. International Atomic Energy Agency-TA. Report N. 1360 p.
- Smith, O.L. 1979. An analytical model of decomposition of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 11:585-606.
- Smith, J.L. 1994. Cycling of nitrogen through microbial activity. In: Hatfield J.L and Stewart BA (eds) *Soil Biology: Effects on Soil Quality*. Advances in Soil Science. CRC press, Boca Raton, FL, USA. P 91-120.
- Swift, M.J; Russell-Smith, a; Perfect, T.J. 1981. decomposition and mineral nutrient dynamics of plant litter in a regenerating bush-fallow in subhumid tropical Nigeria. *Journal of Ecology*. 69:981-995.
- Tian, G; Grussaard, L; Kang, B.T. 1995. Breakdown of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: Effects of earthworms and millipedes. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(3/4): 369-373.
- Theng, B.K.G, K.R. Tate, P. Sollins. 1986. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In *Dynamic of soil organic matter in tropical ecosystems*. Eds. D.C. Coleman, J.M. Oades, G. Uheara, Paia. Hawaii. Niftal Project, p.117-121.
- Ulrich, B; Benecke, P, Harris, W.F; Khanna, P.K; Mayer, R. 1981. Soil processes. In Reichle, D.E. Ed. *Dynamic properties of forest ecosystems*. Cambridge, Cambridge University Press. P. 265-340. (International Biological Program 23).
- Vaast , P; Harmand, J.M. 2002. Importance des systèmes agroforestiers dans la production de café en Amérique Centrale et au Mexique. *Plantations, Recherche, Developpement*. Francia. (May 2002). 35-40 p.
- Vaast, P. 1995. The effects of nitrogen sources and mycorrhizal inoculation with different species on growth and nutrient composition of young coffee seedlings. In *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. Ed. Por Benoit Beltrand y Bruno Rapidel. San José, Costa Rica. IICA. PROMECAFE: CIRAD: IRD: CCCR. FRANCIA. 496p.
- Vilas, B. 1990. Descomposición de hojarasca y mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo bajo cuatro sistemas agroforestales, en Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 152 p.
- Voroney, R.P; Van Veen, J.A; Paul, E.A. 1981. Organic C dynamics in grassland soils. 2. Model validation and simulation of the term effects of cultivations and rainfall erosion. *Canadian Journal of Soil Science*. 61:211-224.
- Wiedser, R. and Lang, G. 1982. A critique of the analytical methods used in examining descomposition data obtained from litter bags. *Ecology (EE. UU)*. 63: 1636-1642.
- Woomer, P.L; Martin, A; ALbrecht, A; Resck, D.V.S; Scharpenseel, H.W. 1994. The importance of management of soil organic matter in the tropics. In *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. Ed. Por Benoit Beltrand y Bruno Rapidel. San José, Costa Rica. IICA. PROMECAFE: CIRAD: IRD: CCCR. FRANCIA. 496p.



Young, A. 1989. Agroforestry For Soil Conservation. CAB Internacional. Internacional Council for Research in Agroforestry. United Kingdom. 276 p.

Young, A. 1999. Agroforestry for soil management. 2 ed. Wallingford,Uk. CAB International-ICRAF. 276 p.

# ANEXOS

## **Anexo 1. Formato de encuesta aplicado a productores en fincas y parcelas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Costa Rica, 2004.**

### **DINAMICA DE LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ CON *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F Cook**

Nombre del productor:

Nombre de la finca:

Ubicación:

Altitud: \_\_\_\_\_ m.s.n.m

Precipitación: \_\_\_\_\_ mm

Area: \_\_\_\_\_ Uso anterior: \_\_\_\_\_

Area del sistema agroforestal de café con poró a evaluar:

**Croquis del sistema agroforestal de café con poró y los sitios de muestreo**

Tipo de manejo del sistema agroforestal de café con poró a evaluar :  
 \_\_\_ Orgánico                    \_\_\_ Convencional

Tiempo de establecido el café:

Tiempo de establecido el tipo de manejo (orgánico ó convencional: \_\_\_\_\_ años

Historia del manejo del sistema en los últimos 4 años:

**Programa de labores desde el año 2001 al 2004.**

	<b>ARREGLO DE SOMBRA</b>	
	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
Poda de poró		
Frecuencia		
Fecha		
Distribución de residuos de poda		
Observaciones		
	<b>PODA DEL CAFE</b>	
Nº de hijuelos/planta		
Frecuencia		
Fecha		
Observaciones		

	<b>CONTROL DE MALEZAS</b>	
	<b>Manual/mecánica</b>	<b>Química</b>
Producto/herramienta		
Dosis/Estañon		
Frecuencia		
Fecha		
Observaciones		

	<b>FERTILIZACIÓN</b>	
	<b>Producto</b>	<b>Dosis</b>
2001		
2002		

2003		
2004		

	<b>CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES</b>		
	<b>Biológica</b>	<b>Química</b>	<b>Manual</b>
Producto			
Dosis/Há			
Frecuencia			
Observaciones			

<b>Año</b>	<b>PRODUCCIÓN DE CAFÉ</b>
2001	
2002	
2003	
2004	
Observaciones	

**Anexo 2. Reservas de C y N total del suelo en el año 2004 en dos sitios para un par de Fincas cafetaleras con manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

<b>Manejo</b>	<b>Sitio</b>	<b>t ha<sup>-1</sup></b>	
		<b>Carbono</b>	<b>Nitrógeno</b>
<b>Orgánico</b>	<b>A</b>	25.20 a	2.16 a
	<b>B</b>	25.66 a	2.18 a
<b>Convencional</b>	<b>A</b>	25.84 a	2.27 a
	<b>B</b>	24.04 a	2.10 a
<b>Pr &gt; F</b>		<b>0.0967 ns</b>	<b>0.1016 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns= No significativo

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

**Anexo 3. Incrementos de C y N total y la relación C/N del suelo durante cuatro años en tres profundidades y dos sitios para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

Manejo	Sitio	Profundidad (cm)	C Total (%)	N Total (%)	Rel. C/N
Convencional	A	0-5	0.50	0.10	-1.39
		5-10	0.58	0.06	-0.17
		10-20	1.11	0.12	-1.00
	B	0-5	1.72	0.22	-2.36
		5-10	1.09	0.12	-1.17
		10-20	0.73	0.08	-0.70
Orgánico	A	0-5	0.16	0.09	-1.81
		5-10	0.61	0.08	-0.98
		10-20	0.54	0.07	-1.06
	B	0-5	0.40	0.11	-2.26
		5-10	0.41	0.07	-0.82
		10-20	0.62	0.07	-0.82

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

**Anexo 4. Incrementos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo durante cuatro años para un par de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Provincia de Cartago. 2004.**

Manejo de la Finca	C Total (%)	N Total (%)	Relación C/N
Orgánico	0.46	0.08	-1.29
Convencional	0.96	0.12	-1.13

**Anexo 5. Contenidos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2000 en dos sitios para cuatro fincas bajo manejo orgánico en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.**

Manejo	Sitio	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
Orgánico	A	4.77 a	0.39 a	12.14 a
	B	4.87 a	0.39 a	12.36 a
Pr > F		<b>0.8409 ns</b>	<b>0.9943 ns</b>	<b>0.7229 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns= No significativo

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

**Anexo 6. Contenidos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2000 en dos sitios para cuatro fincas bajo manejo convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.**

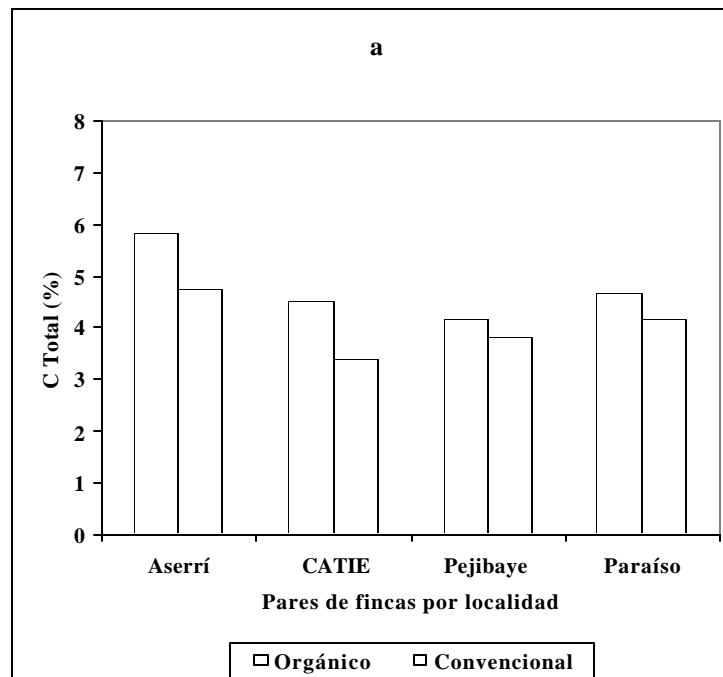
Manejo	Sitio	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
Convencional	A	4.55 a	0.39 a	11.75 a
	B	3.55 b	0.30 b	12.03 a
Pr > F		<b>0.0181 *</b>	<b>0.0026 **</b>	<b>0.6690 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan  
 \*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns= No significativo

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

**Anexo 7. Concentraciones promedio de C y N en el suelo en el año 2000, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004**



Fuente: Payan *et al.*, 2002

**Anexo 8. ANDEVA para C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2004 en dos sitios y en la profundidad 0-5 cm para cuatro pares de fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.**

Manejo	Sitio	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
Orgánico	A	6.13 a	0.54 a	11.27 a
	B	5.75 a	0.50 a	11.36 a
Convencional	A	5.55 a	0.48 a	11.49 a
	B	5.37 a	0.46 a	11.61 a
<b>Pr &gt; F</b>		<b>0.7957 ns</b>	<b>0.3496 ns</b>	<b>0.9763 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

A= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un café a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

**Anexo 9. ANDEVA para C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2004 en dos sitios y en la profundidad 5-10 cm para cuatro pares de fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.**

Manejo	Sitio	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
--------	-------	-------------	---------------	--------------

<b>Orgánico</b>	<b>A</b>	4.98 a	0.44 a	11.40 a
	<b>B</b>	4.74 a	0.41 a	11.57 a
<b>Convencional</b>	<b>A</b>	4.40 a	0.38 a	11.70 a
	<b>B</b>	4.04 a	0.34 a	11.80 a
<b>Pr &gt; F</b>		<b>0.6014 ns</b>	<b>0.0938 ns</b>	<b>0.9829 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

#### Anexo 10. Contenidos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2004 en dos sitios para cuatro fincas bajo manejo orgánico en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.

Manejo	Sitio	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
<b>Orgánico</b>	<b>A</b>	5.56 a	0.54 a	10.21 a
	<b>B</b>	5.25 a	0.50 a	10.35 a
<b>Pr &gt; F</b>		<b>0.5967 ns</b>	<b>0.0605 ns</b>	<b>0.8755 ns</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

#### Anexo 11. Contenidos promedio de C y N total y la relación C/N del suelo en el año 2004 en dos sitios para cuatro fincas bajo manejo convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.

Manejo	Sitio	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
<b>Convencional</b>	<b>A</b>	4.97 a	0.48 a	10.30 a
	<b>B</b>	4.71 a	0.46 a	10.17 a
<b>Pr &gt; F</b>		<b>0.6615 ns</b>	<b>0.5515 ns</b>	<b>0.8815 ns</b>

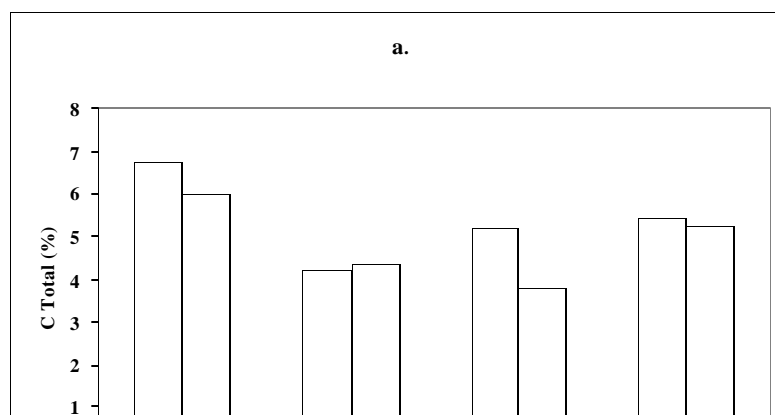
Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si ( $p < 0.05$ ), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo ( $P < 0.01$ ) \* = Significativo ( $P < 0.05$ ) ns = No significativo

A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*

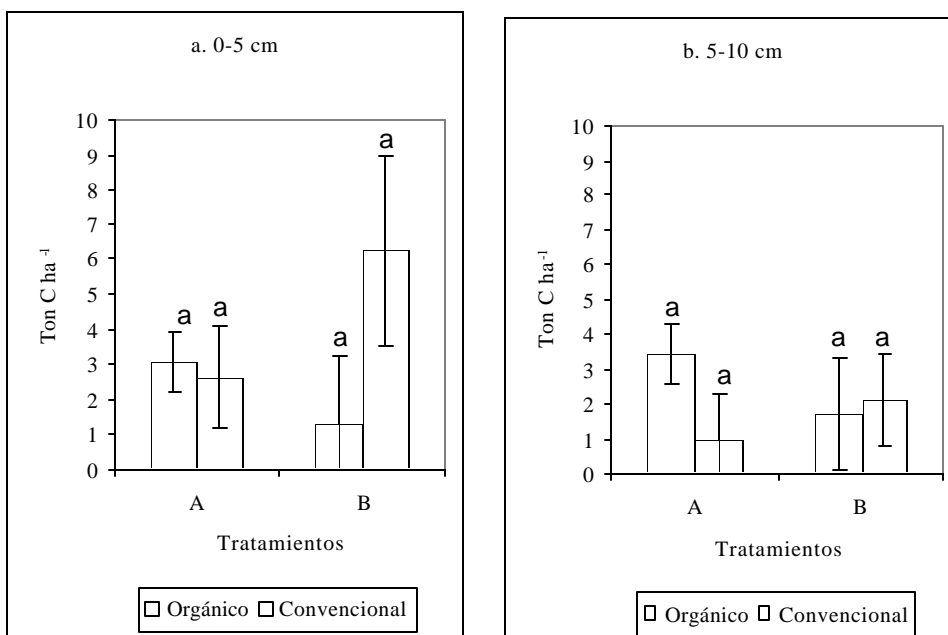
B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

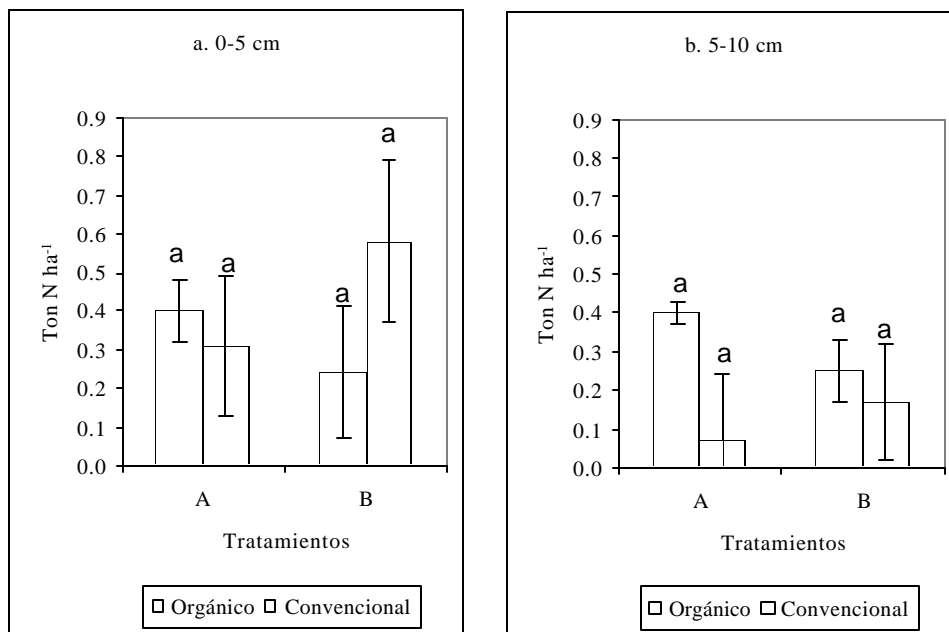
#### Anexo 12. Concentraciones promedio de C y N en el suelo en el año 2004, para cuatro pares de fincas cafetaleras bajo manejo orgánico y convencional en cuatro localidades de Costa Rica. 2004





**Anexo 13. Incrementos en las reservas de C y N total del suelo durante un periodo de cuatro años, en dos sitios y en las profundidades 0-5 y 5-10 cm para cuatro pares de fincas bajo manejo orgánico y convencional en las localidades de Aserrí, CATIE, Paraíso y Pejibaye, Costa Rica. 2004.**





A= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a menos de 1 m de *E. poeppigiana*  
 B= debajo de un cafeto a 40 cm de su tallo y a más de 2 m de *E. poeppigiana*

**Anexo 14. Comparación de medias usando contrastes ortogonales para los contenidos de C y N total y de la relación C/N para muestras de suelo (0-10 cm) tomadas en el año 2001 en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago-Costa Rica, 2004.**

**a. Contrastes ortogonales por sitios**

Contrastes	C Total (%) Pr > F	N Total (%) Pr > F	C/N Pr > F
<b>Mc (ABC) Vs Mo (ABC)</b>	0.0183 *	0.0877 ns	0.0789 ns
<b>Mc A Vs Mc (BC)</b>	0.0663 ns	0.0877 ns	0.3860 ns
<b>Mc B Vs Mc C</b>	0.5582 ns	0.6621 ns	0.1199 ns
<b>Mo A Vs Mo (BC)</b>	0.4686 ns	0.4512 ns	0.8832 ns
<b>Mo B Vs Mo C</b>	0.0081 **	0.0684 ns	0.0641 ns
<b>Ps D Vs Mo (ABC) + Mc (ABC)</b>	0.0508 ns	0.1150 ns	0.2353 ns

\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).  
 Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).  
 Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).  
 Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).  
 Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).  
 Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).  
 Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

## b. Contrastes ortogonales por tratamiento

Contrastes	C Total (%) Pr > F	N Total (%) Pr > F	C/N Pr > F
Mo Vs (Mc + Ps)	0.0314 *	0.0799 ns	0.0603 ns
Mc Vs Ps	0.3557 ns	0.3917 ns	0.5713 ns

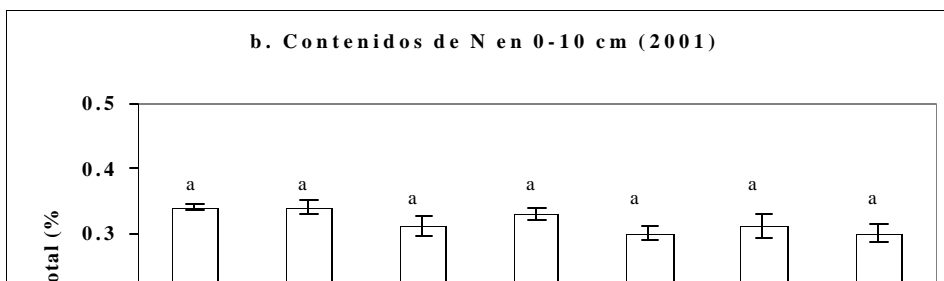
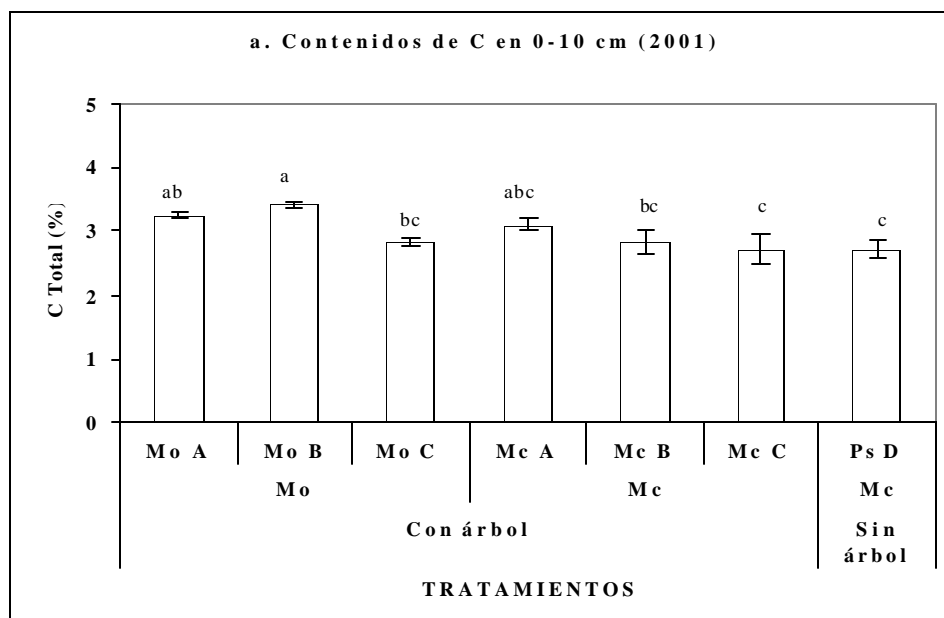
\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

Mo= Café con Poró bajo manejo medio orgánico.

Mc= Café con Poró bajo manejo medio convencional.

Ps = Café a pleno sol bajo manejo medio convencional.

### Anexo 15. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2001, en parcelas del ensayo SAF con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.



Las barras representan los valores promedios y las líneas verticales el error estándar.

Mo= Manejo Medio Orgánico.

Mc= Manejo Medio Convencional.

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

**Anexo 16. Comparación de medias usando contrastes ortogonales para los contenidos de C y N total y de la relación C/N para muestras de suelo tomadas en el año 2004 en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.**

#### a. Contrastes ortogonales por sitios

Contrastes	C Total (%) Pr > F	N Total (%) Pr > F	C/N Pr > F
<b>Mc (ABC) Vs Mo (ABC)</b>	0.0001**	0.0001**	0.0125 *
<b>Mc A Vs Mc (BC)</b>	0.3142 ns	0.3101 ns	0.4443 ns
<b>Mc B Vs Mc C</b>	0.1962 ns	0.1334 ns	0.6219 ns
<b>Mo A Vs Mo (BC)</b>	0.2123 ns	0.3101 ns	0.2236 ns
<b>Mo B Vs Mo C</b>	0.2798 ns	0.2007 ns	0.8084 ns
<b>Ps D Vs Mo (ABC) + Mc (ABC)</b>	0.1858 ns	0.1501 ns	0.5605 ns

\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

## b. Contrastes ortogonales por tratamiento

Contrastes	C Total (%) Pr > F	N Total (%) Pr > F	C/N Pr > F
Mo Vs (Mc + Ps)	0.0082 **	0.0055 **	0.0615 ns
Mc Vs Ps	0.7393 ns	0.7819 ns	0.66893 ns

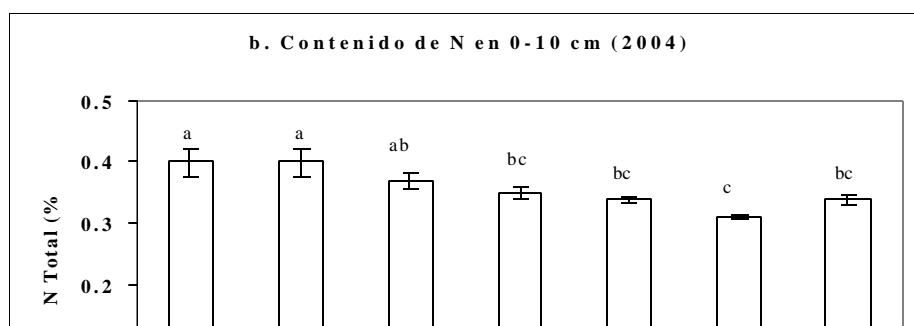
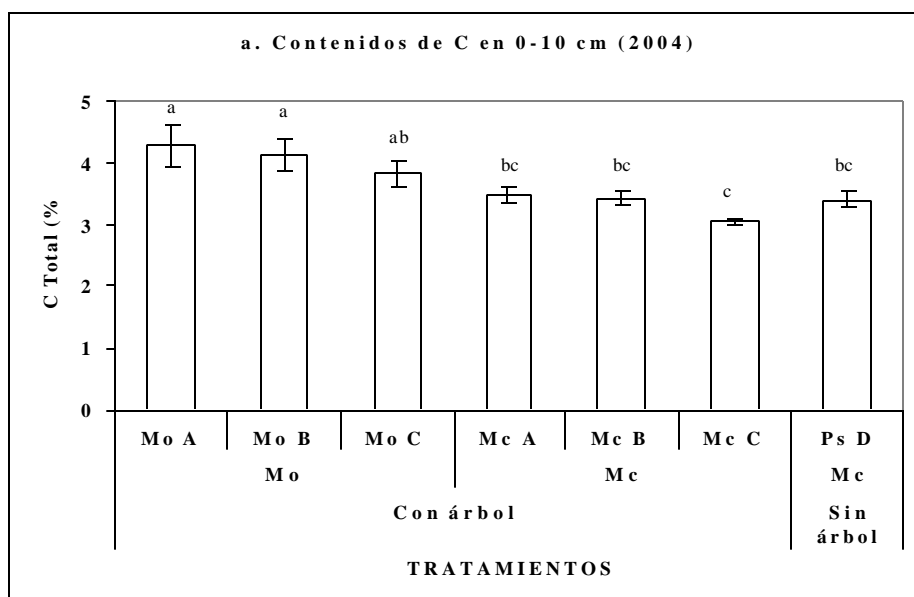
\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

Mo= Café con Poró bajo manejo medio orgánico.

Mc= Café con Poró bajo manejo medio convencional.

Ps = Café a pleno sol bajo manejo medio convencional.

### Anexo 17. Contenidos de C y N en muestras de suelo tomadas en el año 2004, en parcelas del ensayo SAF con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004



Las barras representan los valores promedios y las líneas verticales el error estándar

Mo= Manejo Medio Orgánico.

Mc= Manejo Medio Convencional.

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

**Anexo 18. Densidad Aparente (DA) del suelo en tres parcelas del ensayo de SAF con café del CATIE, Costa Rica, 2004.**

Manejo	Sitio	Densidad Aparente (g cm <sup>-3</sup> )	
		0-5 cm	5-10 cm
Mo	A	0.98	1.00
	B	1.03	1.10
	C	1.00	1.12
Mc	A	0.97	1.04
	B	0.93	1.04
	C	1.06	1.08
Ps	D	1.08	1.09

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

**Anexo 19. Comparación de los incrementos en los contenidos de C total, N total y de la relación C/N usando contrastes ortogonales para las muestras de suelo tomadas en el año 2001 y 2004, en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.**

**a. Contrastes ortogonales por sitios**

<b>Contrastes</b>	<b>C Total (%) Pr &gt; F</b>	<b>N Total (%) Pr &gt; F</b>	<b>C/N Pr &gt; F</b>
<b>Mc (ABC) Vs Mo (ABC)</b>	0.0295 *	0.0056 **	0.9840 ns
<b>Mc A Vs Mc (BC)</b>	0.7761 ns	0.7033 ns	0.8084 ns
<b>Mc B Vs Mc C</b>	0.4602 ns	0.0890 ns	0.3788 ns
<b>Mo A Vs Mo (BC)</b>	0.5368 ns	0.7033 ns	0.6248 ns
<b>Mo B Vs Mo C</b>	0.4301 ns	0.8257 ns	0.2173 ns
<b>Ps D Vs Mo (ABC) + Mc (ABC)</b>	0.9296 ns	0.8854 ns	0.5681 ns

\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

## b. Contrastes ortogonales por tratamiento

Contrastes	C Total (%) Pr > F	N Total (%) Pr > F	C/N Pr > F
Mo Vs (Mc + Ps)	0.0082 **	0.0055 **	0.0615 ns
Mc Vs Ps	0.7393 ns	0.7819 ns	0.66893 ns

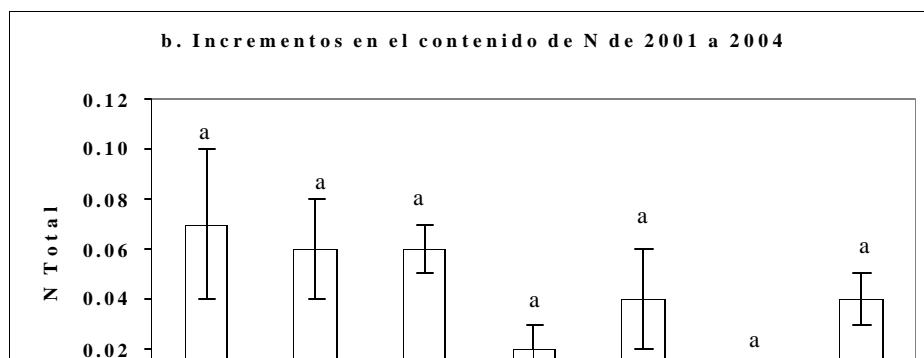
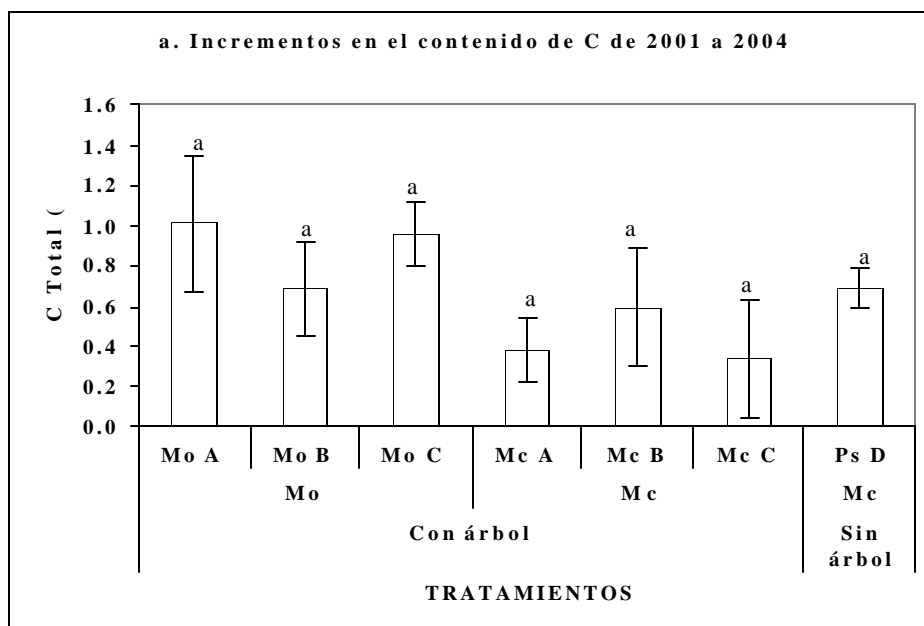
\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

Mo= Café con Poró bajo manejo medio orgánico.

Mc= Café con Poró bajo manejo medio convencional.

Ps = Café a pleno sol bajo manejo medio convencional.

## Anexo 20. Incrementos en los contenidos de C y N total en parcelas del ensayo SAF con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago-Costa Rica. 2004





Las barras representan los valores promedios y las líneas verticales el error estándar

Mo= Manejo Medio Orgánico.

Mc= Manejo Medio Convencional.

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

**Anexo 21. Incremento en las reservas de C y N total en parcelas del ensayo SAF con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago-Costa Rica. 2004**

Manejo	Sitio	t/há	
		C total	N total
Mo	A	4.95	0.34
	B	3.55	0.31
	C	4.8	0.30
Mc	A	1.84	0.01
	B	2.74	0.19
	C	1.08	0.02
Ps	D	3.73	0.22
<b>Pr &gt; F</b>		<b>0.3485 ns</b>	<b>0.0860 ns</b>

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

**Anexo 22. Comparación de los contenidos de C total, N total y de la relación C/N usando contrastes ortogonales para la fracción de la macromateria orgánica 53 µm a 2000 µm, en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.**

**a. Contrastes ortogonales por sitios**

<b>Contrastes</b>	<b>C Total (%) Pr &gt; F</b>	<b>N Total (%) Pr &gt; F</b>	<b>C/N Pr &gt; F</b>
<b>Mc (ABC) Vs Mo (ABC)</b>	0.0019 **	0.0034 **	0.8928 ns
<b>Mc A Vs Mc (BC)</b>	0.3034 ns	0.3423 ns	0.2756 ns
<b>Mc B Vs Mc C</b>	0.7535 ns	1.0000 ns	0.0251 *
<b>Mo A Vs Mo (BC)</b>	0.1809 ns	0.2567 ns	0.0731 ns
<b>Mo B Vs Mo C</b>	0.5799 ns	0.5082 ns	0.5106 ns
<b>Ps D Vs Mo (ABC) + Mc (ABC)</b>	0.5620 ns	0.8561 ns	0.0058 **

\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

## b. Contrastes ortogonales por tratamiento

Contrastes	C Total (%) Pr > F	N Total (%) Pr > F	C/N Pr > F
Mo Vs (Mc + Ps)	0.0492 *	0.0903 ns	0.1387 ns
Mc Vs Ps	0.5379 ns	0.3963 ns	0.0272 *

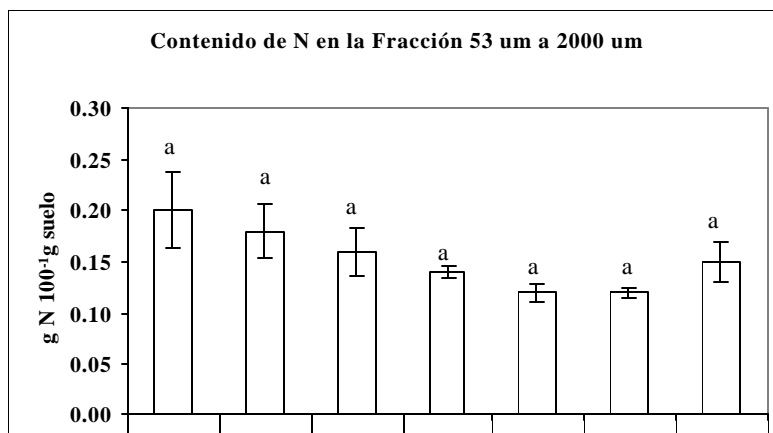
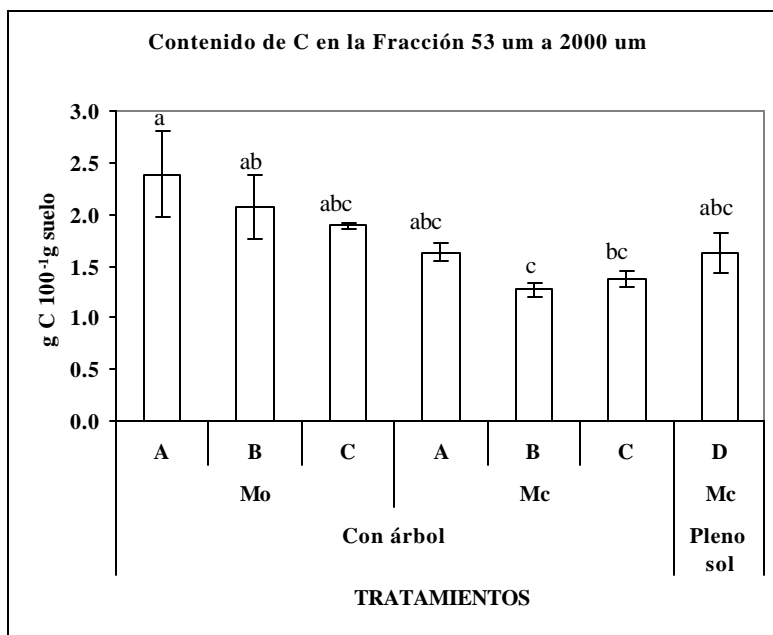
\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo

Mo= Café con Poró bajo manejo medio orgánico.

Mc= Café con Poró bajo manejo medio convencional.

Ps = Café a pleno sol bajo manejo medio convencional.

**Anexo 23. Contenidos de C y N en la macromateria orgánica del suelo (53  $\mu$ m a 2000  $\mu$ m), en parcelas del ensayo de Sistemas Agroforestales con café del CATIE bajo manejo medio orgánico y medio convencional en Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.**



Las barras representan los valores promedios y las líneas verticales el error estándar

Mo= Manejo Medio Orgánico.

Mc= Manejo Medio Convencional.

Mo A= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo B= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mo C= Café con Poró bajo Mo con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc A= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio A (A= a 1 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc B= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio B (B= a 2 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Mc C= Café con Poró bajo Mc con muestreo en el sitio C (C= a 3 m en promedio de *E. poeppigiana*).

Ps D= Café a pleno sol bajo Mc con muestreo en el sitio D (D= a 0.7 m en promedio de *C. Arabica*).

**Anexo 24. N mineral del suelo de tres tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE durante 5 semanas de incubación. Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica, 2004.**

Tratamientos	Semanas		
	0	1	5
	mg N kg <sup>-1</sup> suelo		
<b>Mo</b> <b>Medio orgánico</b>	15.41 a	43.03 a	59.80 a
<b>Mc</b> <b>Medio convencional</b>	13.3 b	32.21 a	56.49 a
<b>Ps</b> <b>Pleno sol</b>	1.85 c	8.25 b	22.63 b
<b>Pr &gt; F</b>	<b>&lt; 0.0001**</b>	<b>0.0056 **</b>	<b>&lt; 0.0001**</b>

Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre si (p<0.05), según la prueba de Duncan

\*\* = Altamente significativo (P<0.0001) \* = Significativo (P<0.05) ns= No significativo