

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL**



**"Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"**

**TRABAJO DE DIPLOMA**

**Estudio de la fertilidad y la dinámica del Carbono en el suelo bajo  
diferentes manejos agronómicos en un cafetal de cuatro años de plantado en  
el pacífico de Nicaragua.**

**Autores:**

**Br. Silvio Ramón Morraz Gutiérrez**

**Br. Noe Isidro Herrera Muñoz**

**Asesores:**

**Ing. Rodolfo Munguía Hernández. M. Sc.**

**Dr. Jeremy Philip Haggar**

**Ing. Alejandro Ponce**

**Managua, Nicaragua.**

**2006**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL**



**"Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"**

**TRABAJO DE DIPLOMA**

**Estudio de la fertilidad y la dinámica del Carbono en el suelo bajo  
diferentes manejos agronómicos en un cafetal de cuatro años de plantado en  
el pacífico de Nicaragua.**

**Autores:**

**Br. Silvio Ramón Morraz Gutiérrez**

**Br. Noe Isidro Herrera Muñoz**

**Asesores:**

**Ing. Rodolfo Munguía Hernández. M. Sc.**

**Dr. Jeremy Philip Haggar**

**Ing. Alejandro Ponce**

**Presentado a la consideración del honorable tribunal examinador como requisito final  
para optar al grado de Ingeniero Agrónomo Generalista**

**Managua, Nicaragua.**

**2006**

## DEDICATORIA

Este esfuerzo se lo dedico a **Dios**, por ser la fuente de todo conocimiento científico y espiritual.

A mi **Madre**: Nora Concepción Gutiérrez Guido, por ser la persona mas importante de mi vida, la que siempre me brindó su apoyo, comprensión y amor, quien siempre confió en mi y en mis capacidades, que con su aliento y consejos supo guiarme en mi camino y formarme como todo un hombre responsable y respetuoso.

A mi **hermanita** Jessica de los Ángeles Reyes Gutiérrez, que siempre me brindó su amor incondicional y apoyo emocional, en creer en mí que podía lograr este sueño.

A mi pequeño **hijo**: Silvio de Jesús Morraz Valle, por llenar un vacío como persona y en ayudarme mucho a crecer como Padre.

A mi **Novia** Lidia Maria Incer Calero, quien me brindó su mano amiga en todo momento.

A mi **abuelita** Josephana Gutiérrez Guido y mi **abuelo** Julio Cesar Barrera, por estar conmigo en todo tiempo y en apoyarme para seguir adelante en la vida.

A toda mi **familia** entera, en especial a mi **Tío** Julio Cesar Barrera Gutiérrez y mi **Tía** Gladis Barrera Gutiérrez, por creer en mí y darme todo su apoyo para culminar mi carrera.

**Br. Silvio Ramon Morraz Gutiérrez**

## DEDICATORIA

A **Dios** por darme el entendimiento, la sabiduría y la fuerza para culminar una de las metas principales de mi vida y por estar siempre a mi lado en todo momento.

A mi adorada **Madre** Adela Petronila Muñoz, por sus constantes oraciones y sabios consejos que me han ayudado en el transcurso de mi vida, por brindarme todo su amor, comprensión y cariño, por inculcarme principios morales y espirituales y conducirme por el camino de la verdad (DIOS). Gracias Mamá...

A mi **Padre** Isidro Antonio Herrera Zelaya por su apoyo incondicional en todas las circunstancias de mi vida, por sus sabios y valiosos consejos para ser un hombre de bien y por sus oraciones en todo momento.

A mis **Hermanas** Esther, Marina, Juanita y Martha Herrera Muñoz por sus oraciones y apoyo moral y económico.

A todos mis **Sobrinos** por formar parte importante en mi vida, que le sirva de ejemplo de superación.

A mi **Tía** Trinidad Muñoz por brindarme su apoyo en todo momento

A toda mi **Familia** por darme animo y apoyo en el transcurso de la carrera

*Todo lo puedo en cristo que me fortalece (Filipenses 4:13)*

**Br. Noe Isidro Herrera Muñoz**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos de manera muy especial al Dios Todopoderoso, por estar siempre presente en nuestras vidas, por su iluminación divina y sabiduría; la cual nos permitió culminar nuestra carrera profesional con gran éxito.

A nuestra alma mater Universidad Nacional Agraria (UNA) y en particular a la Facultad de Agronomía (FAGRO) por haber contribuido a la formación de buenos y excelentes profesionales con la habilidad y capacidad de desempeño en el ámbito laboral.

Al Departamento Servicios Estudiantiles, en especial a la Directora Lic. Idalia Casco, por su apoyo incondicional y desinteresado en habernos otorgado la beca interna durante los cinco años de nuestra carrera.

A nuestros asesores: Ph D. Jeremy P. Haggart, Ing. Alejandro Ponce y en forma muy especial al Ing. MSc Rodolfo de Jesús Munguía Hernández, por su apoyo incondicional en la realización de nuestro trabajo de tesis, haciendo hincapié a su tremenda paciencia y dedicación mostrada en las correcciones de dicho trabajo.

Al proyecto de UNA-MARYLAND/CATIE y al comité de manejo del ensayo de sistemas formado por CATIE-MIP-AF/UNICAFE/INTA y UNA por darnos la oportunidad de llevar a cabo la realización de esta investigación científica.

Al Director del programa de Ph D., Dr. Víctor Aguilar Bustamante y al centro de cómputo del Centro de Investigación de Documentación Agropecuaria (CENIDA), por facilitarnos el equipo necesario para la elaboración del escrito.

A todo el personal del CENIDA por facilitarnos de la documentación requerida en la estructuración del documento final, en particular a la Lic. Ruth Velia Gómez Centeno.

A todo el personal que labora en el comedor de la Universidad Nacional Agraria.

A nuestro amigo y compañero José Andrés Altamirano Tinoco, por su colaboración en la fase de campo y Esteban Fernando Paiz Cano por su amistad incondicional.

A Elvin y Ledis Navarrete, “Los cheles”, quienes nos brindaron su valiosa colaboración durante la realización de la fase de campo de dicha investigación.

## INDICE GENERAL

Sección	Página
DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	4
<b>II. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>5</b>
2.1. Ubicación del ensayo	5
2.2. Diseño Experimental y tratamientos a evaluar	5
2.3. Obtención de las muestras y datos	9
2.4. Análisis químico de las muestras en Laboratorio	10
2.5. Análisis estadístico de las variables evaluadas	11
2.6. Manejo agronómico (malezas y plagas)	12
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>14</b>
3.1. Comportamiento del Carbono total de las fracciones de la Materia Orgánica del suelo, y fase mineral en un sistema con café	14

	<b>Sección</b>	<b>Página</b>
3.1.1.	Contenido de Carbono total (%) en un suelo Andosols	17
3.1.2.	Contenido de Carbono lento y pasivo del fraccionamiento de la MOS	21
3.1.3.	Cantidad relativa de Carbono total presente en el fraccionamiento del suelo (MOS y mineral)	24
3.2.	Contenido de C microbial presente en el suelo	26
3.3.	Acidez del suelo (pH en agua)	30
3.4.	Fertilidad del suelo	33
3.4.1.	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	34
3.4.2.	Concentración del nitrógeno (N) total en el suelo	36
3.4.3.	Concentración de fósforo (P) disponible en el suelo	39
3.4.4.	Concentración de potasio (K) disponible en el suelo	43
3.4.5.	Concentración de magnesio (Mg) disponible en el suelo	46
3.4.6.	Concentración de calcio (Ca) disponible en el suelo	50
3.4.7.	Concentración de sodio (Na) en el suelo	54
3.4.8.	Relaciones de los minerales cambiables (Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K) del suelo	57
<b>IV</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>
<b>V</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>63</b>
<b>VI</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>64</b>
<b>VII</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>75</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°</b>		<b>Página</b>
1	Descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo de sistemas en café.	5
2	Tratamientos de sombra temporal y permanente, niveles de insumo y el área experimental del ensayo de sistemas.	6
3	Descripción de las características de cada una de la sombra que están en estudio.	6
4	Metodología en la determinación de las variables en los años 2001 y 2004	7
5	Manejo de la fertilización en el ensayo de sistemas agroforestales con café.	8
6	Aspectos técnicos en el manejo de las enfermedades presentes en el ensayo de sistemas agroforestales con café.	8
7	Aspectos técnicos de manejo de malezas en el ensayo de sistemas agroforestales con café.	12
8	Aspectos técnicos del manejo de insectos plagas (minador y broca) que afectan al cultivo de café en el ensayo de sistemas agroforestales.	13
9	Efecto del manejo de sombra y niveles de insumos en la concentración del Carbono total (%) presente en el suelo en sistemas agroforestales con café.	18
10	Concentración (%) de Carbono Orgánico total, bajo distinto sitios de muestreo a dos profundidades en calle e hilera en un sistema de producción de café 2004.	21
11	Efecto de manejo de sombra y nivel de insumo en el contenido de Carbono (%) de la fracción lenta y pasiva del suelo a dos profundidades (cm) en 2001.	24
12	Efecto del manejo de sombra y niveles de insumo sobre Carbono total (%) en 2001 de las fracciones lenta y pasiva del suelo a dos profundidades (cm) en sistemas agroforestales con café.	25
13	Efecto de manejo de sombra y nivel de insumo en el contenido de carbono microbiano (%) a dos profundidades (cm) de muestreo.	27
14	Efecto del sitio de muestreo (calle e hilera), en las concentraciones de Carbono microbiano (%) de la materia orgánica del suelo (MOS); a dos profundidades (cm) en sistemas de café 2004.	29

<b>Tabla N°</b>	<b>Página</b>
15 Valores de acidez del suelo (pH en H <sub>2</sub> O) del 2001 y 2004 bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumos en un sistema de producción de café.	32
16 Comportamiento de la acidez del suelo (pH en agua) en 2004 en sitios de muestreos en calle e hilera, en sistemas agroforestales con café.	32
17 Valores de la CIC (meq / 100 g de suelo) del bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumos en sistemas agroforestales de café.	35
18 Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (meq CIC / 100g de suelo) 2004 en función de sitios de muestreos (calle e hilera) en sistemas agroforestales con café.	36
19 Nitrógeno total (%), bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumos en un sistema de producción con café.	38
20 Concentraciones de nitrógeno total (%) 2004 en calle e hilera en sistemas agroforestales con café.	39
21 Concentración de Fósforo (P) disponible (ppm) en 2001 - 2004 bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumos a dos profundidades.	41
22 Concentración de P (ppm) 2004, en calle e hilera bajo un sistema de café a dos profundidades.	42
23 Concentración del Potasio (K) disponible (meq/100g de suelo) del 2001 - 2004 bajo diferentes especies de sombra niveles de insumos en sistemas agroforestales con café.	45
24 Concentración de Potasio (K) disponible (meq/100g de suelo) en 2004 en distintos sitios de muestreos en un sistema de producción con café	46
25 Concentración de Magnesio (Mg) disponible (meq/100g de suelo) en 2001 - 2004 bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumos en sistemas agroforestales con café.	48
26 Concentración de Magnesio (Mg) disponible (meq/100g de suelo) en 2004 en calle e hilera en un sistema agroforestal con café.	50

<b>Tabla N°</b>		<b>Página</b>
27	Concentración de Calcio (Ca) disponible (meq/100g de suelo) en 2001 - 2004 bajo diferentes especies de sombra niveles de insumo en sistemas agroforestales con café.	53
28	Valores de Calcio Ca disponible (meq / 100g de suelo) 2004 en calle e hilera en un sistema de producción con café.	53
29	Valores de Sodio (Na) disponible (meq/100g de suelo) en 2004 bajo diferentes sombras y niveles de insumos en un sistema de café.	55
30	Comportamiento del Sodio disponible (meq Na / 100 g de suelo) en 2004 en calle e hilera en un sistema de café.	56
31	Concentraciones de las relaciones Ca/K; Mg/K y Ca+Mg/K bajo diferentes sombras y niveles de insumos en un sistema de café 2004.	58
32	Comportamiento de las concentraciones de las relaciones de Ca/K; Mg/K y Ca+Mg/K bajo los distintos sitio de muestreos calle e hilera en sistemas agroforestales en café 2004.	60

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°		Página
1.	Descripción del proceso de extracción de submuestras por tratamiento de suelo en el 2001.	9
2.	Descripción del proceso de la extracción de submuestras por tratamiento de suelo en el 2004.	10
3.	Modelo de Theng <i>et al</i> 1986.	15
4.	Modelo de Parton <i>et al</i> 1987-89.	16

## INDICE DE ANEXOS

Anexo N°	Página
1. Especies de sombra temporal y permanente en el ensayo de sistemas.	76
2. Población de plantas y manejo de tejidos en árboles y cafetos.	76
3. Guía para la interpretación de análisis de suelos del ministerio de agricultura y ganadería (MAG 1982) Relaciones entre cationes.	76
4. Guía de interpretación de análisis de suelo utilizado por el CATIE.	76
5. Promedio de la CIC en función de la textura del suelo.	77
6. Comportamiento pluviométrico del ensayo en sistemas agroforestales con café en Masatepe, Nicaragua.	77
7. Aportes de nutrientes (Ca y Mg) en (%) del insumo Orgánico Intensivo (MO) aplicados al suelo en el ensayo de sistemas agroforestales en café de 3 años Masatepe, Nicaragua.	77
8. Aportes de abono en el tratamiento Orgánico Intensivo (MO) y concentración de nutrientes (%) aplicados al suelo en el ensayo de sistemas en café, Masatepe, Nicaragua.	78
9. Aportes de Nutrientes de cada nivel de insumo aplicado en el estudio de sistemas agroforestales en café del 2000 al 2004 en Masatepe, Nicaragua.	78
10. Concentraciones de Hierro (Fe) mg / kg en 2001 presente en el suelo; en función del tipo de sombra y niveles de insumos en sistemas agroforestales con café.	78
11. Guía de interpretación de análisis de suelo utilizada por el MAG.	79

## RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio en 2004, en el centro Jardín Botánico de UNICAFE (11°54' N y 98°09' W) y en el Centro Experimental de Campos Azules del INTA (11°53'59" N y 83°08'59" W), Masaya, Nicaragua. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 2 repeticiones en Jardín Botánico y una en CECA, evaluándose la fertilidad y dinámica del Carbono en el suelo bajo diferentes manejos agronómicos en un cafetal de cuatro años de plantado. Los tratamientos consistieron en un factor A denominado tipos de sombra y nivel de insumo, siendo: Sombra de leguminosas (*Inga laurina* + *Samanea saman*) + Orgánico intensivo (MO) y Convencional extensivo (MC), Sombra mixta (*Inga laurina*, *Simaruba glauca*) + MO y MC, Sombra no leguminosa (*Simaruba glauca*, *Tabebuia rosea*) + MO y MC y a pleno sol + MC; y el factor B, definido como Sitio de muestreo de suelo con niveles de Calle e Hilera. El muestreo de suelo fue a las profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Se obtuvo una muestra compuesta de 6 submuestras de igual número de puntos distribuidos en la parcela útil, tomando árboles de ambas especies de sombra. La extracción de las submuestras se hizo en un área de un marco de 0.25 m<sup>2</sup>, realizando 3 perforaciones en forma diagonal; las submuestras se homogenizaron y se extrajo la muestra compuesta de 0.5 kg, este procedimiento se realizó en ambos años 2001 y 2004 con la variante que en este último año no se definió el segundo factor B (sitio de muestreo). A cada una de las muestras compuestas se les determinó: El carbono lento, pasivo y total para el año 2001, las variables de nitrógeno total (%), P, K, Ca, Mg y CIC (meq / 100 g de suelo) y pH en H<sub>2</sub>O para ambos años (2001 y 2004). Con respecto a las variables Carbono total (%), la biomasa microbiana (% del C), Na (meq / 100 g de suelo) y las relaciones básicas (Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K) se determinaron solamente en el año 2004. Estas se sometieron a un análisis estadístico de varianza (ANDEVA) con una probabilidad  $\alpha = 0.05$  de error, y al comparador de medias Diferencia Mínima Significativa. Los resultados obtenidos indican diferencias estadísticas (P=0.0003) en el pH del suelo a la profundidad de 0–10 cm en 2004, bajo los tratamientos con sombra leguminosa, no leguminosa y mixta con el nivel de insumo MO; manifestando valores mas altos en relación a los MC. Así mismo las variables P, K y el Ca disponibles, reflejaron diferencias estadísticas con valores mayores en el año 2004; bajo las sombra leguminosa, no leguminosa y mixta + MO, en ambas profundidades superando a los MC. Mientras que para las relaciones básicas del suelo Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K fueron mas altas bajos los tratamientos MC, principalmente en la combinación de sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*). Las relaciones Mg/K y Ca+Mg/K manifestaron los valores mas altos bajo el sitio de hilera en la profundidad de 10 a 20 cm. La CIC y el Na disponible, manifestaron un comportamiento diferente con respecto al sitio de muestreo a la profundidad de 0 a 10cm, al reflejar el valor mas alto de CIC en la calle con 40.2 meq que en la hilera del cafeto; mientras que el Na y el P disponible reflejaron las concentraciones mas altas en el sitio de hilera con valores de 0.57 y 48.0 meq respectivamente. En cuanto a la variable de C lento y pasivo (%) del suelo mantuvieron concentraciones altas bajo todos los tratamientos evaluados en ambas profundidades, la misma tendencia se vio reflejada para la variable de porcentaje relativo de C total de la fracción lenta y pasiva del suelo; con respecto al C total del suelo (2001 y 2004) manifestó una disminución de éste; pero no significativa de su concentración en todos los tratamientos para el año 2004; sin embargo solamente la variable C-microbiano manifestó diferencias estadísticas en la profundidad de 0 - 10 cm reflejando contenidos altos; bajo las sombra mixta y leguminosa con el nivel de insumo MO.

## ABSTRACT

The study was made in 2004 over two place, one UNICAFE's Botanical Garden (11 54 N and 98 09 W) and in the INTA's experimental centre "Campos Azules" (11 53 N and 83 08 59 W) both located on the south pacific of Nicaragua in Masatepe, Masaya. It was a fertility and dynamic study of carbon in the soil under different agronomic managements on coffee plants of four years after sown. It was used a randomized complete blocks design, with 2 blocks in Botanical Garden and 1 block in ECCA. The treatments are factor A designate type of shadow and fertilizing level: pod vegetable shadow (*Inga laurina* + *Samanea saman*) + intensive organic (OM) and conventional extensive (CM), mixed shadow (*Inga laurina*, *Simaruba glauca*) + OM y CM and no shadow + CM; The factor B was defined as sample sites of soil with furrow and row. The soil samples were taken from 0 to 10cm and from 10 to 20cm of depth. It was obtained a sample composed by 6 small samples having the same number of point in the useful plot and taking tree of both shadow species. The small samples area were of 0.25 m<sup>2</sup>, making the three holes in diagonal shape; the small samples were homogenized and was taken the composed sample of 0.5 kg, this procedure was made in both years 2004 and 2001, however, in this last one was not defined the Factor B (sample site). Each composed samples were determined: slow, passive and total carbon (%) for 2001, total nitrogen, P, K, Ca, Mg and CIC meq /100g of soil), and water PH variables in both years (2001 and 2004). Regarding total carbon (%), microbiological biomass (% of C), Na (meq/100g of soil) and the basic relations (Ca/K, Mg/k and Ca + Mg/K) were only determined in 2004. All these data were subjected to the analysis of variance ANOVA at =0.05 of probability was made significance minimal difference. The results were of statistical difference (P=0.0003) for PH of soil (0-10cm) in 2004 on pod vegetable shadow, non pod vegetable shadow and mixed shadow and OM; showing higher values than CM. in the same way P, K and available Ca resulted with statistical significance mostly in 2004. Under pod vegetable shadow, vegetable shadow and mixed shadow + OM resulted to be highest in both depths than CM. The basic relations Ca/k, Mg/K and Ca + Mg/K resulted higher under CM treatment, mostly on mixed shadow (*I. laurina* + *S. glauca*). Regarding at the sample site Mg/K and Ca + Mg/K resulted to be higher under row site at 10-20cm of depth. The CIC and available Na resulted to be different comparing with 0-20cm of depth, showing highest values of 40.2 meq on the furrow than coffee row, while Na and P resulted to be highest on the row site 0.57 and 48.0 meq, respectively. The slow and passive C (%) of soil kept high concentrations for all treatments in both depths, in the same way relative percentage of carbon of slow and passive fraction on soil; the total carbon (2001 and 2004) showed a decrease, however it was not significant for all treatments in 2004. the C-microbiological resulted to be of statistical significance at 0-10cm of depth, showing highest content under mixed shadow and the pod vegetable on OM fertilizing level.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El café en Nicaragua, en la década de los 90's constituyó el 30 % de la producción nacional (PANIF 1998). Para el ciclo 2003/04 se obtuvo una producción Nacional de 82,628.00 Tn (1,820, 000 qq oro), reflejando un incremento del 37 % tanto en el volumen de producción como en el rendimiento promedio, en comparación con el ciclo 2002/03 generando a la economía 117.4 millones de dólares superior en un 36% a los niveles de captación de divisas en el ciclo anterior, todo ello en una área establecida de 118,014.29 ha (165,220.00 mz) (MAGFOR 2004).

En las últimas décadas, el café, ha experimentado diversos cambios en el modelo de producción, debido a la búsqueda de cómo aumentar la productividad del sistema. Bajo este principio surgió la revolución verde como una manera efectiva de controlar los factores que limitaban dicha productividad. Para ello, se fundamentaban en el uso intensivo de los productos agroquímicos, mediante altas dosis de plaguicidas, herbicidas, y fertilizantes sintéticos llevando al deterioro y contaminación de los recursos como: aguas subterráneas, ríos, macro y micro fauna del suelo, que ha resultado en un desequilibrio para la sostenibilidad del ecosistema (Haggard y Staver 2001; Beer 1997).

Este modelo de producción en café se ha convertido mas vulnerable e inestable económicamente tanto para pequeños y grandes productores; provocado por los altos costos de producción que incurre este tipo de modelo; por la variabilidad de los precios internacionales y por no cohabitar en un mecanismo que pueda reducir estos costos de manejo con gran facilidad (Siman 1992; Rice y Ward 1996). Estos altos costos no se reducen aumentando la producción, por que su comportamiento es muy fluctuante en el tiempo, producto de las modificaciones sufridas referente al arreglo de sus componentes (árboles), manipulando su hábitat natural provocando una insostenibilidad económica (Fassbender 1996).

Ante esta situación de desequilibrio, ésto ha provocado en el hombre una búsqueda en desarrollar e implementar nuevamente estrategias basadas en los principios de la sostenibilidad que habían sido olvidadas en el tiempo (Haggard y Staver 2001); que permitan establecer criterios con enfoques dirigidos a mejorar, mantener e incrementar la productividad en forma sostenible, beneficioso al sistema y principalmente obteniendo alta calidad para la competitividad (Fernández y Muschler 1999). El desarrollo de los sistemas agroforestales logran mantener esa estabilidad de los recursos naturales y económicos del

sistema productivo, mediante las aportaciones de la materia orgánica del suelo (MOS), originada por residuos de árboles sustentando la fertilidad del suelo e incrementando la productividad en el tiempo (a largo plazo), reduciendo los altos costos de manejo y de insumos (Nair 1984; López 1993; Ramírez 1993; CIRAD 1997; Labrador y Altieri 2001;). En estos sistemas agroforestales los árboles son considerados como un componente integral para el logro de la sustentabilidad de los recursos existentes en el sistema; mediante las características morfológicas, fisiológicas y fenológicas que permiten modificar las condiciones de microclima (temperatura, humedad relativa, precipitación, viento y radiación solar) (Gleissman 2002). Entre las especies de los árboles, sobresalen los árboles fijadores de nitrógeno (AFN), considerándose de gran importancia para la fertilidad de los suelos; los cuales contribuyen a mejorar la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas asociadas (café con sombra), a aumentar la infiltración del agua, incrementar la actividad microbiana, optimizar la porosidad y la textura (Geilfus 1994), y accionando como precursor de las interacciones con los demás componentes aportando nutrientes e incidiendo cambios en las propiedades químicas físicas y biológicas del suelo; mediante residuos vegetales como: ramas, hojas, tallos, raíces y materiales fraccionados que forman el mantillo (Combe y Budwoski 1979; Chamorro 1994).

La acumulación de estos residuos originados de distintos materiales (animal y vegetal) forman la materia orgánica del suelo (MOS); la cual es considerada como un compuesto heterogéneo siendo su base el carbono (58 %), encontrándose en tres fracciones, donde la fracción activa posee gran importancia para la disponibilidad de los minerales, representando a la biomasa microbiana del suelo. La variabilidad de los materiales orgánicos le permite a la materia orgánica ser un producto de amplio espectro, desarrollando influencias como regulador de las fitohormonas en la planta (Labrador 1996). Es esencial para la fertilidad y disponibilidad natural de nutrimentos al suelo, esto puede enfocarse desde dos puntos de vista: como fuente directa de macro y micro nutrientes en proceso de mineralización, y por la participación de la fracción orgánica (enmiendas orgánicas) en procesos que mejoran la disponibilidad (Meléndez 2004). Además interviene en diversos procesos fisicoquímicos y biológicos en el suelo dando como resultado una serie de beneficios al mismo como: aumentar la retención de agua, favorecer la aireación, disminuye la compactación, mayor resistencia a la erosión, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, capacidad amortiguadora, agregación de las partículas del suelo (Rivero de Trinca, 1999).

Según Fassbender (1984), para la liberación de los nutrientes y disponibilidad a la planta, la MOS sufre una rápida transformación por acción de los macro y microorganismos, los cuales utilizan estos residuos orgánicos como fuente de energía liberando el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante la descomposición, producto de esto se obtienen sustancias que constituyen la MOS como: carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, grasas, lignina, ácidos nucleicos, resinas y ceras, las que forman parte de las sustancias húmicas (Meléndez 2004). Las sustancias húmicas se encuentran divididas en: ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, siendo los ácidos húmicos el principal componente caracterizándose por ser insoluble en agua y en medios ácidos soluble a pH altos, mientras que los ácidos fúlvicos son de estructura similar al ácido húmico con la diferencia de que estos si son solubles en agua y en medios ácidos y las huminas se caracterizan por tener altos contenidos de carbonos y alto peso molecular en comparación a los ácidos húmicos y fúlvicos.

Basándonos en lo escrito anteriormente la MOS en la actualidad se ha considerado como un proceso clave relacionado a la sostenibilidad y productividad de los sistemas agroforestales, especialmente para los suelos que son frágiles y manejados por agricultores de escasos recursos económicos (Meléndez 2004).

Sobre la base de lo anteriormente expresado se desarrollaron los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

- Determinar el comportamiento de las propiedades químicas, contenido del carbono total, biomasa microbiana y fracción de la materia orgánica del suelo; bajo el efecto de diferentes especies de sombra y niveles de insumos agrícolas en la producción de café.

**Objetivos específicos:**

- Evaluar el comportamiento de la acidez del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido del carbono total; bajo el efecto de diversas especies de sombra y niveles de insumo en sistemas de producción de café.
- Comparar el contenido de la biomasa microbiana como fracción de la materia orgánica bajo el efecto de diferentes especies de sombra y niveles de insumo como componente de sistemas agroforestales en café.
- Comparar el contenido de elementos minerales (N, P, K, Ca, Mg, Na) a dos profundidades que permitan establecer el comportamiento que tienen en función del

tipo de sombra y niveles de insumos utilizados en el manejo de sistemas de producción en café.

- Establecer las posibles relaciones e interacciones entre los diferentes componentes minerales (Ca, Mg y el K) en el suelo; en función del tipo de sombra y niveles de insumos en el manejo de un sistema agroforestal de café.
- Dar a conocer el comportamiento y contenido porcentual de Carbono lento y pasivo del suelo en las diferentes combinaciones de especies de sombras y niveles de insumos en el año base (2001).
- Determinar el contenido porcentual relativo de Carbono comprendido en las distintas fracciones de la materia orgánica; bajo las distintas especies de sombra y niveles de insumos en el año base.

#### **Hipótesis:**

- ❖ El contenido de materia orgánica, masa microbiana y elementos minerales en el suelo mejorará su contenido bajo la influencia de las diferentes especies de sombra que en el café a pleno sol.
- ❖ La acidez del suelo es probablemente afectada bajo la presencia de los diferentes árboles de sombra y el nivel medio orgánico contribuyendo a mejorar el hábitat de la parte microbial, que en los suelos que están bajo el sistema a pleno sol y medio convencional
- ❖ El nivel medio orgánico contribuye al incremento del contenido de la materia orgánica, microorganismo y macro nutrientes bajo diferentes árboles de sombra, en comparación al nivel medio convencional.
- ❖ Las interacciones entre las diferentes especies y los dos niveles de insumos favorecen el mejoramiento de las propiedades químicas y biológicas del suelo.
- ❖ La interacción en el uso de especies leguminosas de sombra y niveles de insumo medio orgánico proporcionan un mayor efecto significativo sobre las propiedades químicas y biológicas del suelo en comparación a las demás interacciones.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Ubicación del ensayo.

La presente investigación se realizó en un área experimental establecida en el año 2000; en el Centro de Capacitación y Servicio Regional del Pacífico (Jardín Botánico) de UNICAFE situándose en ésta dos repeticiones, y una en el año 2001 en el Centro Experimental de Campos Azules (CECA), localizadas en el municipio de Masatepe, Departamento de Masaya, Nicaragua. El Jardín Botánico, se encuentra comprendida entre 11°54' de la Latitud norte, y 98° 09' Longitud oeste a una altura de 454.5 msnm en una zona baja y seca, recibe una pluviosidad anuales de 1386 mm, la temperatura promedio anual es de 26 °C y con una topografía plana (Blanco *et al*, 2002).

El CECA se encuentra comprendida entre 11°53'59" de latitud norte y 83°08'59" de longitud oeste y una altitud de 470 msnm. La precipitación media anual de 1,415.3 mm la temperatura promedio de 26 °C, humedad relativa 82.9 % (Contreras y Arguello 1999).

El tipo de suelo pertenece a la serie Masatepe que consiste en suelos moderadamente profundos, bien drenados, que se derivan de cenizas volcánicas, poseen una capacidad de humedad disponible moderado, con una zona radical profunda y densidad aparente baja (0.85 g cm<sup>-3</sup>), es franco a franco arcilloso, con un pH variado de 5.9 – 6.7 (Blanco *et al*, 2002)

### 2.2. Diseño experimental y tratamientos a evaluar.

El arreglo experimental que se estableció en el ensayo del sistema, fue un bifactorial propiamente dicho distribuidos en un diseño de Bloques Completamente al azar con 3 repeticiones, distribuyéndose los 5 sistemas de sombra (combinaciones de especies arbóreas), mas 2 niveles de insumo, por replica. En la tabla 1, se describen los factores de estudio y

niveles evaluados en el ensayo de sistemas en café.

Tabla 1.- Descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo de sistemas en café

<b>Factor A: Tipos de sombra mas niveles de insumo</b>	
Niveles	Tratamiento
a1	<i>Inga laurina</i> , <i>Simarouba glauca</i> + Orgánico intensivo
a2	<i>Inga laurina</i> , <i>Samanea saman</i> + Orgánico intensivo.
a3	<i>Simarouba glauca</i> , <i>Tabebuia rósea</i> + Orgánico intensivo.
a4	<i>Inga laurina</i> , <i>Simarouba glauca</i> + Convencional extensivo
a5	<i>Inga laurina</i> , <i>Samanea saman</i> + Convencional extensivo
a6	<i>Simarouba glauca</i> , <i>Tabebuia rósea</i> + Convencional extensivo
a7	Pleno sol + Convencional extensivo.
<b>Factor B: Sitio de muestreo</b>	
b1	Sitio de muestreo en la hilera del cafeto
b2	Sitio de muestreo en calle del cafeto

En la tabla 2 se muestran las áreas experimentales y útiles del ensayo y en la tabla 3 las principales características de crecimiento, fenología y tipo de servicio que brindan los

diferentes árboles de sombra. Con respecto a la descripción de los niveles de insumo (fertilizaron y enfermedades), se muestran en la tabla 5 y 6.

Tabla 2. Area experimental de los tratamientos de sombra temporal, permanente y niveles de insumo del ensayo de sistemas.

Sombra Permanente	Nombre común.	Sombra temporal	Insumo	Área de parcela experimental y útil en m <sup>2</sup>					
				Replica 1		Replica 2		Replica 3	
				Exp	Útil	Exp	Útil	Exp	Útil
Pleno sol	Ninguna	Ninguna	MC	495	300	552.5	225	550	227.5
<i>Simarouba glauca</i> + <i>Tabebuia rosea</i>	Acetuno + Roble.	Higuera	MC	712.5	300	750	225	870	225
			MO	760	300	750	270	690	225
<i>Simarouba glauca</i> + <i>Inga laurina</i> .	Acetuno + Guaba.	Higuera + Gandul	MC	760	300	850	270	680	247.5
			MO	840	300	800	270	680	247.5
<i>Inga laurina</i> + <i>Samanea saman</i> .	Guaba + Genízaro.	Gandul	MC	712.5	300	750	225	870	225
			MO	760	300	750	270	690	225

Tabla 3.-Descripción de las características de cada una de la Sombra que están en estudio.

Especies	Fenología	Forma del dosel	Fijador -N	Uso
<i>Simarouba glauca</i>	Perennifolia	Alto estrecho	No	Madera
<i>Tabebuia rosea</i>	Caducifolia	Alto estrecho	No	Madera
<i>Samanea saman</i>	Caducifolia	Alto abierto	Si	Madera
<i>Inga laurina</i>	Perennifolia	Bajo abierto	Si	Servicio

Las plantas de café, se establecieron a una distancia de 1.25 m entre cafeto (hilera) y 2 m entre surco (calle) para una densidad de 4,000.00 plantas ha<sup>-1</sup> (2,810 plantas mz<sup>-1</sup>); mientras los árboles de sombra permanente se establecieron a una distancia de 3.75 m entre árbol en la hilera y 4 m entre surco o calle, resultando una población de 666.00 árboles ha<sup>-1</sup> (468 árbol mz<sup>-1</sup>), los cuales se reducirán en base a un programa de raleo debido al grado de competencia que alcancen en los años siguientes.

### Variabes medidas.

En la tabla 4, se describen las variables evaluadas en el año 2001 y en el 2004 haciendo referencia a la metodología empleada para la determinación cuantitativa.

Para las variables Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K, consideradas como bases cambiables se determinaron mediante la manipulación de los datos obtenidos del análisis de suelo de cada elemento o nutriente.

Tabla 4. Metodología en la determinación de las variables de los años 2001 y 2004.

Variables.		Metodología	Referencia bibliográfica
2001	2004		
pH	pH	pH (H <sub>2</sub> O)	Anderson and Ingrand 1993; Fassbender, 1975.
Fraccionamiento de la MOS (Carbono lento y pasivo)		Fraccionamiento de la MOS por dispersión con hexametáfosfato de Na 5 gl y por tamiz 53 µ.	Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1982
Carbón relativo de la fracción lenta y pasiva			
Nitrógeno (N) total	Nitrógeno (N) total	Digestión Kjeldahl.	Page, A. L., Millar, R. H., and Keeney, D. R. (1982)
Fósforo (P) disponible	Fósforo (P) disponible	Extracción de acuerdo a Olsen et al (1982)	Olsen, And Sommers 1982
Potasio (K) disponible	Potasio (K) disponible		
Calcio (Ca) disponible	Calcio (Ca) disponible	Extracción de Acetato de Amonio (NH <sub>4</sub> ) 1 N, pH 7.00	García, O. C. 1989.
Magnesio (Mg). disponible	Magnesio (Mg) disponible		
Capacidad intercambio cationico	Capacidad intercambio Catiónico		
Carbón (C-total)	Carbón (C-total)		
	Sodio (Na) disponible	Extracción de Acetato de Amonio (NH <sub>4</sub> ) 1 N, pH 7.00	García, O. C. 1989.
	C-Biomasa microbiana	Biomasa microbiana.	Vance E. D.; Brookers P. C. And Jenkinson D. S. 1987.

Tabla 5. Manejo de la fertilización en el ensayo de sistemas agroforestales con café.

Nivel de insumo	2001	2002	2003	2004
ORGANICO INTENSIVO (MO)	Verano: 2.27 kg de pulpa de café por planta( pulpa semidescompuesta) Canícula: 2.72 kg de Gallinaza por planta.			
	Una aplicación mensual de Biofermentado (2. l de soluto por cada de 18 litros de agua.)			
ORGANICO EXTENSIVO (BO)	Verano: 2.27 kg de pulpa de café por planta.			
CONVENCIONAL INTENSIVO (AC)	Junio: 50 g por planta de 18-6-12-4-0.2. Inicio de septiembre: 70 g por planta de 12-30-10		Junio: 33 g por planta de 27-9-18 Septiembre: 70 g por planta de 12-30-10	
	Mediados Octubre: 40 g de Urea; 10 g de Muriato de Potasio.			
	Aplicaciones foliares: 113 g de urea + 25 g de Zinc + 30 g de Boro por bombada de 20 l. (Marzo-Abril; Mayo-Junio; Julio-Agosto; Sept.-Oct.)			
CONVENCIONAL EXTENSIVO (MC)	junio 25 g por planta de 18-6-12-4-0.2. septiembre 35 g por planta de 12-30-10		Junio 17 g por planta de 27-9-18 Septiembre 35 g por planta de 12-30-10	
	Mediados Octubre: 20 g de Urea; 5 g de Muriato de Potasio.			
	Aplicaciones foliares: 113 g de urea + 25 g de Zinc + 30 g de Boro por bombada de 20 l. (Marzo-Abril; Sept.-Oct.)			

Tabla 6. Aspectos técnicos en el manejo de las enfermedades presentes en el ensayo de sistemas agroforestales con café.

Nivel de insumo	2001	2002	2003	2004
ORGANICO INTENSIVO (MO)	2 a3 aplicaciones de caldo sulfo-cálcico con criterio de aplicación de 10% e incidencia de mancha de hierro.		3 aplicaciones máximas de caldo sulfo-cálcico	Se incluye una aplicación preventiva en junio.
			Marchitez lenta: Poda de saneamiento y aplicación de Cal (Junio-Julio).	
ORGANICO EXTENSIVO (BO)			Marchitez lenta: Poda de saneamiento y aplicación de Cal (Junio-Julio).	
CONVENCIONAL INTENSIVO (AC)	3 aplicaciones de Anvil 1. l/200 l de agua. (Mayo-Junio; Julio-Agosto; Sept-Oct) con criterio de aplicación 5% de incidencia de mancha de hierro.		1 aplicación de mancozeb (mayo) 3 aplicaciones de Anvil (Agosto-Sept; Oct-Nov)	1 aplicación de Oxidloruro de Cobre (mayo - junio) 2 aplicaciones de Anvil (Agosto-Sept.; Oct-Nov).
			Marchitez lenta: Poda de saneamiento y aplicación de Carbendazin (Junio-Julio). en la base de la planta.	
CONVENCIONAL EXTENSIVO (MC)	2 aplicaciones de anvil 1.l/200 litros de agua		1 aplicación de Mancozeb (mayo) 2 aplicaciones de Anvil.	1 aplicación de Oxidloruro de Cobre como preventivo.
			Marchitez lenta: Poda de saneamiento y aplicación de Carbendazin (Junio-Julio).	

### 2.3. Obtención de las muestras de suelo y datos.

#### Muestreo de suelo en 2001.

Para la extracción de las muestras de suelo se seleccionaron 6 sitios por parcela útil de cada réplica. En cada sitio se ubicaron 3 puntos dentro del área de muestreo dispuesta en diagonal entre dos cafetos en la calle. Se ubicó un punto central entre los cuatro cafetos y dos puntos extremos a cada lado a 50 cm del punto central. Si el lugar seleccionado es inapropiado

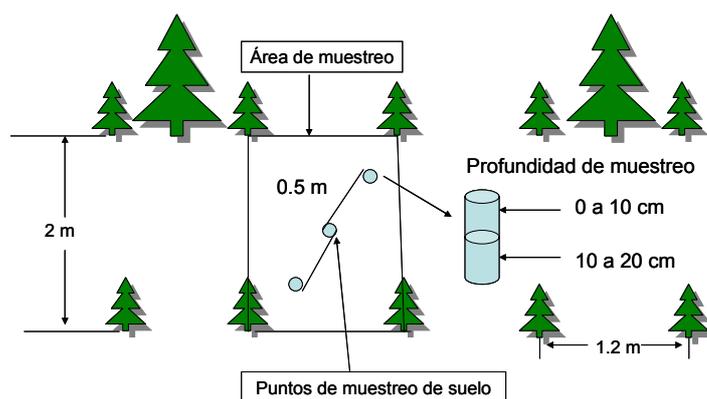


Figura 1. Descripción del proceso de extracción de submuestras de suelo en 2001 por tratamiento.

(tronco, piedra, etc.), se desliza el punto paralelo a la fila de cafetos siempre dentro del área definida por los cuatro cafetos (Figura 1)

En cada punto se extrajeron muestras de suelo a dos profundidades (0 – 10 y 10 – 20 cm). Para ello se utilizó tubos PVC de 2 pulgadas de diámetro

Las muestras de cada horizonte (profundidad), para los tres puntos se mezclaron y se sacó las 3 submuestras por profundidad por sitio, se mezclaron con los obtenidos en los 6 sitios por parcela útil y se obtuvo una muestra homogénea de suelo (50 g) por profundidad, parcela y réplica. Las muestras se seleccionaron en bolsas plásticas debidamente identificadas y entregadas al Laboratorio del CATIE, Turrialba Costa Rica.

#### Muestreo de suelo en 2004.

El muestreo de suelo se realizó en la parcela útil de cada tratamiento y réplica. Seleccionando 6 puntos distribuidos de la siguiente manera: cuatro puntos extremos en los lados de la parcela útil y dos puntos a la mitad de la parcela, esto con el objeto de obtener mayor representatividad en el muestreo. Las muestras de suelo se tomaron a partir de la base de los árboles para la obtención de las sub-muestras en la hilera y calle y a dos profundidades (0 – 10 cm y 10 – 20 cm) del suelo (Figura 2).

En la hilera de café entre dos árboles de sombra (todas las especies establecidas) se encuentran 3 plantas de café, separadas 1.20 metros de distancia. Estas características permitieron describir en el espacio seis posiciones de muestreos con respecto a los árboles de sombra (Figura 2). Estas posiciones de muestreo se establecieron con el objetivo de homogenizar el

efecto de los árboles de sombra y de los cafetos, obteniéndose con ellos una mayor representatividad de las muestras de suelo.

Los seis puntos de muestreo se distribuyeron tanto en calle como en hilera de la siguiente manera: dos puntos en la posición 1, otros dos puntos en la posición 2 y los dos últimos puntos en la posición 3 como se observa en la Figura 2.

El muestreo se realizó colocando un marco cuadrado de 50 x 50 cm, en la hilera que cubrió el 50 % de espacio de área a cada lado de la hilera de surco de plantas de café y el marco en la calle cuyo centro quedara a un metro de distancia de la hilera de café, quedando paralelo al muestreo de la hilera.

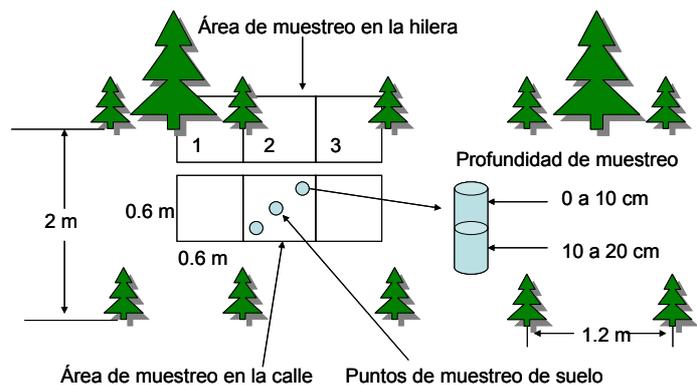


Figura 2. Descripción del proceso de la extracción de submuestras de suelo en 2004 por tratamiento.

En cada marco (hilera y calle) se realizaron 3 perforaciones de barrenos en forma diagonal para obtener sub-muestra de suelo de 0 – 10 cm y de 10 – 20 cm de profundidad. Se garantizó que las sub-muestras fueran colocadas en un recipiente individual etiquetado (profundidad y posición) para evitar confusión en el manejo de las muestras.

En cada parcela experimental se obtuvieron 18 submuestras (6 puntos por 3 perforaciones) por profundidad. A estas submuestras se homogenizaron y de esta porción de suelo se extrajo una muestra compuesta representando a la profundidad respectivas y a la posición de muestreo. En total se obtuvo 4 muestras compuestas por parcelas experimentales (2 muestras de hilera y 2 muestras de calle).

Cada muestra compuesta tuvo un peso aproximado de 0.5 kg, lo suficiente para obtener los datos en el laboratorio de suelo. Los contenedores de las muestras compuestas fueron etiquetados correctamente con la finalidad de conservar la identificación o procedencia de las muestras de suelo de cada tratamiento y repetición del ensayo del sistema, estas se guardaron en termos las que fueron trasladadas al laboratorio.

#### 2.4. Análisis químico de las muestras en Laboratorio.

Para el año 2001 cada una de las muestras compuestas se les determinó en el laboratorio de suelo del CATIE, el contenido de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, la acidez del suelo, la CIC, el

porcentaje de Carbono lento y pasivo del suelo, el porcentaje relativo de C comprendido en las fracciones lenta y pasiva de la materia orgánica y C total presente en el suelo.

En el año 2004 el análisis se determinó en el Laboratorio de Suelos y Agua de la UNA, los contenidos de los nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, Na, C-total, acidez del suelo, la CIC, y el carbono microbiano (fracción activa), así mismo los métodos aplicados para las determinaciones de estas variables fueron los mismos para ambos años (Ver Tabla 4).

El análisis del carbono total y biomasa microbiana para sus determinaciones se hicieron con suelo fresco, o sea el tiempo de extracción del suelo en el campo y la determinación en el laboratorio fue en el menor tiempo posible.

## 2.5. Análisis estadístico de las variables evaluadas.

Los datos que se obtuvieron del año 2001 y 2004, por medio de las determinaciones en laboratorio y por manipulaciones fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA), a través del programa estadístico de Statistical Analysis System (SAS) Versión. 8. 1 (SAS Institute Inc. 1999) y se procedió a aplicar un método de comparación de medias conocido como la Diferencia Mínima Significativa (DMS) a un 95 % de confianza.

El Modelo Aditivo Lineal, para un diseño bifactorial propiamente dicho en bloques completos al azar en experimento bifactorial se describe de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{ijk} \text{ donde:}$$

$i = 1, 2, \dots, 7$  tipos de sombra + niveles de insumos.

$\alpha_i$ : Efecto de los niveles de sombra + insumos..

$j = 1, 2$ , sitios de muestreos (Calle e Hilera) del cafeto.

$\beta_j$ : Efecto debido a diferentes sitios de muestreos.

$k = 1, 2, 3$  repeticiones.

$(\alpha\beta)_{ij}$ : Es el efecto de las interacciones entre los niveles de sombra + insumos y sitios de muestreos (calle e hilera).

$Y_{ijk}$ : Variables respuestas.

$\mu$ : media poblacional a estimar a partir de los datos del ensayo.

$\rho_k$ : Efecto de las repeticiones.

$\varepsilon_{ijk}$ : Error experimental.

## 2.6. Manejo Agronómico (malezas, plagas).

Tabla 7. Aspectos técnicos del Manejo de hierbas en el ensayo de sistemas agroforestales con café.

Nivel de insumo	2001	2002	2003	2004	Criterios utilizados a partir de muestreo de campo (punta de zapato)
ORGANICO INTENSIVO (MO)	Manejo de malezas en época seca y lluviosa Dos chapias sin criterio en verano				Se realiza chapia cuando el 50 % de las malezas alcancen una altura entre 10 a 15 cm.
	Machete en carril amplio y manejo de floración	Manejo selectivo de malezas solo con machete.			
ORGANICO EXTENSIVO (BO)	Manejo de hierbas en época seca y lluviosa				Se realiza chapia cuando el 50 % de las malezas alcancen una altura entre 20 a 30 cm.
	Machete en carril amplio y manejo de floración	Manejo selectivo de malezas con machete. Carrileo al momento de hacer la calle.			
CONVENCIONAL INTENSIVO (AC)	Manejo de malezas en época seca y lluviosa				Se realiza chapia cuando el 25 % de las malezas alcancen una altura entre 10 a 15 cm.  15 días después de la chapia se aplica herbicida
	Control total de malezas con chapias y 2 aplicaciones de Round up (Glifosato) + Ally.	Control total de malezas con chapea y 2 aplicaciones Round up (Glifosato) + Flex. Carrileo al momento de hacer la calle.			
CONVENCIONAL EXTENSIVO (MC)	Manejo de malezas en época seca y lluviosa				Se realiza chapia cuando el 50 % de las malezas alcancen una altura entre 10 y 15 cm.  15 días después de la chapia se aplica herbicida
	Control selectivo de malezas y aplicación de Round up (Glifosate) o flex	Manejo selectivo de malezas con machete y aplicación de Round up. Carrileo a 100 cm de ancho.			

Tabla 8. Aspectos técnicos del manejo de insectos plagas (minador y broca) que afectan al cultivo de café en el ensayo de sistemas agroforestales.

Nivel de insumo	2001	2002	2003	2004
ORGANICO INTENSIVO (MO)	2 aplicaciones si fuera posible contra minador de la hoja 40% de incidencia.			Aplicación de torta nim al hoyo en resiembra
	Graniteo + pepena			
				Gallina ciega: Torta de neem.
ORGANICO EXTENSIVO (BO)	Aplicación de torta de nim en el hoyo en la resiembra 10g/hoyo en resiembra			
	Graniteo + pepena			
CONVENCIONAL INTENSIVO (AC)	Marzo, Abril, Mayo Minador: Aplicación de Lorsban 0.75 a 1.5 l/200 l de agua. Si fuera posible.		Se aplica según la incidencia de minador. 40% de hojas minadas	
	Julio, Septiembre Broca: Aplicaciones de Endosulfan 750 cc/200 l de agua.			
	Gallina ciega: Aplicación de Lorban		Gallina ciega 5 g de Terbufos (Counter) por hoyo	
CONVENCIONAL EXTENSIVO (MC)	Marzo, Abril Minador: Aplicación de Lorsban 0.75 a 1.5 l/200 l de agua.		Se aplica según la incidencia de minador.40% de hojas minadas	
	Julio Broca: Aplicación de Endosulfan según floraciones.			
			Gallina ciega: Aplicación de Lorban	Gallina ciega 5 g de Terbufos (counter) por hoyo

Minador: *Leucoptera coffeella*    Gallina ciega: *Phyllophaga spp*    Broca: *Hypothenemus hampei*

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Comportamiento del Carbono total de las fracciones de la Materia Orgánica del suelo y fase mineral en un sistema con café.

La materia orgánica del suelo (MOS), la define Núñez (2000) como “la fracción orgánica del suelo que incluyen los residuos provenientes de plantas y animales, que se encuentran en el suelo en diferentes etapas de descomposición: contenidos frescos, parcialmente descompuestos y totalmente descompuestos (humus)”. Según Labrador (2001) a esta fracción Orgánica la define, como un sistema complejo y heterogéneo, con una dinámica propia e integrado por numerosos componentes, los cuales sufren diferentes estados de transformación, exudados radicales, aportes orgánicos externos (estiércol), compost y productos xenobioticos, así como los organismos edáficos biomasa del suelo y los productos resultantes de su senescencia y metabolismo.

La MOS se le ha reconocido como un importante componente de su calidad y ha sumido substancialmente como la fuente potencial de CO<sub>2</sub> atmosférico, por lo cual conserva o aumenta sus niveles en el suelo se justifican no tan solo desde una perspectiva agronómica, sino también desde un punto de vista medioambiental (Elliot *et al*; 1994).

Las cantidades de residuos (vegetal y animal), que son depositados al suelo y la tasa de descomposición de estos residuos aumenta el contenido de esta fracción orgánica (MOS), pero en función de factores como: del clima y del tipo de calidad de los residuos en contenido de N, la relación de C: N y lignina son factores importantes que regulan los procesos de descomposición y humificación de la MOS (Jastrow y Miller 1997), aunque esta evolutividad procesal de la MOS sea lenta en dependencia de los factores antes mencionados, algunas de sus fracciones constituyentes pueden ser mucho mas sensibles a cambios inducidos por tales procesos (Omay *et al*; 1997)

El proceso de degradación de la MOS, se inicia con la descomposición mediante la participación de los macro y micro-organismos del suelo degradando las sustancias que forman parte de la estructura de los vegetales como: carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, grasas, ceras etc., liberando iones en forma inorgánica gracias al proceso de mineralización, luego se da una resíntesis de estos compuestos mineralizados, polimerizándolos y convirtiéndolos en compuestos menos solubles y mas estables (humus),

ayudando a la estabilización de la MOS y al incremento por la asociación con la fase mineral y por la protección de la MOS dentro de los agregados. Esta última estabilización es debido a que la MOS queda atrapada en los pequeños poros de los agregados, de manera que los organismos no pueden tener acceso al sustrato (Elliot y Coleman 1988).

Este proceso origina una serie de sustancias o mezclas mas complejas en las fracciones haciéndolas mas heterogéneas, con tasas de recambios diferentes en la dinámica de la MOS. Para caracterizar esta dinámica, se necesita de modelos complejos y multicompartimentales para representar los procesos de transformación y evolución en la forma en que se producen realmente en el suelo. Por lo tanto, para lograr tal representación de los procesos se realizan mediante el uso de modelos de simulación que incluyen fracciones discretas de C con diferentes tasas de recambios (Parton *et al*; 1989; Van Venn y Paul 1981).

Skjemstad *et al* (1998) citado por Labrador (2001) dan una clasificación simple a la fracción de la MOS dividiéndola en dos fracciones: la materia orgánica viva y la materia orgánica no viva. Al igual que Tate (1987), pero haciendo uso de otra terminología describe en un modelo simple dos fracciones de la MO: una la fracción lábil compuesta por los microorganismos, los residuos vegetales tales como raíces, hojas, etc., y a la fracción estable correspondería a la parte de difícil degradación asociada a los macro agregados del

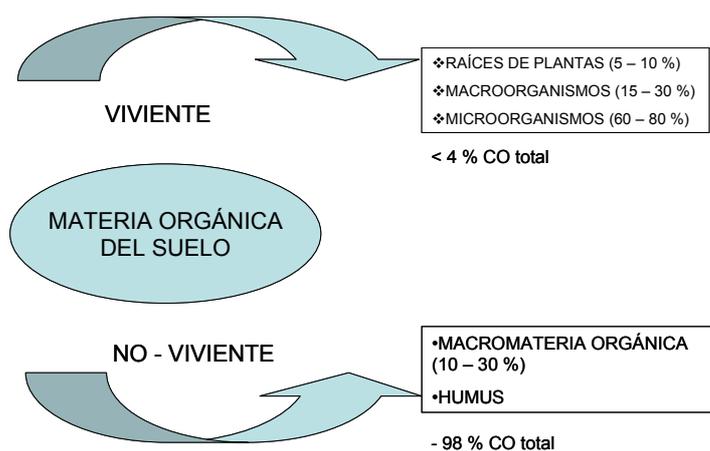


Figura 3.- Modelo de Theng, *et al* 1986.

suelo, de esta forma la primera, representa la porción mas sensible a las modificaciones comportándose como fuente de nutrientes para vegetales y organismos, la segunda porción representaría a las sustancias húmicas que esta involucrada en los procesos

físico-químicos que afectan la estructura e intercambio de iones en el suelo (Bragato y Primavera 1998). La Fracción lábil corresponde solo una pequeña proporción del total de la MO y es la más dinámica en el lapso del tiempo, vinculada fuertemente a la fertilidad del

suelo debido a su capacidad de suministrar nutrientes tales como N, P, S y micro-nutrientes (Biederbeck *et al*; 1994).

Según el modelo de Theng, *et al* (1986) (Figura 3), clasifica a la MOS en dos tipos de componentes funcionando en forma integrada: 1) La fase viva propiamente dicha, se encuentra conformada por los organismos presentes (macro y micro) y raíces vivas de plantas, 2) La fase no viviente, formada por residuos o compuestos en proceso de descomposición, sujeta a la actividad biológica y asociada a los macro agregados del suelo, que puede atribuirse a la macro materia orgánica y por otro lado el componente humito mas o menos estabilizado en el sistema con poca actividad biológica, pero con importantes repercusiones químicas y físicas sobre el sistema.

El modelo de Parton *et al* (1987-89) (figura 4), esquematiza la dinámica de la materia orgánica del suelo, desarrollándose en tres fracciones: fracción activa, fracción lenta y fracción pasiva. Burbano (1984) sugiere que el esquema conceptual de la dinámica de la materia orgánica propuesto por Parton *et al*. (1989) considera que la MOS comprende tres fracciones con tiempos medios de permanencia cada vez mayores, los cuales son: MOS activa (1-2 años tiempo medio de permanencia); MOS lenta (20-50 años); MOS pasiva (800-1000 años). Rice y

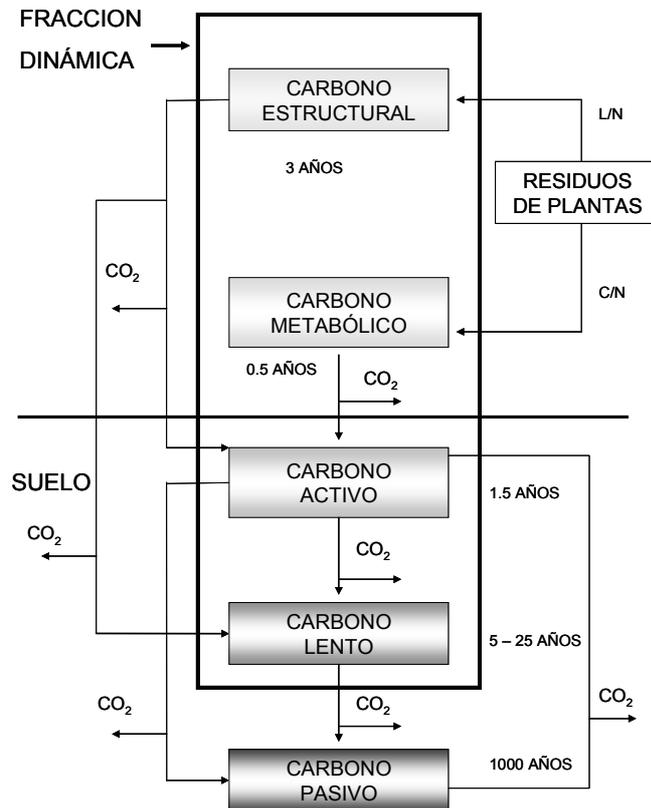


Figura 4.- Modelo de Parton, *et al* 1987-89.

García (1994), representan a la masa microbiana como la fracción activa y materia orgánica soluble, las cuales constituyen del 3-5 % de la materia orgánica total. La fracción lenta tiene tiempo de residencia de 10 a 50 años y representa del 20-40 % del carbono total del

suelo (Elliot, 1986). La fracción pasiva representa el 40-70 % de la MOS (Duxbury *et al*; 1989; Parton *et al*; 1987).

### **3.1.1. Contenido de Carbono total (%) en un suelo andosols.**

El carbono orgánico presente en los suelos naturales representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por mineralización. En condiciones aeróbicas del suelo; gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y solo una pequeña fracción (1 %) es el que ingresa y se acumula en la fracción húmica estable (fracción pasiva) (International Geosphere Biosphere Program, 1998).

Estos diferentes residuos se encuentran compuestos en su mayor parte de C en alrededor del 48 a 58 %, que en conjunto con el oxígeno e hidrógeno forman aproximadamente el 90 y 98 % de la MOS (Fassbender, 1984; 1996).

El C se encuentra en diferentes reservorios (en las distintas fracciones de la MOS), que existen en el suelo, los tienen distintos tiempos de residencia variando de uno a pocos años, dependiendo de la composición bioquímica al igual que las fracciones lenta y pasiva, por ejemplo: la lignina es más estable que la celulosa, a esto se le conoce como una protección química, refiriéndose a las uniones especiales de la materia orgánica con otros constituyentes del suelo coloides o arcillas; pero más a menudo esto concierne a compuestos orgánicos del suelo muy estables (Puget *et al*; 1995; Balesdent *et al*; 2000).

Las mayores pérdidas del carbono orgánico, se dan por efecto de malos manejos como: la alta dosis y frecuencia de fertilizantes químicos y laboreos mecanizados, también al factor suelo y clima ya que en suelos de regiones tropicales se dan mayores pérdidas de este elemento que en suelos de regiones templadas (Dalal y Carter 1999) y con substancial deterioro en la fertilidad del suelo (Lal, 1995). También se debe a la influencia del mecanismo de la tasa de recambio; que es más rápida en los suelos tropicales, debiéndose al contenido y el área superficial de las arcillas en el suelo (Saggar, 1999), en especial los de origen volcánico que poseen altos contenidos de arcillas (alófanos).

El comportamiento dinámico y el incremento del carbono orgánico en el suelo, depende de las incorporaciones de la MOS, así como el conocer y determinar tanto el  $^{14}\text{C}$  o  $^{13}\text{C}$ ,

contenidos en las dos fracciones de la materia orgánica. Esta determinación es muy valiosa como parte integral en el conocimiento de estimar el tiempo de residencia de la MOS, sus fracciones, y su importancia considerada por varios autores, como el constituyente principal de reservas considerable en las aportaciones de nutrientes y de sustancias que mejoran las condiciones del edafón y de mantener una estabilidad en las concentraciones de carbono en el suelo, gracias a su composición polimerizada (carbohidratos, proteínas, grasas y resinas) (Suárez de Castro, 1960). Correspondiendo que en estudios de la materia orgánica del suelo (MOS); es muy importante y necesario conocer el contenido del carbono orgánico total del suelo (COTS) debido a su participación en la MOS.

Los resultados obtenidos en el presente estudio de los datos del 2004 en la variable C total no mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos lo cual muestra un comportamiento similar entre ellos (Tabla 9). Sin embargo, al compararse los resultados del 2001 y 2004 se observó una tendencia de disminución en el contenido del C total en el suelo a ambas profundidades.

Tabla 9. Efecto de manejo de sombra y niveles de insumos en la concentración del Carbono total (%) presente en el suelo en sistemas agroforestales con café.

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Profundidad del muestreo de suelo			
		0 – 10 cm		10 – 20 cm	
		2001 <sup>1</sup>	2004 <sup>2</sup>	2001	2004
Pleno Sol	Medio Convencional (MC)	6.34	4.8	5.59	4.9
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		7.15	5.6	6.56	5.4
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		6.51	5.0	6.14	5.1
<i>S. glauca</i> + <i>T. Rosea</i>		7.41	5.9	6.95	6.1
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	Orgánico intensivo (MO)	7.23	5.5	6.51	5.7
<i>I. laurina</i> + <i>P. saman</i>		7.23	5.8	6.5	5.5
<i>S. glauca</i> + <i>T. Rosea</i>		7.14	5.5	6.32	4.7
Pr>F			0.6546		0.6255
DMS			1.2657		1.6703

Fuente: 1 Laboratorio de Suelo y Agua de CATIE, Turrialba, Costa Rica.

2. Laboratorio de Suelo y Agua de UNA, Managua, Nicaragua.

La actividad biológica (microorganismos), es el factor edáfico más importante de la degradación o descomposición de la materia orgánica y mineralización; para la obtención de C y N considerada como fuentes de energía y proteína respectivamente, requerida en la movilidad y reproducción de ellos (Aguilar, 2005). El alto consumo de la MOS depende

directamente de la cantidad de microorganismos presentes en el suelo; es decir que entre mas sea la cantidad de éstos mayor es la degradación de la MOS y mas rápida, siendo esto posible gracias a los valores de pH óptimo obtenidos en el presente estudio, ya que según Fassbender (1984) el rango óptimo que permite un buen desarrollo de los hongos es de 5 a 8 mientras que las bacterias tienen una menor capacidad de tolerancia (pH = 6 a 7.5), lo cual repercute en un decrecimiento de C en el suelo mermándolo en el tiempo, ya que una vez que este elemento es tomado por ellos lo liberan en forma de gas perdiéndose en la atmósfera. Según los datos de la biomasa microbiana mostrada en el Tabla 12 muestran una correlación ante este hecho, al observarse que la cantidad de biomasa de los tratamientos MO estadísticamente es muy parecida a los MC.

El factor externo de la precipitación interactuó de manera positiva a que se diera una descomposición rápida de la MOS. Generalmente el régimen hídrico resulta limitante de la producción vegetal (cultivo) y determina el ecosistema y la materia orgánica del suelo ya que inciden sobre la flora y la fauna e influyen indirectamente sobre la mineralización. Contribuyen también a una regulación adecuada de la temperatura en la zona manteniéndose dentro de los rangos óptimos para el buen desarrollo de los microorganismos (20 y 25°C) y (30 y 50°C); así mismo una humedad relativa (HR) que permita un acondicionamiento adecuado para un buen desarrollo de ellos (Fassbender 1984). Los resultados de la Tabla 9, son similares a los obtenidos por Bartholomew y Clark (1965) quienes expresan que los factores externos como: temperatura y precipitación pluvial tienen influencia tanto en la producción de restos vegetales y animales que se incorporan al suelo como en la velocidad de su mineralización; encontrando que la mineralización inicia a una temperatura de 10 °C indicando que ha temperaturas relativamente bajas, se producen mas restos que lo que se mineraliza y a temperaturas mayores de 25 a 28 °C la MOS disminuye, lo que implica que la temperatura crítica aproximadamente es 25°C, siendo decisivo para la producción y degradación de la MOS.

Aunque existe una reducción de C en el suelo y por ende de la MOS, Castillo *et al* (1999) señala que rangos de MOS > 5 % resultan ser altos, que al compararse con los valores de C reflejados en el Cuadro 8 estos resultan ser mayores, entre tanto datos obtenidos por Pérez y Ruiz (2003) en suelos Ultisoles y Vertisoles de 1 y 2 % de C respectivamente son bajos.

Los datos mostrados en la tabla 9, evidencian que durante los cuatro años de manejo de los sistemas agroforestales las aportaciones de materiales vegetales por parte de las sombras de árboles y cafetos así como el de los insumos aplicados no han sido lo suficientes para mantener un remanente en los niveles MOS en el suelo, debido a que el sistema agroforestal es relativamente joven, resultando en pérdidas ocurridas durante procesos de descomposición la cual es favorecida por la actividad microbiana en busca de energía y nutrientes.

En relación a esto, un estudio realizado por Hagggar *et al* (2005) en suelos andosoles, encontró alta presencia de una cubierta de material volcánico, producto de la sedimentación, la cual no es uniforme en toda el area superficial del suelo sino altamente variable denominada talpetate. Por ende Suárez (1960) menciona que estos suelos andosoles, concurren a manifestar altos contenidos de materia orgánica y que pueden reflejar valores que van de: 8.9 (alto) a 17.4 % (muy alto). Además que poseen una característica intrínseca como la alta presencia de arcilla amorfa (alófana), la cual influye en la baja capacidad de infiltración de agua que promueve el transporte o movilización interno del humus en la parte inferior del suelo (Pérez y Ruiz 2003), provocando que tal movimiento sea normal para el humus en el perfil del suelo manteniéndose en los primeros 20 cm de profundidad del suelo.

Estos suelos al ser originados por cenizas volcánicas se pueden encontrar horizontes enterrados de forma aluvial o de otro tipo (Núñez, 2000). Lo cual hace ver que en estos suelos es normal según lo señala Fassbender (1993) al encontrar altos contenidos de MOS (Carbono) en horizontes más profundos.

En el sitio de muestreo del suelo, los resultados obtenidos de Carbono Orgánico total del análisis estadístico no mostraron diferencias en las dos profundidades (Tabla 10), significando que estos se comportaron de manera similar entre ellos. Esta similitud pueda deberse a la fertilización orgánica ubicada en la hilera de los cafetos y en cuanto a la calle corresponde al manejo de carrileo al sistema y a las cantidades de aportaciones de material vegetal de los árboles de sombra en los tratamientos. Se muestra la misma tendencia no significativo en la profundidad de 10 - 20 cm, sin embargo refleja una tendencia poco común en el contenido de éste en la calle, siendo ésta concentración muy similar en esta

profundidad en relación a la profundidad de 0-10, así mismo en el sitio de la hilera, indudablemente la no significancia entre sitios esta relacionado a la variabilidad del talpetate que poseen los suelos de origen volcánico.

Tabla 10.- Concentración (%) de Carbono Orgánico total, bajo distintos sitios de muestreo a dos profundidades en calle e hilera en un sistema de producción de café 2004.

Sitio de muestreo	Profundidad de muestreo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	5.3	5.4
Hilera	5.4	5.3
Pr>F	0.7779	0.8273
DMS	0.6765	0.8928

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de UNA, Managua, Nicaragua.

### 3.1.2. Contenidos de Carbono lento y pasivo del fraccionamiento de la materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS), esta constituida por fracciones (lenta y pasiva) con dinámica distintas de residencia en el tiempo, en la disposición y accesibilidad de nutrientes, beneficiando la estabilidad del suelo. La fracción lenta de la MOS, es un componente menor de la fase sólida del suelo, mas sin embargo esta fracción juega un papel muy crucial en la fertilidad de los suelos, y sus relaciones con la fase mineral y con los minerales de la solución del suelo, hacen que esta fracción orgánica controle en gran medida la disponibilidad de los nutrimentos para el cultivo en los suelos tropicales (Meléndez, 2004).

Espinoza (1973); Shoji *et al* (1993); y Tosso (1985) señalan que los suelos orgánicos pertenecientes al grupo de los Andisoles, influyen en la concentración de la fracción pasiva (humus), comportándose muy diferentes a los demás suelos debido a particularidad de tener un contenido elevado de arcillas (con gran área específica) específicamente del tipo de alófana, las cuales tienden a aumentar la cantidad de dicha fracción y a disminuir la disponibilidad de fósforo y una descomposición mas lenta de materiales orgánicos incorporados.

La fraccione lenta (FL) en la (MOS), no se encuentra firmemente asociada a la parte mineral del suelo (Christensen 1996). Esta fracción se encuentra representada por los residuos de plantas y animales al ser descompuesta con mayor rapidez (Meijboom *et al*

1995), correlacionándose como fracción gruesa del suelo, esta contribuye hasta el 30 % de la materia total, considerándose como un depósito importante de disponibilidad de carbono C durante su descomposición (Stevenson y Cole 1999), esta disponibilidad se debe al poseer una relación C/N mas alta que el suelo, con valores aproximados entre 12 y 30; su densidad específica es relativamente baja  $< 2 \text{ g cm}^{-3}$ .

La parte de la fracción lenta (FL), se ve afectada por: el uso del suelo, el tipo de vegetación, y otros factores que afectan la producción primaria, y la descomposición como el clima, tipo de suelo, actividad microbiana (Dalal y Henry 1988; Cambardella y Elliot 1992; Christensen, 1992-1996; Janzen *et al*; 1992; Biederbeck *et al*; 1994; Grace *et al*; 1995; Gregorich *et al*; 1996). Se piensa que la acumulación de la fracción lenta es favorable en climas fríos y secos, en suelos cuyo pH es bajo, y donde exista una afectación continua con alto reciclaje de material (bosques y praderas) vegetal (Janzen *et al*; 1992).

Sabemos que la MOS, durante los primeros años sus pérdidas son mayores que en los años siguientes. Esta descomposición rápida inicial, es probablemente el resultado de la descomposición de la fracción lenta (FL) (Cambardella y Elliot 1992; Janzen *et al*; 1992), de esta forma constituye una propiedad dinámica de ecosistemas y como un buen indicador biológico de efectos producidos como consecuencia de diferentes manejos agronómicos al corto y largo plazo. Por su naturaleza dinámica, la FL es mas sensible que la MOS total en el corto plazo, a cambios en el ingreso de C (C-entrada) al sistema, y por lo tanto ha sido usada como indicador temprano de cambios en la calidad de la materia orgánica en estudios que comparan distintos sistemas de producción agrícola (Fliebsbach y Mader 2000; Haynes, 2000).

La fracción pasiva de la MOS, es la que menos reacciona en el suelo correspondiendo la fracción que se incorpora al complejo órgano mineral, conocida también como la fracción fina del suelo, encontrándose asociada a las partículas primarias de arcilla, limo y arena. Es aquella que se halla más transformada; por lo que su tasa de descomposición es más lenta. Posee una relación C/N mas estrecha, que la fracción lenta, y una mayor densidad específica, ya que se encuentra muy asociada a los minerales del suelo (Christensen 1992). Esta fracción de la MOS, es la que se establece en el interior de los agregados del suelo. Debido a su localización, esta parte es poco accesible a los microorganismos, y por lo tanto

la mineralización no es fácil, presumiendo que las condiciones hidrofóbicas en superficies de los agregados reducen el índice de la mineralización de la materia orgánica interior, y realza simultáneamente la estabilidad agregada (Marc-O *et al*; 2005). Por poseer una estructura altamente estable y recalcitrante de la materia orgánica, dura mucho tiempo en descomponerse de alrededor de 1,000 años. Siendo resistente a la oxidación aun después de que la fracción lenta ha sido agotada. De allí que normalmente hablamos de una composición transformada, donde el grado de esta transformación a su vez va acompañado de diferentes formas de protección (la protección física en micro poros por la asociación con las partículas minerales del suelo o la protección biológica realizada por microorganismos), que la hacen resistente a dicha degradación, convirtiéndola en la fracción de poca participación en la dinámica de los nutrientes necesarios para los cultivos en el corto plazo.

Los datos obtenidos del análisis de laboratorio del CATIE, muestran que en suelos de origen volcánicos en Nicaragua; poseen altos porcentajes de Carbono lento (CL) y Carbono pasivo (CP) (Tabla 11). Mostrando la misma tendencia de concentración del CL para todos los tratamientos en ambas profundidades, así mismo para el CP. Sin embargo se observa una tendencia clara y bien definida en los valores del C total; marcando una inclinación mayor hacia el CP en su concentración en el suelo en relación al CL.

Con respecto al comportamiento de tendencia similar del CL y CP; probablemente se deba a las características innatas del suelo que permite mayor mantenimiento de la MOS y aportaciones de nutrientes y predominantemente de C, esto es corroborado por Ruiz *et al* (1997), que estudio la distribución del C en la MOS en dos suelos (ultisol y vertisol), resultando que en el suelo vertisol se encontró mayor C que en el suelo ultisol, también a las incorporaciones de la misma por enmiendas y por la sombra; pero de menor magnitud producto del poco tiempo pues no muestra un efecto considerado propiamente del insumo (gallinaza y pulpa de café), ni de la sombra, pero que no deja de contribuir a que estos suelos muestren altos contenidos de materia orgánica humificada y por ende de C, como son los Andisoles (Espinoza, 1973 y Shoji *et al*; 1993). Este hecho se evidencia mediante la similitud de los datos encontrados de CL y CP entre las distintas sombras y enmiendas incorporadas en el estudio.

Es natural observar que las concentraciones de CL, se han menores con respecto a las concentraciones del CP, pues el CL según Janzen *et al* (1992) pertenece a la fracción que más se pierde y en proporciones mayores que la segunda fracción que corresponde al C pasivo y mas rápida, por ser la fracción de mas fácil descomposición de la MOS, permitiendo una mayor disponibilidad de nutrientes al cultivo del café, mientras que el CP se mantiene en el tiempo, sin embargo ambos C por pertenecer a dichas fracciones es considerado como un reservorio potencial de nutrientes en el transcurso del tiempo.

Tabla 11. Efecto del manejo de sombra y nivel de insumo en el contenido de Carbono (%) de la fracción lenta y pasiva del suelo a dos profundidades (cm) en 2001.

Tipo de sombra	Nivel de Insumo	Profundidad del muestreo			
		Fracción Lenta		Fracción Pasiva	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	2.14	2.04	4.20	3.55
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		2.12	2.08	5.03	4.48
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		1.94	2.16	4.57	3.98
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		2.03	2.04	5.41	4.91
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	2.24	2.29	4.99	4.22
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		2.05	2.06	5.18	4.44
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		1.66	1.68	5.47	4.64

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de CATIE Turrialba, Costa Rica.

### 3.1.3. Cantidad relativa de Carbono total (%) presente en el fraccionamiento del suelo (MOS y fase mineral).

Dentro de las fracciones de la MOS, encontramos al carbono total se divide en C de la fracción lenta (C FL); conteniendo mayor proporción al C lento mas un reducido contenido de C pasivo; así mismo sucede con el C la fracción pasiva (C FP); ésta se encuentra constituida por el 50 y 85 % de carbono del material humificado en el suelo. El carbono constituido en esta fracción, es el carbono más protegido en formas químicas más recalcitrantes, y que por lo tanto cambia en escalas de varias décadas o siglos (Baethgen y Morón 2000). Refiriéndose al carbono de la fracción lenta (C FL) se encuentra constituida entre el 10 y el 35 % del carbono del suelo. De acuerdo al contenido, este carbono se halla de manera lábil en la solución del suelo para los microorganismos y plantas. Siendo el carbono menos protegido en relación al carbono de la fracción pasiva.

En este estudio base del 2001 los valores mas altos de porcentajes de C en la fracción lenta o gruesa del suelo se ubicaron bajo los tratamientos MO con sombra mixta y el MC a pleno sol en la profundidad de 0 a 10 cm, la misma tendencia se dio en la profundidad de 10 a 20, sumándole a esto la sombra leguminosa con el nivel MC al incrementar su contenido de C en la FL. Sin embargo los valores mayores de este elemento se obtuvieron en esta última profundidad (10 a 20) para todas las combinaciones de sombra y niveles de insumos.

Tabla 12.- Efecto del manejo de sombra y niveles de insumo sobre el C total (%) en 2001 de la fracción lenta y pasiva del suelo a dos profundidades (cm) en sistemas agroforestales con café.

Tipo de sombra	Nivel de Insumo	Profundidad del muestreo			
		Fracción Lenta		Fracción Pasiva	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	33.85	36.53	66.15	63.47
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		29.64	31.74	70.36	68.26
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		29.84	35.13	70.16	64.87
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		27.03	29.38	72.97	70.62
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	30.92	35.19	69.08	64.81
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		28.32	31.63	71.68	68.37
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		23.35	26.65	76.65	73.36

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de CATIE Turrialba, Costa Rica.

El tipo de suelo puede beneficiar al contenido de C en las distintas fracciones del suelo (Tabla 12), donde el sistema a pleno sol MC mostró valores similares a los tratamientos MO con sombra mixta, leguminosa y no leguminosa. Sin embargo, valores de C de los MO puedan estar correlacionados a la actividad de los microorganismos que actúan sobre los residuos vegetales y a las aplicaciones de gallinaza y pulpa de café, los cuales se mantienen en un constante proceso de descomposición de todo ese material en especial en la época húmeda. En relación al C de la fracción pasiva o fina del suelo se observa en el cuadro 9 que en los tratamientos MO con sombra leguminosa y no leguminosa reflejaron los valores más altos de C al igual que los tratamientos MC con sombra mixta, leguminosa y no leguminosa en la profundidad de 0 a 10; mientras que en la profundidad de 10 a 20 los valores de C de la FP fueron menores en todos los tratamientos, observándose que los tratamientos que mantuvieron valores de 70 % de C en la FP son: el MC con sombra de no leguminosa y el MO con la misma sombra.

### **3.2. Contenido de Carbono microbial presente en el suelo.**

La materia orgánica del suelo (MOS), es reconocida como un importante componente de su calidad y ha sumido substancialmente como la fuente potencial de CO<sub>2</sub> atmosférico, por lo cual, conserva o aumenta los niveles de C en el suelo y se justifica no tan solo desde una perspectiva agronómica, sino también desde un punto ecológico (Elliot *et al*; 1994).

En la MOS total, se encuentra asociada a la microflora del suelo y a la disponibilidad de macro y micro nutrientes (Peirano *et al*; 1992; Stevenson y Cole 1999), encontrándose la fracción activa y representando del 3 al 5 % de la MOS (Rice y García 1994). Constituida por la micro biota edáfica, responsable de los procesos de descomposición de los substratos orgánicos como la fracción lábil o lenta y de la resíntesis de sustancias que dan origen a otros productos metabólicos como mucílagos, gomas, ácidos, enzimas y polisacáridos extracelulares, y por supuesto de CO<sub>2</sub>. De tal manera, que la medición del dióxido de carbono respirado es importante dentro de la actividad microbial del suelo (Jenkinson, 1992).

A la fracción activa, le corresponden aquellos componentes mas dinámico de la MOS, que contribuyen a la liberación de nutrientes y que son afectados directamente por el manejo agronómico; por lo tanto, una de las fracciones mas significativa en lo biológico del suelo es la masa de organismos que habitan en el suelo, cuya proporción respecto a la MOS asciende del 1 a 5 % representando el contenido del carbono en el suelo, y es una fracción lábil que contienen cantidades sustanciales de N y P (Jenkinson y Ladd 1981). De esta forma la actividad microbiana del suelo constituye una medida fundamental de importancia ecológica, puesto que por una parte representa el nivel de la actividad biológica involucrando el componente lábil de la MO y por otra integra los factores del medio ambiente y su influencia sobre la misma (Zagal *et al* 2002). Para sus determinación se hace mediante la respiración, este parámetro es el mas antiguo y mas frecuente en usarlo para cuantificar la actividad microbiana en el suelo (Zagal *et al* 2002). El uso de este índice microbiológico ha permitido estimar la actividad general de la biomasa y como ésta, es influenciada por clima, propiedades físicas y químicas o practicas de manejo agrícola, tales como labranza y rotaciones de cultivos (Campbell *et al* 1992).

Según Wallace (1994), declara que 5 g de suelo puede contener cinco billones de bacterias, 20 millones de hongos distintos, un millón de protozoarios y aun algunos organismos mayores, contribuyendo a mantener un balance entre otros organismos que podrían afectar al cultivo.

Urbina *et al* (1969), estudió la actividad microbiana en suelos derivados de cenizas volcánicas, los cuales obtuvieron cifras elevadas de CO<sub>2</sub> y N mineral, postulando, además, que una fracción de C incorporado como substrato fácilmente degradable era inmovilizado biológicamente o tal vez fijado en forma de un complejo órgano mineral. Mas recientemente Peirano *et al* (1992) y Borie *et al* (1995) determinaron actividad enzimática e hidratos de carbono, respectivamente, como medida de actividad microbiana en suelos cultivados y sus homólogos no cultivados.

En la variable carbono microbiano o fracción activa de la materia orgánica, según los resultados obtenidos del análisis estadístico reflejo diferencias estadísticas entre los tratamientos solo en la profundidad de 0-10 (Pr=0.04); mientras que en la profundidad de 10-20 no mostraron tales diferencias expresando un comportamiento similar entre los tratamientos, manifestando un sola categoría según la DMS.

Tabla 13. Efecto del manejo de sombra y nivel de insumo en el contenido de Carbono microbiano (%) a dos profundidades (cm) de muestreo.

Tipo de sombra	Nivel de Insumo	Profundidad del muestreo (2004)	
		0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	1.29 bc	1.37
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		1.48 abc	1.64
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		1.17 bc	1.23
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		0.97 bc	0.80
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	2.17 a	2.07
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		1.68 ab	1.64
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		0.77 c	0.77
Pr>F		0.04	0.07
DMS		1.3306	0.9364

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de UNA, Managua, Nicaragua.

En cambio para la profundidad de 0-10 cm, reflejó diferencia estadística; observándose la mayor tendencia hacia el tratamiento MO con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*), siguiéndole el MO con sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*), siendo este estadísticamente similar a los MC con sombra mixta, el pleno sol, sombra de leguminosa y con sombra de no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*), mientras que el tratamiento MO con

sombra de no leguminosa reflejo la menor concentración de C-microbiano presente en el suelo, siendo estadísticamente distinto a los MO con sombra mixta y leguminosa. Con respecto a la profundidad de 10-20 cm se muestra un aumento en los valores del carbón microbiano en los tratamientos MC con sombra mixta, a pleno sol y el con sombra de leguminosa al igual al MO con sombra mixta, excepto el MC con sombra de no leguminosa y el MO con sombra de leguminosa reflejaron una reducción del carbón microbiano; pero el MO con sombra de no leguminosa no incremento su valor ni lo disminuyó, sino que lo mantuvo constante al valor expresado en la profundidad anterior.

El comportamiento de encontrarse niveles altos de C microbiano en los MO con sombra mixta, leguminosa y en los MC con las mismas sombras al igual que en el sistema a pleno sol en ambas profundidades; esta influenciada por el manejo agronómico en el sistema; es decir por los niveles de insumos y el tipo de sombra. Según Buchanan (1990) citado por Espinosa (1996), afirma que cualquier práctica de manejo que incremente la acumulación del C total; incrementa el tamaño y la actividad de la biomasa microbiana presente en el suelo; confirmando este efecto los datos de la tabla 13, los cuales coincidieron con los resultados obtenidos por Kirchner *et al* (1993). Malavolta *et al*; Lopes (1991) citado por Espinosa (1996), refuta la sugerencia de que el uso de fertilizantes disminuye la población microbiana del suelo; si no una inducción positiva de los mismos. El que podría tener mayor efecto en la población microbiana son los fertilizantes a base de N (amoníaco anhídrido). Estudios de Eno y Blue (1954) demostraron claramente que la aplicación de N no afecta a la población microbiana negativamente, efecto que se ve claramente en el nivel MC a pleno sol (Tabla 13).

Claramente se observa que la presencia de la sombra leguminosa (*I. laurina*) en las combinaciones (*I. laurina* + *S. glauca* y *I. laurina* + *S. saman*) en ambos niveles (MC y MO), posee un efecto directo sobre el porcentaje de C-microbiano; debido a la fijación biológica del N, a la sustancia exudada de las raíces y residuos vegetales proveyendo así de una mayor cantidad de sustratos que sirven de sustento al crecimiento mayor en la cantidad y la actividad de biomasa microbiana del suelo ((Maryniuk y Wagner, 1978; Sarathchandra *et al*; 1988; Kirchner, *et al.*, 1993); no así para las combinaciones de sombras de no leguminosas (*S. glauca* + *T. rosea*) en ambos niveles de insumos, que mostraron un bajo porcentaje de C-microbiano en el suelo. El efecto de mantenerse el

porcentaje de C-microbiano en la profundidad de 10-20; se pueda deber al factor suelo ante la presencia del horizonte aluvial originado de cenizas volcánicas (ricos en MOS), aumentando la variabilidad de la población microbiana del suelo.

Los resultados obtenidos del análisis estadístico para el sitio de muestreo (calle e hilera), no presentaron diferencias estadísticas en ambas profundidades (0-10 cm y 10-20 cm). Observándose en la profundidad de 0-10 cm en calle contenidos similares de carbono microbiano al sitio de muestreo hilera, mientras que en la profundidad de 10-20 cm se mostró un proceder distinto en la calle al aumentar su contenido de carbono microbiano en esta profundidad, en cambio la hilera reflejó una conducta normal al descender el contenido o valor del carbono microbiano en la materia orgánica.

Tabla 14.- Efecto del sitio de muestreo (Calle e Hilera) en las concentraciones de carbono microbiano (%) de la materia orgánica en el suelo (MOS); a dos profundidades (cm) en sistema de café 2004.

Sitios de muestreo	Profundidad del muestreo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	1.39	1.44
Hilera	1.33	1.28
Pr>F	0.8	0.5
DMS	0.46	0.50

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de UNA, Managua, Nicaragua.

El comportamiento de la variable C-microbiano, de encontrarse en 0.06 % en la profundidad de 0-10 cm y 0.16 % de 10-20 cm entre sitios de muestreo (calle e hilera), esta influenciada por el manejo de carrileo que se le da al sistema y a la sombra las cuales aportan cantidades considerables de residuos orgánicos, que contribuyen al aumento del tamaño y a la actividad microbiana del suelo mediante las concentraciones de C y N. El manejo del carrileo consiste en arrastrar las hojarascas de café y los residuos de enmiendas (orgánicas y químicas) depositados en sitio de la hilera hacia la calle del sistema; no así para el sitio hilera en donde se observaron para ambas profundidades resultados; observándose el mismo comportamiento de mantenerse los porcentajes de C-microbiano en la profundidad de 10-20 cm para el sitio en calle, ante el efecto de la presencia del horizonte aluvial en estos suelos andisols, resultando distinto para el sitio de hilera donde tuvo una tendencia normal al disminuir el porcentaje de C-microbiano producto de la alta variabilidad del origen de este tipo de suelo perteneciente a la serie de Masatepe.

### 3.3. Acidez del suelo (pH en agua).

El potencial de Hidrogeno (pH) del suelo representa una propiedad importante y esencialmente en el comportamiento de los elementos minerales y en el componente biológico del suelo. El pH puede determinarse en agua o en soluciones de sales neutras (KCl), donde primero se refiere a la acidez ( $H^+$  y  $Al^+$ ) que se encuentra en la solución del suelo, mientras que el segundo incluye además a la acidez intercambiable (Bertsch 1995). Solórzano (1997), comenta que las variaciones del pH afectan la disponibilidad de los elementos que se encuentran en la parte intercambiable y en la solución del suelo, variando la población y composición de los microorganismos existentes en los suelos. Adicionándole a esta inducción una serie de problemas como: la carencia de minerales (N, P, K, Na, Ca y Mg) y bloqueos o toxicidad en concentraciones inapropiadas de estos nutrientes, resultando cambios en la composición del complejo del suelo y en la estructura del mismo (Labrador 2001).

Kass (1998), menciona los factores que influyen sobre el pH y que regulan sus concentraciones de protones de Hidrogeno como: lixiviación de bases, presencia de sulfuros, presencia de compuestos férricos y aluminicos o elementos básicos y materia orgánica dando origen a distintos valores del pH: (acidez  $< 7$ , neutro = 7 y alcalino  $> 7$ ); pero. Labrador (2001), pone de manifiesto que la materia orgánica representa un componente esencial en el equilibrio del pH en el suelo.

El resultado obtenido en el análisis estadístico de la variable acidez del suelo mostró diferencias estadísticas altamente significativa ( $Pr = 0.0003$ ) para el año 2004 en la profundidad de 0 - 10 cm, sin embargo, a la profundidad de 10 - 20 cm no hubo diferencia estadísticas; de igual manera no se mostraron diferencias estadísticas en el 2001 para ésta variable a ambas profundidades. El análisis de las medias de los tratamientos por el método de las diferencia mínimas significativas (DMS), para el año 2004 determinó a la profundidad de 0 a 10 cm, que los tratamientos que obtuvieron valores óptimos de acidez (pH) para el cultivo de café, fueron los tratamientos orgánicos intensivos (MO) con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*), sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*) y la sombra de no leguminosas (*S. glauca* + *T. rosea*) con valores de pH en agua de 6.4, 6.5, 6.4 respectivamente. Estos tratamientos superaron a los convencionales extensivos (MC) con

sombra mixta, leguminosa y no leguminosa e igualmente el sistema a pleno sol reflejando valores de 5.6, 5.9, 5.9 y 5.8 respectivamente. Con respecto a la profundidad de 10 - 20 cm, los tratamientos tal como son descritos anteriormente se observaron las mismas tendencias en los valores de pH, pero sin embargo, con valores menores a los obtenidos a la profundidad de 0 a 10 cm, también se puede observar que el pH se mantiene en el tratamiento a pleno sol, aumenta o se mantiene en los convencionales extensivos. Este proceder pueda corresponder a un efecto colateral de las aplicaciones de fertilizantes químicos completo (18-6-12-4-0.2, 12-30-10 y 27-9-18), y urea al 46 %, también a las aportaciones de las enmiendas orgánicas (gallinaza y pulpa de café); porque según Fassbender (1993) las aportaciones de nitrato y amonio (nitrógeno), tienden a acidificar el suelo resultando un aumento en hidrogeno (H) y aluminio (Al) cambiante en el suelo (Anexo 6).

Es evidente que los tratamientos orgánicos intensivos (MO) influyeron sobre el cambio de la acidez del suelo como se observa en la tabla 14, reflejando valores ligeramente ácidos según criterio de Castillo *et al* (1999), la cual se debe a la influencia de la enmienda orgánica. Este efecto de la materia orgánica se debe a su naturaleza de regulación y de amortiguación en las concentraciones de pH, evitando que se produzcan cambios bruscos en la acidez del suelo (Labrador 2001). Rivero (1999) y Castillo *et al*, (1999) explican este efecto el cual se encuentra regido por compuestos o grupos de carboxílicos, fenólicos (OH<sup>-</sup>) y aminos que funcionan como ácidos (de enlaces débiles) capaces de inactivar los iones que modifican las reacciones de acidez, permitiendo una mejor disponibilidad de los macro y micro elementos del suelo (Gómez y Ramírez 2000).

El proceder de los valores de acidez en los tratamientos MO en el año 2004 con relación al año 2001 en la profundidad de 0 - 10 cm donde se obtuvo la significancia estadística entre los tratamientos utilizados, el efecto correspondió al tipo de enmienda como la gallinaza y pulpa de café; la cual posee la actitud de corregir transformaciones toscas de acidez (pH) en el suelo, generado por el alto uso de fertilizantes químicos y a la alta presencia de sales solubles (Núñez 2000). Sin embargo, existe una discrepancia en tal inducción de la materia orgánica con respecto a la acidificación de los suelos. Según Fuentes (1994); debido al proceso de la mineralización de la MOS que libera compuestos como sulfuros, esto origina una inclinación a acidificar el suelo, pero a la vez el proceso de humificación, despliega un

efecto de agente regulador de esta acidez emanada, mediante la formación de compuestos tan complejos que dan origen a su estructura ininteligible de la MOS, conocida como humus. En la profundidad de 10-20 cm se observó el mismo resultado de la inducción de la materia orgánica ante la regulación de la acidez del suelo en niveles óptimos para el desarrollo de los cultivos.

Tabla 15.- Valores de acidez del suelo (pH en H<sub>2</sub>O) del 2001 y 2004 bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumo en un sistema de producción de café.

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Profundidad del muestreo de suelo			
		2001 <sup>1</sup>		2004 <sup>2</sup>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	5.6	5.6	5.8 b	5.8
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		5.7	5.6	5.6 b	5.7
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		5.9	5.7	5.9 b	5.8
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		5.8	5.7	5.9 b	5.3
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	5.8	5.6	6.4 a	6.1
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		5.9	5.5	6.5 a	6.3
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		5.9	5.8	6.4 a	6.1
Pr >F		0.6785	0.8256	0.0003	0.0764
DMS		0.4731	0.3787	0.3882	0.6201

Fuente: 1. Laboratorios de Suelo y Agua del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

2. Laboratorios de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

El resultado obtenido en la variable pH con respecto al sitio de muestreo (calle e hilera del cafeto), no se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para ambas profundidades tabla15. Reflejando en la profundidad de 0-10 cm valores similares tanto en la calle como en la hilera, pero mayores en comparación a la profundidad de 10-20 cm. Este tipo de proceder probablemente se encuentre afectado, por las altas concentraciones de elementos de hidrogeno y de aluminios, agregándole las concentraciones del amonio (NH<sup>+4</sup>) y del nitrato (NO<sup>-3</sup>), producto de la meteorización de las rocas y mineralización de la MOS, los cuales se manifiestan en las profundidades superiores del suelo por efecto del proceso de lixiviación, induciendo a aumentar la acidez del suelo (Fuentes 1994).

Tabla 16. Comportamiento de la acidez del suelo (pH en agua) en el 2004 en sitios de muestreo en calle e hilera, en sistemas agroforestales con café.

Sitio de muestreo	Profundidad del muestreo de suelo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	6.1	5.8
Hilera	6.0	5.9
Pr>F	0.2982	0.4107
DMS	0.2075	0.3442

Fuente: Laboratorios de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua. 2004

Los valores iguales de pH en la profundidad de 0-10 cm, pueda deberse a la presencia de la materia orgánica del suelo (MOS) en los primeros centímetros del suelo según Núñez (2000), y a su influencia amortiguadora antes las permutaciones de acidez en los suelos.

### **3.4. Fertilidad del suelo.**

El suelo es considerado como un ser vivo puesto que su formación, sus propiedades y características a lo largo del tiempo están estrechamente ligadas al balance de los procesos inorgánicos y orgánicos allí presentes (Castillo *et al.*; 1999), agrupándose en físicas, químicas y biológicas. Fassbender (1996), señala la importancia y consideración de las propiedades químicas como uno de los principales objetivos de la química de los suelos, donde su conocimiento permite elaborar criterios valiosos para su clasificación y especialmente para la interpretación de las relaciones suelo-planta.

Debido a esta complejidad de la relación suelo-planta, se dan una serie de procesos edáficos y biológicos, los cuales dependen de características como: el intercambio catiónico y aniónico, y de las concentraciones de los diferentes macro y micro nutrientes, esto como resultado de las interacciones de las fases sólidas y líquidas del suelo, que están influenciadas por la composición y del complejo coloidal (formados por partículas de la materia orgánica, arcillas, etc.) y de la composición de la solución del suelo (Fassbender 1984).

Solórzano (1997) hace mención acerca de esta naturaleza que poseen las propiedades o características químicas (CIC, N, P, K, Na, Ca, Mg,), las que están relacionadas a minerales del suelo y a la disponibilidad de nutrientes en el suelo, tanto en las formas intercambiables como en la solución. Estas características se ven influenciadas por el clima, y las condiciones edáficas. El clima en el sistema agroforestal es regulado por la presencia de árboles siendo esta una de las funciones primordiales, manteniendo una estabilidad en cuanto a la temperatura, humedad, precipitación y la fertilidad a través del reciclaje de nutrientes, además, contribuyendo a mantener una biodiversidad de macro y micro organismos en el suelo (Vasst 2001; Vasst y Harmand 2002, citado por Gutiérrez, 2002) variando las concentraciones de tales características en comparación a otros suelos. Las aplicaciones tanto de los fertilizantes químicos o sintéticos como los de origen orgánico

ejercen influencias en las concentraciones de estas propiedades. Donde la vía orgánica tiene la capacidad de equilibrar de manera rápida las formas intercambiables con la solución del suelo logrando el aumento en las concentraciones de las propiedades químicas y en su conjunto la fertilidad de los suelos (Fuentes 1994).

#### **3.4.1. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).**

Según Castillo *et al* (1999), define la capacidad de intercambio catiónico como la capacidad que tiene un suelo agrícola de retener o de aportar los nutrientes de cargas positivas llamadas cationes a través de las partículas mas pequeñas del suelo que son las arcillas minerales y el humus en estado de disolución parcial en agua del suelo a lo que se le conoce como complejo arcillo-húmico y en términos cuantitativos es la sumatoria de las bases. Este intercambio se da cuando las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, y liberan al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases (Fassbender 1984) y es considerado como un índice de la fertilidad de los suelos, ya que es una representación de una gran capacidad del suelo, incrementando su fertilidad (Fuentes 1994).

Para que un suelo posea alta actividad catiónica o aumento de la CIC depende directamente de las sustancias húmicas (complejo arcillo - húmico) debido a los grupos funcionales -R-COOH (carboxílicos) y OH<sup>-</sup> (fenólicos), que tienen una alta capacidad de cambio catiónico (Labrador 1996).

En los resultados obtenidos para esta variable, el análisis estadístico a los datos del 2001 y 2004 a las profundidades (0 - 10 cm y 10 - 20 cm), los tratamientos mostraron un comportamiento similar estadísticamente, observándose que las concentraciones de la CIC para el año 2004 resultaron menores en relación al año 2001. Sin embargo, las concentraciones de la CIC fueron más altas en los tratamientos orgánicos intensivos (MO) con sombra mixta, leguminosa y no leguminosa en el año 2001 en la profundidad de 0 - 10 cm, que en los tratamientos convencionales extensivos (MC). Tal conducta es debido a que la materia orgánica posee cargas variables negativas dándole la capacidad de retención de grandes cantidades de cationes presentando una CIC más alta que los demás tratamientos. Además que en conjunto a los minerales del suelo como la arcilla, ejercen un

comportamiento muy variable de la CIC induciendo a la transformación de un suelo poco fértil a otro más fértil correspondiendo a la interacción de la MOS y la textura del suelo. En la profundidad de 10 - 20 cm, la CIC fue menor para todos los tratamientos transfiriéndose la misma predisposición de los tratamientos a como en la profundidad anterior (0 – 10 cm), en este caso los niveles de CIC se mantuvieron similares tanto en los MC como en los MO, esto probablemente se deba a la influencia de las bajas concentraciones de los minerales como el Ca, Mg, K, y Na conocidas como las bases intercambiables a mayores profundidades. En el año 2004, para la profundidad de 0 - 10 cm los niveles de la CIC en los tratamientos MO con sombra mixta, con sombra de leguminosa y con sombra de no leguminosa son similares estadísticamente a los tratamientos MC con sombra de leguminosa, el sin sombra (a pleno sol), el con sombra de no leguminosa y con sombra mixta. Realmente la inducción de mostrar valores iguales esté atribuida a la materia orgánica como enmienda (gallinaza, pulpa de café), a los residuos orgánicos provenientes de los árboles al suelo, al manifestar niveles altos de CIC en los MO y MC; pero indudablemente tal similitud se encuentra dirigida al tipo de suelo (Andosols), los cuales poseen una característica intrínseca de su naturaleza como: la alta presencia de arcillas contribuyendo al aumento de la CIC, dado la textura franco arcillosa.

Tabla 17.- Valores de la CIC (me/100g de suelo) bajo diferentes especies de sombras y niveles de insumos en sistemas agroforestales de café.

Tipo de sombra	Niveles de insumo	Profundidad del muestreo de suelo			
		2001 <sup>1</sup>		2004 <sup>2</sup>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	67.4	65.8	35.5	30.0
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		69.4	68.4	40.6	37.6
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		69.8	66.8	38.0	28.9
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		68.3	67.5	34.9	31.3
<i>I. lurina</i> + <i>S glauca.</i>	MO	70.2	67.8	41.5	35.0
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		71.4	68.4	39.2	33.5
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		70.0	67.8	39.0	31.6
Pr >F		0.8187	0.6409	0.1826	0.0511
DMS		5.8678	3.4019	5.6125	5.5863

Fuente: 1. Laboratorios de Suelo y Agua del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

2. Laboratorios de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

Fassbender (1984), muestra un estudio realizado en Costa Rica, en suelos de origen volcánico, que las concentraciones de la CIC variaban mayormente a medida que el contenido de materia orgánica aumentaba, deduciendo que la variabilidad de la CIC esta en función de la materia orgánica y al contenido de arcilla del suelo. Esto explica la

disminución de la CIC del 2004 en relación al 2001, por lo tanto la baja de de la CIC se correlaciona con la baja del C total (MOS) del suelo (Tabla 8), así mismo del K (Tabla 23), Mg (Tabla 25) y Ca (Tabla 27). Mediante lo expresado anteriormente, describimos los contenidos de aportaciones de materia orgánica semi-descompuesta y nutriente (N, P, K), utilizada en el presente estudio (Anexo 8).

Fassbender (1984), encontró que los valores de la CIC, se encuentran adjunto al tipo de texturas del suelo, es decir que se halla correspondiendo a la presencia de las arcillas (minerales) del suelo clasificándolo en un rango de 30 a 50 meq CIC / 100 g de suelo (Anexo 5).

Con respecto al sitio del muestreo del cafeto (calle e hilera) la variable CIC, según la prueba de DMS presentó diferencias significativas ( $Pr = 0.02$ ) en la profundidad de 0 - 10 cm, no así en la profundidad de 10 - 20 cm. Encontrándose mayores niveles de CIC en la calle que en la hilera (40.2 y 36.6 meq / 100 g de suelo respectivamente). Con respecto a la profundidad de 10 - 20 cm se observó similar comportamiento de la CIC (Tabla 18).

Esto probablemente se deba a la práctica de manejo cultural que se le da al sistema como es la poda que aporta cantidades importantes de biomasa y se dejan en la calle del cafeto y el carrileo, que es el manejo que permite mantener limpio la hilera de los cafetos, por tanto, toda hojarasca y residuo orgánico es llevado a la calle del sistema de producción (con la finalidad de aplicar directamente al suelo los abonos químicos y orgánicos), aumentando de esa manera la materia orgánica en la calle y promoviendo mayormente la actividad de la CIC.

La sombra influye como fuente de materia orgánica sobre la CIC en el suelo, manteniendo condiciones óptimas de descomposición y mineralización, activando las bases cambiables del suelo.

Tabla 18. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (meq CIC/100g de suelo) 2004 en función de sitios de muestreos (calle e hilera) en sistemas agroforestales con café.

<i>Sitio del muestreo</i>	<b>Profundidad del muestreo de suelo</b>	
	<b>0 – 10 cm</b>	<b>10 – 20 cm</b>
Calle	40.2 a	33.7
Hilera	36.6 b	31.4
Pr>F	0.0228	0.1225
DMS	3.0	2.986

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

### **3.4.2. Concentración del nitrógeno (N) total en el suelo.**

El nitrógeno (N) es un constituyente básico de importantes moléculas orgánicas claves para el crecimiento y desarrollo de los vegetales tales como: proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos; formando parte de la clorofila. Este elemento participa en la formación de las ramas jóvenes y de las hojas, también en la actividad fotosintética de las mismas, desempeñando un papel primordial en el metabolismo del crecimiento del cafeto (Blanco s/f; Vieira 1999).

El nitrógeno, es un elemento que se caracteriza por su gran movilidad en el suelo (Solórzano, 1997), y su susceptibilidad a la volatilización o pérdidas influenciados por factores edafoclimáticos, como la temperatura, precipitación, humedad relativa, vegetación, pH, drenaje, microorganismo, textura, etc. Debido a esto, es un elemento que se considera el más deficitario y principalmente limitante en la producción (Gutiérrez y Solís 1999).

El contenido de nitrógeno en los suelos con clima tropical varía ampliamente de 0.02 a 0.4 % y en casos extremos los ricos en materia orgánica pueden llegar hasta el 2 %, sin embargo, un aspecto que si es bastante constante en los suelos es que la mayor parte de ese nitrógeno total se encuentra en forma orgánica, representando el 85 al 95 % de nitrógeno total del suelo (Gutiérrez y Solís 1999; Fassbender 1984; Salinas 2000), y en formas inorgánicas representando del 5 al 15 % en el suelo.

Fassbender (1984), comenta que en buena parte la naturaleza química del nitrógeno orgánico es desconocida, mas sin embargo, los compuestos nitrogenados que se acumulan en los suelos en forma de restos de animales y vegetales tienen en su mayoría naturaleza proteica. Se encuentra el Nitrógeno entre el 20 y 40 % en compuestos como: aminoácidos (lisina 15 %, alanina 13 %, isoleucina y glicina 12 %, ácido aspártico 19 %, treonina 5 %), amino azúcares, hidroxiaminoácidos, nitrógeno orgánico hidrolizado y hexosaminas. (Salinas 2000; Gutiérrez y Solís, 1999). De la misma manera (Solórzano 1997), indica que la mayor proporción del nitrógeno del suelo se encuentra asociado a la materia orgánica en formas de aminoácidos y proteínas.

El nitrógeno en forma inorgánica en el suelo, lo encontramos como: amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) de fácil asimilación, influyendo las formas gaseosas como: óxido nitroso

(N<sub>2</sub>O), óxidos nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>) en cantidades no detectables (Salinas 2000).

En los resultados obtenidos del N total no mostraron significancia, en ambos años 2001 y 2004 y en las dos profundidades de 0 - 10 cm y de 10 - 20 cm, indicando que hubo un comportamiento similar entre todos los tratamientos (Tabla 19). Según los datos, se observan que las concentraciones de nitrógeno total son similares entre los tratamientos en el año del 2001, reflejando valores comprendidos dentro de un rango de 0.6 a 0.7 % de nitrógeno total en la profundidad de 0 a 10 cm. Con respecto a la profundidad de 10 - 20 cm los valores oscilaron en un rango de 0.50 a 0.63 % reflejando la misma predisposición en todos los tratamientos y un proceder normal en la disminución del N total a esta profundidad. De la misma manera en el año 2004 manifestaron la misma tendencia en las concentraciones de nitrógeno total en todos los tratamientos fluctuando en un rango de 0.43 a 0.50 % para la profundidad de 0 - 10 cm. En relación a la profundidad de 10 - 20 cm las concentraciones fueron menores, fluctuando en un rango de 0.41 a 0.49 %, aunque no mostraron diferencias estadística se observó un comportamiento distinto para este año (2004) y profundidad en las concentraciones de nitrógeno total, consistiendo en la reducción de este elemento mineral en todos los tratamientos evaluados con respecto al año 2001.

El comportamiento observado en la Tabla 19, donde los valores de los tratamientos orgánicos intensivos son similares a los convencionales extensivos y en especial al sistema a pleno sol; se debe al efecto ejercido por las características propias del tipo de suelo y no al tipo de enmienda, ni al tipo de sombra. Según Fassbender (1984) los suelos originados de cenizas volcánicas, en su estructura física predomina una arcilla de naturaleza amorfa, la cual produce un mineral amorfo producto del reemplazo de iones OH<sup>-</sup> por SiO<sub>4</sub><sup>-</sup> llamado alófana; ésta se caracteriza como base de origen a la formación de minerales por efecto de acumulación, permitiendo así una manutención de minerales en el tiempo.

Las aplicaciones de fertilizantes sintéticos aportan cantidades considerables de nitrógeno al suelo, el MC con sombra mixta, leguminosa, no leguminosa y el sistema pleno sol, son de inmediata disponibilidad a la solución del suelo, tales cantidades actúan como agente estabilizador al disminuir la relación de C/N presente en el suelo y de las aportaciones de

los árboles de sombra (MOS), evitando la inmovilización de nitrógeno disponible por parte de los macro y micro organismos del suelo.

Tabla 19. Nitrógeno total (%) bajo diferentes especies de sombras y niveles de insumos en un sistema de producción con café.

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Profundidad del muestreo de suelo			
		2001 <sup>1</sup>		2004 <sup>2</sup>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	0.60	0.50	0.43	0.41
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		0.68	0.60	0.48	0.46
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		0.65	0.57	0.44	0.45
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		0.70	0.63	0.50	0.48
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	0.68	0.58	0.45	0.49
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		0.67	0.60	0.46	0.43
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		0.64	0.57	0.45	0.42
Pr >F		0.8386	0.4297	0.8838	0.8472
DMS		0.1546	0.1242	0.1119	0.131

Fuente: 1. Laboratorio de Suelo y Agua del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

2. Laboratorio de Suelo y Agua UNA, Managua, Nicaragua.

En cuanto a la disminución del nitrógeno disponible en el año 2004 esta estrechamente relacionada a la susceptibilidad de perderse por procesos de percolación, desnitrificación, pérdida de nitrato en el complejo coloidal, lixiviación, y en forma gaseosa (volatilización), donde la temperatura, y las precipitaciones influyen mucho en las concentraciones del nitrógeno disponible, siendo factores que inciden mucho en los sistemas agroforestales por la presencia de árboles y al tipo de enmienda principalmente los de origen orgánico que mantiene buena humedad y retiene agua en los suelos y correlacionada también a la disminución de la MOS manifestada en este año como es reflejado en la variable del C total del suelo.

En el sitio del muestreo (calle e hilera de los cafetos) los resultados alcanzados mediante el análisis estadístico no mostraron significancia estadística entre los tratamientos (Tabla 20), manifestando concentraciones de nitrógeno iguales tanto en la calle como en la hilera para la profundidad de 0 - 10 cm, y la misma predisposición de las concentraciones en la profundidad 10 - 20 cm, distinguiéndose la disminución de la concentración de nitrógeno disponible en el suelo. Este comportamiento de similitud en los valores del N en ambos sitios del muestreo (calle e hilera), muestran que la cantidad de aportaciones de las distintas especies de sombra, mas el manejo orgánico al sistema tienden a compararse a las aportaciones de aplicación química de N al suelo.

Tabla 20.- Concentraciones de nitrógeno total (%) 2004 en calle e hilera en sistemas agroforestales con café.

Sitio de muestreo	Profundidad del muestreo del suelo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	0.46	0.45
Hilera	0.46	0.44
Pr>F	0.9871	0.7608
DMS	0.0598	0.07

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

### 3.4.3. Concentración de fósforo (P) disponible en el suelo.

El fósforo (P); contenido en el cultivo representa un décimo aproximadamente de su contenido de nitrógeno; el P es un nutriente esencial para el ciclo de producción de energía que los cultivos requieren para el buen funcionamiento metabólico, constituyéndose como un elemento primordial en el funcionamiento de los procesos como: fotosíntesis, respiración y transferencia de energía (ATP ADP y ATPasa). El ácido fosfoglicérido es uno de los primeros compuestos de la fotosíntesis, originando de aquí compuestos de azúcares, proteínas, vitaminas, lípidos, carbohidratos, hormonas, siendo importantes para la división y el crecimiento de la células, promueve la formación temprana y el crecimiento de las raíces es imprescindible en la formación de las semillas por eso la concentración de P es más alta en la semilla que en cualquier otra parte de la planta y acelera la maduración de los frutos (Castillo *et al*; 1999; Blanco 1991; Kass 1996).

El fósforo es un macro elemento esencial para las plantas y en la dinámica del suelo, cuyo contenido total en la superficie terrestre esta en el orden de  $10^{15}$  Mg (Rivero de Trinca 1999), existiendo en dos fracciones: inorgánica y orgánica (Kass 1998).

El contenido de fósforo total en el suelo en promedio es de 0.05 %, pero varia de 0.02 a 0.08 % (200 a 800 ppm), debido a la variabilidad de las rocas parentales, al desarrollo de los suelo y a otras condiciones edafológicas y ecológicas (Fassbender 1986). Esta variabilidad es notoria en las fracciones inorgánicas y orgánicas y en las concentraciones del fósforo siendo de 20 a 80 %; 25 a 75 %; y de 45 a 55 %; al promediar esta participación de ambas fracciones resultan iguales tanto para la orgánica como a la inorgánica (Rivero 1999; Fassbender 1986; Kass 1998). Según Makarov *et al* (1995), señala que una de las

fuentes importantes de fósforo es la materia orgánica especialmente a la fracción orgánica del mismo. Probablemente el contenido del fósforo en los suelos este ligado al contenido de la materia orgánica y a la evolución podológica; esto indica que al aumentar el contenido de la materia orgánica por emisiones orgánicas, se obtiene un contenido mayor de fósforo total comprendido en el suelo. Pero la fuente principal del fósforo son las rocas fosfóricas o apatitas donde las concentraciones de éste son variables en solubilidad, causado por los aniones y cationes presentes en su estructura.

En los resultados obtenidos del fósforo disponible mostraron diferencias significativas para el año 2004 en ambas profundidades (0 – 10 cm; Pr = 0.008 y de 10 – 20 cm; Pr = 0.03), no así para el año comparador o base (2001). Observándose en ambos años (2001 y 2004) que los tratamientos convencionales extensivos (MC) a pleno sol y el orgánico intensivo (MO) con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*) mostraron las concentraciones mas altas de P disponible en ambas profundidades (Tabla 21). Donde el análisis de la DMS, determinó en la profundidad de 0 – 10 cm; para el año 2004 que la combinación mixta + MO y MC a pleno sol superaron a las demás combinaciones de especies de sombras con los distintos factores de insumos. Sin embargo los orgánicos intensivos (MO) con sombra de leguminosa y de no leguminosa reflejaron un mejor comportamiento en las concentraciones de P antes los tratamientos convencionales extensivo (MC) con sombra de leguminosa, no leguminosa y mixta.

Tabla 21. Concentración de Fósforo (P) disponible (ppm) del 2001-2004, bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumos a dos profundidades.

Tipo de Sombra	Nivel de Insumos	Profundidad del muestreo de suelo			
		2001 <sup>1</sup>		2004 <sup>2</sup>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	24.7	6.9	54.9 a	18.6 a
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		11.7	3.2	25.6 bcd	7.4 b
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		11.4	5.5	22.4 dc	6.8 b
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		11.8	4.8	20.2 d	6.9 b
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	20.9	5.6	53.8 a	20.0 a
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		10.1	4.7	44.5abc	14.2 ab
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		10.4	4.6	46.7 ab	10.6 ab
Pr >F		0.3428	0.7403	0.0081	0.0313
DMS		16.062	4.6134	22.667	9.7491

Fuente: 1. Laboratorio de Suelo y Agua del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

2. Laboratorio de Suelo y Agua UNA, Managua, Nicaragua.

Con respecto a la profundidad de 10 a 20 cm manifestó la misma tendencia reflejada en la profundidad anterior, pero más clara en esta de 10 a 20 cm donde los MO con sombra mixta, leguminosa y no leguminosa superaron a los MC con las mismas sombras, excepto al sistema pleno sol. Observándose también que los valores de éste elemento para el año 2004 fueron mayores con respecto al año base.

Los resultados obtenidos en fósforo (P) en los tratamientos MC con sombra mixta, leguminosa y no leguminosa en el año 2004, en ambas profundidades, difieren con los resultados que obtuvo Jiménez (1994) en un estudio que evaluó el efecto del compost y fertilización química sobre las propiedades químicas del suelo, donde las mayores concentraciones de fósforo se encontraron bajo los tratamientos químicos que en los orgánicos; pero no así con respecto al sistema a pleno sol + MC el cual si manifestó una concentración similar a los MO; esto pueda deberse a la aplicación de fertilizantes y a las condiciones que este tipo de suelo posee como: una alta CIC, esto gracia a la presencia de arcillas de tipo alófanas y al tener una textura franca arcillosa permitiéndole al fósforo una alta concentración. Atribuyéndole también la cualidad como la insolubilidad con el agua que posee el fósforo (P) en el suelo, significando poca movilidad o lenta contribuyendo a una acumulación progresiva (Kass 1998; Cantillano y M<sup>c</sup>coy 2002). Se observó que en horizontes mas profundos disminuye la concentración de fósforo (P) manifestado en la profundidad de 10 - 20 cm en el año 2001 y 2004, esto se encuentra relacionada a la poca movilidad del fósforo (P) en el suelo por lo tanto no se filtra a mayores profundidades. La tendencia de los tratamientos en la profundidad 0 a 10 cm para el año 2004 no fue igual para la profundidad de 10 a 20 cm en relación a las sombra leguminosa y no leguminosa + MC, los cuales se asemejaron estadísticamente a los MO y al sistema pleno sol quienes se comportaron iguales en ambas profundidades. Pero en cuanto a las cantidades numéricas de P en los tratamientos MC con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*), con sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*), con sombra de no leguminosa (*S. glauca*, *T. rosea*) fueron menores en comparación a los tratamientos MO con sombra mixta, de leguminosa y de no leguminosa, significando que la enmienda orgánica representó una fuente inagotable y directa de minerales en este caso de P que se mantiene en el tiempo (Rivero 1999), además suple las necesidades del estrato arbóreo algo que no pasó con los MC esto implica

la competencia que hay entre los árboles de sombra con el cultivo del café por la toma de los nutrientes, mostrándose claramente con el comportamiento del sistema a pleno sol MC.

El cambio de las concentraciones que se dio en el año 2001 con respecto al 2004, se debe a la estabilidad propia del P, proyectándose un enriquecimiento del suelo de este elemento en el tiempo y más aun si a esto se le aplica fertilizantes (Solórzano 1997). Fassbender (1986) lo explica de la manera siguiente, que el P al entrar en contacto con el suelo se une o forma compuestos con el hierro (Fe) y el aluminio (Al) convirtiendo al P poco disponible al cultivo fijándose en el suelo (Anexo 10).

Tabla 22. Concentración de P (ppm) en 2004, en calle e hilera bajo un sistema de café a dos profundidades.

Sitio de muestreo	Profundidad del muestreo de suelo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	28.6 b	10.5
Hilera	48.0 a	13.6
Pr>F	0.0028	0.2257
DMS	12.116	5.2111

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

Con respecto al sitio de muestreo (calle e hilera del cafeto), los resultados obtenidos del análisis estadístico mostraron diferencias significativas ( $Pr=0.0028$ ), en la profundidad de 0 - 10 cm (Tabla 22). La mayor concentración de P se presentó en la hilera, mientras que en la calle se encontró una concentración menor ver Tabla 22, esta diferencia fue marcada por el manejo de la fertilización, la cual se aplica en las bandas o hilera de los cafetos con el objetivo de que el nutriente este al alcance de las raíces del café. Mientras que en la profundidad de 10 - 20 cm los tratamientos no reflejaron diferencias significativas.

#### **3.4.4. Concentración de potasio (K) disponible en el suelo.**

El contenido del potasio en las plantas varia de 0.5 a 2.5 % de su peso seco. Dentro del cultivo es el elemento mas importante en la formación de los frutos y semillas, su presencia también es importante en la armazón de cafeto (Blanco; 1984). Es esencial para el crecimiento de la plantas interviniendo en muchos reacciones y procesos metabólicos, a diferencia del N y el P, el K no forma compuestos orgánicos y ayuda al uso eficiente del agua. Una función demostrada y observada es el rol que tiene de forma indirecta a la

resistencia de las plantas a las enfermedades fortaleciendo los tallos contra la invasión de patógenos y contra el acame. (Castillo *et al*; 1999). Domínguez (1997), hace mención que este elemento se encuentra involucrado dentro de los procesos de fotosíntesis, respiración y aprovechamiento del agua, actuando como un ión activador de estos procesos, su presencia esta ligada a la resistencia de los tallos de las plantas a la sequía. Estimula el macollamiento, el cuajado de los granos y el almacenamiento de azúcares y almidones.

El potasio es un elemento que abunda en la naturaleza, principalmente en la corteza terrestre o superficie del suelo (Castillo *et al*; 1999) y su contenido total es de alrededor de 2.3 a 2.5 %, pero solamente una pequeña porción pasa a ser disponible para las plantas (INPOFOS 1998). Los suelos de origen volcánico del Centro y Pacífico de Nicaragua son ricos en K, aunque los malos manejos del suelo y la no restitución durante mas de 30 años de extracción intensiva de este elemento han inducido a su deficiencia en muchos suelos de producción cafetalera (Castillo *et al*; 1999). Este elemento representa uno de los 16 elementos esenciales para la vida vegetal e importante en la dinámica del suelo y relaciones con los demás elementos minerales presente en la solución del suelo (INPOFOS 1998).

Las principales fuentes de  $K^+$  son las micas y los feldespatos, los cuales al meteorizarse lo liberan en forma disponible en la solución del suelo y otra parte de el es atrapado por la fracción coloidal del suelo, considerándose por lo tanto como intercambiable con la solución del suelo.

Los resultados que se obtuvieron en el análisis estadístico para el  $K^+$ , no presento diferencias estadísticas para el año 2001 como era de esperarse por ser el año base del estudio; pero si se mostraron diferencias estadísticas para el año 2004 en ambas profundidades. Con respecto a este año, los tratamientos reflejaron un comportamiento diferente siendo altamente significativo entre ellos ( $Pr=0.0001$ ) (Tabla 23). Según el análisis de la DMS mostraron dos grupos estadísticamente distintos en la profundidad de 0–10 cm, agrupando a los tratamientos MO con sombra de no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*), con sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*) y con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*) en la primer categoría con valores de 1.1, 0.9, y 0.9 meq  $K^+$  / 100 g de suelo, superando a los tratamientos convencionales extensivos (MC) con sombra no leguminosa, con sombra leguminosa, el sistema a pleno sol y el de con sombra mixta, los cuales

obtuvieron los valores mas bajos con 0.6, 0.6, 0.5, y 0.4 meq K / 100 g de suelo respectivamente, esta misma tendencia estadística se presento en la profundidad de 10–20 cm.

El desplazamiento del K, en el suelo se encuentra influenciado por su concentración (Núñez 2000), aunque este se encuentre en la fase del suelo intercambiable, fijado por las arcillas, y en la solución. Los resultados que se obtuvieron en el año 2004 en la profundidad de 0-10 cm, el K disponible se encontró en mayor proporción en los MO que en los MC, gracias a las enmiendas orgánicas. Debido, a que la materia orgánica representó como una reserva nutrimental de K en el suelo manteniendo un equilibrio entre el complejo coloidal y la fase acuosa o soluble del suelo, supliendo los requerimientos nutricionales tanto del cultivo como del estrato arbóreo. El tratamiento MO con sombra de no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*), mantuvo la concentración mas alta de K, se debió según Fassbender (1984) al tipo de sombra del tratamiento, ya que estas especies (maderables) no poseen cualidades específicas como las leguminosa, como el motivar a otras especies a absorber del suelo mayores proporciones de nutrimentos. A la profundidad de 10-20 cm la concentración de K disminuyeron reflejando el mismo comportamiento tanto en los tratamientos medios orgánicos (MO) como en los medios convencionales (MC), con la única variante del MC con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*) que mantuvo su concentración de K igual al de la profundidad de 0-10 cm, significando la infiltración de este elemento, la cual se debe a la captura y presencia de arcillas del suelo en esta profundidad (INPOFOS 1998).

Tabla 23. Concentración de Potasio (K) disponible (me/100 g de suelo) en 2001-2004 bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumos en sistemas agroforestales con café.

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Profundidad del muestreo de suelo			
		2001 <sup>1</sup>		2004 <sup>2</sup>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	1.1	0.7	0.5 b	0.4 b
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		0.9	0.6	0.4 b	0.4 b
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		1.3	0.7	0.6 b	0.4 b
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		1.1	0.7	0.6 b	0.5 b
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	1.1	0.6	0.9 a	0.7 a
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		1.2	0.7	0.9 a	0.6 a
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		1.1	0.7	1.1 a	0.7 a
Pr >F		0.8	0.9	<.0001	<.0001
DMS		0.4614	0.2993	0.2405	0.1515

Fuente: 1. Laboratorios de Suelo y Agua del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

2. Laboratorios de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

Algo importante de mencionar, es que todos los niveles de K obtenidos por efectos de los tratamientos son altos según Castillo *et al* (1999), indicando que este suelo (Andosols) se caracteriza por un alto contenido de arcillas y en especial del tipo amorfas (alófana), representan un depósito de concentración o fuente esencial de K en el suelo (Sardi y Debreczeni 1992; Buhman 1993).

El cambio de las concentraciones de K reflejado en el año 2004 con respecto al año 2001, probablemente correspondió a las lluvias emitidas durante los primeros años de crecimiento de los árboles de sombra en el ensayo, significando una alta humedad en el suelo y por ende una lixiviación del Potasio mermando la concentración del mismo (Potash and Phosphate Institute, 1988) (Anexo 6), pero esta disminución afectó negativamente más a los tratamientos MC, alcanzando en promedios de 52.3 %, en comparación a una reducción del 14.5 % de los tratamientos MO en las concentraciones de K en el suelo. Esto implicaría una demostración de la importancia de las aplicaciones de enmiendas orgánicas al suelo, al disminuir el efecto del factor abiótico (precipitaciones) que incidió sobre esta variable del suelo en el sistema de café en estudio, agregándole también que significó una fuente de manutención nutrimental al sistema y al enriquecimiento del suelo en el tiempo.

El K, disponible no mostró diferencias significativas en ambas profundidades para el sitio de muestreo (calle e hilera en los cafetos), comportándose de manera similar (Tabla 24).

Tabla 24. Concentración de Potasio (K) meq/100 g de suelo en 2004, en distintos sitios de muestreo en un sistema de producción de café.

Sitios de muestreo	Profundidad del muestreo de suelo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	0.7	0.6
Hilera	0.7	0.5
Pr>F	0.4713	0.0776
DMS	0.1285	0.081

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

Los valores de este elemento a la profundidad de 10–20 cm fueron mas bajos en comparación a la profundidad de 0–10 cm, esto es gracia a los proceso normales de los elementos por encontrarse en cantidades mayores en la capa superficial que en la mas profunda, debido a la influencia de la composición estructural y meteorización de los minerales primarios, (roca madre, ígneas, sedimentarias y metamórficas), que dan origen a

distintas texturas, estructuras físicas y químicas del suelo, además por las raíces de los árboles y cultivos que remueven el suelo volviendo esa capa superficial mas suelta e influenciada por los manejos de laboreos que se emplean en el suelo.

#### **3.4.5. Concentración de Magnesio (Mg) disponible en el suelo.**

El Magnesio es el elemento constituyente esencial de la clorofila, participa en la síntesis de carbohidratos, proteínas, vitaminas y otras sustancias esenciales en el metabolismo (Blanco1991). Contribuye con el metabolismo de los fosfatos y participa en la respiración de la planta.

El Magnesio ( $Mg^{2+}$ ) se origina de la meteorización de los minerales primarios y secundarios. Los suelos más ricos de éste elemento son los originados de las rocas eruptivas (basaltos, granitos y otras rocas que contienen peridotitos, anfíboles, dioritas), y sobre todo de rocas semi-sedimentarias calizas de origen marino como la dolomita; Solórzano, (1997) señala que esta últimas se destaca por aportar grandes contenidos de Mg al suelo al igual que las demás rocas como: la biotita, clorita, serpentina y olivino.

El contenido de este elemento varía según el tipo de suelo, encontrándose más alto en suelos calcáreos hasta de 2 y 3 % debido a la presencia de la dolomía ( $CaCO_3 MgCO_3$ ), y magnesita ( $MgCCO_3$ ), siendo menor en suelos no calcáreos de 0.1 y 1 % (Fassbender, 1984; Mortvedt y Cunningham 1971). Además de esta fuente mineral de  $Mg^{2+}$ , existe otra que esta al alcance pero de manera más o menos lenta que corresponde a la de los residuos orgánicos, esta disposición del  $Mg^{+2}$  depende de la intensidad de humificación y mineralización de la materia orgánica.

EL magnesio liberado de las partes estructurales del suelo y de residuos orgánicos pasa a formar parte de la solución, y fracción coloidal del suelo. En esta forma el  $Mg^{2+}$  se vuelve susceptible a perderse por lavado y ser absorbido por los microorganismos del suelo (Solórzano 1997). El  $Mg^{2+}$  atrapado por la fracción coloidal es considerado como intercambiable, el cual mantiene un equilibrio en la solución esto al decrecer la concentración del mismo, el cual se enriquece ante la adición de fertilizantes y de aportes orgánicos.

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico del Mg disponible en el suelo no mostró significancia estadística en todos los tratamientos (Tabla 25), comportándose de manera similar, observándose en el año 2001 para la profundidad de 0 – 10 cm valores similares de Mg disponible en los convencionales extensivos (MC) a pleno sol y con sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*) y el orgánico intensivo (MO) con la misma sombra obtuvieron, pero mayores al MC con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*), y a los MO con sombra mixta y MC con sombra no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*), mientras que el MO con sombra de no leguminosa obtuvo la concentración mas baja. En la profundidad de 10 – 20 cm las concentraciones disminuyeron como era de esperarse, se observó que los tratamientos MC con excepción del con sombra de maderable se intensificaron mayormente en los contenidos de Mg, que los MO con sombra mixta y maderable, menos el tratamiento con sombra leguminosa que obtuvo un comportamiento similar al de los MC. Con respecto al 2004, se da una reducción en las concentraciones en casi todos los tratamientos excepto el MO con sombra de no leguminosa que se mantuvo en la profundidad de 0 – 10 cm, mientras que en la profundidad de 10 - 20 cm solo el tratamiento sin sombra mostró una reducción en la concentración de Mg, los demás mantuvieron dicha concentración. En la profundidad de 0-10 cm los MO con sombra leguminosa y mixta mostraron valores similares al de los MC con sombra mixta y al sistema pleno sol, siendo estos mas altos que al de los tratamientos MO con sombra maderable, el MC con sombra leguminosa y con sombra maderable.

Tabla 25. Concentración de Magnesio (Mg) disponible (me/100g de suelo) 2001-2004 bajo diferentes especies de sombra y niveles de insumo en sistemas agroforestales con café.

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Profundidad del muestreo de suelo			
		2001 <sup>1</sup>		2004 <sup>2</sup>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	7.1	5.1	5.2	4.8
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		6.9	5.4	5.4	5.5
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		7.5	5.1	4.9	3.9
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		5.4	4.5	4.7	4.6
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	5.9	4.6	5.4	4.9
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		7.0	5.5	5.8	5.8
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		4.9	4.1	4.9	4.5
Pr > F		0.3584	0.8164	0.5339	0.0963
DMS		2.8071	2.208	1.2547	1.3677

Fuente: 1. Laboratorios de Suelo y Agua del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

2. Laboratorios de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

En cuanto a la profundidad de 10 – 20 cm las concentraciones de  $Mg^{2+}$  disminuyeron solamente en el MC con sombra de leguminosa, en cambio los demás tratamientos mantuvieron sus valores. Esta filtración de este elemento a capas mas profundas es causada por la acción del agua que lixivia al magnesio en su forma susceptible al lavado (Solórzano 1997). Los valores del Mg disponible son mas altos en los MO que en los MC excepto el de con sombra mixta, que tuvo un comportamiento similar a los MO.

El comportamiento manifestado en el tratamiento MC a pleno sol, para ambas profundidades (0 - 10 y 10 - 20 cm) en el año 2004; se le puede destinar a las aplicaciones de fertilizantes químicos, que inducen a aumentar las concentraciones de Mg presente en el suelo, con respecto al mismo insumo pero, con sombra mixta y leguminosa, pueda deberse al tipo de sombra, que con sus aportaciones de residuos orgánicos, tienden a aumentar los contenidos de Mg. Siendo el factor sombra, el que permite mediante sus aportaciones de hojarasca (MOS), un sustento y manutención de las concentraciones del Mg disponible en el suelo, observándose que estas concentraciones son similares a las reflejadas por los tratamientos MO con sombra mixta y leguminosa. Estudios de Shaw y Robinsón (1960) y Wade y Sánchez (1983) ponen de manifiesto este efecto de que los niveles de Mg incrementan, producto de las aportaciones de enmiendas de origen orgánico. En relación a la sombra de no leguminosa o maderable (*S. glauca* + *T. rosea*) + MC y MO pueda que este resultado lo este induciendo la retención o captura de este mineral (Mg), dentro de la capa doble de las arcillas dominando la naturaleza del tipo del suelo y mas en el caso de los MO por el tipo de enmienda (gallinaza y pulpa de café), ayudando a incrementar las retenciones o capturas del Mg de la solución del suelo, mediante el complejo arcillo-humico, además el Mg es un elemento que tiende a la susceptibilidad de la lixiviación ante la presencia de humedad en el suelo (Fassbender 1984).

La reducción de las concentraciones de Mg del 2004 en la profundidad de 0 - 10 cm en relación al 2001, probablemente se le atribuya a la propia naturaleza del elemento de ser bien soluble en el suelo, siendo muy susceptible a la lixiviación (Salmeron 1994), reconociendo que las condiciones climáticas tropicales se adecuan a la manifestación de este proceso de lixiviación del Mg con frecuencia en estos sistemas (Fassbender 1984), favoreciendo que en profundidad mayores (10 - 20 cm), los valores de Mg no se reduzcan si no que se mantengan en el tiempo a como se observa en la tabla 25. Con respecto al

efecto de mantener la misma concentración de Mg en ambas profundidades en el año 2004, observada en el tratamiento MO con sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*) o de aumentar como el MC con la combinación mixta (*I. laurina* + *S. glauca*), se deba a los contenidos diferenciados de capas orgánicas en el suelo encontrados por Hagggar *et al* (2005). El efecto de la MOS como, reservorio nutrimental en el suelo se evidencia en el tiempo (del 2001 al 2004), en relación a la profundidad de 0 – 10 cm; al observar que los tratamientos MC alcanzaron porcentajes promedios de pérdida de Mg del 24.9 %, en comparación al 9.5 % reflejados por los MO, siendo la diferencia de 15.4 % de incremento en pérdidas en los MC. Estos porcentajes de pérdidas no afectan al sistema gracias al tipo de suelo y al tipo de sombra, ya que los niveles de Mg encontrados en este estudio se encuentran en niveles óptimos según Bertsch (1995) (Anexo 11).

En el sitio de muestreo de calle e hilera de los cafetos los resultados obtenidos del análisis estadístico para el Mg disponible, no mostraron significancia alguna para ambas profundidades (Tabla 26), reflejando valores similares en las dos posiciones para la profundidad de 0 – 10 cm. En cuanto a la profundidad de 10 – 20 cm mostraron la misma tendencia en cuanto a los valores de Mg en ambos sitios, con la variante que estos valores disminuyeron en esta profundidad. Una conducta normal que ocurre en la dinámica de los elementos en el suelo. La similitud de las concentraciones de Mg en el sitio de calle con relación a la posición hilera en la profundidad de 0 – 10 cm y por ende en la profundidad de 10 - 20 cm, se deba a las aportaciones de los estratos arbóreos de sombras, especialmente de las leguminosas, adicionándole el manejo del carrileo que se ejerce, para limpiar las hileras. Los periodos de realización de este manejo son en época después de las fertilizaciones tanto químicas como orgánicas, mientras que en el caso de la hilera, se encuentra bien relacionada por ser la banda de la fertilización del cultivo, es decir el lugar donde se aplica el fertilizante químico y orgánico. Algo interesante es la conducta que se ve en las concentraciones de Mg tanto en la calle como en la hilera que no varían mucho, significando la importancia que tienen los árboles en estos tipos de sistemas agroforestales, que solo con las aportaciones de hojarasca en conjunto con el manejo que se le da, iguala los contenidos de Mg con los diferentes insumos que se efectúan dentro del sistema.

Tabla 26. Concentración de Magnesio (Mg) disponible (me/100g de suelo) en 2004 en calle e hilera en sistemas agroforestales con café.

Sitios de muestreo	Profundidad del muestreo de suelo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	5.4	4.8
Hilera	5.0	4.9
Pr >F	0.2624	0.5742
DMS	0.6707	0.731

Fuente: Análisis realizado por Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

### 3.4.6. Concentración de calcio (Ca) disponible en el suelo.

El Calcio (Ca), su función principal es mantener el estado de turgencia del plasma coloidal, lo cual es necesario para la realización normal de las reacciones metabólicas, influyendo de esta forma, en los niveles hídricos de la planta (Blanco, 1991). Es un activador enzimático, ayuda a la fijación simbiótica del N estimula el desarrollo de las raíces, mejora el rendimiento de las cosechas en forma indirecta porque reduce la acidez y reduce la solubilidad y toxicidad del Al, Mn, Fe, y Cu (Castillo *et al*; 1999)

El calcio es un elemento que su concentración se debe a la meteorización de rocas y de minerales primarios (Kass, 1998). El Ca se encuentra en el suelo asociado a feldespatos (anortita, plagioclasa), piroxenos, anfíboles, micas (biotitas) y minerales arcillosos, donde la plagioclasa contiene entre 7 y 14 % de Ca, los piroxenos como la augita e hispersteno contiene entre 11 y 18 % de Ca, la ortoclasa y la biotita llega a contener 1.5 % de Ca y los minerales arcillosos contienen cantidades menores del 2 % de Ca (Fassbender, 1984).

Generalmente los contenidos de Ca en el suelo varían según el tipo de fuente (roca y minerales), alcanzando un promedio general del 1 %. Este elemento, generalmente es lavado en el suelo en la forma disponible, por ser un elemento muy móvil desplazándose por el proceso de flujo de masa con el agua (Salieron, 1994), como consecuencia se le encuentra acumulada en forma de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) y sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>) en los horizontes más profundos en regiones húmedas. Los suelos de América Central han sufrido un rejuvenecimiento por la acción de las cenizas de los volcanes que abundan en los países centroamericanos, esto hace que los niveles de Ca sean mucho mas altos; por ejemplo: 16.9 y 23.7 meq Ca / 100 g de suelo, dándose en los suelos andosoles y fluvisoles respectivamente (Fassbender, 1984). El Ca una vez liberado de los materiales de fuentes

primordiales, pasa a la forma disponible e intercambiable del suelo manteniéndose, en equilibrio entre el Ca de la solución, ambas magnitudes varían constantemente a través de la pérdida por la percolación, absorción de las raíces y microorganismos existentes; pero sus cantidades son grandes tanto en la solución como en el complejo coloidal del suelo.

En los resultados obtenidos del análisis estadístico no mostraron significancia para todos los tratamientos en el año 2001 en ambas profundidades, observándose en los tratamientos MO y MC un comportamiento similar estadísticamente, aunque los valores de Ca en los MC sistema pleno sol y con sombra mixta fueron mayores al resto de los demás tratamientos en la profundidad de 0–10 cm; mientras que en la profundidad de 10–20 cm solo el tratamiento MC con sombra mixta mantuvo un valor mayor a los demás tratamientos MC y MO, mostrándose para el año 2004 un comportamiento diferente, donde los tratamientos mostraron diferencias estadísticas en ambas profundidades (0–10 cm  $Pr=0.02$  y de 10–20 cm  $Pr = 0.01$ ) (Tabla 27), pero una disminución en las concentraciones de Ca en comparación al 2001. Según el análisis de la DMS, en la profundidad de 0 – 10 cm reflejó que los tratamientos MO con sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*), con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*), con sombra no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*) y el MC con sombra mixta los valores mas altos de calcio, superaron a los MC, sistema a pleno sol, con sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*), y con sombra de no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*). Con respecto a la profundidad de 10 – 20 cm se observó que el MO con sombra de leguminosa fue superior estadísticamente ante el MC con sombra de leguminosa, excepto a los MC con sombra mixta, el sistema a pleno sol, con sombra de no leguminosa, MO con sombra mixta y con sombra de no leguminosa, quienes reflejaron valores estadísticamente similares.

En los resultados expresados para el año 2001 revelan la misma predisposición de las concentraciones de Ca en ambas profundidades de 0 - 10 y 10 - 20 cm. Estas concentraciones se manifestaron mayormente en los tratamientos MC a pleno sol, con sombra mixta y con sombra de leguminosa, inducido por la influencia de las aplicaciones químicas al suelo. Aplicaciones que entra en disponibilidad inmediata en la solución del suelo, más la interacción de las sombras que no dejan de estar aplicando sus nutrientes al suelo en especial las especies de leguminosas que evidencia su efecto viéndose en la combinación mixta y la combinación de leguminosas, mientras que en combinación que de

especies maderables no indujeron a mantener el mismo nivel de Ca. Con respecto a los MO este año represento la iniciación de las aplicaciones (químicas y orgánicas), por tanto es obvio no esperar cambios ni la manifestación de los beneficios que concurren ante estas aplicaciones de este tipo de enmienda en un lapso tan corto como en el 2001.

El proceder de este efecto en los resultados del 2004 en la profundidad de 0 - 10 cm, objetivamente se pone de manifiesto el efecto de la MOS en los tratamientos MO, haciendo referencia a los valores altos de Ca, esto gracias a la acción de la actividad microbial que posibilitan en la descomposición y mineralización de los nutrientes como Ca en formas de iones mas disponible hacia la planta, evidenciando la calidad al mostrar sus tenores mediante los valores de este nutriente. Mientras que los MC no reflejan tal hecho, a pesar de la presencia de las sombras, a lo cual permite enfocarse a la importancia y diferencia que existe entre una enmienda química y una orgánica. Aduciendo que en los MC la acción microbial es menor, producto de las aplicaciones de fertilizantes sintéticos (fuente de N más disponible), desviando la atención al material vegetal (reservorio de N menos disponible), repercutiendo en la sostenibilidad nutrimental del suelo, vital para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

En la profundidad de 10 - 20 cm se distingue un proceder normal en los tratamientos MO con sombra mixta, y con sombra de no leguminosa, al encontrarse una disminución de las concentraciones de Ca relacionándose al comportamiento normal de la materia orgánica en disminuir a profundidades mayores, en este caso la materia orgánica a constituido la principal fuente de Ca, por lo que al disminuir esa fuente, la concentración de este elemento tiende a disminuir. Pero en el caso del sistema MO con sombra de leguminosa, expresó un comportamiento distinto al de los otros sistemas MO y parecido al de los MC con sombra mixta y con sombra de no leguminosa. A este tipo de comportamiento lo explica Haggar *et al* (2005) en un estudio realizado en Nicaragua en suelos de origen volcánico (Andosols), similar a donde se estableció el presente estudio, encontrando mediante varias muestra de suelo, la existencia de una gran variabilidad de talpetate, induciendo a la variabilidad del contenido de la materia orgánica del suelo (MOS). Con relación a los tratamientos MC con sombra de leguminosa, este reflejó un comportamiento normal al disminuir sus concentraciones de Ca, probablemente esto se deba al efecto de la calidad de la materia orgánica originada por un tipo de especies como son las leguminosas. Gracia a sus

abundantes bondades, se evita la lixiviación del Ca a profundidades superiores, y al tipo de arcilla predominante en estos suelos. Esta conducta es muy distinta al compararlas con los demás sistemas MC a pleno sol, con sombra de no leguminosa y aún la con sombra mixta, que no lograron conseguir evitar que el Ca desarrollara una barrera ante la sensibilidad de la lixiviación, producto de su alta movilidad en el suelo (Salmerón, 1994), ante tal proceder repercute a incrementar la concentración de Ca en estos sistemas MC.

Tabla 27.- Concentración de Ca disponible (me/100 g de suelo) en 2001 y 2004 bajo diferentes especies de sombra niveles de insumo en sistemas agroforestal con café.

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Profundidad del muestreo de suelo			
		2001 <sup>1</sup>		2004 <sup>2</sup>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	16.0	13.3	9.5 bc	11.2 ab
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		16.7	15.0	11.3 ab	11.9 ab
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		15.9	12.5	8.1 c	6.8 c
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		13.9	12.5	7.9 c	9.8 bc
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	15.8	13.6	11.5 ab	9.8 bc
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		14.6	11.7	12.8 a	13.3 a
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		13.8	10.8	11.4 ab	9.7 bc
Pr >F		0.6	0.5	0.02	0.01
DMS		4.3201	4.4463	3.2496	3.304

Fuente: 1. Laboratorios de Suelo y Agua del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

2. Laboratorios de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

Con respecto al sitio de muestreo calle e hilera de los cafetos, no presentaron significancia estadística en las dos profundidades para esta variable (Tabla 28), con la variante que en la profundidad de 10 – 20 cm no hubo disminución en las concentraciones de Ca, manteniéndose similar a la profundidad de 0 – 10 cm, probablemente esto se deba a la naturaleza del elemento, en ser fácilmente filtrado a profundidades mayores, producido por la influencia del agua; dándose la lixiviación o percolación del calcio en el suelo, ante este proceder, la tendencia es de mantener en horizontes mas profundos las mismas concentraciones de Ca a los superficiales del suelo.

Tabla 28. Valores de calcio (Ca) disponible meq/100 g de suelo 2004 en calle hilera en sistemas agroforestales con café.

Sitios de muestreo	Profundidad del muestreo de suelo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	10.8	10.5
Hilera	9.8	10.2
Pr >F	0.2311	0.6499
DMS	1.737	1.7651

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

### 3.4.7. Concentración de Sodio (Na) en el suelo.

El Sodio (Na), es de gran importancia en la interrelación con otros nutrientes como el Ca y el Mg. Es el sexto elemento más abundante en el suelo conteniendo el 2.83 % en sus formas combinadas y el segundo después del cloro (Cl) en ser abundante y soluble en el agua, condición que le permite concentrarse en la solución del suelo. El sodio al elevar su concentración en la solución del suelo en relación con el Ca y el Mg da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio lo que provocaría dada su baja densidad de carga (elevado radio y baja carga), el aumento del espesor de la doble capa difusa, los efectos de repulsión entre los coloides, y con ellos la dispersión de las arcillas y la solubilización de la materia orgánica (Fuentes 1994).

Dada una alta concentración de Na en la solución del suelo, da como origen a los suelos salinos, sódicos y sódicos no salinos. Estos tipos de suelos son considerados productivos para cultivos tolerantes como: las oleaginosas, el alfalfa y el tomate; sin embargo para el cultivo del café, estos suelos se vuelven tóxicos y de baja fertilidad, la cual se encuentra definida a la concentración del sodio, ya que este induce al aumento del pH del suelo hasta un valor de 10 (pH en agua), modificando las concentraciones de los elementos primarios y por ende la fertilidad del suelo, además afecta la disponibilidad de estos para el cultivo de café. En éstas condiciones los contenidos de elementos tóxicos como el Cl, Mo, Fe, etc. aumentan, agudizando la problemática debido al alto contenido de Na en el suelo. Esto confiere una desestabilidad en la estructura del suelo, disminuyendo la fuerza de atracciones intermoleculares ejerciéndose al máximo la dispersión de las arcillas minerales del suelo (Giraldo, 1987).

En los resultados obtenidos del análisis estadísticos (Tabla 29) no se encontró diferencia estadística mostrando un comportamiento similar en todos los tratamientos en ambas profundidades (0 – 10 cm y 10 – 20 cm). En la profundidad de 0–10 cm el tratamiento MO con sombra no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*), alcanzó el valor más alto, seguido por MC con sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*) y sombra de leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*), mientras que los demás tratamientos MO con sombra de leguminosa, con sombra mixta y el MC con sombra no leguminosa al igual que el sistema a pleno sol obtuvieron los

valores mas bajos de 0.41 meq Na / 100 g de suelo. Con respecto a la profundidad de 10 – 20 cm se observaron tendencias diferentes en cuanto a los tratamientos anteriormente descritos. El tratamiento MC con sombra mixta obtuvo el valor más alto de Na disponible, luego se encuentran los MO con sombra de leguminosa y con sombra de no leguminosa, mientras que los tratamientos MC con sombra de leguminosa y de no leguminosa y el MO con sombra mixta obtuvieron valores de 0.44 meq Na / 100 g de suelo, y el valor mas bajo lo obtuvo el sistema a pleno sol. También se observó que los tratamientos MC con sombra mixta, con sombra de no leguminosa, el MO con sombra mixta y el de con sombra de leguminosa sus concentraciones de sodio disponible fueron mayores en esta profundidad que en la profundidad de 0 – 10 cm.

El comportamiento expresado en los tratamientos MC con sombra mixta, con sombra de leguminosa, y con sombra de no leguminosa, a profundidad de 0 - 10 cm se debe a las incorporaciones y presencia de la materia orgánica en el suelo, actuando como un reservorio que aporta grandes cantidades de nutrientes, enriqueciendo la fertilidad de los suelos y manteniéndola por acción del humus al enlazarse con las arcillas; sin mencionar la característica textural (franco a franco arcilloso) del suelo, en especial al contenido de arcilla alófana induciendo el efecto de mantener un equilibrio en las concentraciones de Na entre las dos fases del suelo y de acumulación de la MOS por la reacción con los compuestos orgánicos del suelo (Arias 2001), viéndose este proceder en el sistema MC a pleno sol.

Tabla 29. Valores de Sodio (Na) disponible (meq Na / 100 g de suelo) en 2004 bajo diferentes sombras y niveles de insumos en un sistema de café.

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Profundidad del muestreo de suelo	
		0-10 cm	10-20 cm
Pleno sol	MC	0.41	0.36
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		0.52	0.64
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		0.51	0.45
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		0.42	0.45
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	0.40	0.41
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		0.42	0.58
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		0.67	0.53
Pr>F		0.4422	0.3672
DMS		0.2833:	0.2743

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

El contenido de Na a profundidad de 10 - 20 cm en los tratamientos MC con sombra mixta, con sombra de no leguminosa, en los MO con sombra mixta y con sombra de leguminosa, esta influenciado, por la susceptibilidad intrínseca del mineral sódico a lixivarse producto a su alta solubilidad con el agua (H<sub>2</sub>O), también a la captura de este por el complejo arcillo-húmico, el cual manifiesta un movimiento de arriba hacia en el suelo llevando consigo entre sus capas cantidades considerables de Na a horizontes más profundos.

Esta conducta no se dio en los tratamientos MO con sombra de no leguminosa y MC con sombra de leguminosa, probablemente se debe, a la variabilidad y a la alta presencia de materiales mineralógicos de origen volcánico, contribuyendo a la presencia de las alófana, y por ende al afianzamiento del Na en las capas de las arcillas del tipo de 2:1 o 3:1 (montmorillonita y vermiculita) en los primeros horizontes del suelo, evitando las posibles pérdidas de este elemento por la lixiviación. En el caso del sistema a pleno sol (sin sombra), no se vio la tendencia de la lixiviación, tal conducta se le atribuye a la poca humedad que el suelo mantiene ante la ausencia de sombra.

Según los resultados obtenidos del análisis estadístico (Tabla 30) para el sitio de muestreo (calle e hilera) de los cafetos se encontró diferencias significativas (Pr = 0.02), en la profundidad de 0 – 10 cm, pero no así de 10 - 20 cm. El análisis de medias de los tratamientos (calle e hilera) por el método de la diferencias mínimas significativas (DMS) determinó en la profundidad de 0-10 cm dos grupos estadísticamente diferentes entre si, donde el muestreo en hilera obtuvo una alta concentración en sodio disponible, superando al muestreo en calle que obtuvo el valor mas bajo. La misma tendencia de los tratamientos se observó para la profundidad de 10 – 20 cm.

Tabla 30. Comportamiento del sodio disponible (meq Na / 100 g de suelo) en 2004 en calle e hilera en un sistema de café.

Sitios de muestreo	Profundidad del muestreo del suelo	
	0-10 cm	10-20 cm
Calle	0.39 b	0.46 (+18%)
Hilera	0.57 a	0.52
Pr>F	0.02	0.5
DMS	0.1514	0.1466

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

Este comportamiento reflejado en la profundidad de 0 - 10 cm en el sitio de hilera, se debió a la influencia de las enmiendas de gallinaza y pulpa de café al ser depositados en el surco o banda de fertilización, permitiéndole incrementar sus contenidos de sodio en el suelo; situación que no se da con respecto al sitio de muestreo en calle, donde su única fuente de fertilización la obtienen de los árboles mediante las aportaciones de residuos producto de las podas y por caída natural de hojas y ramas. Con respecto a la profundidad de 10 – 20 cm, la concentración de Na en el sitio de la calle reflejó una tendencia mayor en relación a la profundidad anterior (0 a 10 cm), al aumentar un 18 % en su concentración; este efecto probablemente se deba al comportamiento del sistema radicular del cafeto en un suelo andosols, donde las raíces laterales del cafeto se desplazan hacia el sitio de la calle en los primeros 10 cm de profundidad, dejando una concentración de este elemento mayor en profundidades superiores (INPOFOS, 2005).

#### **3.4.8. Relaciones de los minerales cambiables (Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K) del suelo.**

El Ca, Mg y K, son elementos esenciales en la dinámica y evolución del suelo (Cabalceta, 2005). El contenido del Potasio (K) en estos minerales feldespatos y micas significa del 90 al 98 % de K. El Calcio (Ca), el Magnesio (Mg) y el Potasio (K), son elementos muy susceptibles a las pérdidas por acción de factores abióticos como el agua, esto implica implementar manejos que estén dirigidos a evitar estas disminuciones. Dentro de los distintos manejos esta el suministro de enmiendas como: materia orgánica con el objetivo de incrementar la CIC del suelo, y aplicarlo de forma fraccionada en el tiempo. Estos elementos (Ca, Mg, K), se encuentran en el suelo de formas distintas: solubles, intercambiables y en el caso del Potasio de forma no disponible al corto tiempo, sino de una manera más lenta por el proceso de meteorización.

El Ca, Mg y K, son cationes antagónicos en el suelo, por lo tanto hay que garantizar el abastecimiento y para ello se debe buscar la relación mas adecuada en el contenido de los mismos (Sanabria, 2005).

Es importante conocer las relaciones Ca/K, Mg/K, y Ca+Mg/K, en todo manejo agronómico desde el punto de la fertilidad de los suelos. Por lo general, se sabe muy bien cuantos nutrientes necesitamos de cada elemento; pero no la relación que deben de

mantener entre si. La relación de estos nutrientes es básica en el suelo, ya que estos son los que tienen un marcado efecto sobre la susceptibilidad de enfermedades en los cultivos, sin discutir las mermas de rendimiento que estas relaciones causan si hay deficiencias. Si estas relaciones (Ca/K; Mg/K; Ca+Mg/K), entre si no se mantienen ellos mismos se inhiben o interfieren en la absorción de uno o de otro, causando deficiencias difíciles de corregir causando grandes mermas en el rendimiento; por lo tanto es necesario conservar estas relaciones de formas balanceadas para el buen funcionamiento y dinamismo del suelo (Anexo 3) (Lardizábal, 2000).

Los resultados obtenidos del análisis estadístico para las relaciones de Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $Pr < 0.01$ ) (Tabla 31), para todos los tratamientos de sombras + insumos y en ambas profundidades (0 – 10 y 10 – 20 cm), determinándose un comportamiento similar en los tratamientos en todas las relaciones. Según el análisis de separación de medias, se encontró que las relaciones Ca/K Mg/K y Ca+Mg/K se agruparon mayormente en los tratamientos convencionales extensivos; pero difieren su comportamiento.

Tabla 31. Concentraciones de las relaciones Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K bajo diferentes sombras y niveles de insumos en un sistema de café 2004.

Tipo de sombra	Nivel de insumos	Ca/K		Mg/K		Ca+Mg/K	
		Profundidad del muestreo de suelo		Profundidad del muestreo de suelo		Profundidad del muestreo de suelo	
		0 – 10 cm	10 – 20 cm	0 – 10 cm	10 – 20 cm	0 – 10 cm	10 – 20 cm
Pleno sol	MC	23.7 ab	34.1 a	13.2 ab	15.9 a	36.8 ab	50.0 a
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>		35.7 a	33.0 ab	16.7 a	16.9 a	52.4 a	50.0 a
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		14.7 b	18.0 c	9.0 bc	10.3 b	23.7 bc	28.3 b
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		15.8 b	23.3 bc	9.7 bc	12.1 ab	25.5 bc	35.3 b
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i>	MO	13.2 b	15.1 c	6.2 c	7.6 b	19.4 bc	22.7 b
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i>		16.2 b	21.7 c	7.0 c	9.4 b	23.2 bc	31.1 b
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i>		11.1 b	14.3 c	4.7 c	6.7 b	15.8 c	20.9 b
Pr>F		0.008	0.0009	0.002	0.005	0.005	0.002
DMS		12.704	10.018	5.5047	5.6195	17.896	14.656

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

Las combinaciones de sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*) y el sistema a pleno sol, estadísticamente fueron distintos al resto de los tratamientos MC con sombra de

leguminosa y no leguminosa y los MO reflejando las relaciones mas bajas y siendo estos estadísticamente iguales entre si, esto en la profundidad de 0 – 10 cm, no así en la de 10 – 20 cm donde la única discrepancia fue el sistema a pleno sol + MC al resaltar el valor mas alto superando al tratamiento con sombra mixta y en relación al tratamiento MO con combinaciones de sombra mixta (*I. laurina* + *S. glauca*), leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*), no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*) y los MC con las combinaciones de sombra leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*) y no leguminosa (*S. glauca* + *T. rosea*) mostraron la misma tendencia descrita en la profundidad anterior (0 – 10 cm) esto para la relación Ca/K. Con respecto a la variable Mg/K en la profundidad de 0 – 10 cm manifestó la mismo conducta a la profundidad anterior (10 – 20 cm); pero distinto en relación a la profundidad de 10 – 20 cm. de esta misma variable donde el único tratamiento MC con sombra de leguminosa reflejó un comportamiento similar al de los MO.

Para la variable Ca+Mg/ K el análisis reflejó el mismo proceder en cuanto a los MC con sombra mixta y el pleno sol, quienes incidieron mayormente en esta relación, pero estadísticamente los MC con sombra de leguminosa y no leguminosa comportándose iguales a los MO, a excepción de sombra de no leguminosa quien fue el que mostró el valor mas bajo en la profundidad de 0 – 10 cm.; pero no así en la profundidad de 10 – 20 cm. donde todos los MO al igual a los MC con sombra de leguminosa y no leguminosa estadísticamente fueron iguales pero distintos a los MC con sombra mixta y el sistema sin sombra.

Según registro de Bertsch (1995), haciendo uso de una guía de interpretación de análisis de suelo, los valores obtenidos para cada relación en el presente estudio se encuentran en valores que están en un rango óptimo (Anexo 4). El efecto de encontrarse las relaciones de Ca/K y Ca+Mg/K mas altos en los MC con sombra mixta y sin sombra en ambas profundidades y el MC con sombra no leguminosa en la profundidad de 10 – 20 cm en la relación Ca/K, y la relación Mg/K en todos los MC en ambas profundidades, se encuentran influenciadas por la aplicación de fertilizantes químicos de la formula 18-6-12-4-0.2, conteniendo a los elementos de Ca y Mg, al igual que las aplicaciones orgánicas de gallinaza y pulpa de café que contribuyen al (Anexo 7), que incremento de sus niveles distanciándose mayormente la proporcionalidad de estos dos nutrientes con el K e inhibiéndolo en la disponibilidad del mismo, mientras que este último nutriente gracias a su

radio iónico es fácil que quede atrapado por el complejo coloidal del suelo (arcillas), en especial los de tipo 2:1 y 3:1, creando un desbalance de los nutrientes, no así para los tratamientos restantes MC y MO en la relación Ca/K en ambas profundidades y solos los MO en la relación Mg/K donde sus relaciones según Kass (1998), se encuentran en rangos óptimos.

El proceder de que los MO manifestaran relaciones más bajas pero óptimas, se debe al efecto regulador de la MOS y a sus aportaciones altas de K sosteniendo proporciones de Ca, Mg y K adecuadas para un buen desarrollo y dinámica del suelo en el tiempo. Con respecto a los MC con sombra leguminosa y no leguminosa que estadísticamente manifestaron comportamiento similar a los MO, es evidente que el factor influyente es el tipo de sombra, este efecto probablemente este acompañado a estudios de sistemas con sombras no leguminosa donde se encontraron que estos son pocos absorbentes de K acumulándose en el suelo según Fassbender (1984), mientras que en el caso de sistema leguminosa es el tipo de material vegetal (mantillo) incorporado al suelo, que influye en las altas concentraciones de K, aportando 260,4 kg/ha de este elemento.

En cuanto al comportamiento de aumentar la relación (Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K) en la profundidad 10 - 20 cm en todos los tratamientos MC y MO, se deba a la movilidad del Ca y del Mg en el suelo, desplazándose con gran facilidad hacia los horizontes más profundos.

Tabla 32. Comportamiento de las concentraciones de las relaciones de Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K bajo los distintos sitios de muestreo calle e hilera en sistemas agroforestales en café 2004.

1. Siti os de muestreo	Ca/K		Mg/K		Ca+Mg/K	
	Profundidad del muestreo de suelo		Profundidad del muestreo de suelo		Profundidad del muestreo de suelo	
	0 – 10 cm	10 – 20 cm	0 – 10 cm	10 – 20 cm	0 – 10 cm	10 – 20 cm
Calle	16.8	20.2	8.2	9.2 b	25.0	29.4 b
Hilera	20.4	25.3	10.8	13.4 a	31.3	38.7 a
Pr>F	0.2883	0.06	0.07	0.008	0.1893	0.0008
DMS	6.7907	5.3547	2.9424	3.0038	9.5659	7.834

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, Managua Nicaragua.

En los resultados obtenidos del análisis estadístico para las variables de relaciones de las bases cambiables (Ca, Mg y K), en el sitio de muestreo calle e hilera se encontró diferencias estadísticas solamente en la relación Mg/K y Ca+Mg/K en la profundidad de 10-20 cm (Pr = 0.008; 0.0008 respectivamente) (Tabla 32). Las concentraciones de estas

relaciones son mayores en las hileras en ambas profundidades. Tal efecto se debe a las aplicaciones de insumos (químico y orgánico), las cuales son realizadas en la banda de fertilización (hilera).

#### IV. CONCLUSIONES

Según los resultados en este estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

El porcentaje de C total en ambos años (2001 y 2004) presente en el suelo, fueron similares en todas las combinaciones de sombras y en ambos niveles (MO y MC), pero con un decrecimiento en el año 2004. En el sitio de muestreo tampoco manifestó un comportamiento distinto con respecto a lo escrito anteriormente.

El porcentaje de C lento correspondiendo a la fracción gruesa y el C pasivo a la fracción fina del suelo, reflejaron altos valores porcentuales; para todas las combinaciones de sombra y niveles de insumos (MC y MO), para ambas profundidades en el año 2001. Este mismo comportamiento se observó en los valores porcentuales relativos del C comprendido en cada una de las fracciones del suelo.

El C-microbiano (biomasa microbiana), reflejo mayor población y actividad en presencia de las combinaciones mixta (*I. laurina* + *S. glauca*) y leguminosa (*I. laurina* + *S. saman*) de ambos niveles de insumos (MO y MC) y en el sistema a pleno sol. Con respecto al sitio del muestreo manifestó mejor actividad microbiana en el sitio de la calle.

El valor del pH del suelo, aumentó en el transcurso de 3 años (2001 al 2004) para ambas profundidades (0-10 y 10-20 cm), bajo las combinaciones de sombra leguminosa, no leguminosa y mixta más el nivel de insumo orgánico intensivo (MO), en respuesta a las aplicaciones de la MOS. El valor de pH del suelo para ambos sitios de muestreo fue igual en ambas profundidades, aunque se observó una reducción del pH en la profundidad de 10-20 cm; producto de la disminución de la MOS.

Los contenidos de P, fueron más altos para el año 2004 con respecto al 2001, influenciados por las combinaciones de sombra leguminosa, no leguminosa y mixta más el nivel de insumo orgánico intensivo (MO), considerándose una fuente de reserva de este elemento, la misma tendencia se dio en el sistema a pleno sol con el nivel convencional extensivo (MC). Esta variable mostró mayor contenido de P en el sitio de hilera que en el sitio de la calle, esto como resultado de ser el sitio de aplicación de fertilizantes agrícolas.

Los contenidos de K y Ca del suelo, disminuyeron sus valores para el año 2004 en relación al 2001, pero sus contenidos reflejaron ser más altos bajo las combinaciones de leguminosa,

no leguminosa y mixta más el nivel MO para el año 2004. Esta misma tendencia fue observada para el Ca en combinación mixta más el nivel MC. No se encontraron diferencias en el contenido de K y Ca tanto en la hilera como en la calle.

Con respecto a las variables N, Mg y CIC, los tratamientos con insumo orgánico, incidieron en niveles mayores que con respecto a los tratamientos con insumos convencionales. En el sitio de muestreo solo la CIC, mostró un proceder distinto a las otras variables (N y Mg), favoreciendo una mayor capacidad de intercambio catiónico en el sitio de la calle, como producto de los residuos jóvenes y al tipo de sombra sobresaliendo las especies de *I. laurina* y *S. saman*.

El contenido del Na presente en el suelo, fue mayor bajo la presencia de las combinaciones de sombra mixta y leguminosa más el nivel MC, siendo la misma tendencia bajo la combinación de no leguminosa más el nivel MO. Con respecto al sitio del muestreo mostró un mejor comportamiento en el sitio de la hilera, por ser el lugar de la fertilización de todo sistema.

Las relaciones mas adecuadas u óptimas de Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K, se presentaron en las combinaciones de sombra mixta, leguminosa, no leguminosa en ambos niveles de insumos (MO y MC) y el sistema a pleno sol mas el nivel MC, inducido por las aplicaciones de los insumos químicos y orgánicos, al igual que las aportaciones de las diferentes sombras de los tratamientos evaluados. La tendencia para el sitio de muestreo reflejó igualmente relaciones óptimos; pero con mayor inclinación a los valores de relación mas altos en el sitio de la hilera del sistema.

## **V. RECOMENDACIONES**

Darle seguimiento al estudio, para evaluar el nivel de efecto de los diferentes tratamientos evaluados, sobre el comportamiento de la fertilidad del suelo, y en especial como es la fluctuación de las diferentes fracciones del suelo (Materia Orgánica y fase mineral) y contenido de C en cada fracción en el tiempo.

Monitorear la competencia por nutrientes de los árboles de sombra en relación al cultivo de café y las aportaciones de éstos al sistema.

Se recomienda aplicar la misma metodología de laboratorio para las determinaciones de los parámetros de la fertilidad del suelo y de las fracciones del suelo que puedan evitar la obtención de datos diferentes; así mismo en la selección de la institución técnica para tal fin.

Evaluar los datos obtenidos de laboratorio de los diferentes parámetros de la fertilidad del suelo y de la materia orgánica utilizando la técnica de contranstes ortogonales que permitan comparar grupos de tratamientos de características similares.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, B. V. 2005. Descomposición y mineralización de la materia orgánica del suelo como fuente de energía y proteína para la biomasa microbiana presente en el suelo. Entrevista personal. Universidad Nacional Agraria.
- Alvarado, M.; Rojas, G. 1998. Cultivo y Beneficiado del café. 1<sup>era</sup> reimpresión. Editorial Universidad Estatal a Distancia EUNED. San José Costa Rica. 160 p.
- Alvarez, G. M.; Solis, P. R. 1999. Mineralización de Nitrógeno proveniente del mulch de leucaena *Leucocephala* (Lam. Wit), y *Gliricidia sepium* (Jacqui) Kunth Ex Walter en un sistema de cultivo en callejones asociados con *Zea mays* L. en la época de primera de 1997. Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad Nacional Agraria Managua, Nicaragua. 87p.
- Artavia, M.; Finegan, B. 1996. Aceituno (*Simarouba glauca* DC). Afiche en Revista Forestal Centroamericana no 16, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Arias, J. A. C. 2001. Suelos tropicales. 1ed. Editorial. Universidad Estatal a Distancia. EUNED. San José, Costa Rica. 188p.
- Baethgen, W.E. and. Morón, A. 2000. Carbon Sequestration in Agricultural Production Systems of Uruguay: Observed Data and CENTURY Model Simulation Runs. Anales de la V Reunión de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista, Florianópolis, Brasil, CD Rom.
- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53: 215-220.
- Beer, J. W. 1997. Sistema café con sombra. Agroforesteria en las Américas. 4(13): 4-5.
- Bertsch, F. 1995. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 78p
- Biederbeck, V. O.; Janzen, H. H.; Campbell, C. A and Zentner, R. P. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil. Biol. Biochem.* 26:1647-1656.
- Blanco, N. M. 1991. Deficiencias nutricionales en café. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Escuela de producción vegetal.

- Blanco, N. M. s/f. Cultivos Industriales. Consejo Nacional de Educación Superior. edt. pueblo y Educación de la Republica de Cuba, para el Consejo Nacional de Educación Superior de la Republica de Nicaragua.
- Blanco, N. M.; Hagggar, J.; Moraga, Q. P.; Madriz S. J. C.; Pavon S. G. A. 2002. Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica L*) en diferentes ambientes. Facultad de Agronomía. D. P. V. Universidad Nacional Agraria 15p.
- Bragato, G. and. Primavera, F. 1998. Manuring and soil type influence on spatial variation of soil organic matter properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:1313-1319.
- Borie, G., S.M. Aguilera, P. Peirano, y M. Caiozzi. 1995. "Pool" lábil de carbono en suelos volcánicos chilenos. Agricultura Técnica. 55:262-266.
- Buhman, C. 1993. K-fixing phyllosilicates in soils, the role of in herieted componentes. Journal Soil Scientific. 44: 347-360.
- Buchanan, M. A. 1990. Carbon and phosphorus eyeling in no-till and reduced chemical input maize agroecosystems: Experimental and simulation analysis. Ph. D. diss. North Carolina state Univ., Raleigh. In: Espinosa, J. 1996. Relación entre la fertilización mineral, la materia orgánica y los microorganismos del suelo. X Congreso Nacional Agronómico/ II Congreso de Suelos. Quito-Ecuador. Instituto de la Potasa y el Fósforo, Oficina para latino América, Casilla 17-17-980. 128 p.
- Burbano, H. 1989. El suelo: Una visión de sus componentes Bioorgánicos Col. ciencias– Universidad de Nariño. Pasto.
- Campbell, C.A., S.A. Brandt, V.O. Biederbeck, R.P. Zentner, and M. Schnitzer. 1992. Effect of crop rotations and rotation phase on characteristics of soil organic matter in a Dark Brown Chernozemic soil. Canadian Journal Soil Scientific. 72:403-416.
- Cabalceta Aguilar, G. 2005. Relación Suelo-Planta Ciclos de Nutrimientos. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. [www.cabalceta.com/docs/Clase12%20ciclos%20de%20Bases%20N%20y%20P.pdf](http://www.cabalceta.com/docs/Clase12%20ciclos%20de%20Bases%20N%20y%20P.pdf).
- Cantillano, R. E. y Mccoy, H. G. I. 2002. Balance aparente de nutrientes (N, P, K) en unidades de producción de Tisma, departamento de Masaya, ciclos 2000 – 2001. Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de recursos naturales y del ambiente, Universidad Nacional agraria. 85p.

- Castillo, A.; Eresue, M.; Rodríguez, L.; Rugama, J. A. 1999. Manejo Integrado de la fertilidad de los suelos de Nicaragua. Publicado INTA-FAO. Managua, Nicaragua. 130p.
- Combe, J.; Budowski, G. 1979. Classification of traditional agroforestry techniques. In (editor.) De las Salas, G. Workshop on Traditional Agro forestry Systems in Latin American. (Turrialba, C. P.). Turrialba, C. R. CATIE.17-47.
- Contreras, E. S. P y Arguello, M. D. A. 1999. Caracterización preliminar de 16 accesiones de pitahaya (*Hylocereus spp*) recolectados en el pacífico y centro de Nicaragua. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de agronomía, Universidad Nacional Agraria. Págs. 36-45.
- Chamorro, T. G. 1994. Evaluación económica del sistema agroforestal café intercalado con nogal. *Cenicafé* 45(4): 164-170
- Chavelas P. J. 1981. “El negrito” (*Simarouba glauca* DC), una especie nativa de uso múltiple. *Ciencia Forestal*. 6:3-16.
- Christensen, B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20:2-38.
- Christensen, B.T. 1996. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: Revision of model structure. *In*. Powlson, D. Smith, P. and Smith J. (eds.). Proceedings of the NATO advanced research workshop "Evaluation of soil organic matter models using existing long term datasets". May 21-26, 1995. IACR-Rothamsted, Harpenden, UK. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Dalal, R. C. y J. O. Carter. 1999. Soil organic matter dynamics and carbon sequestration in Australian tropical soil. In R. Lal *et al.* (eds). Global climate change and tropical ecosystem. *Adv. Soil Sci.* CRC Press, Boca Ratón. FL. pp. 283-316.
- Dalal, R. C., and Henry, R. J. 1988. Cultivation effects on carbohydrate contents of soil and soil fractions. *Soil Science Society. América. Journal.* 52:1361 – 1365.
- Domínguez, V. A. 1997. Tratado de fertilización. Madrid, España, editorial Mundi Prensa. 148p.

- Duxbury, J.M., Smith, M.S., and Doran, J.W. 1989. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. *In*. Coleman, D.C et al., (ed) Tropical Soil Organic Matter. Univ. of Hawaii Press Honolulu. p. 33-67.
- Elliot, E. T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in naative and cultivated soils. Soil Science Society. Am. J. 50:627 – 633.
- \_\_\_\_\_ Burke, I. C.; Monz, C. A and Frey, S. D.1994. Terrestrial carbon pools: preliminary data from the Corn Belt and Great Plains regions. *In*. Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F and Stewart B. A (eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. Special Publication Number 35, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. p.179-191.
- \_\_\_\_\_ y Coleman, D. C. 1988. Let the soil Works for us. *Ecol. Bull.* 39: 23-32.
- Eno, C. F., and Blue, W. G. 1954. The effect of anhydrous ammonia on nitrification and the microbiological population in Sandy Soils. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 32:178.
- Espinoza, W. 1973. Los suelos volcánicos chilenos: distribución, génesis y características.. Boletín Técnico N°49. Universidad de Concepción, Escuela de Agronomía, Departamento de Suelos, Chillán, Chile. 73p
- Fassbender, H. W. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Ed. I. Pags. 12-13.
- \_\_\_\_\_. 1984 c 1975. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. 4ª. Reimpresión. San José, Costa Rica. xviii, 385 serie no 24 398p.
- 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., Rapidez B. (eds). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. CIRAD – IICA PROMECAFE. Págs. 69-96.
- Fliebsbach, A., y Mäder. P. 2000. Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biol. Biochem.* 32:757-768.

- Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del Agricultor: Manual de Agroforestería para el desarrollo Rural. Principios y Técnicas. 1<sup>a</sup> ed. Caribe. Págs. 31-37
- Giraldo Q, P. C. 1987. Suelos. Editorial Pueblo y educación, 1980. La Habana Cuba. Segunda reimpresión. 367p.
- Gutiérrez, C. M. 2002. Disponibilidad y Dinámica del nitrógeno en el suelo bajo especies maderables y leguminosas usadas como sombras en sistemas de café, en la sub-cuenca del río grande el general. Msc. CATIE, Turrialba San José Costa Rica. 68p.
- Gliessman, S. R. 2002. Agro ecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica 359p.
- Grace, P. R.; Oades, J. M.; Keith, H., and Hancock, T. W. 1995. Trends in wheat yields and soil organic carbon in the permanent rotation trial at the Waite Agricultural Research Institute, South Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 35:857 – 864.
- Gregorich, E. G.; Ellert, B. H.; Drury, C. F., and Liang, B. C. 1996. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Science. Society. Am. J.* 60:472 – 476.
- Haggar, J.; Soto G.; De Melo, E.; Munguía, R. and García, L.. 2005. Ecological efficiencies in coffee production in Central America: a comparison of tree strata and input level and source. Informe a colaboracion UNA-Universidad Maryland.
- \_\_\_\_\_.; Staver, C. 2001. Sostenibilidad y sinergismo en café agroforestal: Un estudio de interacciones entre las plagas, la fertilidad del suelo y el estrato árbol. CATIE, Programa Regional MIP/AF, Turrialba, Costa Rica. *Agroforestería en las Americas.* 8(29): 48
- Haynes, R. J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32:211-219.
- INPOFOS. 1998. Instituto de la potasa y el fósforo. Manual de nutrición y fertilización del café. Quito, Ecuador. 61p.
- CIRAD. 1997. Progress report on flash-and burn agricultural research in Cameron. *Agroforestería de las Americas.* 6: 20.

- Jastrow, J. D., y Miller, R. M. 1997. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organo mineral associations. *In*. Lal, R., Kimble, J., Follett, R., y Stewart, B. A. (Eds.). Soil processes and the carbon cycle. CRC Press. Boca Raton. pp. 207-223.
- Janzen, H. H.; Campbell, C. A.; Brandt, S. A.; Lafond, G. P., and Townley-Smith, L. 1992. Ligth-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1799-1806.
- Jenkinson, D.S., D.D. Harkness, E.D. Vance, D.E. Adams, and A.F. Harrison. 1992. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 24:295-308.
- \_\_\_\_\_ and Ladd, J. M. 1981. Microbial biomass in soil, measurement and turnover.. *In* E. A. Paul y J. N. (eds.). *Soil Biochemistry*, Vol 5. Marcel Dekker, New York, USA. pp. 415-472
- Kass D, C. L. 1998. Fertilidad de suelos. Ed. Jorge Nuñez Solís. A. San José, C. R: EUNED, 277p
- Kirchner, M. J., Wollum II, A. G., and King, L. D. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1289-1295.
- Labrador, M. J.; Altieri, A. M. 2001. Agro ecología y Desarrollo: Aproximación a los fundamentos agros ecológicos para la gestión sustentable de los agros sistemas mediterráneos. CACERES-MADRID. Ed. MUND-PRENSA. 440-443
- \_\_\_\_\_ 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas: Aproximación al conocimiento de la dinámica. la gestión, y la reutilización de la materia orgánica en los agroecosistemas. Ediciones Mundi Prensa. 2da Ed. pp 293.
- \_\_\_\_\_ 1996. La material orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Editora. Mundi-Prensa. Madrid (España). 174p.
- Lal, R., Kimble, I., Levine, E, Stewart, B.A. (eds) 1995. Soils and global change. CRC & Lewis publishers, Boca Raton FL. *In*: FAO-Roma. 2002. Captura de Carbono en los

- suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos. ISSN 1020-430-X. 73p.
- Lardizábal, R. 2000. Relaciones adecuadas de Ca, Mg y K. Centro de Desarrollo de Agro negocios (CDA) Centro de Inversión, Desarrollo, y Exportación de Agro negocios (IDEA) Boletín Técnico de Producción # 2-mayo. [www.el salvadorag.org/IDEA\\_Prod\\_02\\_Esp.pdf](http://www.el.salvadorag.org/IDEA_Prod_02_Esp.pdf).
- López, Z. 1993. Agroforestería: una alternativa para rescatar ecología. CONCAFE. (3):28-30.
- MAGFOR. 2004. Estadística, análisis anuales de las encuestas agropecuarias en Nicaragua. Informe anual 2003 – 2004. Pdf. [www.magfor.gob.ni/temática/estadisticas.html](http://www.magfor.gob.ni/temática/estadisticas.html).
- Makarov, M. I.; Zech, W. Haumaier. 1995. Phosphorus in humic substances: Participation of organic compounds and organic- mineral interactions. Humic Substances in the Environment. New challenges and approaches. Atlanta, Georgia. 109p.
- Malavolta, E., Lopes, A. S., y Guilherme, L. R. 1991. Fertilizantes, correctivos e productividad. Simposio “O solo e a produtividade agrícola”, 43<sup>a</sup> Reuniao Anual da U. F. R. R. J., Itaguaí, R. J. In: Espinosa, J. 1996. Relación entre la fertilización mineral, la materia orgánica y los microorganismos del suelo. X Congreso Nacional Agronómico/ II Congreso de Suelos. Quito-Ecuador. Instituto de la Potasa y el Fósforo, Oficina para latino América, Casilla 17-17-980. 128p.
- Marc-O, G.; Bachmann, J.; Susanne, K.; Woche and Wlaker, R. F. 2005. Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter. Geoderma Vol. 128, Issues 1-2 Pgs 80 – 93.
- Maryniuk, S., and Wagner, G. H. 1978. Quantitative and qualitative examination of soil microflora associated with different management systems. Soil Sci. 125:343-350.
- Meléndez, G. 2004. Fracción orgánica del suelo: Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. 16p.
- Meijboom, F.W.; Hassink, J. and Van, M. N. 1995. Density fractionation of soil macroorganic matter using silica suspensions. Soil Biol. Biochem. 27:1109-1111
- Mortvedt, J. J. Cunningham, H. J. 1971. Production, marketing, and use of other secondary and micronutrient fertilizers. In: R. A. Olson, T. J. Army, J. J. Hannvay; V. J. Kilmer

- (Ed) Fertilizer technology and use. Soil Sci. Soc. of Am; Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Munguía, H. R. J. 2003. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y de hojas verdes de *Eritrina poppigiana* solas y en mezclas. Tesis Maestría Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica. 82p.
- Nair, P. K. R. 1984. Soil Productivity Aspects of Agro forestry: Science and Practice in Agroforestry. International Council for Research in Agro forestry (ICRAF): Nairobi, Kenya. In: Gliessman, S. R. Agroecología: Procesos ecologicos en agricultura sostenible. / CATIE Turrialba, C. R. p 260-268.
- Nelson, D. W. And Sommers, L. E. 1982. Total Carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A. L., Miller, R. H. And Keeney, D. R. (eds). Methods of Soil Analysis, Part. 2. American Society of Agronomy, Madison. pp. 539-579.
- Núñez S, J. 2000. Fundamentos de edafología . 3. reim. De la 2. ed. San Jose, C.R.: EUNED, 188 p
- Olsen, B. R. And Sommers, L. E (1982). In: Methods of soil Analysis, Part. 2. Second Edition. (A. L. Page, R. H: Millar and D: R. Keeney, Eds.). American Society of Agronomy, Inc., Madison. Potash and Phosphate Institute. 1988b. Potash: Its need and use in modern agricultura. PPI of Canada. 44 p.
- Omay, A. B., Rice, C. W.; Maddux, L. D and Gordon, W. B. 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:1672-1678.
- Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. (eds). 1982. Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological properties. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy. 9:595 – 624.
- PANIF (Programa ambiental Nicaragua Finlandia). 1998. Diagnostico de la situación del café. Managua. 1-25p.
- Parton, W. J., Cole, C. V., Stewart, J. W., Ojima, D. S. y Schimel, D. S. 1989. Simulation regional patterns of soil C, N, and P dynamics in U. S. Central grasslands region. In: M. Clarholm y L. Bergstrom (Eds.). Ecology of arable lands. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, the Netherlands. pp 99-108.

- Parton, W. J., Schimel, D. S., Cole, C. V, and Ojima, D. S. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 51:1173-1179.
- Potash & Phosphate Institute (PPI). 2005. Información de la fertilización de café. Northern Latin American Program. Norcross, Georgia 30092-2837 USA Phone: 770-447-0335, Fax: 770-448-0439. [www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltamn.nsf](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltamn.nsf) - 33k.
- Peirano, P. Aguilera, M. Borie, G. y Caiozzi, M.1992. Actividad biológica en suelos volcánicos y su relación con la dinámica de la materia orgánica. *Agricultura Técnica.* 52:367-371.
- Perez, J. M. A. 1994. Efecto del compost sobre propiedades fisico-químicas de un suelo Vitrandepts y la respuesta del maíz (*Zea mais* L.). Tesis Ingeniero Agronomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria.59 P.
- Perez, Z, M. Ruiz, Q, J. 2003. Cuantificación del carbono almacenado en suelo de café (*Coffea arabica* L ) con sombra en la hacienda santa maura , Jinotega, Nicaragua. Tesis Ingeniero Agrónomo, especialista en suelos y agua. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 49 pag.
- Puget, P., Chenu, C., Balesdent, J. 1995. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science* 46: 449-459.
- Ramírez, L. G. 1993. Producción de Café (*Coffea arábica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra.
- Rice, R. and Ward, J. 1996. *Coffee, Conservation, and Commerce in the Western Hemisphere*, Smithsonian Migratory Bird Center, National Resources Defense Fund, Washington DC.
- Rice, C. W. y García, F. O. 1994. Biologically active pool of carbon and nitrogen in tallgrass prairie In: Doran, J. W *et al.* (Eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA y ASA, Madison, WI. pp. 201-207.
- Rivero de Trinca, C. 1999. Materia Orgánica del suelo. Alcance 57. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 207p.

- Ruiz, M.; Elizalde, G.; Paolini, J. 1997. Distribución de la materia orgánica asociada a micro-agregados de suelo de dos topo-secuencias. Trabajo presentado en el XIII congreso venezolana de la ciencia del suelo. *Agronomía trop.* 47(4):489-506.
- Saggar, S. Parshotam, A., Hedley, C. y Salt. G. 1999. <sup>14</sup>C-labelled glucose turnover in New Zealand soils. *Soil Biol. Biochem.* 31:2025-2037.
- Salmeron, F. y García, L. 1994. Fertilidad y fertilización de suelos. Universidad Nacional Agraria. 141p.
- Sanabria, H. 2005. Factores que afectan a la disponibilidad del potasio y fuentes disponibles para el productor. Productor de Hortalizas Centroamericana. Tecnología de Riego: Tubérculos, raíces, y cebollas. Calidad e Inocuidad. Una Publicación de Meister. Segundo Trimestre. p 24-28.
- Sarathchandra, S. U., Perrott, K. W., and Boase, M. R., and Waller, J. E. 1988. Seasonal changes and the effects of fertilizer on some chemical, biochemical and microbiological characteristics of high-producing pastoral soil. *Biol. Fertil. Soils* 6:328-335.
- Sardi, K; Debreczeni, K. 1992. Comparison of methods evaluating the plant available potassium content in soils of different types and potassium levels. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23; 26: 13-2632
- Siman, J. 1992. Contradicciones entre decisiones macro y microeconomías: El caso de café en Nicaragua. *El observador Económico* 9:3-4.
- Suárez de C., F. 1960. Valor de la pulpa como abono. *Agricultura Tropical* 16 (8): 503-513.
- Shaw, W. M.; Robinson, B. 1960. Organic matter decomposition and plant nutrient release from incorporation of soyabean hay and wheat straw in a Holston sandy loam in outdoor lysimeters. *Soil Sci, Soc. Am. Proc.* 24:54-57.
- Shoji, S., M. Nanzyo, and R.A. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization. *Developments in soil science* 21. Elsevier, Amsterdam, The Netherland. 288p.
- SAS Institute Inc. 1999. Software Versión 8 (TS MO). Cary NC. USA.

- Skjemestad, J. O., Janik, L. J. y Tylor, A. 1998. Non-living soil organic matter: What do we know about it. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 667-80.
- Stevenson, F. J., and Cole, M. A. 1999. *Cycles of soil*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, New York, USA. 427p.
- Tate, R.L. 1987. *Soil organic matter: Biological and ecological effects*.. John Wiley & Sons, New York, USA. 291 p.
- Theng, B. K. G., Tate, K. R., Sollins, P. 1986. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In *Dynamic of soil organic matter in tropical ecosystems* . Eds. Coleman, D. C., Oades, J.M., Uheara, G. Paia. Hawaii. Niftal Project. P 117-121.
- Tosso, J. (ed). 1985. *Suelos volcánicos de Chile*. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. 723p.
- Urbina, A., E. San Martín, y R. Schaefer. 1969. La actividad metabólica de algunos grupos fisiológicos de microbios en suelos Ñadis de Chile. *Agricultura Técnica* 26:145-160.
- Van Venn, J. A., y Paul, E. A. 1981. Organic C dynamics in grassland soils. 1: Background information and computer simulations. *Can. J. Soil Sci.* 61:185-201.
- Vance, E. D.; Brookes, P. C. And Jenkinson, D. S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 703-707 pp.
- Vasst, P. 2001. Resumen en posters en el área de Agroforestería Tropical (CATIE). Ventajas y desventajas de los árboles de sombras en sistemas con café.
- \_\_\_\_\_ y Harmand, J. M. 2002. Importance des systemes agarforestiers dans la production de café en Amérique centrale et au Mexique. *Recherche et cafeiculture*, P: 35 – 40
- Vieira, J.; Fischler, M.; Marin X.; Sauer, E. 1999. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de laderas (Sistema de producción de granos básicos-pequeña ganadería). El Salvador. 136p.
- Wade, M. K.; Sanchez, P. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon basin. *Agron. J.*75:39-45.

Walkey, A. and Black, L. A. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter an aproposed modification of the chromic acid tritiation method. Soil. Sci. 37: 29-38

Zagal, E.; Rodríguez, N.; Vidal, I., and Quezada, L. 2002. Microbial activity in a volcanic ash soil under different agricultural management. Agricultura Técnica. 62:297-309.

# Anexos

Anexo 1. Especies de sombra temporal y permanente en ensayo de sistema

Especies de sombra permanente		Especies de sombra temporal	Especie de sombra sustituida	Especie de sombra sustituta
Nombre científico	Nombre Común			
<i>Inga vera</i> + <i>Simaruba glauca</i>	Guaba + Acetuno	Gandul + Higuierilla		
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> + <i>Tabebuia rosea</i>	Guanacaste + Roble	Gandul + Higuierilla	Guanacaste (2004)	Jenízaro (2002)
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> + <i>Inga vera</i>	Guanacaste + Guaba	Gandul ( <i>Cajanus cajan</i> )	Guanacaste (2004)	Jenízaro (2002)
<i>Simaruba glauca</i> + <i>Tabebuia rosea</i>	Acetuno + Roble	Higuierilla ( <i>Ricinus communis</i> )		

Anexo 2. Población de plantas y manejo de tejidos en árboles y cafetos

Especie	Distancias	Población	Manejo de tejidos			
			2001	2002	2003	2004
Árboles de sombra	4 x 3.75 m	Ha = 666 Mz = 468	Poda de formación		Regulación, elevación y descentrado	
Cafetos	2 x 1.25 m	Ha = 4000 Mz = 2810	Poda de sanidad			

Anexo 3. Guía para la interpretación de las relaciones básicas en el análisis de suelos del ministerio de agricultura y ganadería (MAG 1982) Relaciones entre cationes

Relaciones	Desbalance	Balance	Desbalance
Ca/K	5	5 - 25	> 25
Mg/K	2.5	2.5 - 15	> 15
Ca+Mg/K	10.	10 - 40	> 40

Fuente: Kass, D. 1998.

Anexo 4. Guía de interpretación de las relaciones básicas en el análisis de suelo utilizado por el CATIE.

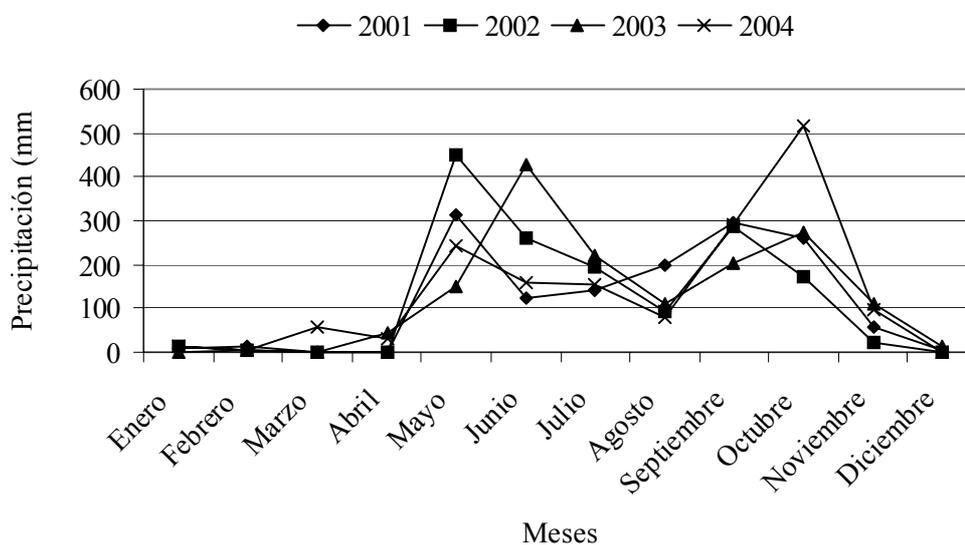
Relación	Deficiente	Nivel critico	Optimo
Mg/K	0.2	1.6	3.6 a 14
Ca+Mg/K	0.2	3.5	10 a 60

Fuente: Bertsch, F. 1995.

Anexo 5. Promedio CIC en función de la textura del suelo.

Textura	CIC (meq / 100 g de suelo).
Arcilloso	40 – 70
Franco arcilloso	30 – 50
Franco	15 – 35
Franco arenoso	08 – 14
Arenoso	01 – 10
Materia orgánica	>85

Fuente: Fassbender, H. W. 1984.



Anexo 6.- Comportamiento pluviométrico del ensayo en sistemas agroforestales con café en Masatepe, Nicaragua.

Anexo 7.- Aportes de nutrientes en (%) del insumo Orgánico Intensivo (MO) aplicados al suelo en el ensayo de sistemas agroforestal en café de 3 año, Masatepe, Nicaragua.

Año	Abono	Ca	Mg
2001	Gallinaza.	0.12	0.8
	Pulpa de café	0.7	0.2
2002	Gallinaza.	3.8	0.1

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua CATIE Turrialba C,R 2001.

Anexo 8. Aportes de abonos en el tratamiento Orgánico Intensivo (MO) y concentración de nutrientes (%) aplicados al suelo en el ensayo de sistemas en café, Masatepe, Nicaragua.

Año	Tipos de abonos	Dosis aplicada (Tn h <sup>-1</sup> )	Concentración de nutrientes (%).		
			N	P	K
2001	Pulpa de café.	9.2	3.0	0.2	5.6
	Gallinaza.	11.2	0.7	1.3	1.5
2002	Gallinaza.	11.2	2.2	1.6	n. d.
2003	Gallinaza.	11.2	4.81	1.79	1.37
	Pulpa de café.	9.2	3.5	0.17	3.43
2004	Gallinaza.	11.2	5.69	2.75	1.43
	Pulpa de café.	9.2	3.5	0.18	4.25

Anexo 9. Aportes de Nutrientes de cada nivel de insumo aplicado en el estudio de sistemas agroforestales en café del 2000 al 2004 en Masatepe, Nicaragua.

Aportes de nutrientes en fertilización (kg/ha).												
Año	Alto convencional.			Convencional extensivo			Orgánico intensivo			Bajo orgánico		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
2000	93	20	13	46.5	10	6.5	71	45	132	59	4	110
2001	144	41	64	72	21	34	106	145	216	47	3	88
2002	144	41	64	72	21	34	233	113	216	47	3	88
2003	144	41	85	72	21	45	233	113	216	47	3	88
2004	144	41	85	72	21	45	532	238	210	47	3	88

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua CATIE Turrialba C,R 2001.

Anexo 10.- Concentraciones de Hierro (Fe) mg / kg en 2001 presente en el suelo; en función al tipo de sombra y niveles de insumo en sistemas agroforestales con café.

Tipo de sombra	Nivel de Insumo	Profundidad del muestro de suelo en cm	
		0-10	10-20
Pleno sol	MC	87.00	104.66
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i> .		80.00	88.66
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i> .		81.66	122.33
<i>S. glauca</i> <i>T rosea</i> .		91.33	103.00
<i>I. laurina</i> + <i>S. glauca</i> .	MO	90.66	109.00
<i>I. laurina</i> + <i>S. saman</i> .		90.00	123.33
<i>S. glauca</i> + <i>T. rosea</i> .		82.66	110.66

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua CATIE Turrialba C,R 2001.

Anexo 11.- Guía de interpretación de Mg en el análisis de suelo utilizada por el M. A. G.

	U. de m.	Bajo	Optimo	Alto
Mg	meq / 100	< 1	1 - 10	> 10

Fuente: Bertsch, F. 1995.