

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL



**CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y DE SUELOS DE LOS SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA EN EL ZONA DEL PACIFICO DE
NICARAGUA; USO Y EFECTIVIDAD DE LOS NUTRIENTES.**

Autores

Br. Arlen Elizabeth Moreno.

Br. Carlos Alberto Navorío Velázquez.

Asesores

Ing. MSc. Leonardo García

Ing. MSc. Rodolfo Munguía

Managua, Nicaragua. Diciembre 2004

Dedicatoria

A mi madre María que me dio el ser y a mí querida hermana Johana que me ha dado todo su apoyo y paciencia durante estos últimos años.

Arlen Elizabeth Moreno.

A mi madre Reyna Velásquez y en especial a mi padre Carlos Navorío a quien le debo mis estudios y todo lo que he logrado hasta hoy.

Carlos Alberto Navorío Velásquez.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos principalmente a Dios por habernos permitido vivir hasta hoy.

A la Universidad Nacional Agraria y en particular a la Facultad de Agronomía que nos ha permitido obtener conocimientos técnicos y científicos que nos servirán en nuestro quehacer como profesionales.

A nuestros asesores Ing. Leonardo García y especialmente al Ing. Rodolfo Munguía que siempre estuvo cuando lo necesitábamos para orientarnos con sus conocimientos.

Al proyecto UNA / MERYLAND por permitirnos realizar nuestro trabajo de culminación de estudio.

Al Ing. Víctor Hugo por habernos colaborado en reiteradas ocasiones y de igual forma a la Ing. Martha Gutiérrez.

A los productores de café de la zona del pacífico de Nicaragua, por habernos permitido realizar nuestro estudio en sus fincas.

Índice General

Sección	Página
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Índice general	iii
Índice de cuadros	vi
Indice de anexos	viii
Resumen	ix
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- MATERIALES Y METODOLOGÍA	4
2.1.- Ubicación del estudio	4
2.2.- Selección de cafetales en la Zona	4
2.3.- Los niveles tecnológicos del cafetal	4
2.4.- Caracterización biofísica del cafetal	4
2.5.- Selección de las áreas de muestreo en el cafetal	5
2.6.- Caracterización física de suelo en el cafetal	5
2.7.- Recolección de hojarasca del suelo en el cafetal	6
2.8.- Caracterización química de suelo en el cafetal	6
2.9.- Caracterización de los árboles de sombra y cafetal	6
2.10.- Análisis de los datos	7
III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
3.1.- Caracterización biofísica de los cafetales en el Pacífico de Nicaragua	8
3.1.1.- Productores, niveles tecnológicos en cuanto al uso de fertilizantes y altitud de cafetales en el Pacífico de Nicaragua	8

Sección	Página
3.1.2.- Fertilización y Producción de los sistemas de producción en los últimos cinco años	9
3.1.3.- Uso anterior del suelo, edad del cafeto, diversidad y predominancia de especies de sombra	12
3.1.4.- Variedades cultivadas en los cafetales	14
3.1.5.- Altura y ancho de copa de plantas (m) y densidad de cafeto	15
3.1.6.- Caracterización de los árboles de sombra	16
3.2.- Caracterización física de los suelos cafetaleros	17
3.2.1.- Profundidad de horizonte de los suelos cafetaleros	17
3.2.2.- Textura de los suelos cafetaleros en diferentes horizontes	18
3.2.3.- Color de los suelos en diferentes horizontes	20
3.3.- Biomasa de los residuos vegetales, concentraciones minerales y contenido de nutrientes	21
3.3.1.- Cuantificación de la biomasa de los residuos vegetales del suelo	21
3.3.2.- Concentración de N, P y K obtenidos en diferentes componentes de la biomasa de los residuos vegetales	22
3.3.3.- Contenido de N, P y K obtenidos en biomasa de los residuos vegetales	23
3.4.- Caracterización química de suelos cafetaleros	25
3.4.1.- Contenido de materia orgánica en los suelos cafetaleros	25
3.4.2.- Contenido de Carbono en los suelos cafetaleros	26
3.4.3.- Contenido de Nitrógeno disponible en los suelos cafetaleros	28
3.4.4.- Contenido de Fósforo disponible en los suelos cafetaleros	29
3.4.5.- Acidez de los suelos cafetaleros (pH en H ₂ O y KCl)	31
3.4.6.- Capacidad de Intercambio Catiónico en los suelos cafetaleros	32

Sección	Página
IV.- Conclusiones	34
V.- Recomendaciones	35
VI.- Referencias bibliográficas	36
VI.- Anexos	42

Índice de Tablas

Tabla N^o	Página
1.- Relación de productores por tipo de sombra, nivel de insumo y altitud de las fincas	8
2.- Aporte de nutrientes y producción de café grano oro en kg ha ⁻¹ en diferentes sistemas agroforestales	11
3.- Uso anterior del suelo	12
4.- Edad del cafeto y diversidad de árboles de sombra por sistemas en el área muestreada	13
5.- Porcentaje de participación de las especie de sombra en los cafetales	14
6.- Variedades de café	15
7.- Altura, ancho de copa y densidad poblacional de los cafetos	16
8.- Porcentaje de sombra, diámetro a la altura del pecho y densidad de los árboles de sombra	17
9.- Profundidad de horizontes (cm) obtenidos en suelos cafetaleros bajo diferentes sistemas agroforestales	18
10.- Textura de los suelos cafetaleros obtenidos en diferentes sistemas agroforestales	19
11.- Presencia de grava y talpetate en los 42 puntos de muestreos	19
12.- Color de los suelos cafetaleros obtenidos en diferentes horizontes del perfil	20
13.- Cantidad de la biomasa de los residuos vegetales (kg ha ⁻¹) depositados sobre el suelo	22
14.- Concentración mineral (%) de la biomasa de los residuos vegetales obtenidos en diferentes sistemas agroforestales	23
15.- Cantidad potencial de N, P y K (kg ha ⁻¹) en la biomasa de los residuos vegetales en diferentes sistemas agroforestales	24
16.- Contenido de materia orgánica (%) a tres profundidades de los suelos cafetaleros	25

Tabla N^o	Página
17.- Contenido de Carbono (%) a tres profundidades de los suelos cafetaleros	27
18.- Contenido de Nitrógeno total (%) a tres profundidades de los suelos cafetaleros	28
19.- Contenido de Fósforo disponible (ppm) a tres profundidades de los suelos cafetaleros	30
20.- Valores de acidez (pH en H ₂ O y KCl) a tres profundidades de los suelos cafetaleros	32
21.- Capacidad de Intercambio Catiónico (meq / 100 g de suelo) a tres diferentes profundidades de los suelos cafetaleros	33

Índice de Anexos

Anexo N ⁰	Página
1.- Producción de café oro en kg ha ⁻¹ de los ciclos agrícolas 1998-2003 en sistemas agroforestales con café	42
2.- Cantidad de N, P y K en la biomasa de los residuos vegetales en calle e hilera bajo diferentes sistemas agroforestal	42
3.- Presencia de grava y talpetate hasta una profundidad de 115 cm de los suelos cafetaleros en diferentes sistemas agroforestales (42 puntos de muestreos)	43
4.- Contenido de Materia Orgánica (%) en calle e hilera a tres profundidades en los suelo cafetaleros	44
5.- Contenido de Carbono (%) en calle e hilera a tres profundidades en los suelos cafetaleros	45
6.- Contenido de Nitrógeno (%) en calle e hilera a tres profundidades en los suelos cafetaleros	46
7.- Contenido de Fósforo (ppm) en calle e hilera a tres profundidades en los suelos cafetaleros	47
8.- Valores de acidez de los suelos cafetaleros en calle e hilera a tres profundidades (pH en H ₂ O y KCl)	48
9.- Capacidad de Intercambio Catiónico (meq / 100 g de suelo) en calle e hilera a tres profundidades en suelos cafetaleros.	49

Resumen

En los meses de Diciembre (2003) y Enero (2004) se realizó en los departamentos de Masaya y Carazo, en la Zona del Pacífico de Nicaragua una caracterización de sistemas agroforestales con café, bajo diferentes niveles tecnológicos, cafetal con sombra de árboles leguminosos + moderado insumo químico, cafetal con sombra de árboles leguminosos + moderado insumo orgánico, cafetal con sombra de árboles leguminosos + bajo insumo orgánico, cafetal con árboles de sombra no leguminosos + moderado insumo químico, cafetal con árboles de sombra no leguminosos + moderado insumo orgánico, cafetal con árboles de sombra no leguminosos + bajo insumo orgánico y pleno sol. Se seleccionó un área de 40 a 45 m² para realizar la caracterización física de suelo la cual se realizó en el centro de esta, recolección de hojarasca en cinco puntos de 0.25 m² cada uno en calle e hilera, caracterización química de suelo la cual se llevó a cabo en los mismos cinco puntos donde se recolectó la hojarasca a profundidades de 0-5, 5-15 y 15-30 cm, la caracterización de los árboles de sombra se realizó proyectando la misma área del cafetal 5 m sobre el surco y 5m en posición vertical a este obteniendo un área mayor a los 225 m². Los cafetales del sistema pleno sol y un cafetal con sombra leguminoso + moderado químico presentaron la producción más alta de café en los últimos cinco años (1998-2003) mayor a los 900 kg ha⁻¹, la diversidad de los árboles de sombra en esta zona es de 1 a 3 especies diferentes predominando la especie *Gliricidia sepium* Jacq., con un 47 % del total. Los sistemas con sombra leguminoso + moderado orgánico y no leguminoso + moderado químico presentaron densidades mayores a los 6000 plantas ha⁻¹, mientras pleno sol fue el de menor densidad con 3480 plantas ha⁻¹, el sistema con sombra leguminoso + moderado orgánico presentó mayor porcentaje de sombra 76.96 % y densidad de árboles 395 plantas ha⁻¹. Por lo general los sistemas presentaron textura franca a franco limoso (FL), con colores que van de pardo (10YR 4/3) a pardo oscuro (10 YR 3/3) y profundidades que van de 33 a mayores de 100 cm, con presencia de talpetate y grava fina. El sistema con sombra no leguminoso + moderado orgánico presentó las mayores cantidades de los elementos N, P, K en las hojas y cantidad de materia seca de hojarasca. Estos suelos son ricos en materia orgánica mayores a 9.5 % con altos porcentajes de carbono 5 %, con contenido medio a altos de Nitrógeno de 0.08 a 0.46 %, con buena disponibilidad de Fósforo mayores a 13 ppm, con pH que van de ácidos a ligeramente ácidos y con buena capacidad de intercambio catiónico de 35 a 50 meq / 100g de suelo.

I.- Introducción

El cultivo del café (*Coffea arabica* L.), constituye la actividad agrícola de mayor importancia económica en el país representando alrededor de un tercio del valor agregado en los años 90, y el principal producto de exportación. Las exportaciones de café en grano han ocupado por muchos años el primer lugar dentro de los rubros generadores de divisas; su contribución al PIB nacional ha estado por encima del 5 % en los últimos 6 años (1996 –2001) y casi llegó a duplicarse entre 1990 (4.4 %) y el 2000 (7.1 %). En 2001, como un efecto de la caída de los precios internacionales, su aporte disminuyó a un 6 % del PIB total y 35.5 % del PIB agrícola (IICA, 2003).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (III CENAGRO, 2001) un 26 % (43,182 fincas) de las fincas en Nicaragua cultivan café y el área dedicada a este cultivo es de 130,695.33 ha (185,587.38 mz) representando un 15 % del área total cultivada en el año 2001. La mayor producción nacional se obtiene de los departamentos de Matagalpa y Jinotega representando un 57 % de la producción total y un 78 % del área.

La zona cafetalera del pacífico de Nicaragua esta representada en los departamentos de Masaya, Granada, Carazo y Rivas; comprendida geográficamente entre los municipios de Niquinohomo, Jinotepe, Diriamba, kilómetro 13 carretera sur a, La Concepción y San Marcos; de acuerdo a un estudio de ordenamiento del sistema productivo (Marín 1990). Según el CENAGRO, (2001) en el ciclo agrícola 2000/2001, en esta región se cultiva el 11.4 % (14,900.28 ha) del área total y se producen el 3.48 % del total del país; con rendimientos promedio de 3.66 qq mz⁻¹ (236 kg ha⁻¹)

El cafetal es un agro ecosistema diversificado a nivel de especie, de estratos verticales (malezas, cultivo, árboles de sombra) y distribución horizontal (tipos de asociación de especies), de productos y formas de manejo (Beer, 1995) por lo general, los sistemas tradicionales de café son agro ecosistemas menos productivos, pero ciertamente mas estables y sostenibles que el monocultivo café sin sombra. Debido a los efectos benéficos de los árboles de sombra para conservar la materia orgánica del suelo y el reciclaje de nutrientes, así como para limitar el estrés ambiental y finalmente para regular el crecimiento y la productividad del cultivo (Beer *et al*, 1998).

En los últimos 20 años, la rentabilidad de muchos cafetales tecnificados, caracterizados por cultivar variedades de alta productividad y altos requerimientos de insumos externos bajo poca o ninguna sombra, dejó de ser más alta que la rentabilidad de cafetales menos tecnificados. Al mismo tiempo, el conocimiento y la valoración del impacto ambiental de la agricultura tecnificada aumentó significativamente. Aspectos como la contaminación del agua, la erosión del suelo y la presencia de residuos de pesticidas en el ambiente y en los productos agrícolas incluyendo café han asumido mayor importancia en búsqueda de sistemas sostenibles de producción (Boyce *et al.*, 1994).

Existen muchas definiciones sobre el concepto agroforestería y una de las más aproximadas es la propuesta por Somarriba (1990), indicando que es una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales: 1) existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne, 3) al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).

De los sistemas agroforestales se han estudiado poco las diferentes interacciones tanto positivas como negativas de cultivo – árboles – suelo – ambiente. En este sentido, Muschler (2000), indica que hay muchos factores que influyen sobre los beneficios de la asociación entre cafetos y árboles; cultivar café bajo sombra no significa solamente dar sombra y reducir el estrés ambiental para el cafeto, significa también que los árboles modifican el ambiente para el café mediante sus raíces, ramas y hojas. La estabilidad del micro clima y el mejoramiento de la productividad del suelo son las interacciones complementarias cultivos - árboles más positivas en sistemas agroforestales.

Nicaragua posee una economía que depende del sector agropecuario. El café es el rubro de mayor relevancia en la estructura agrícola productiva a nivel nacional (UNICAFE, 1996). El fomento de la caficultura bajo sombra, de altura y la diversificación de las plantaciones de cara a una agricultura sostenible y en armonía con la naturaleza debe ser una estrategia de los cafetaleros en el corto plazo, para obtener mejores calidades y precios en el mercado internacional. Es por esto que se plantea un estudio comparativo y exploratorio en 7 sistemas diferentes en el cual se espera conocer la relación entre el manejo del cafetal y la disponibilidad de nutrientes, las reservas y la calidad de los mismos en la zona baja y seca de Nicaragua. En base a ello, en el presente estudio se desarrollaron los siguientes objetivos e hipótesis:

Objetivo General

- Caracterizar siete diferentes sistemas productivos de café en los aspectos biofísicos del cafetal, las propiedades físicas y químicas del suelo bajo las condiciones agro climáticas de la Meseta de los Pueblos o zona pacífica de Nicaragua.

Objetivos Específicos:

- Hacer una caracterización biofísica de los diferentes cafetales por nivel tecnológico seleccionado bajo los criterios de historial del uso de insumos en nutrientes, productividad y tipo de sombra existente
- Realizar una descripción física de los suelos de los diferentes sistemas de producción agroforestales de cafetales de la zona del pacifico de Nicaragua.
- Realizar una caracterización química de nutrientes en el suelo por efecto de diferentes sistemas de sombra en cafetales a diferentes profundidades, en y entre hilera de cafetos en la zona del pacifico de Nicaragua.
- Cuantificar la hojarasca (mantillo) en diferentes componentes (fracción rama, fracción gruesa y fina) bajo diferentes sistemas de sombra en cafetales en la zona del pacifico de Nicaragua.

Hipótesis

- Los sistemas agro forestales con árboles de sombra de leguminosa poseen suelos más fértiles por que aportan mayor cantidad de nutrientes, que los sistemas agro forestales con sombra de árboles maderable.
- Los sistemas agroforestales influyen en algunas características físicas del suelo como la profundidad del horizonte A y textura.
- El uso de fertilizante sintético en los sistemas de producción intensivo y de alto insumo puede llegar a causar un descenso en el pH de los suelos comparativamente con los sistemas agroforestales de bajo insumo y de producción orgánica.

II.- Materiales y Metodología

2.1.- Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en la zona del pacífico de Nicaragua, en las localidades comprendidas en el territorio de los departamentos de Masaya y Carazo en los municipios de Niquinohomo, Masatepe, San Marcos, Jinotepe y Dolores; presentando una altitud que va de 500 a 800 m.s.n.m, con precipitaciones anuales de 1300 a 1500 mm, temperaturas medias que oscilan desde 23-26 °C y con humedad relativa de 80 %.

2.2. Selección de cafetales en la zona.

Se seleccionaron dos cafetales por nivel tecnológico, caracterizado por el uso de insumos agrícolas (nutrientes), la edad productiva de los cafetales y el tipo de sombra al cultivo.

2.3.- Los niveles tecnológicos del cafetal.

- 1- Cafetal a pleno sol y moderado uso de fertilizantes químicos.
- 2- Cafetal con sombra de árboles no leguminosos y moderados fertilizantes químicos.
- 3- Cafetal con sombra de árboles no leguminosos y moderados abonos orgánicos.
- 4- Cafetal con sombra de árboles no leguminosos y bajo uso de abonos orgánicos.
- 5- Cafetal con sombra de árboles leguminosos y moderado uso de abonos orgánicos.
- 6- Cafetal con sombra de árboles leguminosos y bajo uso de abonos orgánicos.
- 7- Cafetal con sombra de árboles leguminosos y moderados fertilizantes químicos.

2.4. Caracterización biofísica del cafetal.

Se levantó la siguiente información por cafetal como uso anterior del suelo al establecimiento del cafetal; el manejo de los nutrientes y los rendimientos productivos alcanzados en los últimos 5 años; manejo de los árboles de sombra y cafetal para obtener la información indicada se aplicó

un formato escrito (tipo encuesta semi estructurada) dirigida al productor (dueño) o administrador del cafetal respectivo.

2.5.- Selección de las áreas de muestreo en el cafetal

Se seleccionó un área donde hubo sombra uniforme, esta se delimitó con jalones de 3 m de longitud; por lo general se buscó un área ocupada por unas 20 plantas de café con no más de dos plantas faltantes. Se tomó 5m sobre el surco del cafetal y de 3 a 4 surcos según su distancia para obtener un área entre los 40 a 45 m².

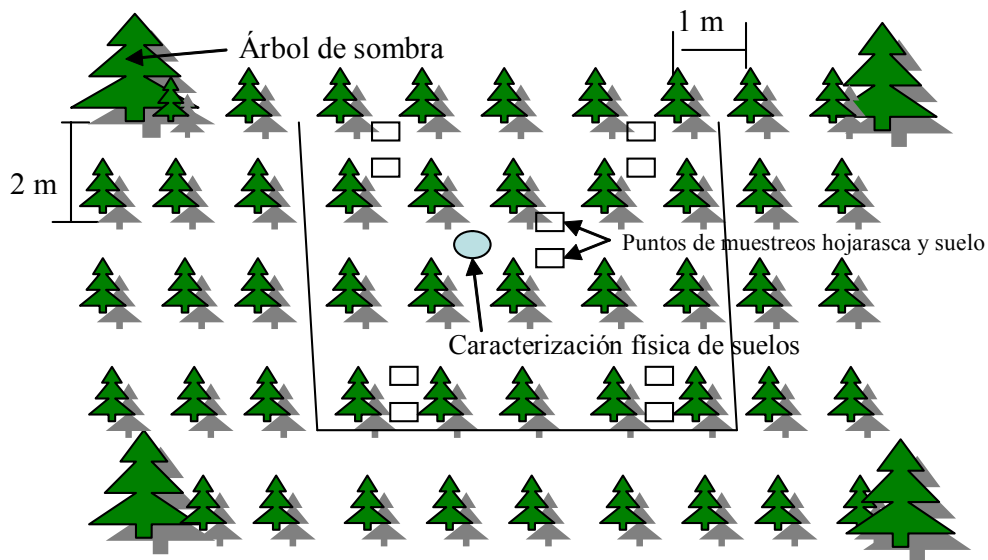


Grafico 1.- Distribución de los puntos de muestreo de la hojarasca y suelo

2.6.- Caracterización física de suelo en el cafetal

En cada uno de los cafetales, se seleccionaron tres áreas de muestreo en diferentes puntos. En el centro de cada área de muestreo seleccionada se efectuó la caracterización física de suelos. Para ello, se utilizó un barreno de espiral de 1.30 m de longitud, para determinar textura mediante el método organoléptico, tipo y profundidad de horizonte, color del suelo haciendo uso de la tabla Mounsell, a partir de la extracción de suelo cada 15 cm.

2.7.- Recolección de hojarasca del suelo en el cafetal

En cada área de muestreo se ubicó 5 puntos de 0.25 m² (0.5 x 0.5 m) en las posiciones de hilera y entre hilera del café en forma diagonal (Gráfico 1). En cada uno de los puntos se recolectó la biomasa de la cual se separó en fracción rama, fracción hoja entera y fracción hoja descompuesta. Cada fracción o componente se recolectaron en bolsas plásticas independientes, se pesaron en el campo para obtener el peso fresco, estos datos se anotaron en hojas preparadas para tal fin.

Las sub muestra de la calle e hilera se juntaron y homogenizaron por fracción o componente obteniendo tres muestras compuestas por área de muestreo, fueron etiquetadas con sus respectivas codificación. Las muestras se llevaron al laboratorio de fisiología vegetal, secadas en un horno a una temperatura de 65⁰C durante 48 horas, y pesadas para obtener el peso seco. Finalmente las muestras fueron molidas y enviadas al laboratorio de la UNA (Laboratorio de suelos y agua) para determinar concentraciones minerales de nitrógeno, fósforo y potasio.

2.8.- Caracterización química de suelo en el cafetal

En cada punto de muestreo se obtuvieron tres sub muestras a las profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 15 cm y 15 a 30 cm. Las sub muestras extraídas de la calle e hilera se homogenizarán independientemente según su profundidad para obtener una muestra compuesta las que fueron etiquetadas con su codificación correspondiente para su identificación.

Las muestras compuestas de suelo fueron llevadas al laboratorio de fisiología vegetal de la UNA, donde se secaron en bandejas plásticas a temperatura ambiente, luego se paso por un tamiz de 2 micras para el análisis de rutina (determinación de pH, N total, P, C, CIC) y en tamiz de 0.25 micras para el análisis de materia orgánica.

2.9. Caracterización de los árboles de sombra y cafetal

El área de muestreo de cafetal se tomó como referencia para establecer un área mayor aproximada de 240 a 245 m² extendiéndose sobre el surco de café unos 5 metros a partir del área de muestreo y proyectar la misma distancia en posición vertical a los surcos de café, en la cual se hicieron mediciones de las variables de los árboles de sombra (% de sombra, DAP, densidad poblacional) y plantas de café (densidad poblacional, altura de 10 cafetos, ancho de copa de 10 cafetos). En cada área de muestreo, se midió el porcentaje de sombra, en cada uno de los

extremos (4 mediciones) haciendo uso de un densiómetro, de acuerdo a la metodología de Lemmon (1957).

2.10- Análisis de los datos.

Para todas las variables provenientes de los árboles de sombra, los cafetos y la información brindada por los productores dueños de los cafetales evaluados y definidos por sistemas se procedió a promediar los datos de 3 áreas de muestreo por cafetal y posteriormente la media obtenida por sistemas en base a los datos de cada una de las fincas. Igualmente, para el caso de las variables provenientes de la caracterización física y química de los suelos cafetales para obtener una media por sistema y cafetal.

La manipulación y procesamiento de toda la información de campo y las determinaciones de las propiedades químicas de los suelos se realizó con la ayuda del software Statistic Analysis Systems versión 8 (SAS Institute Inc. 1999).

III.- Resultados y discusión

3.1.- Caracterización biofísica de los cafetales en el Pacífico de Nicaragua.

3.1.1. Productores, niveles tecnológicos en cuanto al uso de fertilizante y altitud de cafetales en el pacífico de Nicaragua.

La altitud promedia de las fincas estudiadas de café en la zona del Pacífico oscila entre los 420 - 500 msnm, a excepción de cuatro fincas, las del sistema con árboles de sombra leguminoso + moderado químico, una finca del sistema con árboles de sombra leguminoso + bajo orgánico y una finca del sistema con árboles de sombra no leguminoso + moderado químico las cuales están a una altitud mayor a los 600 msnm (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de productores por tipo de sombra, nivel de insumo y altitud de las fincas.

Tipo de sombra	Nº de Cafetal	Nivel de insumo	Productor	Comunidad	Municipio	Altitud (m.s.n.m)
Leguminosa	1	Moderado químico	Carlos Pellas	Las Esquinas	San Marcos	633-670
	10		Rigoberto Rosales	San Marcos	San Marcos	
	2	Moderado Orgánico	Santos Moraga	Fátima	Masatepe	460-500
	13		Enrique Montenegro	Santo Domingo	Masatepe	
	3	Bajo Orgánico	Oscar Cruz	La Cruz	Niquinohomo	475-610
	8		Asunción Altamirano	Dolores	Dolors	
Pleno Sol	4	Moderado a alto insumo	Mario Gutiérrez	Macario Brenes	Masatepe	467-483
	12		Mario Gutiérrez	Masatepe	Masatepe	
No leguminosas	6	Moderado Químico	Jimmy Zambrano	Tierra Blanca	Niquinohomo	454-623
	9		Rigoberto Rosales	San Marcos	San Marcos	
	5	Moderado Orgánico	Oscar Cruz	La Cruz	Niquinohomo	474-516
	14		Santos Moraga	Fátima	Masatepe	
	7	Bajo Orgánico	Oscar Fuentes	Nimboja	Masatepe	418-469
	11		Oscar Fuentes	Nimboja	Masatepe	

La producción exitosa del café está fuertemente condicionada por factores ambientales entre los que se destacan: altitud, temperatura, radiación solar, humedad relativa, precipitación y suelo. El café prefiere regiones de clima templado de 500 a 1500 m de altitud. Los valores máximos de temperatura para café se encuentran en áreas con altura de 600 msnm, mientras que los mínimos se presentan a altitud arriba de los 1500 msnm. Las altitudes óptimas están ubicadas entre los 900 y 1 200 m.s.n.m. (MARENA, 1998), esto lo demuestra Guyot *et al* (1995) en un estudio en el

cual la altitud y la sombra mejoraron la calidad de las variedades Borbón y Catuaí. No obstante para el Catuaí la altitud desempeña un papel más importante que para el Borbón.

3.1.2.- Fertilización y producción de los sistemas de producción en los últimos cinco años.

Los cafetales del sistema pleno sol presentaron la producción promedio más alta de los últimos cinco años (1999 – 2003) con un total de 1179 y 922 kg ha⁻¹ respectivamente, sin embargo a pesar de esto su rendimiento ha bajado en los últimos tres años (Anexo 1), además de estos un cafetal del sistema leguminoso + moderado químico presentó una producción de 1067 kg ha⁻¹, estos cafetales también presentaron las mayores aplicaciones de fertilizantes químicos; los restantes cafetales presentaron producciones que oscilaron entre 300 y 750 kg ha⁻¹, excepto uno de los cafetales del sistema no leguminosa + bajo orgánico con una producción de 252 kg ha⁻¹; la mayor fertilización orgánica se presentó en el cafetal del sistema no leguminoso + moderado orgánico; las causas por la que la producción fue alta o baja en los diferentes sistemas estudiados es debido a la fertilización que se le da a estos sistemas; tipo de manejo (podas, control de malezas y enfermedades, densidad poblacional, sombra), la calidad de los suelos (topografía, reserva de nutrientes, pH, entre otros).

La puesta en práctica de las recomendaciones en aplicación de fertilizantes químico dependerá de los resultados de análisis de suelo que se realizan. Generalmente se recomiendan aplicaciones de completo 18-46-0 (4 qq mz⁻¹ al año), aplicación de urea 46 % (2 qq mz⁻¹ al año) distribuidos en tres momentos al año (UNICAFE, 1996). Pero tradicionalmente el agricultor de la Zona del Pacífico aplica 6 qq mz⁻¹ de urea y 2 de completo 15-15-15. Las aplicaciones recomendadas de 18-46-0 es por que se disminuyen los costos de producción, ya que esta es mas barata y con ella se reducen la aplicación de urea 46 % de 6 a 2 qq mz⁻¹ (Pérez y Pérez, 1996).

Con respecto a la fertilización orgánica los cafetales estudiados reportan mayormente el uso pulpa de café y gallinaza y en menor grado estiércol animal. UNICAFE (1996), recomienda 10 libras por planta semi descompuesta y 5 libras por plantas totalmente compostada y seca. La pulpa de café contiene cerca de de un 3 % de nitrógeno y 4 % de potasio en base a la materia seca y esta puede ser procesada para la elaboración de compost. En cuanto a la gallinaza la riqueza en nutrientes varia según el tipo de cama que se utiliza y el tiempo de descomposición, la cual varia de 2.5 a 3% en nitrógeno, menor de 1 % para fósforo y 3 % para potasio en base a materia seca;

el estiércol vacuno es pobre en nutrientes menor de 2.5 % en macro nutrientes (INTA/FAO, 2000).

Según CENAGRO (2001), la producción media de los últimos cinco años (1997 -2001) a nivel nacional fue de 10.87 qq mz⁻¹ (700 kg. ha⁻¹), siendo 3.66 qq mz⁻¹ (236 kg. ha⁻¹) le correspondió al ciclo (2001/2002) a la zona del Pacífico.

Tabla 2.- Aporte de nutrientes y producción de café grano oro en kg ha⁻¹ en diferentes sistemas agroforestales

Sistema	Cafetal	Años y aportes de nutrientes en kg ha ⁻¹ reportados					Años y rendimiento oro reportados		Observaciones
		Años	Orgánico*	N*	P*	K*	Años	kg ha ⁻¹	
Leguminosa + moderado químico	1	4		276.8 - 82.7	59.5 - 15.5	77.6 - 38.8	2	1067	En 2000, no aplicaron K, en 2001 altas aplicaciones de P.
	10	4		85.7 - 70.3	27.5	61.14	4	603.42	En 2000 aplicaron completo y alta aplicación de N que años anteriores con urea.
No leguminosa + moderado químico	6	1		38.7	96.8	32.2	5	391.82	Años reportados 2001.
	9	4		107.1 - 88.0	34.4	76.5	4	396.08	En 2000 única aplicación de P y K (completo) y la mayor de N.
Leguminosa + moderado orgánico	2	5	2586.67				4	756.8	Aplicaron gallinaza la misma cantidad todos los años.
	13	3	12603				5	618.94	Aplicaron gallinaza y pulpa de café en 2000 y 2001 no aplicaron
No leguminosa + moderado orgánico	5	3	11341 - 7560				5	347.02	1999 aplicaron mayor cantidad de gallinaza.
	14	3	14358				5	678.13	Aplicaron gallinaza + pulpa de café en 2000 y 2001 no aplicaron
Leguminosa + bajo orgánico	3	1	11640.02				4	434.88	En 1999 única aplicación y con estiércol.
	8	2	276.49				5	342.71	Aplicaron gallinaza en 2002.
No leguminosa + bajo orgánico	7	0	0				5	474.7	No se aplicó nada
	11	0	0				5	252.2	
Pleno sol + moderado químico	4	5		162.95 - 51.73	53.54 - 18.1	69.84 - 31.04	4	1179.49	En 2001 aplicaron poco N y K, 2002 no aplicaron P y K, 2003 aplicó mayor cantidad de P.
	12	5		128.0 - 89.2	59.5 - 15.5	77.6 - 31.0	5	922.24	1999 y 2001 mayor aplicación de N, 2000 y 2002 no aplicaron P y K, 2003 aplicaron mayor cantidad de P y K.

* indican los valores máximos y mínimo de las aplicaciones de fertilizantes en los años reportados.

3.1.3.- Uso anterior del suelo, edad del cafeto, diversidad y predominancia de especies de sombra.

En la zona cafetalera del pacífico con respecto al uso anterior, los resultados muestran que en un 50 % de los productores tenían establecido pasturas antes del café; un 41.66 % de los suelos siempre ha estado destinado para el cultivo del café y el resto era utilizado para otras practicas (Tabla 3). Esto indica que los productores de esta zona optaron por producir café posiblemente por que representaba ingresos económicos debido a los precios de ese entonces; aun ahora cuando los precio del café son inestables ellos siguen produciendo café, pero diversificando su sistema con la introducción en el cultivo de árboles maderables y frutales.

Tabla 3. Uso anterior del suelo

Uso anterior	Frecuencia	Porcentaje (%)
Pasto	6	50
Cafetal	5	41.66
Tacotal madero negro	1	8.33
Caña de azúcar	1	8.33

Nota: Dos fincas no reportaron la presente información.

Con respecto a la edad de los cafetos, en el sistema pleno sol se reportan una edad de 26.5 años (Tabla 4) mientras que el sistema más joven fue leguminosa + moderado químico con 6.5 años; todos los demás sistemas tienen una edad mayor a los 15 años; esto es debido a la crisis del

precio del café por lo que los productores actualmente no se arriesgan a establecer nuevas plantaciones y a las bases del presente estudio que indicaban seleccionar cafetales con una edad mayor a los 5 años.

Mejía (1990), en su estudio de caracterización y evaluación en el manejo del café (*Coffea arabica* L.) reportó plantaciones de café con edades de 12 a 17 años. En general, se puede decir que las plantas aun poseen vida útil significativa, ya que el arbusto de café puede durar hasta 30 y 40 años con niveles eficientes de productividad.

En cuanto a la diversidad de especies de sombra utilizadas por los productores en los sistemas agroforestales estudiados, optan por tener un sistema diversificado con más de una especie arbórea. Los que presentaron una mayor diversidad fueron los sistemas con sombra de especies no leguminosos, hasta de 3 especies diferentes; similar suceso ocurre con el sistema leguminoso + moderado orgánico, el resto de los sistemas presentaron entre 1 a 2 especies arbóreas.

De acuerdo con Bonilla (1999) la diversidad de los árboles de sombra en los cafetales del pacífico de Nicaragua esta influenciada por la intensidad del manejo (costos de fertilizantes y uso de herbicidas) así, como la importancia que puede tener para la finca y el cafetal como fuente de ingreso.

La diversificación agrícola es importante desde los puntos de vista económicos, ecológicos, y social, principalmente debido a la inestabilidad del mercado internacional del café, así como la necesidad de producir alimentos. Esta condición, es una manera de manejar la variabilidad en el ambiente biofísico o económico, por lo que se espera una mayor estabilidad en el agroecosistema productivo (Somarriba, 1993).

En un estudio de Evaluación económica de los sistemas agroforestales con árboles no leguminosos realizados por Von Platen, (1993) expresa, que los productores obtienen mayores beneficios económicos o ganancias alternativas por la venta o comercialización de dos o mas productos (café, madera, frutales).

Tabla 4. Edad del cafeto y diversidad de árboles de sombra por sistema en el área muestreada.

Sistemas	Edad del cafeto (años)	Diversidad de árboles de sombra
Leguminosas + moderado químico	6.5	1 - 2
Leguminosa + medio orgánico	20.5	1 - 3
Leguminosa +bajo orgánico	21.5	1 - 2
No leguminosa medio químico	17.5	1 - 3
No leguminosa medio orgánico	17.5	2 - 3
No leguminosa bajo orgánico	16.0	2 - 3
Pleno sol (Pleno sol + moderado químico)	26.5	-

Una expresión de la diversidad es también la predominancia de especie en un agroecosistema, los resultados indican que la especie predominante de la zona del pacífico es el árbol leguminoso madero negro (*Gliricidia sepium* Jacq) con una participación de un 47 % del total de la población de plantas en los cafetales en la zona, seguido de los árboles maderables cedro (*Cedrela odorata*), laurel (*Cordia alliodora*) y Acetuno (*Simarouba glauca*) que van de un rango de 14.64 – 9.34%; una participación menor tienen las especies de frutales (cítricos, mango, mamey, musáceas) y otras especies como higuera (*Ficus comunis*) chilamate, (*Ficus spp*), guazimo (*Guazuma ulmifolia*), (Tabla 5).

El madero negro fue la única especie que tiene presencia en todos los sistemas; con un nivel de participación mayor en el sistema seleccionado como leguminosa; los productores la prefieren por su fácil propagación, su tamaño pequeño a mediano (10 a 15 m), su manejo a través de rebrotes o podas de copas, y su capacidad de fijar nitrógeno (CATIE, 1991); además es una especie nativa de las zonas bajas (500 m.s.n.m) de Centro América (National Academy of Sciences 1984).

Tabla 5. Porcentaje de participación de las especies de sombra en los cafetales.

Especies	Leguminosa + moderado químico	Leguminosa + moderado orgánico	Leguminosa + bajo orgánico	No leguminosa + moderado químico	No leguminosa + moderado orgánico	No leguminosa + bajo orgánico	Promedio
Madero negro	92.5	72.22	87.5	12.65	12.9	4.17	46.99
Cedro		1.85		32.14	9.47	44.39	14.64
Laurel		5.85			26.69	34.07	11.1
Acetuno		1.67	2.08		48.56	3.71	9.34
Genízaro			4.16				1.25
Frutales		13.42	6.25	50	2.38		12
Otras especies	7.5	4.99		5.21		10.33	4.67

La segunda especie dominante fue cedro, la cual tiene presencia en cuatro de los 6 sistemas con sombra debido a que representa una alternativa de ingresos adicionales producto de la venta de la madera.

Bonilla (1999), reporta sobre el uso de especie de sombra en los cafetales de la misma zona de estudio que el madero negro es la especie que se presenta con una mayor frecuencia en las fincas de la región (83 %), seguido de los cítricos (42 %) y el cedro, como especie maderable, aparece en 44 % de las fincas. Entre tanto (Montenegro y Ramírez, 1997) llegó a la conclusión que era factible establecer especies forestales maderables de manera conjunta con café, ya que se podía obtener madera.

3.1.4.- Variedades cultivadas en los cafetales.

Las variedades más cultivadas en la zona del pacífico de Nicaragua son Caturra y Paca con un 42.8 % respectivamente, seguida de la variedad Catuai (rojo o amarillo) con un 21.4 % y en menor frecuencia se cultivan las variedades Costa Rica 95 y Pacamara (Tabla 6). En

la década de 1980, el desarrollo tecnológico fue enfocado esta región mediante un plan de renovación de cafetales (CONARCA) con el fin de controlar la roya (*Hemileia vastatrix*) y a la vez promover una tecnología con altos insumos agroquímicos (Clemens y Simán 1993); es por eso que actualmente encontramos cafetales en los que predomina la sombra de porte bajo como madero negro y acetuno, encontrándose variedades mas resistentes al sol como caturra, Catuai, con densidades mas altas (Bonilla, 1999). Además los productores prefieren Caturra y Paca por su porte y se caracterizan por poseer un sistema radical reducido y menos difuso (Carvalho *et al*, 1991), por lo que pueden sembrarse a distancias más cortas con lo que se incrementa la producción y presentan precocidad para entrar a la producción. La variedad Paca es utilizada para zonas bajas 470 - 700 msnm (UNICAFE, 1999). Caturra y Catuai se cultivan bajo sombra regulada o sin sombra a altas densidades de siembra que van de 4000 a 7000 plantas ha⁻¹ (Aguilar *et al*, 1999).

Tabla 6. Variedades de café.

Variedad	Frecuencia	Porcentaje (%)
Paca	6	42.8
Caturra	6	42.8
Catuai	3	21.4
Costa Rica 95	1	7.14
Pacamara	1	7.14

3.1.5.- Altura y ancho de copa de plantas (m) y densidad de cafetos.

El nivel de tecnología con especies de leguminoso + moderado orgánico y no leguminoso + moderado químico son los que presentaron una mayor densidad de plantas de cafeto por hectárea (Tabla 7), esto se debe al tipo de manejo que le de cada productor (distancias), variedad utilizada en estos sistemas (Paca, Caturra); mientras el sistema de café a pleno sol es el que presentó una menor cantidad de plantas con una población de 3480 plantas ha⁻¹, esto se debe al mayor grado de tecnificación en cuanto al uso de agroquímicos, manejo de malezas y las distancias son mayores.

Otros estudios basados en sistemas de poda y manejo general de las plantas en diferentes países se comprobó que era posible aumentar la productividad por área al cambiar el manejo de la plantación drásticamente dependiendo del ambiente y de la condición de los cafetos, este aumento podrá ser de solo un 10 % (Pérez, 1977) o hasta mucho mas del 30 %, aunque a veces, a costa de una menor calidad del grano a pleno sol y costo mas elevados por el uso intensivo de insumos (Boyce *et al* , 1994).

En cuanto a la altura del cafeto los sistemas que presentaron cafetos con mayor altura, fueron no leguminoso + moderado orgánico 2.98 m, seguido de leguminoso + moderado químico 2.76m y leguminoso + medio orgánico 2.69 m, mientras que los sistemas con cafeto de menor altura fueron los sistemas de pleno sol 1.85 m y no leguminosa bajo orgánico con 1.57 m; con respecto al ancho de copa el cafetal a pleno sol y leguminosa + medio orgánico fueron los que presentaron mayor ancho de copa con 1.76 y 1.69 m respectivamente, siendo el sistema no leguminoso + bajo orgánico el que obtuvo el menor ancho de copa con 1.19 m.

Tabla 7. Altura, ancho de copa y densidad poblacional de los cafetos

Sistemas	Altura de cafeto (m)	Ancho de copa (m)	Cafetos ha ⁻¹
Leguminosa + moderado químico	2.76 (0.42)	1.57 (0.51)	4 118
Leguminosa + moderado orgánico	2.69 (0.29)	1.69 (0.54)	6 888
Leguminosa + bajo orgánico	2.30 (0.59)	1.46 (0.1)	5 190
No leguminosa + moderado químico	2.09 (0.40)	1.46 (0.19)	6 244
No leguminosa + moderado orgánico	2.98 (0.67)	1.71 (0.26)	5 961
No leguminosa + bajo orgánico	1.57 (0.68)	1.19 (0.65)	5 207
Cafetal a pleno sol	1.85 (0.29)	1.76 (0.27)	3 480

Nota: Los valores ubicados dentro de paréntesis indican la desviación estándar.

La altura y ancho de copa va a depender del manejo de la plantación (podas) esta práctica consiste en eliminar parte de la planta o cambiar su forma normal de crecimiento, para obtener brotes que permitan mejorar la producción, se renueva la zonas productivas agotadas y se mejora la distribución de luz del cafetal (Palma, 1988), también depende del nivel de tecnificación (aplicación de fertilizantes) como es el caso de pleno sol el cual obtuvo el mayor ancho de copa; entre otras.

3.1.6.- Caracterización de los árboles de sombra.

El sistema No leguminosa + moderado orgánico presentó el mayor porcentaje de sombra y una mayor densidad de árboles (Tabla 8), debido a que en este sistema predominaron especie como Acetuno que presenta una sombra densa, y Laurel el cual se regenera naturalmente obteniéndose una mayor población de árboles. El sistema que presentó menor porcentaje de sombra y diámetro del árbol fue Leguminosa + moderado orgánico dado que la mayoría de los árboles son de porte bajo (madero negro, frutales) a los cuales el productor les daba manejo de poda. En general los sistemas con árboles no leguminosos

presentaron mayor porcentaje de sombra, diámetro y densidad que los sistemas con árboles leguminosos, debido a que los árboles en su mayoría son maderables con valor comercial. Los valores de DAP pueden explicarse por la fertilidad natural del suelo, la fertilización aplicada a las plantas de café, el manejo y tipo de especie.

Tabla 8. Porcentaje de sombra, diámetro a la altura del pecho y densidad de árboles de sombra.

Sistemas	Porcentaje de sombra (%)	DAP (cm)	Árboles de sombra ha ⁻¹
Leguminosa + moderado químico	41.03 (6.23)	27.461 (11.66)	156 (45.81)
Leguminosa + moderado orgánico	37.49 (10.97)	22.774 (6.03)	241 (107.82)
Leguminosa + bajo orgánico	67.01 (8.99)	23.033 (4.18)	176 (91.40)
No leguminosa + moderado químico	69.96 (12.52)	30.79 (4.86)	220 (48.85)
No leguminosa + moderado orgánico	76.96 (5.76)	26.434 (4.79)	395 (130.77)
No leguminosa + bajo orgánico	73.59 (10.89)	28.672 (15.1)	360 (243.50)

Nota: Los valores ubicados dentro de paréntesis indican la desviación estándar.

En una plantación maderable de *Eucalyptus spp*, de 5 años de edad en Dehra Dun (India), se obtuvo un DAP de 11.1 cm. y una altura de árboles de 14.6 m con una población de 1167 árboles ha⁻¹ (George, 1982) esto indica que el uso de altas poblaciones de árboles tienen un menor diámetro de fuste.

3.2.- Caracterización física de los suelos cafetaleros.

3.2 1.- Profundidad de horizontes de los suelos cafetaleros.

Las profundidades de los horizontes entre cafetales de un mismo sistema o diferentes sistemas no fueron uniformes. La profundidad del horizonte A osciló en un rango que va desde 17 - 39 cm., en todas los cafetales; siendo uno de los cafetales de los sistemas leguminoso bajo orgánico y leguminoso medio químico los que presentaron la mayor y menor profundidad respectivamente (Tabla 9). La variación de profundidades se debió a la localización de las fincas; las del municipio de Niquinohomo presentaron las menores profundidades, encontrándose talpetate a partir de los 30 cm.; de las del municipio de Masatepe dos de ellas presentaron talpetate a partir de los 75 cm y las restantes de Masatepe, Dolores y San Marcos presentaron capas de talpetate en algunas de las áreas (anexo 2) pero por lo general tenían profundidades mayores a los 100 cm.

Tabla 9. Profundidad de horizontes (cm) obtenidos en suelos cafetaleros bajo diferentes sistemas agroforestales.

Cafetal	Horizonte	Leguminosa + moderado químico	Leguminosa + moderado orgánico	Leguminosa + bajo orgánico	No leguminosa + moderado químico	No leguminosa + moderado orgánico	No leguminosa + bajo orgánico	Pleno sol + moderado químico
1	A	0 - 39	0 - 32	0 - 17	0 - 20	0 - 22	0 - 25	0 - 27
	B	39 - 88	32 - 77		20 - 42	22 - 33	25 - 50	27 - 57
	C	> 88	77 - 105	17 - 30	42 - 59	33 - 55	50 - 75	57 - 78
2	A	0 - 27	0 - 30	0 - 28	0 - 18	0 - 26	0 - 38	0 - 22
	B	27 - 92	30 - 81	28 - 54	18 - 44	26 - 81	38 - 79	22 - 59
	C	> 92	> 81	> 54	> 44	> 81	> 79	> 59

Marín (1990), indica que los suelos de la IV región presentan una capa de talpetate en áreas continuas o discontinuas o a mediana profundidad, presentando características variables de profundidad que van de 40 – 100 cm. y son de origen volcánico.

Los suelos de San Marcos consisten de suelos profundos, bien drenados, permeables y un estrato endurecido grueso y débilmente sementado. En Masatepe y Niquinohomo los suelos son profundos a moderadamente profundos poseen un estrato endurecido o talpetate de espesor variado y se encuentran en pendiente moderada (CATASTRO 1971).

Los presentes resultados indican que un 45 % de los puntos de muestro, es decir en 19 de los 42 puntos de muestreo hubo presencia de capas de talpetate (Tabla 11).

3.2.2.- Textura de los suelos cafetaleros en diferentes horizontes.

La textura es una de las características básicas de los suelos. Influencia sus propiedades hídricas, manifestadas en la fuerza o succión con que es retenida el agua y el ámbito en que esté disponible para las plantas. Determina parcialmente el grado de aireación ya que dependiendo del tipo de textura predominante en el suelo domina macros y micros poros y tanto el agua como el aire se desplazan mas fácilmente en los microsporos (Núñez, 1985)

En la mayoría de los cafetales hubo uniformidad de textura entre los horizontes; en su mayoría son suelos francos (F), principalmente en el horizonte A, van cambiando a franco

limoso (FL) en el horizonte B y muchas veces prevalece en el horizonte C o cambian a franco arcilloso (FA), franco arcillo limoso (FAL) o arcillo arenoso (Aa) en menor grado. Se presento variación de textura entre horizontes entre los cafetales de un mismo sistema, con árboles de sombra no leguminosa (Tabla 10).

Tabla 10. Textura de los suelos cafetaleros obtenidos en diferentes sistemas agroforestales.

Cafetal	Horizonte	Leguminosa + moderado químico	Leguminosa + moderado orgánico	Leguminosa + bajo orgánico	No leguminosa + moderado químico	No leguminosa + moderado orgánico	No leguminosa + bajo orgánico	Pleno sol + moderado químico
1	A	F	FA	F	FAL	FA	FA	F
	B	FL	FL	-	AL	FAL	FA	FL
	C	FAL	FL	F	A	FAL	FAL	FL
2	A	F	F	F	F	FL	FAL	F
	B	FL	FL	FL	FL	FL	FA	FL
	C	FL	FL	FL	FAL	FAL	FA	FAL

Los suelos óptimos para el cultivo del café son aquellos bien drenados, profundos (no menos de 1 m) de buena retención de humedad, con una reacción neutra o ligeramente ácida (pH 5 -6.5), una pendiente de 1 – 1.5 % y de textura franca (Guharay, 2000).

Sobre la presencia de grava los resultados indican que en la mayoría de estos suelos se presentó grava fina, y con mayor porcentaje en los primeros 20 cm por predominar la textura franca ya que en la mayoría de las profundidades predomina este tipo de textura y de los 81 a 115 cm de profundidad en este caso por proceder muchas veces a capas de talpetate (Tabla 11).

Las gravas y arena, debido a su tamaño, funcionan como partículas separadas. La capacidad de retención es escasa y

debido a los grandes espacios entre sus partículas el paso del agua filtrante es rápida. Facilita así el drenaje y aumenta el eficaz movimiento del aire. Los suelos en que

Tabla 11. Presencia de grava y talpetate en los 42 puntos de muestreos

Profundidad en cm.	Presencia de Grava		Talpetate	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%
0 – 10	26	62	-	-
11 – 20	33	79		
21 – 30	21	51	2	4.8
31 – 40	15	38	2	4.8
41 – 50	17	45	1	2.3
51 – 60	19	50	4	9.5
61 -70	15	44	4	9.5
71 – 80	14	50	2	4.8
81 – 90	16	62	1	2.3
91 – 100	15	58	3	7.1
100 – 115	11	58		

predomina la arena o la grava, son de carácter abierto, poseen un buen drenaje, aireación y están normalmente en condiciones de fácil desmenuzamiento (Buckman y Brady, 1985).

Marín (1990) dice que la mayoría de los suelos de la IV región son franco arenoso, franco limosos y en algunos casos franco arcillosos, coincidiendo con el levantamiento de suelo por el CATASTRO (1971) que nos indica que la textura de los suelos de Masatepe son en su mayoría de franco a franco limoso, los suelos de Niquinohomo van de franco arcilloso a franco arcillo limoso y los suelos del San Marcos son suelos francos friables.

3.2 3.- Color de los suelos en diferentes horizontes.

En el horizonte A hubo uniformidad de color predominando café o pardo oscuro presentándose en un total de 9 de los 14 cafetales, en el horizonte B hubo mayor variación con colores que van de café a café oscuro amarillento o grisáceo y en el horizonte C presentó una mayor variación con los mismos colores del horizonte B y además combinaciones de colores; cabe destacar que no hubo mucha similitud de colores entre los horizontes de los cafetales para un mismo sistema.

Tabla 12. Color de los suelos cafetaleros obtenidos en diferentes horizontes del perfil.

Cafetal	Horizonte	Leguminosa + moderado químico	Leguminosa + moderado orgánico	Leguminosa + moderado orgánico bajo	No leguminosa + moderado químico	No leguminosa + moderado orgánico	No leguminosa + moderado orgánico bajo	Pleno sol + moderado químico
1	A	Negro a café oscuro	Negro a café oscuro	Café oscuro	Café oscuro	Café oscuro	Café oscuro	Café oscuro
	B	Café oscuro	Café oscuro	-	Café oscuro grisáceo	Café oscuro a café oscuro grisáceo	Café oscuro grisáceo	Café oscuro
	C	Café oscuro	Café oscuro	Café oscuro	Café	Café oscuro a café oscuro amarillento	Café oscuro grisáceo	Café oscuro
2	A	Café oscuro	Café oscuro	Negro a café oscuro	Café oscuro	Negro a café oscuro	Café oscuro	Café oscuro grisáceo
	B	Café oscuro a café oscuro amarillento	Café oscuro a café oscuro amarillento	Café oscuro	Café oscuro a café oscuro amarillento	Café oscuro	Café oscuro	Café oscuro grisáceo
	C	Café oscuro a café oscuro amarillento	Café oscuro, café oscuro + café oscuro amarillento.	Café oscuro, café oscuro + café oscuro amarillento	Café oscuro, café oscuro + rojo amarillento	Café oscuro	Café oscuro a café oscuro amarillento	Café oscuro amarillento, café oscuro + café oscuro amarillento.

Nota: según tabla Mounsell.

El horizonte A esta constituido por acumulación de materia orgánica humificada, íntimamente ligada con la fracción mineral en los cuales ha habido pérdida de arcilla, hierro y aluminio; el color negro a pardo oscuro del suelo nos indica presencia de esta

(Buol *et al*, 1981) por lo común el color de los horizontes superiores cambia de pardo a pardo oscuro y a negro a medida que aumenta el contenido de materia orgánica y esta tiende a tornar un color más oscuro, los colores pardo claro a amarillo, están asociados con concentraciones bajas de sustancias colorantes en esencial hierro férrico o pueden ser debido a goethita (FeO-OH), en estado muy hidratado (FitzPatrick, 1980).

De acuerdo con el CATASTRO (1971) en un estudio de suelo de la zona de San Marcos, Niquinohomo y Masatepe se encontraron colores iguales a profundidades similares al presente estudio, estos fueron pardos muy oscuros, grisáceo y amarillento presentando altos contenidos de materia orgánica en el suelo superficial y moderadamente alta en el subsuelo.

3.3.- Biomasa de los residuos vegetales, concentraciones minerales y contenidos de nutrientes.

3.3.1.- Cuantificación de la biomasa de los residuos vegetales del suelo.

En el sistema No leguminosa + moderado orgánico se estimó un total de 4503 kg ha⁻¹ de materia seca de hojarasca, presentando el mayor peso, mientras que el sistema Pleno sol + moderado químico fue el de menor con un total de 2 056.5 kg ha⁻¹ pudiéndose observar que en las hileras fue donde cae la mayor cantidad de residuos, siendo la fracción hoja gruesa es decir la hoja recién caída y la que no ha sido afectada por el proceso de descomposición la de mayor porcentaje del total de hojarasca recolectada en todos los sistemas con un 41 %, seguido de fracción rama con un 38 % y fracción hoja fina o sea la hoja fraccionada producto de los efectos de la descomposición con 21 % (Tabla 13).

Un estudio realizado en Caracas, Venezuela, bajo un sistema de café + *Inga spp* + *E. poeppigiana* a una densidad de 5 597 y 1 931 cafetos y árboles de sombra respectivamente se estimaron 4 086 kg. ha⁻¹ de materia seca (Aranguren *et al*, 1982); en esta misma vía Russo y Budowski (1986) asociando café con *E. poeppigiana* con una densidad de 4 300 cafetos y 280 árboles obtuvieron 1809 kg. ha⁻¹. Alpizar et al (1985) en Turrialba, Costa Rica, de café + *Cordia alliodora* y café con *E. poeppigiana* con la misma cantidad de plantas de cafeto en los dos sistemas, pero distintas cantidad de árboles de sombra (laurel 183 y *Erythrina* sp 555 plantas ha.⁻¹) estimaron un total de 4155 y 7183 kg ha⁻¹ respectivamente. Esto indica que la densidad de árboles de sombra y cafeto, además del

tipo de especies de árboles de sombra influye en la cantidad de biomasa de residuos depositados sobre la superficie del suelo.

Tabla 13. Cantidad de la biomasa de los residuos vegetales (kg ha^{-1}) depositados sobre el suelo.

Sistema	Posición	Hoja fina	Hoja gruesa	Rama	Total	Media
Leguminosa + moderado químico	Calle	1774	1005	1300	4079	39.53
	Hilera	1321	1487	1020	3828	
Leguminosa + moderado orgánico	Calle	368	835	545	1748	2259
	Hilera	754	1219	797	2770	
Leguminosa + bajo orgánico	Calle	657	738	1129	2524	2857.5
	Hilera	556	1644	991	3191	
No leguminosa + moderado químico	Calle	601	583	1224	2408	2473
	Hilera	459	538	1541	2538	
No leguminosa + moderado orgánico	Calle	598	1967	1282	3847	4503
	Hilera	567	2506	2086	5159	
No leguminosa + bajo orgánico	Calle	225	1811	1758	3761	3804
	Hilera	192	1967	1282	3847	
Cafetal a pleno sol	Calle	79	353	742	1174	2056
	Hilera	911	1148	880	2939	
Contribución (%)		20.86	40.98	38.16	100	

3.3.2. Concentración de N, P y K obtenidos en diferentes componentes de la biomasa de los residuos vegetales.

El componente hoja gruesa (entera) presentó las mayores concentraciones de N en los sistemas Leguminosa + bajo orgánico con 3.17 % y No leguminosos en un rango de 2.67 y 3.31 %, seguido del componente hoja fina; en los restantes sistemas Leguminosa + moderado orgánico, Leguminosa + moderado químico y Pleno sol + moderado químico el componente hoja fina obtuvo las mayores concentraciones que van de 3.16 a 3.75 %. En cuanto al elemento P, el componente hoja gruesa, hoja fina y rama obtuvieron concentraciones similares en la mayoría de los sistemas (Tabla 14), siendo fracción rama el de mayor porcentaje en estos. En K hoja gruesa y rama fueron los que presentaron los mayores porcentajes en los diferentes sistemas.

Las mayores concentraciones de Nitrógeno en el componente hoja gruesa (entera) se debió a que estaba empezando su estado de descomposición y no se habían liberado los distintos minerales (N, P y K); en el caso de hoja fina había presencia de organismos descomponedores que son ricos en nutrientes. En Fósforo y Potasio se dan mayores concentraciones en rama y hoja gruesa por su poca descomposición.

Estudios realizados por Alpizar (1985) en sistemas agroforestales con café reporta concentraciones de N, P y K similares a los del presente estudio en las hojas de café 2.45, 0.09 y 1.02 %; hojas de laurel 2.79, 0.24, 2.28 %; hojas de *Erythrina* 4, 0.27, 1.59 %; ramas de café 1.11, 0.19, 1.18 % ramas de laurel 0.91, 0.19, 0.44% y ramas de *erythrina* 1.28, 0.15 y 1.42% respectivamente.

Tabla 14. Concentración mineral (%) de la biomasa de los residuos vegetales obtenidos en diferentes sistemas agroforestales.

Sistema	Componente	Concentración mineral (%)		
		N	P	K
Leguminosa + bajo orgánico	Hoja fina	3.07	0.17	0.53
	Hoja gruesa	3.17	0.18	0.35
	Rama	2.14	0.20	0.61
Leguminosa + moderado orgánico	Hoja fina	3.41	0.35	0.29
	Hoja gruesa	3.32	0.37	0.52
	Rama	1.86	0.16	0.40
Leguminosa + moderado químico	Hoja fina	3.16	0.15	0.36
	Hoja gruesa	2.92	0.24	0.46
	Rama	2.57	0.16	0.46
No leguminosa + bajo orgánico	Hoja fina	2.23	0.12	0.22
	Hoja gruesa	2.67	0.17	0.46
	Rama	1.58	0.30	0.63
No leguminosa + moderado orgánico	Hoja fina	3.17	0.23	0.16
	Hoja gruesa	3.31	0.26	0.55
	Rama	2.92	0.26	0.22
No leguminosa + moderado químico	Hoja fina	3.12	0.18	0.41
	Hoja gruesa	2.21	0.16	0.20
	Rama	1.87	0.13	0.65
Pleno sol + moderado químico	Hoja fina	3.75	0.22	0.20
	Hoja gruesa	3.59	0.13	0.42
	Rama	2.22	0.23	0.17

Fuente: Laboratorio de suelos y agua UNA 2004.

3.3.3. Contenido de N, P y K obtenidos en la biomasa de los residuos vegetales.

El sistema no leguminoso + moderado orgánico fue el que presentó las mayores cantidades de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio con 144.6, 12.48, y 20.98 kg ha⁻¹ respectivamente; en cuanto al elemento nitrógeno el sistema leguminoso + moderado químico fue el que presentó el segundo valor mas alto con 119.67, los otros sistemas presentaron valores iguales o menores a 80 kg ha⁻¹; con respecto al elemento fósforo los sistemas restantes tuvieron valores menores a los 8 kg ha⁻¹, teniendo el menor valor el sistema no leguminoso + moderado químico con 3.62 kg ha⁻¹. En el elemento potasio los

sistemas leguminosos y no leguminoso + bajo orgánico y leguminosa + moderado químico también tuvieron valores similares al no leguminosa moderado orgánico (Tabla 15) y de menor cantidad fue pleno sol con 5.83 kg ha⁻¹.

Según estos resultados nos indican que la cantidad de nutrientes en la biomasa va a depender de varios factores como el tipo de especie utilizada para sombra, por ejemplo los residuos foliares de sombra de *Erythrina sp* e *Inga spp* de un cafetal se descomponen un 50 % en dos meses (Aranguren *et al*, 1982) así como hay otras especies que se descomponen en menor tiempo como *Gliricidia sepium* (Yamaho, *et al*.1986); esto quiere decir que si el tiempo de descomposición es mas tardío mayor será la cantidad de biomasa en el suelo y por ende la cantidad de nutrientes presentes. Otros factores que influyen en la cantidad de nutrientes son: densidad de árboles de sombra y cafetal.

Tabla 15. Contenido de N, P y K (kg ha⁻¹) en la biomasa de los residuos vegetales en diferentes sistemas agroforestales.

Sistema agroforestales con café	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Leguminosa + bajo orgánico	76.03	4.43	18.75
Leguminosa + moderado orgánico	65.03	7.77	12.33
Leguminosa + moderado químico	119.67	7.37	19.33
No leguminosa + bajo orgánico	80.99	7.98	17.69
No leguminosa + moderado orgánico	144.6	12.48	20.98
No leguminosa + moderado químico	63.82	3.63	12.08
Pleno sol + moderado químico	63.81	4.1	5.83

Estudios realizados por Heuveldop (1985) sobre la producción de residuos naturales y de podas en sistemas de café con especies utilizadas para sombra como *Erythrina* y Laurel presentaron contenidos de nutrientes de Nitrógeno con 461.35 y 114 kg ha⁻¹ a⁻¹, Fósforo con 35 y 11 kg ha⁻¹ a⁻¹ y Potasio con 259 y 55 kg ha⁻¹ a⁻¹ respectivamente Mientras tanto Glover y Beer (1983) en sistemas de café con laurel y *Erythrina* encontraron contenidos de nutrientes de 338, 33, 169 kg ha⁻¹ a⁻¹.

En cuanto al contenido de nutrientes de la biomasa de las hileras fue un poco mayor en todos los sistemas agroforestales estudiados que en las calles debido a que en las hileras había aporte de hojarasca de café y esta contiene nutrientes por la aplicación directa de

fertilizantes a las plantas y además al aporte de hojarasca de los árboles de sombra (Anexo 3).

3.4.- Caracterización química de suelos cafetaleros.

3.4.1.- Contenido de Materia Orgánica en los suelos cafetaleros.

En las profundidades 0-5, 5-15 y 15-30 cm. los sistemas con mayor porcentaje de materia orgánica fueron Leguminoso + moderado orgánico 22.9 %, Leguminosa + bajo orgánico 20.3 % y leguminoso + moderado químico 18.46 % en la profundidad 0-5 cm., descendiendo Leguminosa + bajo orgánico con 19.37 % y Leguminosa + moderado orgánico 19.16 % y Leguminosa + moderado químico 18.91 % en la profundidad B; en la profundidad C el sistema Leguminosa + moderado orgánico 21.88% y Leguminosa + moderado químico 21.54 %, esto se debe a que en estos sistemas la descomposición de hojarasca es más rápida por el tipo de especies arbórea establecida, que en su mayoría son leguminosas ya que su descomposición es alta y constante con rangos $k = 1.65$ a 8.48 al año (Palm y Sánchez, 1990) contrario al sistema No leguminosa + bajo orgánico que presentó los menores porcentajes en las tres profundidades (Tabla 16) debido al tipo de especie utilizadas que se descomponen en un mayor tiempo y poseen bajos contenidos de nutrientes en las hojas (Tabla 14).

Tabla 16. Contenido de materia orgánica (%) a tres profundidades de los suelos cafetaleros.

Sistemas	Profundidad de los suelos (cm)		
	0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	20.3	19.37	16.1
Leguminosa + moderado orgánico	22.9	19.16	21.88
Leguminosa + moderado químico	18.46	18.91	21.54
No leguminosa + bajo orgánico	9.05	7.69	6.91
No leguminosa + moderado orgánico	20.35	15.9	16.4
No leguminosa + moderado químico	15.65	13.05	13.34
Pleno sol + moderado químico	15.89	14.98	13.68

Fuente: Laboratorio de suelos y agua UNA 2004.

Hardy (1961) propone que en cultivos perennes tropicales suelos con materia orgánica mayor al 10 % se consideran muy altos. En este estudio todos los sistemas presentaron

valores superiores a este excepto No leguminosa + bajo orgánico. Los porcentajes altos de materia orgánica puede deberse al aporte de cantidades importantes de biomasa que de manera permanente se están depositando sobre el suelo de estos sistemas, y en el caso de pleno sol el cual obtuvo las menores cantidades de biomasa pero no así de materia orgánica puede deberse al uso anterior de suelo ya que era tacional de madero negro y pastizales los cuales almacenan cantidades de materia orgánica y carbono similares a suelos forestales (Robert, 2002).

La materia orgánica es una mezcla heterogénea de las diferentes fases de transformación de los materiales orgánicos incorporados al mismo, que varía con el tipo de suelo y con la profundidad (Turenne 1988). Esta mezcla heterogénea tiene forma más estable por la influencia de reacciones químicas, físicas y biológicas en el suelo a la cual se conoce como humus; las sustancias húmicas constituyen el 85 % de la fracción orgánica. La materia orgánica se forma, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas imperantes de cada zona, por una gran cantidad de residuos, especialmente de origen vegetal, esta cumple con función de vital importancia relacionadas con el funcionamiento general de los ecosistemas como sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, ligado a la creación de condiciones favorables para el desarrollo de la vida en dicho sistema, especialmente aquellos seres que sirven de soporte directo tal es el caso de los productores primarios (Rivero, 1999).

La materia orgánica constituye una fuente directa de macro y micro nutrientes, vía proceso de mineralización (Rivero, 1999), también aumenta el poder amortiguador del suelo, reduciendo el riesgo de variaciones bruscas de pH (Duchaufour, 1984), además es fuente importante de sitio de intercambio catiónico en los suelos (Solórzano, 1997).

3.4.2.- Contenido de Carbono en los suelos cafetaleros.

En la profundidad 0-5 cm. todos los sistemas tuvieron un porcentaje de Carbono comprendido entre 9 y 13 %, excepto No leguminosa + bajo orgánico que con 5.26 %. En la profundidad 5-15 cm el porcentaje de Carbono disminuyó, todos los sistemas tuvieron un rango de 7.5 a 11.5 % solamente el mismo sistema No leguminosa + bajo orgánico tuvo porcentajes menores a estos. En la profundidad 15-30cm. presentaron valores parecidos a los obtenidos a la profundidad B.

El carbono representa un 58 % de la materia orgánica; en los trópicos constituye del 45-55 % (Fassbender, 1986; Locatelli, 1999) esto quiere decir que de acuerdo al contenido de materia orgánica presente en el suelo estará determinado el contenido de Carbono por lo que en los mismos sistemas que en nuestro estudio tuvieron los mayores valores en la materia orgánica también se presentó mayor cantidad de carbono.

Según Hardy (1961) para cultivos perennes tropicales como el cacao propone que suelos con bajo contenido de carbono son aquellos suelos que tienen menos de 1.5 %, medio de 1.6-2.3 %, altos de 2.4-5.8 % y muy altos mayores de 5.8 %; lo que significa que los sistemas estudiados presentaron porcentajes de carbono muy altos, ya que el café es un cultivo perenne similar al cacao.

Tabla 17. Contenido de Carbono (%) a tres profundidades de los suelos cafetaleros.

Sistemas	Profundidad de los suelos (cm)		
	0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	11.77	11.23	9.86
Leguminosa + moderado orgánico	13.29	11.12	12.70
Leguminosa + moderado químico	10.63	11.13	12.50
No leguminosa + bajo orgánico	5.26	4.46	4.01
No leguminosa + moderado orgánico	11.77	9.23	9.52
No leguminosa + moderado químico	9.08	7.57	7.49
Pleno sol + moderado químico	9.22	8.71	7.94

Fuente: Laboratorio de suelos y agua UNA 2004.

En un estudio realizado por Pérez y Ruiz (2003) en Jinotega evaluando profundidades de 0-30 cm. se observó que del 73-77 % del total de carbono se encuentra en los primeros 20 cm. de profundidad de suelo y el restante de 23-27 % se encuentra en la profundidad de 20-30 cm; estos resultados son similares al presente estudio ya que en los primeros 15 cm. de profundidad se presentó del 63-71 % del carbono total y el restante en la profundidad de 15-30 cm., como es de esperarse el movimiento del humus en el perfil del suelo es de arriba hacia abajo y su concentración disminuye conforme aumenta la profundidad del suelo.

En plantaciones de pino en Estelí y Nueva Segovia se encontraron contenido de carbono que van desde 0.36 a 3.08 % a profundidad de 0-5cm. y de 0.36 a 2.61 % a profundidades

de 5-10cm (Acuña y Oviedo, 2001). En un estudio realizado en Costa Rica en 3 sistemas de café bajo sombra a profundidad de 0-10cm. presentan resultados de 4.1, 6.06, 4.8 % (Gutiérrez. 2002) La concentración de carbono en el suelo puede estar relacionada con la tasa de aporte de hojarasca, descomposición, tipo de suelo, drenaje, lluvia, temperatura y manejo de suelo.

3.4.3.- Contenido de Nitrógeno disponible en los suelos cafetaleros

En la profundidad 0-5 cm. los sistemas que presentaron mayor porcentaje de nitrógeno fueron Leguminosa + moderado orgánico con 0.46 %, Leguminosa + bajo orgánico y No leguminosa + moderado orgánico con 0.39 % respectivamente, el sistema No leguminosa + bajo orgánico fue el que presentó el menor porcentaje con 0.18 % esto se debe a que el nitrógeno está relacionado directamente con la materia orgánica, las tendencias entre el contenido de nitrógeno de la hojarasca y nitrógeno del suelo varían, los sistemas leguminoso + moderado orgánico y leguminoso + bajo orgánico los cuales presentaron contenidos bajos de N en la hojarasca superaron a los sistemas no leguminoso + moderado orgánico, leguminoso + moderado químico y no leguminoso bajo orgánico en contenido de nitrógeno en el suelo posiblemente estos sistemas sean más eficientes. En la profundidad 5-15 cm. los sistemas leguminosos presentaron los mayores porcentajes 0.20 %, siendo el menor el sistema No leguminosa + bajo orgánico 0.08 % y en la profundidad de 15-30 cm. como es de esperarse los porcentajes de nitrógeno disminuyeron, por que la materia orgánica está presente en los primeros cm; siendo los sistemas leguminoso + moderado químico 0.15 %, leguminoso + moderado orgánico 0.14 % los que continuaron con porcentajes altos y no leguminoso + bajo orgánico 0.05% el de menor contenido.

Tabla 18. Contenido de Nitrógeno total (%) a tres profundidades de los suelos cafetaleros.

Sistemas	Profundidad de suelo (cm)		
	0 - 5	5 - 15	15 - 30
Leguminosa + bajo orgánico	0.41	0.20	0.12
Leguminosa + moderado orgánico	0.46	0.20	0.14
Leguminosa + moderado químico	0.37	0.20	0.15
No leguminosa + bajo orgánico	0.18	0.08	0.05
No leguminosa + moderado	0.39	0.16	0.11

orgánico			
No leguminosa + moderado químico	0.32	0.13	0.09
Pleno sol + moderado químico	0.32	0.15	0.1

Fuente: Laboratorio de suelos y agua UNA 2004.

El nitrógeno es un elemento esencial en la nutrición de las plantas, esta asociado en forma directa al Carbono. Entre el 95 y 98 % del nitrógeno total del suelo esta asociado a sustancias orgánicas en forma de aminoácidos y proteínas, el resto es inorgánico. (Fassbender, 1987). La mayor proporción de nitrógeno del suelo se encuentra asociada a la materia orgánica en forma de aminoácidos y proteínas. El nitrógeno orgánico sufre una serie de transformaciones en el suelo que lo llevan a nitrógeno mineral; la base inicial de esta transformación es que la materia orgánica es fuente de carbono y energía para organismos heterotróficos del suelo que van descomponiendo y transformando el nitrógeno a formas minerales (Solórzano, 1997).

Las plantas pueden asimilar el nitrógeno en forma de NH_4^+ y NO_3^- , es conveniente acotar que en el primer caso se está en presencia de un catión y como tal es absorbido en el complejo de intercambio de suelo, arcilla y materia orgánica, siendo además susceptible a la pérdida por volatilización. El NO_3^- , dada su alta solubilidad y elevada movilidad en el suelo y en consecuencia, tiene grandes probabilidades de perderse del sistema por lavado (Rivero, 1999).

Se conoce que la pérdida de los abonos nitrogenados es directamente proporcional a la cantidad aplicada al suelo (Martínez, *et al*, 1987), por tanto una buena estrategia para reducirlas, consiste en el fraccionamiento de esta fuente (Pacheco, *et al*, 1986).

Tanto el contenido de materia orgánica y el nitrógeno están relacionados con el origen de los suelos. Los suelos derivados de cenizas volcánicas se caracterizan por tener valores altos de nitrógeno; ejm. En suelos de América Central en el horizonte A presentan valores de 0.4 a 0.5 % de nitrógeno (Fassbender y Bordemisza, 1987).

Alpizar, *et al* (1985) en caracterización química de suelo en un sistema agroforestal de café con especie de sombra leguminosa *Erithryna sp* en Turrialba, Costa Rica a tres profundidades diferentes 0-15, 15-30, 30-45 cm. obtuvo resultados de nitrógeno total de 0.21, 0.16, 0.11 % respectivamente; mientras en otro estudio realizado por Gutiérrez

(2002) en la Zona baja de la parte sur de Costa Rica en sistemas de café bajo en tres sitios diferentes a profundidades de 0-10, obtuvo resultados de 0.25, 0.40, 0.44 % de N.

3.4.4.- Contenido de fósforo disponible en los suelos cafetaleros

En la profundidad 0-5 cm la cantidad de fósforo presente en el suelo es muy variable entre los sistemas agroforestales; presentando la mayor cantidad de fósforo el Leguminosa + moderado químico con 67.67 ppm, seguido de No leguminosa + moderado químico y No leguminosa + bajo orgánico con un promedio de 40 ppm cada uno, la cantidad mas baja se obtuvo en los sistemas Leguminosa + bajo orgánico y No leguminosa + moderado orgánico con 14 y 13 ppm respectivamente. En la profundidad 5-15 cm disminuyó el contenido de Fósforo, en los sistemas antes mencionados en la profundidad A. En la profundidad 15-30 cm la mayoría de los sistemas presentaron valores aún más bajos como es de esperarse.

El fósforo es relativamente estable en el suelo. De esta alta estabilidad resulta una baja solubilidad que a veces causa deficiencia de disponibilidad de fósforo para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo (Committee on tropical soils, 1972). Según los resultados del presente trabajo los niveles de fósforos en estos sistemas son altos a muy altos, ya que contenidos menores de 3 ppm son muy bajos, 3 a 6 son bajos, 6 a 9 son moderados, 9 a 12 suficientes y mayores a 12 ppm son altos y mayores de 30 son muy altos (INTA/FAO 2000; Amezcuita, *et al*, 1985)

Tabla 19. Contenido de Fósforo disponible (ppm) a tres profundidades de los suelos cafetaleros.

Sistemas	Profundidad de suelo (cm)		
	0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	14.83	7.78	5.11
Leguminosa + moderado orgánico	36.41	23.27	34.04
Leguminosa + moderado químico	67.67	39.36	42.02
No leguminosa + bajo orgánico	40.45	30.74	16.96
No leguminosa + moderado orgánico	13.07	5.61	3.1
No leguminosa + moderado químico	40.29	39.29	28.08
Pleno sol + moderado químico	22.53	10.01	4.9

Fuente: Laboratorio de suelos y agua UNA 2004.

Las necesidades del café por fósforo se manifiestan principalmente en dos etapas del cultivo, la primera se refiere a los años iniciales de la formación del arbusto durante los cuales hay un aumento apreciable del material vegetal de la planta. Esta etapa se caracteriza por la conformación del sistema radical, donde el fósforo cumple una función medular, la segunda etapa es la producción, donde su papel es acelerar la madurez del fruto y la necesidad del elemento es pequeña (Carvajal, 1984). La materia orgánica constituye entre el 15-89% del contenido total del Fósforo en el suelo (Stevenson, 1994) y de la misma forma que el nitrógeno puede ser mineralizado o inmovilizado. Las plantas absorben el fósforo básicamente como iones ortofosfatos H_2PO_4^- y $\text{HPO}_4^{=}$ (Solórzano, 1997)

Los suelos de Nicaragua contienen cantidades medias y bajas de fósforo disponible. El análisis de 4867 muestras de suelo analizadas en Finlandia indican que el 36.8% contienen menos de 10 ppm (INTA/FAO, 2000) esto indica que los resultados obtenidos en el presente estudio son altos.

3.4.5.- Acidez de los suelos cafetaleros (pH en H_2O y KCl)

En la profundidad 0-5cm. con respecto a la determinación del pH en agua, los sistemas Pleno sol + moderado químico y Leguminosos presentaron pH bajos que van de 5.3 a 5.81, mientras que los sistemas no leguminosos presentaron pH de 6.01 hasta 6.65, este mismo comportamiento es mostrado en las tres profundidades; excepto el sistema No leguminosa + moderado químico que presentó valores relativamente iguales a los sistemas leguminosos en las profundidades 5-15 y 15-30 con respecto al análisis de pH en KCl, también presentó el mismo comportamiento. (Tabla 20)

En el sistema Pleno sol + moderado químico obtuvieron los pH más bajos probablemente se debió a la aplicación sistemática de fertilizantes especialmente nitrogenados los que tienden a acidificar el suelo (Tabla 2), en este sistema probablemente haya presencia de aluminio intercambiable que pueda estar reteniendo minerales (Solórzano, 1997) y los sistemas con especies leguminosas que también tuvieron pH bajos se debe a la rápida descomposición y constante mineralización, contrario a los sistemas con árboles no

leguminosos los cuales poseen una vegetación permanente o bien provista de humus reflejando un pH en equilibrio (Duchaufour, 1984).

Las variaciones de pH en el suelo afecta la disponibilidad de los diferentes elementos nutritivos esenciales para las plantas, tiene una influencia sobre las poblaciones y la composición de los microorganismos del suelo (Solórzano, 1997); a menor pH baja la actividad biológica y en consecuencia disminuye el ritmo de transformación y mineralización de la materia orgánica (Labrador, 1996), influye en los cambios que experimenta la CIC por la presencias de cargas variables dependientes del pH (Solórzano, 1997)

Tabla 20. Valores de acidez (pH en H₂O y KCl) a tres profundidades de los suelos cafetaleros.

Sistemas	0-5		5-15		15-30	
	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl
Leguminosa + bajo orgánico	5.71	4.89	5.77	4.76	5.84	4.83
Leguminosa + moderado orgánico	5.81	4.98	5.66	4.67	4.79	4.78
Leguminosa + moderado químico	5.50	4.78	5.59	4.75	5.81	4.99
No leguminosa + bajo orgánico	6.65	5.51	6.64	5.26	6.73	5.24
No leguminosa + moderado orgánico	6.16	5.18	6.19	5.05	6.19	4.99
No leguminosa + moderado químico	6.01	4.95	5.48	4.57	5.76	4.76
Pleno sol + moderado químico	5.30	4.40	5.10	4.17	5.32	4.44

Fuente: Laboratorio de suelos y agua UNA 2004.

Las mayores limitaciones al desarrollo de los cultivos en suelos ácidos son, según Jackson (1967) toxicidad por Al, Mn, H y deficiencia de calcio. El Al intercambiable es el principal catión en suelos ácidos sobre todo cuando el pH es 4.5 a menos ocupando una alta proporción de la CIC efectiva. Mientras que Sánchez y Salinas (1992) señalan que en los trópicos aproximadamente que 43% de los suelos corresponden a Oxisoles y Ultisoles donde la principal limitante es la acidez.

Bajo condiciones de acidez puede ocurrir una disminución en el aprovechamiento de fósforo debido a que los compuestos fosfatados solubles pueden ser precipitados o absorbidos por el Al presente. También hay deficiencia de Ca, Mg, además afecta la nitrificación ya que es un proceso biológico (Solórzano, 1997).

3.4.6.- Capacidad de Intercambio Catiónico en suelos cafetaleros.

Los sistemas No leguminosos, Leguminosa + bajo orgánico y Leguminosa + moderado orgánico, presentaron mayor CIC, en la profundidad de 0-5 cm. estos tuvieron valores similares que se encontraron en un rango de 45.31 a 51.88 meq, obteniendo mayor valor No leguminosa + moderado orgánico, en la profundidad 5-15 cm. los sistemas No leguminosa + moderado orgánico y No leguminosa + bajo orgánico presentaron la mayor CIC. Con 48.08 y 47.1 respectivamente, en la profundidad de 15-30 cm. el sistema que obtuvo mayor CIC fue Leguminosa + bajo orgánico; mientras que los sistemas Leguminosa + moderado químico y Pleno sol + moderado químico presentaron la menor CIC en las tres profundidades.

La CIC que se presentó en los suelos de estos sistemas agroforestales es alta, esto se debe a que los suelos son ricos en materia orgánica, pues el humus es capaz de retener cantidades grandes de cationes (Rivero, 1999). Según Drake y Motto (1982), indican que la materia orgánica del suelo presentan una CIC seis veces mayor que la arcilla.

Tabla 21. Capacidad de Intercambio Cationico (meq / 100 g de suelo) a tres profundidades de los suelos cafetaleros.

Sistema	Profundidad de suelo (cm)		
	0 - 5	5 - 15	15 - 30
Leguminosa + bajo orgánico	47.05	41.04	38.34
Leguminosa + moderado orgánico	45.81	40.97	39.28
Leguminosa + moderado químico	42.54	36.53	39.09
No leguminosa + bajo orgánico	48.89	47.10	47.12
No leguminosa + moderado orgánico	51.88	48.08	42.62
No leguminosa + moderado químico	47.11	42.69	41.21
Pleno sol + moderado químico	42.13	35.33	34.90

Fuente: Laboratorio de suelos y agua UNA 2004.

El mecanismo de Intercambio Catiónico se lleva a cabo a través de las partículas más pequeñas del suelo que son las arcillas minerales y humus en estado de disolución parcial en el agua del suelo y que se conoce como complejo arcillo-húmico, los suelos francos

pueden presentar una CIC que va de 15 a 35 meq/100g, los suelos franco arcillosos de 30-50 meq/100g y suelos con materia orgánica hasta mayor de 85 meq/100g (INTA/FAO, 2000).

IV.- Conclusiones

- Los productores de la zona del Pacífico de Nicaragua optan por tener en su sistema de producción más de una especie arbórea, predominando *G. sepium* (madero negro), la cual se presentó en todo los sistemas estudiados. La variedad más cultivadas es Caturra por su precocidad a la cosecha, porte bajo y buena producción y Paca por su adaptabilidad a la zona.
- En la zona cafetalera del Pacífico el uso anterior del suelo era en su mayoría pasto 50 % y cafetales 41.66 %.
- Las densidades de los árboles de sombra y su porcentaje de sombra son mayores en los sistemas con especies no leguminosas debido a la no regulación de la densidad de árboles hay una regeneración naturalmente como es el caso de Laurel y al poco manejo de sombra que le brindan.
- Los cafetales no leguminoso + moderado orgánico obtuvo la mayor cantidad de hojarasca 4503 kg ha⁻¹ y posee contenidos altos de nutrientes en el suelo, pero le brindan poco manejo de poda impidiendo nuevos brotes que permitan mejorar su producción y hacer un mejor uso de los nutrientes.
- Los cafetales de pleno sol + moderado químico fueron los cafetales más viejos 26.5 años, esto influye a que la planta sea menos eficiente ya que es un sistema intensivo, además este sistema presenta pH ácidos de 5.3 donde quizás haya presencia de aluminio intercambiable reteniendo minerales como fósforo, calcio, magnesio y disminuya la nitrificación.
- La textura del suelo de estos sistemas van de francos a francos limosos, con presencia de grava fina y con colores pardos (10 YR 4/3) a pardos oscuros (10YR 3/3), con profundidad de horizontes hasta 30 cm en suelos de Niquinohomo y con presencia de talpetate en la mayoría de estos hasta más de 100 cm en suelos de Carazo.
- Los sistemas con árboles de sombra leguminosa a pesar que presentaron menores cantidades de biomasa por su rápida descomposición, poseen contenidos altos de nutrientes en el suelo y hacen un uso eficiente de estos, ya que la producción en

estos sistemas es más alta que en los sistemas no leguminosos con el mismo nivel de tecnología (fertilización).

- En general todos los sistemas estudiados presentaron reservas altas de nutrientes, contenidos mayores de materia orgánica de 9.5 %, porcentajes de Carbono (> 5 %), contenidos medios a altos de Nitrógeno (0.08 a 0.46 %), una buena disponibilidad de Fósforo (> a 13 %), pH que van de ácidos a ligeramente ácidos y CIC alta (35 a 50 meq / 100g).

V.- Recomendaciones

- En los sistemas no leguminoso + moderado químico y no leguminoso + bajo orgánico combinar con otro tipo de especies de árboles como leguminosos, para que haya un mejor ciclaje de nutrientes y estos estén disponibles para las plantas.
- Mejorar las condiciones del manejo a los cafetos y árboles de sombra en el sistema No leguminosa + moderado orgánico por medio de podas reguladas, ya que es uno de los sistemas que presentó una cantidad importantes de nutrientes y de hojarasca sobre el suelo, para incrementar los rendimientos dado que actualmente son bajos.
- El sistema pleno sol + moderado químico se deben de renovar cafetales y reducir las dosis de fertilizantes químicos debido a que están acidificando el suelo.

VI.- Referencias bibliográficas

- Acuña, G. V y Oviedo, Z. 2001. Estudio sobre fijación de Nitrógeno en plantaciones de Pino (*Pinus oocarpa*) de 11 años de edad, en los sitios Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora, Nueva Segovia. Tesis de Ing. Agrónomo. UNA. Managua, Nicaragua 64p.
- Aguilar, G.; Santacreo, R.; Azueto, F. 1999. El Mejoramiento Genético de Café en América Central. Desafíos de la Caficultura en Centro América pag. 407-456.
- Alpizar, L.; Fassbender, H.W.; Heuvelop, J; Enríquez, G, Fölster, H.1985. Sistemas Agroforestales de Café (*Coffea arabica L.*) con Laurel (*Cordia alliodora*) y café con Poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y Reservas Nutritivas. Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas 35 (3): 233-242.
- Amezquita, E. A y González S. E. 1985. Estado de fertilidad actual de los suelos del Norte del Estado de Guarico en los Llanos Centrales Venezolanos. Fundación Servicio para el Agricultor. Programa Palmaven-Fusagrin. Cagua, Aragua. Venezuela 19p.
- Aranguren, J.; Escalante; Herrera, R. 1982. Cycles of Nitrogen of Tropical Perennial Crops. I. *Coffea*. Plant and Soil, 67: 247-257.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems, 38: 139-164.
- Beer, J. 1995. Efecto de los árboles de sombra sobre la sostenibilidad de un cafetal. Boletín PROMECAFE 68: 13-18
- Bonilla Z, G. 1999. Tipología Cafetalera en el Pacífico de Nicaragua. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 90p.
- Boyce, J. K. ; Fernandez, A.; Fürst, E. ; Segura, O. 1994. Café y desarrollo sostenible: Del cultivo agroquímico a la producción Orgánica en Costa Rica EUNA, Heredia, Costa Rica 248 P.
- Buckman, H. O.; Brady, N. C. 1985. Naturaleza y propiedades de los suelos. México, D. F. 590p.
- Buol, S. W, Hole, F. D; McCracken. R. J.1981. Génesis y clasificación de suelos. 2^{da} Ed. México 1990. Publicado en The Iowa State University Press 417p.

- Carvajal, J.F. 1984. Cafeto- cultivo y fertilización. 2^{da} ed. Instituto Internacional de la Potasa, Berna 254p.
- Carvalho, A; Medina Filho, H.P; Fazuoli, L. C; Guerreiro Filho, O; Lima, M. .M. 1991. Aspectos Genéticos del Café. *Rex. Brasil Genet.* 14(11): 135-183.
- CATASTRO e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua. 1971. Levantamiento de suelo de la Región del Pacífico de Nicaragua. Vol.1 parte 2. Descripción de suelos. Managua, Nicaragua pag. 275-589.
- Centro Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1991. Madero Negro (*Gliricidia sepium Jacq.*). Especie de árboles de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica 79p.
- Clemens, H y Simán, J. 1993. Tecnología y desarrollo del sector cafetalero en Nicaragua. Managua, Nicaragua, UNAN/CATIE 21p.
- Committee on Tropical Soil. 1972. Soil of the humid tropics. Washington, D. C. E.E.U.U.; National Academy Sciences. SP.
- Drake, E.M and Motto, H.L. 1982. An analisis of the effect of clay and organic matter content on the soil cation exchange capacity of New Jersey Soils. *Soil Sci.* 133: 281-288.
- Duchaufour, P.H. 1984. Edafología I. Edafogénesis y clasificación. Masson. Barcelona 353p.
- Fassbender, H.W y Bordemiza, E. 1987. Química de suelos. San José, Costa Rica. IICA 420p.
- Fassbender, H. W. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales 2da. Ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 491 P.
- Fassbender, H.W. 1986. Química de suelos: con énfasis en suelo de Latino América. San José, Costa Rica. 1^{ra} ed. 1986 398p.
- Fritz Patrick, E.A.1980. Suelos su formación, clasificación y distribución. 3^{ra} Impresión 1987. Traducido por Ing. Agr. Antonio Ambrosio, Ph. D. Ed. Group Limited. México, D.F. 430p.

- George, M. 1982. Litter production. And nutrient return in Eucalyptus hybrid plantation. *Indian Forestry* 108(4): 253-259.
- Glover, N; Beer, J.M. 1983. Spatial and temporal fluctuation of litter falls in the agroforestry associations *Coffea arabica L – Erythrina poeppigiana and Coffea arabica L-Erythrina poeppigiana-Cordia alliodora*. Turrialba, Costa Rica. CATIE 43p.
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D; Staver, Ch. 2000. Manejo Integrado de Plagas en el cultivo del Café. Serie Técnica N^o 44. CATIE. Managua, Nicaragua 267p.
- Gutiérrez, C. M. 2002. Disponibilidad y dinámica de nitrógeno en el suelo bajo especies maderables y leguminosas, usadas bajo sombra en el sistema de café en la subcuenca de l Río Grande del General. Turrialba, Costa Rica. Tesis de M. Sc. Turrialba, Costa Rica 62p.
- Guyot, B; Gueule, D; Manez, J.C; Perriot, J.J; Giron, J; Villain, L. 1995. Influence de l'altitude et de l'ombrière sur la qualité des cafés plantation recherche developpement 3(4): 272-280.
- Hardy, F. 1961. Manual de Cacao (*Theobroma cacao*). Turrialba, Costa Rica. IICA. Texto y materiales de enseñanza N^o10. 439p.
- Heuvelodp. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica L*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*E. poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. II. Producción agrícola maderable y de residuos vegetales. Turrialba, Costa Rica. 35: 347-355.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2003. Estudio de la Cadena de Comercialización del Café. 1ra Ed. Managua, Nicaragua. 169 P.
- Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos (INEC). 2001. Tercer Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) CD Room.
- INTA/FAO. 2000. Manejo integrado de la fertilidad de suelos en Nicaragua. Managua, Nicaragua. 130p.
- Jackson, W. A. 1967. Physiological effects of soil acidity. Pearson and Adams (ed.). Soil acidity and liming agronomy N^o12. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin pag. 43-55.
- Labrador, M.J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Madrid, España 174p.

- Lemmon, P. E. 1957. A new instrument for measuring forest overstory density. *Journal Forestry* 55(9) 667 – 668.
- Locatelli, B. 1999. Bosques tropicales y ciclo del Carbono. Traducido por el Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente. Proyecto cambio climático. Programa ambiental Nicaragua / Finlandia. SP.
- Marín, E 1990. Estudio agro ecológico y su aplicación al desarrollo productivo agropecuario, Región IV. Informe final. Ordenamiento del sistema productivo agropecuario. Managua, Nicaragua. 240p.
- Martinez, G; Bordemiza, E; Kass, D.C. 1987. El Nitrógeno en un sistema maíz-ayote en un típico. *Distropept de Turrialba*. 37: 331-335.
- Mejía Alvarado, E.J. 1990. Caracterización y Evaluación de diferencias en manejo del cultivo del café (*Coffea arabica L.*) en dos municipios de Matagalpa, Nicaragua. Tesis M.Sc. Turrialba Costa Rica. CATIE. 102p.
- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA). 1998. Diagnóstico del café y su impacto en el medio ambiente. Managua, Nicaragua. 155p.
- Montenegro, J, Ramírez, G. 1997. Evaluación de establecimiento y crecimiento inicial de cuatro especies maderables asociadas con café (*Coffea arabica L.*). Simposio Latinoamericano de Caficultura. Memorias San José, Costa Rica. IICA/PROMECAFE pag. 151-156.
- Muschler, R. 2000. Árboles en Cafetales. Modulo de Enseñanza Agroforestal N^o 5. Turrialba, Costa Rica 139 P.
- National Academy of Sciences. (NAS) 1984. Especie para leña: árboles y arbustos para la producción de energía. Trad. del Inglés por Vera Arguello. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 344p.
- Núñez Solís, J. 1985. Fundamentos de edafología. 2^{da} ed. 1985. San José, Costa Rica. editorial Universidad Estatal a Distancia 185p.
- Pacheco, R.; González, M. A.; Briceño, J. A. 1986. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en la lixiviación del nitrato, Potasio, Calcio y Magnesio en un Andept de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 10 (1/2): 129-138.
- Palma, S. A. 1988. Manejo de cafetales. Editorial nueva. San Salvador, El Salvador. sp.

- Palm, C. A.; Sánchez, P. A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumenes. *Biotropical*. 22 (4): 330-338.
- Pérez Urbina, J.A, Pérez Guadamuz, A.J. 1996. Evaluaciones de niveles de adopción de prácticas en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en la IV Región. Tesis de Ing. Agr. Managua, Nicaragua.68p.
- Pérez, V.M.1977. Veinticinco años de Investigación sistemática del cultivo del café en Costa Rica: 1950-1975. *Agronomía Costarricense*. 1: 169-185.
- Pérez, Z. I.; Ruiz, Q. T. 2003. Cuantificación del Carbono almacenado en suelos de café (*Coffea arabica* L.) con sombra en la hacienda Santa Maura, Jinotega. Nicaragua. Tesis de Ing. Agr. UNA. Managua, Nicaragua 49 p.
- Robert, M.; FAO. 2002. Captura de Carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre los recursos mundiales de suelo 61 p.
- Rivero, T. 1999. Materia orgánica del suelo. Universidad Central de Venezuela. Revista Alcance N^o 57. Maracay, Venezuela. 210 p.
- Russo, R. D.; Budowski, G. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agroforestry Systems*. 4(2): 145-162.
- Sánchez, P. A.; Salinas, J. G. 1982. Suelos ácidos. Estrategia para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo (ed.) Bogotá, Colombia. 93 p.
- SAS Institute Inc. 1999. Statistic Analisis System Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Solórzano, P. R. 1997. Fertilidad de suelo, su manejo agrícola. Universidad Central de Venezuela. Revista Alcance N^o 51. Maracay, Venezuela. 206 p.
- Somarriba, E. 1993. Cacao-plátano-madera. La diversificación forestal como herramienta para manejar variabilidad en precio de productos agrícolas. In: Salazar, R (ed.). Memorias de la semana científica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (1): 51.
- Somarriba, E. 1990. ¿Qué es la agroforesteria? El chasqui (C. R) No. 24: 5-13.
- Stevenson, F. I. 1994. Humus Chemistry. Genesis, composition, reactions. 2nd. Ed. New York, John Wiley. 496 p.

- Turenne, J. F. 1988. Soil organic matter and soil fertility in tropical and sub tropical soil. Soil and their management. A Sino-European perspective. E. Maltby and T. Wollerser (ed). London, Elsevier Applied Science pag. 255-275.
- UNICAFE. 1996. El caficultor. Revista trimestral N^o 13. Managua, Nicaragua. 29-31p.
- UNICAFE. 1996. Manual de Caficultura de Nicaragua. Fondo de contra valor Italia/Nicaragua. Talleres gráficos de CENACOR. 242 P.
- Von Platen, H. H. 1993. Evaluación económica de sistemas agroforestales de Cacao con Laurel (*Cordia alliodora*) y Poró (*Erythrina poeppigiana*) en Costa Rica. In Wilbert Phillip. Sombra y cultivos asociados con cacao, Turrialba, Costa Rica. CATIE. Pag. 167-171.
- Yamaho, C. F.; Agboda, A. A.; Wilson, G. E.; Munlongoy, K. 1986. Soil properties as affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with maize. Agriculture, Ecosystems and Environment 18: 167-177.

VII.- Anexos

Anexo 1.- Producción de café oro en kg. ha⁻¹ de los ciclos agrícolas 1998-2003 en sistemas agroforestales.

Sistema	Finca	Años reportados	Ciclos Agrícolas				
			1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003
Leguminosa + moderado químico	1	2				517.33	1616.67
	10	4		646.66	808.03	646.66	420.33
No leguminosa + moderado químico	6	5	645.39	580.85	471.77	193.62	67.45
	9	4		485	388	388	323.33
Leguminosa + moderado orgánico	2	4		1610.2	693.22	436.5	287.27
	13	5	388	960.90	581.94	193.98	969.90
No leguminosa + moderado orgánico	5	5	43.3	1078.4	269.3	322.8	21.31
	14	5	420.29	1099.22	614.27	226.31	134.56
Leguminosa + bajo orgánico	3	4		1140.72	380.24	190.12	28.45
	8	5	420.33	258.66	258.66	129.33	646.66
No leguminosa + bajo orgánico	7	5	161.66	371.83	256.66	1455	129.33
	11	5	194	388	291	323.33	64.66
Pleno sol + moderado químico	4	4		2555.54	931.20	640.2	491
	12	5	268.33	2870.9	303.3	648.53	519.54

Anexo 2. Cantidad de N, P y K en la biomasa de los residuos vegetales en calle e hilera bajo diferentes sistemas agroforestales.

Sistema	Posición	Cantidad de nutrientes en los residuos vegetales (kg ha ⁻¹)		
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Leguminosa + bajo orgánico	Calle	66.02	4.42	18.30
	Hilera	86.03	4.73	19.20
Leguminosa + moderado orgánico	Calle	49.87	6.05	10.02
	Hilera	80.2	9.49	14.63
Leguminosa + moderado químico	Calle	120.21	7.66	18.23
	Hilera	119.12	7.07	20.42
No leguminosa + bajo orgánico	Calle	62.28	6.75	14.16
	Hilera	99.70	9.21	21.22
No leguminosa + moderado orgánico	Calle	125.39	10.27	18.26
	Hilera	163.80	14.69	23.69
No leguminosa + moderado químico	Calle	67.81	4.01	11.41
	Hilera	59.83	3.24	12.74
Pleno sol + moderado químico	Calle	31.55	2.34	4.73
	Hilera	96.06	5.85	6.92

Anexo 3.- Presencia de Grava y Talpetate hasta una profundidad de 115 cm de los suelos cafetaleros en diferentes sistemas agroforestales (42 puntos de muestreo)

Sistema	Cafetal	Área de muestreo	Profundidad de suelo (cm)	
			Grava	Talpetate
Leguminosa + moderado químico	1	1	-	-
		2	0-36	-
		3	83-102	-
	10	1	0-12	67
		2	35-48 / 100-112	-
		3	0-33	-
Leguminosa + moderado orgánico	2	1	85-99	99
		2	-	100
		3	0-22 / 85-115	-
	13	1	0-20 / 60-80	100
		2	0-26 / 60-112	-
		3	0-95	-
Leguminosa + bajo orgánico	3	1	10-24	24
		2	0-40	40
		3	0-25	25
	8	1	0-29	52
		2	0-26 / 83-106	-
		3	0-29 / 61-105	-
No leguminosa + moderado químico	6	1	45-60	60
		2	50-71	71
		3	-	45
	9	1	0-18 / 48-86	-
		2	0-18 / 80-110	-
		3	0-22 / 45-100	-
No leguminosa + moderado orgánico	5	1	0-20 / 41-77	73
		2	23-56	56
		3	0-33	33
	14	1	0-18 / 52-87	-
		2	99-115	-
		3	0-17 / 48-112	-
No leguminosa + bajo orgánico	7	1	35-110	-
		2	0-60	60
		3	0-15 / 25-65	65
	11	1	50-60	-
		2	-	-
		3	30-61	-
Pleno sol + moderado químico	4	1	20-36 / 47-55	68
		2	0-32 / 75-115	-
		3	0-30	70
	12	1	0-19	-
		2	0-70 / 85-97	-
		3	40-90	90

Anexo 4. Contenido de Materia Orgánica (%) en calle e hilera a tres profundidades en los suelo cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Posición	Profundidad de suelos (cm)		
			0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	3	Calle	15.26	21.93	13.58
		Hilera	23.56	19.35	15.31
		Promedio	19.41	20.64	15.45
	8	Calle	20.47	17.99	20.31
		Hilera	21.39	18.8	18.76
		Promedio	21.18	18.4	19.54
Leguminosa + moderado orgánico	2	Calle	27.81	17.19	30.5
		Hilera	31.06	26.02	22.79
		Promedio	29.44	21.61	26.65
	13	Calle	15.86	15.72	16.36
		Hilera	16.86	17.69	17.85
		Promedio	16.36	16.71	17.11
Leguminosa + moderado químico	1	Calle	21.15	22.3	31.94
		Hilera	20.43	19.27	24.49
		Promedio	20.79	20.79	28.22
	10	Calle	16.06	17.21	14.3
		Hilera	15.62	17.93	15.43
		Promedio	15.34	17.57	14.87
No leguminosa + bajo orgánico	7	Calle	9.41	7.7	6.37
		Hilera	9.31	7.64	6.44
		Promedio	9.36	7.67	6.41
	11	Calle	8.65	8.15	7.49
		Hilera	8.80	7.26	7.31
		Promedio	8.73	7.71	7.4
No leguminosa + moderado orgánico	5	Calle	24.14	16.1	16.53
		Hilera	20.72	16.13	18.34
		Promedio	22.43	16.12	17.44
	14	Calle	18.96	13.98	15.58
		Hilera	17.55	17.36	15.14
		Promedio	18.26	15.67	15.36
No leguminosa + moderado químico	6	Calle	15.73	6.23	7.24
		Hilera	15.40	11.22	13.65
		Promedio	15.57	8.73	10.45
	9	Calle	14.98	18.09	16.99
		Hilera	16.47	16.66	15.45
		Promedio	15.73	17.38	16.22
Pleno sol + moderado químico	4	Calle	12.41	11.69	11.65
		Hilera	14.27	17.05	11.63
		Promedio	13.34	14.34	11.64
	12	Calle	17.69	17.24	15.47
		Hilera	19.18	13.93	15.97
		Promedio	18.44	15.59	15.72

Anexo 5.- Contenido de Carbono (%) en calle e hilera a tres profundidades en los suelos cafetaleros.

Sistema	Finca	Posición	Profundidad de suelos (cm)		
			0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	3	Calle	8.85	12.72	7.87
		Hilera	13.66	11.22	8.88
		Promedio	11.24	11.97	8.38
	8	Calle	12.16	10.43	11.78
		Hilera	12.4	10.54	10.88
		Promedio	12.28	10.49	11.33
Leguminosa + moderado orgánico	2	Calle	16.13	9.47	17.7
		Hilera	18.02	15.09	13.22
		Promedio	17.08	12.28	15.46
	13	Calle	9.2	9.12	9.49
		Hilera	9.78	10.26	10.36
		Promedio	9.49	9.69	9.93
Leguminosa + moderado químico	1	Calle	12.27	12.93	18.53
		Hilera	11.85	11.18	14.2
		Promedio	12.06	12.06	16.37
	10	Calle	9.31	9.98	8.29
		Hilera	9.06	10.4	8.95
		Promedio	9.19	10.19	8.62
No leguminosa + bajo orgánico	7	Calle	5.45	4.46	3.7
		Hilera	5.43	4.43	3.74
		Promedio	5.44	4.45	3.72
	11	Calle	5.02	4.73	4.34
		Hilera	5.1	4.21	4.24
		Promedio	5.06	4.47	4.29
No leguminosa + moderado orgánico	5	Calle	14	9.34	9.59
		Hilera	12.02	9.36	10.64
		Promedio	13.01	9.35	10.12
	14	Calle	11	8.11	9.04
		Hilera	10.04	10.07	8.78
		Promedio	10.52	9.09	8.91
No leguminosa + moderado químico	6	Calle	9.12	3.61	4.2
		Hilera	8.93	6.51	7.92
		Promedio	9.03	5.06	6.06
	9	Calle	8.69	10.49	9.86
		Hilera	9.55	9.66	8.96
		Promedio	9.12	10.08	9.41
Pleno sol + moderado químico	4	Calle	7.2	6.78	6.76
		Hilera	8.28	9.89	6.75
		Promedio	7.74	8.34	6.76
	12	Calle	10.26	10	8.98
		Hilera	11.12	8.08	9.23
		Promedio	10.69	9.04	9.13

Anexo 6. Contenido de Nitrógeno (%) en calle e hilera a tres profundidades en los suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Posición	Profundidad de suelos (cm)		
			0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	3	Calle	0.31	0.22	0.09
		Hilera	0.47	0.19	0.1
		Promedio	0.39	0.21	0.05
	8	Calle	0.41	0.18	0.13
		Hilera	0.43	0.18	0.13
		Promedio	0.42	0.18	0.13
Leguminosa + moderado orgánico	2	Calle	0.56	0.17	0.2
		Hilera	0.62	0.26	0.15
		Promedio	0.59	0.22	0.9
	13	Calle	0.32	0.16	0.11
		Hilera	0.34	0.18	0.12
		Promedio	0.33	0.17	0.12
Leguminosa + moderado químico	1	Calle	0.42	0.22	0.21
		Hilera	0.41	0.19	0.16
		Promedio	0.42	0.21	0.19
	10	Calle	0.32	0.17	0.1
		Hilera	0.31	0.18	0.1
		Promedio	0.32	0.18	0.1
No leguminosa + bajo orgánico	7	Calle	0.19	0.08	0.04
		Hilera	0.18	0.07	0.04
		Promedio	0.19	0.08	0.04
	11	Calle	0.17	0.08	0.05
		Hilera	0.18	0.07	0.05
		Promedio	0.18	0.08	0.05
No leguminosa + moderado orgánico	5	Calle	0.49	0.16	0.11
		Hilera	0.42	0.16	0.12
		Promedio	0.46	0.16	0.12
	14	Calle	0.38	0.14	0.1
		Hilera	0.35	0.17	0.1
		Promedio	0.37	0.16	0.1
No leguminosa + moderado químico	6	Calle	0.31	0.06	0.05
		Hilera	0.31	0.11	0.09
		Promedio	0.31	0.09	0.07
	9	Calle	0.3	0.18	0.11
		Hilera	0.33	0.16	0.1
		Promedio	0.32	0.17	0.11
Pleno sol + moderado químico	4	Calle	0.25	0.12	0.08
		Hilera	0.29	0.17	0.08
		Promedio	0.27	0.15	0.08
	12	Calle	0.35	0.17	0.11
		Hilera	0.38	0.13	0.11
		Promedio	0.37	0.15	0.11

Anexo 7.- Contenido de Fósforo (ppm) en calle e hilera a tres profundidades en los suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Posición	Profundidad de suelos (cm)		
			0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	3	Calle	12.1	9.47	7.03
		Hilera	22.63	16.7	6.03
		Promedio	17.37	13.9	6.53
	8	Calle	7.3	2.97	4.1
		Hilera	8.27	19.7	3.27
		Promedio	7.29	11.34	3.69
Leguminosa + moderado orgánico	2	Calle	30.83	36.93	59.63
		Hilera	40.47	45.03	58
		Promedio	38.65	40.98	58.82
	13	Calle	46.37	3.13	0.47
		Hilera	21.97	7.97	18.03
		Promedio	34.17	5.57	9.25
Leguminosa + moderado químico	1	Calle	65.27	5.57	32.43
		Hilera	49.03	74.5	41.83
		Promedio	57.15	40.04	37.13
	10	Calle	67.83	31.37	35.9
		Hilera	88.53	45.97	43.13
		Promedio	78.18	38.67	39.52
No leguminosa + bajo orgánico	7	Calle	58.43	53.73	16.33
		Hilera	39.63	27.07	21.9
		Promedio	49.03	40.4	19.12
	11	Calle	32.5	25.2	17.4
		Hilera	31.23	18.97	12.17
		Promedio	31.87	22.07	14.79
No leguminosa + moderado orgánico	5	Calle	8.07	4.77	3.93
		Hilera	10.83	5.33	3.23
		Promedio	9.45	5.05	3.58
	14	Calle	18.13	4.93	2
		Hilera	15.23	7.4	4.63
		Promedio	16.63	6.17	3.32
No leguminosa + moderado químico	6	Calle	58.23	38.87	29.87
		Hilera	13.1	89.9	67.3
		Promedio	35.67	64.79	48.59
	9	Calle	39.9	12.13	9.67
		Hilera	49.9	16.23	12.6
		Promedio	44.9	14.18	11.14
Pleno sol + moderado químico	4	Calle	18.3	10.2	5.47
		Hilera	39.8	14.73	5.37
		Promedio	29.09	12.47	5.42
	12	Calle	11.37	7.83	1.7
		Hilera	20.63	11.2	7.03
		Promedio	16	9.52	4.37

Anexo 8.- Valores de acidez de los suelos cafetaleros en calle e hilera a tres profundidades (pH en H₂O y KCl).

Sistema	Cafetales	Posición	Profundidad de suelo (cm)					
			0-5		5-15		15-30	
			H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl
Leguminosa + bajo orgánico	3	Calle	5.73	4.63	5.69	4.49	5.72	4.48
		Hilera	5.58	4.63	5.67	4.45	5.76	4.61
		Promedio	5.66	4.63	5.68	4.47	5.74	4.55
	8	Calle	5.82	5.21	5.89	5.12	5.91	5.54
		Hilera	5.75	5.09	5.85	4.99	5.99	5.09
		Promedio	5.79	5.15	5.87	5.06	5.95	5.12
Leguminosa + moderado orgánico	2	Calle	5.66	5.79	5.76	4.59	5.94	4.75
		Hilera	5.7	4.78	5.44	4.3	5.54	4.32
		Promedio	5.61	4.79	5.6	4.45	5.84	4.54
	13	Calle	5.89	5.12	5.58	4.71	5.69	4.85
		Hilera	6.01	5.27	5.86	5.08	6.02	5.21
		Promedio	5.95	5.2	5.72	4.9	5.86	5.03
Leguminosa + moderado químico	1	Calle	5.29	4.41	5.29	4.28	5.52	4.6
		Hilera	4.97	4.27	5.26	4.34	5.51	4.62
		Promedio	5.13	4.34	5.28	4.31	5.52	4.61
	10	Calle	5.8	5.14	5.84	5.09	6.11	5.29
		Hilera	5.95	5.32	6	5.32	6.13	5.46
		Promedio	5.88	5.23	5.92	5.21	6.12	5.38
No leguminosa + bajo orgánico	7	Calle	6.71	5.92	6.87	5.49	6.89	5.34
		Hilera	6.69	5.48	6.8	5.38	6.87	5.35
		Promedio	6.67	5.7	6.84	5.44	6.88	5.35
	11	Calle	6.77	5.47	6.6	5.23	6.68	5.21
		Hilera	6.46	5.18	6.33	4.95	6.49	5.09
		Promedio	6.61	5.33	6.47	5.09	6.59	5.15
No leguminosa + moderado orgánico	5	Calle	6.14	5.04	6.28	4.88	6.28	4.85
		Hilera	6.06	4.95	6.13	4.77	6.21	4.72
		Promedio	6.1	5	6.21	4.83	6.25	4.79
	14	Calle	6.32	5.52	6.24	5.33	6.2	5.23
		Hilera	6.12	5.24	6.11	5.24	6.15	5.18
		Promedio	6.22	5.38	6.18	5.29	6.09	5.21
No leguminosa + moderado químico	6	Calle	6.19	4.88	4.85	4.85	6.34	4.81
		Hilera	5.9	4.58	6.34	4.38	5.95	4.45
		Promedio	6.05	4.73	5.6	4.62	6.15	4.63
	9	Calle	6.03	5.23	5.42	4.57	5.2	4.61
		Hilera	5.92	5.13	5.32	4.48	5.56	4.73
		Promedio	5.98	5.18	5.37	4.53	5.38	4.67
Pleno sol + moderado químico	4	Calle	5.46	4.54	5.42	4.35	5.42	4.48
		Hilera	5.19	4.29	5.02	4.01	5.14	4.22
		Promedio	5.33	4.42	5.22	4.18	5.28	4.35
	12	Calle	5.49	4.64	5.23	4.41	5.63	4.77
		Hilera	5.08	4.16	4.74	3.93	5.13	4.31
		Promedio	5.29	4.4	4.98	4.17	5.38	4.54

Anexo 9.- Capacidad de Intercambio Catiónico (meq / 100 g de suelo) en calle e hilera a tres profundidades en suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Posición	Profundidad de suelo (cm)		
			0-5	5-15	15-30

Leguminosa + bajo orgánico	3	Calle	39.66	37.5	36.11
		Hilera	43.67	37.6	34.12
		Promedio	41.67	37.55	35.26
	8	Calle	54.57	43.6	37.63
		Hilera	50.3	45.39	45.5
		Promedio	52.44	44.5	41.57
Leguminosa + moderado orgánico	2	Calle	44.33	41.19	39.35
		Hilera	46.84	40.98	35.77
		Promedio	45.59	41.09	37.56
	13	Calle	43.83	39.73	35.7
		Hilera	46.23	41.97	46.3
		Promedio	45.03	40.85	41
Leguminosa + moderado químico	1	Calle	39.25	36.62	31.9
		Hilera	39.03	35.29	34.09
		Promedio	39.14	35.96	33
	10	Calle	50.77	31.17	49.37
		Hilera	41.1	42.43	40.97
		Promedio	45.94	37.1	45.17
No leguminosa + bajo orgánico	7	Calle	46.23	45.46	45.73
		Hilera	50.53	45.86	44.49
		Promedio	48.38	45.66	45.11
	11	Calle	50.97	49.9	48.1
		Hilera	47.83	47.17	50.13
		Promedio	49.4	48.54	49.12
No leguminosa + moderado orgánico	5	Calle	53.98	47.55	40.84
		Hilera	49.16	46.39	42.98
		Promedio	51.57	46.97	41.91
	14	Calle	59.94	48.27	43.8
		Hilera	49.43	50.1	42.83
		Promedio	52.19	49.19	43.32
No leguminosa + moderado químico	6	Calle	46.09	45.73	44.4
		Hilera	86.93	45.63	45.09
		Promedio	47.51	45.08	44.75
	9	Calle	47.97	41.1	35.03
		Hilera	45.45	38.3	40.3
		Promedio	46.71	39.7	37.67
Pleno sol + moderado químico	4	Calle	42.15	32.31	33.86
		Hilera	44.15	34.48	35.64
		Promedio	43.15	33.4	34.75
	12	Calle	41.1	38.8	34.5
		Hilera	41.1	35.7	35.6
		Promedio	41.1	37.25	35.05