



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL

Trabajo de Diploma

**CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SUELOS DE LOS SISTEMAS
CAFETALEROS EN LA ZONA BAJA HUMEDA DE MATAGALPA.**

Autores:

Br. Tania Elena Centeno Ramírez

Br. Donald Yamil Herrera Hernández

Asesores:

Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández

Ing. MSc. Leonardo García Centeno

Managua, Nicaragua, 2005.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL

Trabajo de Diploma

**CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SUELOS DE LOS SISTEMAS
CAFETALEROS EN LA ZONA BAJA HUMEDA DE MATAGALPA.**

Autores:

Br. Tania Elena Centeno Ramírez

Br. Donald Yamil Herrera Hernández

Asesores:

Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández

Ing. MSc. Leonardo García Centeno

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

Managua, Nicaragua, 2005.

INDICE GENERAL

Contenidos	Página
INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE ANEXOS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTOS	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCION	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Hipótesis	3
II. MATERIALES Y MÉTODOS	4
2.1. Localización de la zona de estudio.	4
2.2. Tipos de cafetales y nivel tecnológico.	4
2.3. Selección y localización de los productores de café.	4
2.4. Procedimiento aplicado en las actividades de campo.	5
2.4.1. Caracterización agronómica de los cafetales.	5
2.4.2. Definición de las áreas de muestreo por cafetal.	6
2.4.3. Caracterización física de los suelos cafetaleros.	6
2.4.4. Muestreo de suelo para la caracterización química.	7
2.4.5. Determinación de biomasa de los residuos vegetales existente sobre el suelo	8
2.4.6. Caracterización de los árboles de sombra y de los cafetos.	9
III. RESULTADOS Y DISCUSION	11
3.1. Características agro ecológicas de los sistemas agroforestales en	11

Matagalpa.	
3.1.1. El uso de variedades de café.	11
3.1.2. Altitud, edad, uso anterior del suelo y diversidad de especies en cafetales.	12
3.1.3. Predominancia de las especies forestales utilizadas como sombra en el cafetal.	14
3.1.4. Altura de la planta, ancho de copa y densidad de cafetos.	16
3.1.5. Diámetro a la altura del pecho, porcentaje de sombra y población de árboles.	18
3.1.6. Cantidad de insumos utilizados y rendimientos obtenidos.	20
3.2. Biomasa de los residuos vegetales y el contenido de nutrientes aportados.	21
3.2.1. Materia seca de los residuos vegetales	21
3.2.2. Concentraciones y cantidades de N, P, K en la biomasa de los residuos vegetales sobre el suelo.	21
3.3. Caracterización física de los suelos.	26
3.3.1. Textura de los suelos.	26
3.3.2. Presencia de gravas a diferentes profundidades de suelos.	27
3.3.3. Profundidad de los suelos de los diferentes sistemas agroforestales.	29
3.3.4. Color de suelos en los diferentes sistemas agroforestales.	31
3.4. Caracterización química de suelos cafetaleros.	33
3.4.1. Contenido promedio de materia orgánica encontrados en los suelos cafetaleros a tres profundidades muestreadas.	33
3.4.2. Capacidad de intercambio catiónico.	35
3.4.3. Contenido de nitrógeno de los suelos cafetaleros.	37
3.4.4. Acidez del suelo (pH en agua y KCl) en los diferentes sistemas agroforestales.	40
3.4.5. Contenido de fósforo en los suelos de los diferentes sistemas agroforestales.	41
IV. CONCLUSIONES	44

V. RECOMENDACIONES	47
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	48
VII. ANEXOS	56

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1	Sistemas de producción de café caracterizados.	4
2	Relación de productores por tipo de sombra y nivel de insumo seleccionado en la zona baja húmeda en el departamento de Matagalpa.	5
3	VARIABLES determinadas en la caracterización física de los suelos cafetaleros.	7
4	Conjunto de variables para la caracterización química de suelo.	8
5	Metodología y requerimientos para la medición de las variables químicas de suelo.	8
6	VARIABLES medidas y métodos aplicados en los residuos vegetales.	9
7	VARIABLES medidas para los cafetos y los árboles de sombra.	10
8	Uso de variedades de café.	11
9	Altitud optima para variedades de café (DISAGRO 1998).	12
10	Altura geográfica, edad del cafetal, uso anterior del suelo diversidad de especies por sistemas agroforestales.	12
11	Predominancia de las especies de sombra (%) empleadas en las fincas cafetaleras.	15
12	Altura (m), ancho de copa (m) y densidad poblacional por hectárea de los cafetos.	17
13	Porcentaje de sombra, DAP y población de especies de sombra por hectárea.	19
14	Uso de nutrientes y rendimientos obtenidos en los cafetales.	21
15	Biomasa de los residuos vegetales (kg ha ⁻¹) por componente y sistema en calle e hilera de los cafetos.	23
16	Concentración media de N, P y K en los componentes hoja fina, hoja gruesa y rama.	24
17	Concentración media de N, P y K en los sistemas leguminosos, no	25

	leguminosos y pleno sol.	
18	Textura de los suelos en los diferentes sistemas agroforestales.	26
19	Frecuencia relativa de la presencia de gravas y rocas a diferentes profundidades de los suelos.	28
20	Profundidad de los horizontes del suelo (cm) de dos cafetales por sistema agroforestal.	30
21	Coloración de los suelos cafetaleros obtenidos en la caracterización física por horizontes en cada sistema agroforestal.	32
22	Contenido promedio de materia orgánica (%) a tres profundidades en los suelos cafetaleros.	34
23	Capacidad de intercambio catiónico (meq / 100 g suelo) de los suelos cafetaleros.	36
24	Contenido de Nitrógeno (%) a tres profundidades en los suelos cafetaleros.	38
25	Valores de acidez para los suelos de los diferentes sistemas agroforestales evaluados.	40
26	Contenido de fósforo (ppm) obtenidos a diferentes profundidades en los suelo cafetaleros.	42

INDICE DE ANEXOS

Anexo	Contenido	Página
1	Cantidad de N (kg ha^{-1}) en biomasa de los residuos vegetales en calle e hilera del cafetal.	56
2	Cantidad de P (kg ha^{-1}) en biomasa de los residuos vegetales en calle e hilera del cafetal.	56
3	Cantidad de K (kg ha^{-1}) en la biomasa de los residuos vegetales en calle e hilera del cafetal.	57
4	Concentración (%) de N, P y K en los componentes hoja fina, hoja gruesa y rama.	57
5	Cantidad (kg ha^{-1}) de N, P y K en la biomasa de los residuos vegetales.	58
6	Textura de los horizontes de los suelos cafetaleros.	58
7	Profundidad de los horizontes de los suelos cafetaleros.	59
8	Contenido de Materia Orgánica (%) obtenidos en calle e hilera a tres profundidades de suelos cafetaleros.	59
9	Contenidos de materia orgánica (%) en los suelos (Fassbender 1987).	60
10	Capacidad de intercambio catiónico (meq 100 g de suelo) obtenidos en calle e hilera a tres profundidades de los suelos cafetaleros.	60
11	Valores medios de Capacidad de Intercambio Catiónico (meq / 100 g de suelo) según contenido en suelo y tipo de textura (Bertsch 1987; Reynaert 1968; Salmerón y Centeno 1994 y Fuentes 1994).	61
12	Contenido de nitrógeno disponible (%) obtenidos en calle e hilera a tres profundidades en suelos cafetaleros.	61
13	Valores porcentuales de Nitrógeno en los suelos (Fuentes 1994).	62
14	Contenido de fósforo disponible (ppm / 100 g de suelo) obtenidos en calle e hilera a tres profundidades de los suelos cafetaleros.	62
15	Concentraciones normales de Fósforo (ppm) en los suelos de Nicaragua INTA / FAO (1997).	63

16	Valores de acidez (pH H ₂ O y KCl) de los suelos en calle e hilera a tres profundidades en los suelos cafetaleros.	63
17	Clasificación de los suelos de acuerdo a su pH determinado en KCl y agua (Fassbender 1984).	64

INDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1	Distribución de los puntos de muestreos de suelo y de la hojarasca.	6

DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo y la realización de este trabajo de investigación a Dios por darme vida, guiarme, iluminarme y protegerme durante toda mi carrera.

A mi madre Evangelina Hernández Picado, a quien le debo mi formación y mis principios, y por el apoyo incondicional que me ha brindado durante todos mis estudios para que la culminación de mi carrera sea un éxito.

A mi abuelita Beatríz Picado, por los consejos que me ha brindado, por ser comprensiva y estar siempre a mi lado en los momentos difíciles de mi carrera.

A mi tía Miriam del Socorro Hernández Picado (Q.E.P.D.), de quien nunca olvidaré todos los momentos que estuvo a mi lado dándome consejos, cariño, amor, apoyo incondicional, comprensión y fuerza para que saliera adelante, y este día maravilloso se lo debo a usted por estar a mi lado siempre guiándome por el buen camino.

A mi hermano Helder Herrera Hernández, mi tío Francisco Antonio Hernández quienes siempre me apoyaron durante estuve cursando mi carrera y especialmente a mi novia Bellanira M. Jirón Flores, quien ha estado a mi lado siempre con amor, dedicación, esmero y cariño, siendo ella uno de los motivos de inspiración y deseos de superación de mi persona.

Donald Yamil Herrera Hernández.

DEDICATORIA

A dios por permitirme culminar mis estudios universitarios.

A mi padre, Juan José Centeno Ramírez, por que de done quiera que esté se sentirá orgulloso de ver realizado mí sueño.

A mi madre Elena Aurora Ramírez Blandón por todo su amor, cariño y apoyo incondicional (T. Q. M.).

A mi hermano Juan José Centeno Ramírez por estar a mi lado en todos los momentos de mí vida.

A Naren Arfaxad Tórrez Casco por su cariño y por todos sus consejos.

A mis abuelitos maternos y paternos por quererme mucho y por sus sabios consejos.

A mis primas Eveling Altamirano Ramírez y Eveling Michelle Castro por su compañía y por apoyarme desinteresadamente.

A todas mis tías, en especial a mía Meyling Arelis, Irian y Lilian Centeno y a mí tío Francisco Ramírez.

A mí amiga de toda la vida Arien Lizano Flores por estar presente en los momentos difíciles de mí vida y por todos sus consejos.

Tania Elena Centeno Ramírez

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar el más sincero agradecimiento a Dios por darnos vida, sabiduría y por guiarnos e iluminarnos por el buen camino, por darnos las fuerzas necesarias para llegar a convertir en realidad el sueño nuestro y de nuestra familia.

A la Universidad Nacional Agraria (UNA), nuestra alma mater, por abrir las puertas para que pudiéramos formarnos como Ingenieros Agrónomos Generalistas.

A nuestros asesores Ing. MSc. Rodolfo Munguía e Ing. MSc. Leonardo García y a todas la personas que nos apoyaron en la realización de esta investigación.

Al proyecto Maryland por haber confiado en nosotros y darnos la oportunidad de desarrollar este trabajo al igual que a los productores cafetaleros que colaboraron con la realización de esta investigación.

A la Dirección de Servicios estudiantiles (D.S.E) de la Universidad Nacional agraria por habernos apoyado desde el inicio de nuestra carrera.

Les agradecemos de todo corazón su apoyo.

Tania Elena Centeno Ramírez.
Donald Yamil Herrera Hernández.

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en los municipios de San Ramón, Tuma / La Dalia y Pancasán en el departamento de Matagalpa comprendidos en altitudes de entre 600 – 800 m.s.n.m. con precipitaciones anuales que oscilan entre 1300 – 1500mm anuales, temperaturas promedios de 23 – 26 ° C con una humedad relativa aproximada de 80 %, donde se caracterizaron siete sistemas agroforestales con café, bajo diferentes niveles tecnológicos, cafetal a pleno sol y moderado uso de fertilizantes químicos; cafetal con sombra de árboles leguminosos y no leguminosos (moderado uso de fertilizantes químicos); cafetal con sombra de árboles leguminosos y no leguminosos (moderado uso de insumos orgánicos y bajo uso de insumos orgánicos). Tres áreas fueron seleccionadas en cada finca comprendidos unos 20 árboles de cafetos cubiertas por la influencia homogénea de los árboles de sombra. En éstas áreas se realizó la caracterización física y química del suelo y la cuantificación del matillo, todo ello realizado en un marco de 0.25 m² dispuestos en la hilera y calle de los cafetos. Además se midieron variables correspondientes a los árboles de cafetos y de sombra. Toda la información obtenida fue en dos fincas por sistema agroforestal y nivel tecnológico. Entre los resultados más relevantes están: la variedad Catimor es tradicionalmente la más cultivada por los productores. Se encontró una mayor diversidad de especies de sombra en el moderado orgánico en los sistemas Leguminoso y No leguminoso con valores de 3 – 8 especies de árboles diferentes con predominancia de guaba y el laurel. La densidad de cafetos en todos los sistemas tuvieron un promedio de 5,404 plantas ha⁻¹ (3797 plantas mz). Mientras que la mayor población de árboles y porcentaje de sombra se obtuvo en los sistemas con especies leguminosas con 522 árboles ha⁻¹ y 73.63 % de sombra respectivamente. Sin embargo el cafetal a pleno sol obtuvo el mejor rendimiento productivo con 2,053.55 kg ha⁻¹. Las mayores concentraciones de N y P en la biomasa vegetal se encontraron en los residuos provenientes de los sistemas leguminosos con 2.5% (324.26 kg ha⁻¹) y 0.06 % (8.01 kg ha⁻¹) respectivamente; mientras las mayores concentraciones de K en los sistemas leguminosos y no leguminosos fue de 1.36% (80.92 kg ha⁻¹) y 1.35 % (68.43 kg ha⁻¹) respectivamente. La profundidad de los suelos varía de 0-42cm con una textura que va de franco-arcillosa a franco-arcillolimoso, con

colores que van de café oscuros a amarillentos y hasta rojizos, una capacidad de intercambio catiónico alta (23.6-49.95 meq / 100g suelo) y una acidez bien marcada.

Las mayores concentraciones de materia orgánica se encontraron en los sistemas no leguminosos en la profundidad de 0-5 cm. con un promedio de 11.72 %. Mientras en el caso de N y P en los suelos cafetaleros las mayores cantidades se obtuvieron en la parte superficial del suelo disminuyendo considerablemente a medida que se profundizaba el muestreo.

I.- INTRODUCCIÓN

El café es, entre las materias primas después del petróleo, el producto comercial más importante del mundo y para la mayoría de los países productores el principal producto de exportación. En Nicaragua ha ocupado por muchos años el primer lugar dentro de los rubros generadores de divisas y su contribución dentro del PIB nacional ha estado por encima del 5 % desde 1997 hasta el 2003 (IICA, 2003).

Zelaya (2000), indica que para Nicaragua el café representa el 46.75 % de las exportaciones agrícolas, siendo una de las mayores fuentes de empleos temporales y permanentes. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (2001), el área total dedicada a este cultivo es de 185,587 mz, obteniéndose la mayor producción en los departamentos de Matagalpa y Jinotega que representan un 78 % del área y un 58 % de la producción nacional total.

Según datos preliminares del IICA (2003) en el ciclo agrícola 2003/2004, Matagalpa produjo el 33.05 % de la producción nacional (1,315,574 qq oro) debido a que es una de las zonas agrícolas del país que tiene un excelente potencial para la producción de este rubro.

El café, en este departamento es cultivado en suelos con topografía ondulada y accidentada, donde las pendientes superan el 8 %, de textura francos, francos arenosos y francos arcillosos, con una profundidad de 0.25 a 0.45 m, y producciones con o sin sombra. La cantidad de sombra manejada de un 40 % aproximadamente, con una densidad de siembra de 3,500 plantas de café por manzana, obteniéndose un rendimiento promedio de 8.40 qq oro por mz (IICA, 2003).

Según Suárez (2002), Gagnon (1979) y Báez y Corrales (1997), gran parte de los sistemas de producción de café, se caracterizan por tener árboles de usos múltiples asociados al cultivo, contribuyendo de alguna manera a reducir las necesidades de los agricultores (grandes, pequeños y medianos) ya que los sistemas agroforestales son alternativas ecológicamente sostenibles y económicamente viables, los que mejoran y diversifican la producción, ayudan a la reducción de la deforestación, a la disminución de la erosión de las tierras agrícolas y al mantenimiento de los recursos naturales renovables.

OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento técnico a partir del estudio de diferentes componentes biofísicos y de los suelos cafetaleros en el departamento de Matagalpa, bajo el enfoque de sistemas agroforestales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una caracterización física de los suelos en cuanto a textura, color y profundidad en diferentes sistemas de cafetales del departamento de Matagalpa.
- Determinar el comportamiento de los suelos en términos de porcentaje de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, acidez del suelo y elementos minerales debida a la contribución de las diferentes especies de sombra en cafetales a diferentes profundidades, en y entre hileras de cafeto en el departamento de Matagalpa.
- Establecer las diferencias cuantitativas debido a la contribución de los diferentes tipos de especies de sombra en los cafetales que producen y depositan los residuos vegetales sobre el suelo como un potencial de reserva de nutrientes en el sistema y su relación con los componentes químicos del suelo.
- Caracterizar los diferentes cafetales estudiados como un sistema agroforestal en relación al comportamiento agronómico de los cafetos y de los árboles de sombra; así como las condiciones agroecológicas en que se desarrollan actualmente estos sistemas de producción.

HIPÓTESIS

- Las especies de leguminosas como *Inga sp* (Guaba) contribuyen a la materia orgánica con una mayor cantidad de biomasa sobre el suelo en comparación con las especies no leguminosas.
- Que los rendimientos obtenidos en cafetales a pleno sol resultan ser mayores que los obtenidos en cafetales bajo sombra por efecto de altas cantidades de nutrimentos aportados artificialmente.
- Que la biomasa aportada por las especies leguminosas contienen mayor cantidad de nutrientes en comparación con las no leguminosas.
- Que los suelos en áreas de cafetales bajo sombra, muestran mejores características en comparación con los suelos con cafetales a pleno sol por la contribución a las propiedades físicas y químicas.

II - MATERIALES Y METODOS

2.1. Localización de la zona de estudio.

El presente estudio se llevó a cabo en los municipios de San Ramón, Tuma / La Dalia y Pancasán, del departamento de Matagalpa, los cuales están comprendidos en altitudes de entre 600 y 800 m.s.n.m, con precipitaciones anuales que oscilan entre los 1300 a 1500 mm, temperaturas promedios de 23 a 26 ° C y una humedad relativa aproximada de 80 %. Todos estos parámetros corresponden a los criterios utilizados para la selección de los cafetales. (UNICAFE 1996).

2.2. Tipos de cafetales y nivel tecnológico.

Se seleccionaron 7 sistemas de cafetales con y sin sombra, así como los niveles tecnológicos relativos al tipo de insumo y su magnitud.

Cuadro 1.- Sistemas de producción de café caracterizados.

No	Nivel tecnológico o sistema agroforestal
1	Cafetal a pleno sol y moderado a alto uso de fertilizantes químicos.
2	Cafetal con sombra de árboles no leguminosos y moderados a alto uso de fertilizantes químicos.
3	Cafetal con sombra de árboles no leguminosos y moderados a alto uso de abonos orgánicos.
4	Cafetal con sombra de árboles leguminosos y moderado uso de abonos orgánicos.
5	Cafetal con sombra de árboles leguminosas y bajo uso de abonos orgánicos.
6	Cafetal con sombra de no leguminosas y bajo uso de abonos orgánicos
7	Cafetal con sombra de leguminosas y alto a moderado uso de abonos químicos.

2.3. Selección y localización de los productores de café.

Se seleccionaron dos cafetales por cada sistema de producción y nivel tecnológico en diferentes fincas, sobre las bases de los criterios de altitud, condiciones de humedad, tipo de sombra, grado en el uso de insumos y tipos, edad de los cafetales y el rendimiento alcanzado. A continuación se detallan los sitios productores en estudio. Cuadro 2.

Cuadro 2.- Relación de productores por tipo de sombra y nivel de insumo seleccionado en la zona baja húmeda en el departamento de Matagalpa.

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Productor	Finca	Comunidad	Municipio
Leguminosa	Moderado químico	Evenor Ballesteros	La Siuca	Yasica Sur	San Ramón
		Reinaldo Ballesteros	Los Placeritos	Yasica Sur	San Ramón
	Moderado orgánico	Ramón Dávila	San Ramón	Yasica Sur La Corona	San Ramón
		Encarnación Suárez	San Juan	Cerro Colorado	Pancasán
	Bajo Orgánico	Norman Martínez	El Espejo	Isla del Valle	Tuma La Dalia
		Gabriel Martínez	San José	Isla del Valle	El Tuma – La Dalia
Pleno Sol	Moderado insumo	Camilo Fernández	Santa Isabel	Yasica Sur / El Diamante	San Ramón
		Freddy y Martín Torres	San José	El Jobo	San Ramón
No leguminosas	Moderado Químico	Evenor Ballesteros	La Esperanza	Monte Cristo	San Ramón
		Mauricio Cisne	Bella Vista	Buena Vista	San Ramón
	Moderado Orgánico	Bernabé Cano	El Ranchito	Yasica Sur / La Corona	San Ramón
		Gabriel Jarquín Zamora	Los Laureles	Bálsamo	Pancasán
	Bajo Orgánico	Gabriel Martínez	San José	Isla del Valle	El Tuma – La Dalia
		Mauricio Pérez Valle	El Guayabo	Yasica Sur	San Ramón

2.4. Procedimiento aplicado en las actividades de campo.

2.4.1. Caracterización agronómica de los cafetales.

Inicialmente se recopiló el historial del uso de nutrientes aplicados por cada productor a su sistema de producción, árboles de sombra de los cafetales, por medio de un formato escrito tipo encuesta dirigida al productor, tomando en cuenta: el uso agrícola anterior del suelo al establecimiento del cafetal, el manejo de los nutrientes y los rendimientos productivos del cafetal durante los últimos 5 años, y una caracterización de los árboles de sombra y cafetal.

2.4.2. Definición de las áreas de muestreo por cafetal.

En cada sistema con sombra se seleccionaron tres áreas o parcelas que comprendieran al menos unos 20 árboles de cafetos cada una y cubiertas por la influencia homogénea de los árboles. (Figura 1).

El área de muestreo en cada parcela se definió entre los árboles de sombra (excepto el sistema a pleno sol) y se identificó con una vara de 3 m de longitud y cinta amarraada de color en el extremo sobresaliente. Para el caso de árboles leguminosas, el área de muestreo fue cubierta por un tipo de especie; Ej. Solo madero negro (*Gliricidia sepium*), solo Guaba (*Inga sp*); y en el caso de árboles no leguminosos, el área de muestreo estuvo cubierta con sombra mixta de estas especies de árboles. Tener una pendiente de leve a moderado (menor de 15%); ubicar los puntos de muestreo en la parte media de la altura de un cerro o montaña.

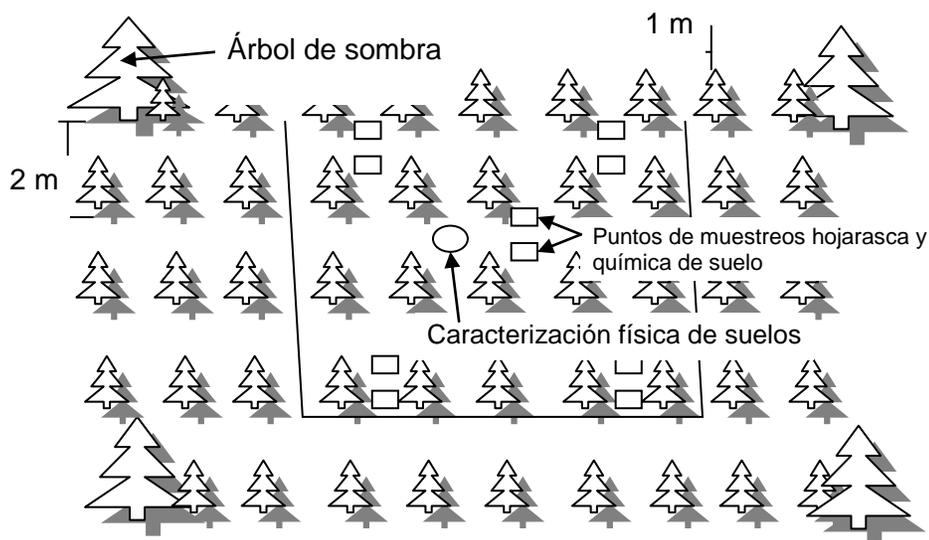


Figura 1.- Distribución de los puntos de muestreo de suelo y de la hojarasca.

2.4.3. Caracterización física de los suelos cafetaleros.

Para la caracterización física del suelo solamente se tomó un punto de muestreo por lo tardado de la caracterización asociado a la falta de tiempo disponible para dicha actividad.

El único punto de muestreo de cada área se ubicó al centro de la calle entre las hileras de cafetos (Figura 1) y se procedió de la siguiente manera: Se empleó un barreno de 2 pulgadas

de diámetro no cilíndrico, hasta una profundidad de 1.13 m o menos, según la presencia de piedras. La descripción y anotación de los datos se hizo en hojas previamente preparadas para su posterior manipulación.

Se perforó por medio del barreno cada 10 a 20 cm de profundidad y se describieron para determinar las características físicas del perfil notadas en el suelo extraído como se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3.- Variables determinadas en la caracterización física de los suelos cafetaleros.

No	Variable	Metodología	Requerimientos
1	Textura	Organoléptico	Barrenos. Botellas Plástico, agua destilada
2	Color	Tabla Mounsell	Tabla Mounsell
3	Profundidad total	Sumatoria de todas las barrenadas extraídas.	Cinta métrica
4	Profundidad de horizontes	Descripción de suelo por barrenada extraída	Cinta métrica
5	Presencia carbonatos	de Ácido Clorhídrico	Ácido Clorhídrico (solución)

2.4.4. Muestreo de suelo para la caracterización química.

En cada área de muestreo se ubicaron cinco puntos a muestrear en forma diagonal de 0.25 m². En cada punto de muestreo por cafetal, se ubicaron a partir de una distancia de 1.5 a 2.5 m de los árboles de sombra, se obtuvieron tres sub muestras a las profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 15 cm y 15 a 30 cm; extraídos tanto en la hilera como en la calle de los cafetos y puestos en recipientes plásticos debidamente etiquetados para su correcta identificación. (Figura 1). Las cinco sub muestras extraídas de cada profundidad, se juntaron y homogenizaron para obtener una muestra compuesta de 300 g, las que fueron etiquetadas correctamente y enviadas al laboratorio de suelos y agua de la UNA para su debido análisis y determinación. A continuación se describen las variables a determinar y el método de análisis en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4.- Conjunto de variables para la caracterización química de suelo.

Variable a medir	Profundidad (cm)		
	0 a 5	5 a 15	15 a 30
pH del suelo en H ₂ O	X	X	X
pH del suelo en KCl	X	X	X
Materia orgánica (M.O.)	X	X	X
Nitrógeno mineralizable	X	X	-
Fósforo disponible	X	X	X
Capacidad intercambio catiónico	X	X	X

Cuadro 5.- Metodología y requerimientos para la medición de las variables químicas de suelo.

Variable a medir	Método de determinación	Requerimiento
pH del suelo	Potenciómetro agua 1:2.5	KCl, Agua destilada
Materia orgánica (M.O.)	Walkey y Black	Dicromato de potasio Sulfato ferroso 0.5 N
Nitrógeno disponible	Macro Kjeldhal	Digestión, destilación.
Nitrógeno mineralizable disponible	o CaCl 0.01M ó KCl	
Fósforo disponible	Olsen modificado	Bicarbonato de Sodio 0.5M
Potasio disponible	Mezcla sulfoselenio	
CIC	Acetato de amonio pH 7	Equipo

2.4.5. Determinación de biomasa de los residuos vegetales existentes sobre el suelo

En los cinco puntos de muestreo seleccionados por cada área de muestreo se recolectó y pesó la biomasa de la hojarasca presente en el suelo una sola vez.

La recolección de los residuos vegetales se hizo en la hilera y en la calle del café, la que estuvo formada por la cantidad de hojarasca en un área de 0.25 m² (0.5 x 0.5 m), y se separó en fracción gruesa (formada por la hoja entera y hoja medianamente fraccionada); fracción fina (formada por partes de hoja con un alto grado de descomposición) y ramas (grosor < a 2 cm). Cada fracción se recolectó en bolsas plásticas por separado y se pesó en el campo.

Cuadro 6.- Variables medidas y métodos aplicados en los residuos vegetales.

Variables a medir	Método de determinación	Lugar	Requerimientos
Peso fresco de sub-muestras	Pesada de hojarasca	Campo	Bolsas plásticas, Balanza Marcador
Peso seco muestra compuesta	Secado y pesado	Laboratorio	Bolsas papel, Balanza Marcadores, Horno
Nitrógeno total	MicroKjeldhal	Laboratorio	Balones Kjeldhal
Fósforo total	Calorimétrico, metavanadato de amonio	Laboratorio	
Potasio	Mezcla sulfoselenio digestión húmeda	Laboratorio	Volumétricos 10 ml Pipetas de 10 ml Equipo de absorción atómica

Las cinco sub muestras por fracción tanto de la hilera como la de calle, se juntaron y homogenizaron para obtener una muestra compuesta de 300 g, la que se llevó al laboratorio de Fisiología Vegetal para su secado. El secado de las muestras de hojarasca se realizó en horno (mufla) a una temperatura de 65°C hasta peso constante (75 horas).

De la muestra compuesta se tomó una porción de 100 g de peso seco para realizar las determinaciones de elementos minerales en la hojarasca y otra cantidad similar de este material se guardó para futuras determinaciones de compuestos orgánicos.

2.4.6. Caracterización de los árboles de sombra y de los cafetos.

Cada área de muestreo de cafetal (finca) seleccionada se tomó como referencia para establecer un área mayor de 225 m² (15 m x 15 m) en la cual se hicieron mediciones del porcentaje de sombra, diámetro a la altura del pecho y el número de árboles de sombra presentes.

Para la medición del porcentaje de sombra se ubicaron 4 puntos correspondientes a cada vértice del área de muestreo y se hicieron las lecturas por medio de un densiómetro; la altura

de planta y el ancho de la copa a la altura media de los cafetos con cinta métrica y se midieron 10 plantas, así mismo la densidad poblacional de cafetos se contabilizó en el área muestreada.

El diámetro de los árboles de sombra encontrados dentro del área de muestreo, se hizo de forma circular con una cinta métrica a la altura del pecho (DAP) (1.5 m promedio).

Cuadro 7.- Variables medidas para los cafetos y los árboles de sombra.

Variable a medir	Método de determinación	Requerimientos
Porcentaje de sombra (%)	Lectura con densiómetro	Densiómetro Hoja de anotación, lapiceros, tablillas.
Diámetro de troncos (cm)	Medición con cinta diamétrica	Cinta diamétrica, hoja de anotación, lapiceros Cuadro de campo
Densidad de árboles sombra	Conteo de árboles por área	Hoja de anotación, cinta métrica (30m) lapiceros, Cuadro de campo.
Altura de cafetos	Medición con cinta métrica	Cinta métrica
Ancho de copa de cafetos	Medición con cinta métrica	Cinta métrica
Densidad de cafetos	Conteo de cafetos en área	Cinta métrica, hoja de anotación

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características agro ecológicas de los sistemas agroforestales en Matagalpa.

3.1.1. El uso de variedades de café.

El departamento de Matagalpa basa su producción en cinco variedades de café, siendo estas Catimor, Caturra, Catuaí, Bourbon y Paca.

La variedad Catimor (mezcla de la especie Caturra con el híbrido Catuaí), es la cultivada tradicionalmente por los productores, encontrándose en un 71.43 % de los cafetales evaluados.

Cuadro 8.- Uso de variedades de café.

Variedad	Frecuencia	%
Catimor	10	71.43
Caturra	8	57.14
Catuaí	3	21.43
Paca	2	14.28
Bourbon	1	7.14
Total		171.42

Según UNICAFE (1996) y Castillo (1998); debido a que los rendimientos productivos obtenidos de esta variedad son altos y por otras características positivas como: el ser resistente a la roya y además es la que se adapta más a las condiciones agroecológicas que presenta la zona. En segundo lugar está la variedad Caturra (mutación de Bourbon), la que al igual que el

Catimor presenta altos rendimientos productivos, es resistente a las sequías y se adapta bien a bajas alturas, según Ardon (1970) es la variedad mas recomendada para los sistemas con altas densidades poblacionales de cafetos.

En tercer lugar está la variedad Catuaí, la que de acuerdo con MAGFOR (1996) se adapta muy bien a las zonas altas (> 900 m.s.n.m.) y en poblaciones de 5000 plantas ha⁻¹ se obtienen rendimientos productivos con rangos intermedios, pero debido a su baja rusticidad requiere de mayor atención agronómica para exponer plenamente su potencial productivo y posiblemente ésta sea la razón por la que es una de las variedades menos utilizadas.

Las variedades Paca y el Bourbon, se encontraron en menor porcentaje (Cuadro 8) posiblemente por los bajos rendimientos obtenidos y además porque que sus frutos se desprenden fácilmente cuando la cosecha coincide con el periodo de lluvias, siendo similar a lo descrito por INTA (1978); Blanco y Pérez (1983).

3.1.2. Altitud, edad, uso anterior del suelo y diversidad de especies en cafetales.

De acuerdo a la información recopilada y a la observación en las fincas evaluadas, se constató que todas las variedades existentes en las fincas en estudio (Catimor, Caturra, Catuai, Paca y Bourbon), están en condiciones adecuadas de altitud, tanto bajo sombra como a pleno sol, manifestándose en la obtención de rendimientos estables. Cuadro 9.

La edad de los cafetales encontrados, oscilan en un rango de 4 a 25 años (Cuadro 10), resultados que de acuerdo con ICAFE (2004), se encuentran en las edades óptimas para obtener buenos rendimientos productivos ya que destacan que cada variedad se adapta a condiciones edafoclimáticas específicas y que los cafetales empiezan su primera producción a los 4 años después de establecido el cultivo, pero que producen la primera cosecha de rendimiento

pleno cuando tienen 5 años de edad, y cuando alcanzan los 30 años la planta de café, empieza a declinar en su producción, motivo por el cual debe renovarse.

Cuadro 10.- Altura geográfica, edad del cafetal, uso anterior del suelo diversidad de especies por sistemas agroforestales.

Sistema	Altura (msnm)	Edad (años)	Uso anterior del suelo	Diversidad de especies de sombra
Leguminosa + bajo orgánico.	565.6 -641.3	4	Maíz, frijol	2.83 (1 - 4)
Leguminosa + moderado orgánico	589.6 -760.3	5.5	Café, rastrojos	5 (3 - 7)
Leguminosa + moderado químico	853 - 1010	6.5	Potreros, maíz, frijol, tomate	2 (1 - 3)
No leguminosa + bajo orgánico	571.33 - 760	5.5	Maíz, frijol, café	3 (2 - 4)
No leguminosa + moderado químico	861.3 -996.6	8 - 25	Café, montaña	2.5 (1 - 4)
No leguminosa + moderado orgánico	600.7-782.3	5 - 11	Potreros	5.17 (3 - 8)
Pleno sol + moderado químico	765.67 - 918	6 - 12	Potreros, ganado, Café	-

Cuadro 9.- Altitud optima para variedades de café (DISAGRO 1998).

Variedades	Altitud optima (m.s.n.m.)
Bourbon	900-1400
Pacas	700-1000
Caturra	700-1400
Catuai	900-1400
Catimor	1000-1500

El uso anterior del suelo al cultivo de café, refleja que los granos básicos (maíz y frijol) y la ganadería, fueron las primeras actividades agrícolas, pero que se sustituyeron por no aportar ingresos suficientes al hogar. En segundo lugar está la siembra de hortalizas (tomate) y áreas montañosas. Los cambios bruscos de actividad se debió a que los rubros de mayor importancia antes del auge del cultivo de café en la zona norte de Nicaragua, eran los granos básicos y la actividad ganadera, tanto como generadores de divisas como para la alimentación según Blanco (1983), pero fue entre los años de 1860 y 1870 que en Nicaragua surge la producción comercial del café y se experimentan altas cifras de exportación de este rubro en forma de grano oro, obteniéndose los más altos ingresos económicos alcanzados en la historia productiva de la caficultura en Nicaragua y es ésta, según Molina (2001), Levy (1871) y Gómez (1977), la razón por la que los grandes poseedores de tierras en Nicaragua se deciden cambiar parcialmente los cultivos tradicionales por esta actividad agrícola (el cultivo de café) por ser la más rentable económicamente en esa época.

Actualmente las fluctuaciones en los precios del café en el mercado, han provocado la búsqueda de alternativas de producción y de nichos de demanda comercial no saturados. Una opción es la caficultura como un sistema agroforestal que ha crecido en superficie e importancia económica (Lyngbaeck *et al* 1999) y mitiga algunos de los impactos negativos del uso de agroquímicos en la agricultura convencional (Reganold *et al* 1993).

El café se cultiva bajo sombra como un sistema agroforestal Beer (1997), y por su diversidad y estructura reduce la dependencia de un solo cultivo e incrementa la rentabilidad de la finca y la sostenibilidad del cafetal Galloway y Beer (1997). Desde el punto de vista agronómico la diversidad arbórea es de gran importancia en el cultivo ya que se convierte en un controlador biológico de las plagas y de las enfermedades del cafeto, además de suplir al suelo de material vegetal rico en nutrientes que favorecen el desarrollo de la microflora bacteriana del suelo (Jiménez, 1982).

La mayor diversidad de especies de sombra presentes en los sistemas cafetaleros evaluados, está en los sistemas No leguminoso y Leguminoso + moderado orgánico, con valores entre 3 y 8 especies de árboles de sombra diferentes. Por otra parte en el sistema No leguminoso + bajo

orgánico la diversidad fue de 2 a 4 especies; en los sistemas Leguminoso + bajo orgánico y No leguminoso + moderado químico fue de 1 a 4 especies, y finalmente en el sistema Leguminosa + moderado químico la diversidad fue de 1 a 3 especies.

La riqueza de especies de sombra dentro de los cafetales estudiados es muy pobre, pues en la mayoría de los sistemas existe la predominancia de una sola especie como es la guaba (*Inga sp*), dato que coincide con los encontrados en una encuesta realizada en Matagalpa por López *et al* (2003), donde se refleja que las especies para sombra preferidas por los productores fueron las guabas, musáceos y en menor cantidad los maderables. La predominancia de una sola especie arbórea en la finca, perjudica económicamente a los productores, pues el tener poca diversidad de árboles no le permite obtener productos derivados de estos, tales como madera, frutas, leña entre otros y probablemente ellos no han diversificado sus fincas porque consideran que *Inga sp*, es la especie de sombra más indicada para sus cafetales.

3.1.3. Predominancia de las especies forestales utilizadas como sombra en el cafetal.

La diversidad de árboles de sombra permite ingresos adicionales a la finca por sus productos y pueden ayudar a reducir los requerimientos del café por agroquímicos sintéticos, reduciendo así los gastos del caficultor y los peligros de la contaminación ambiental. Los árboles de sombra sobre el café, dependen mucho de las condiciones del suelo y clima en cada sitio además de las características de la especie y su manejo (Muschler, 2000 y Likimer *et al* 2002).

Beer (1997); Muschler (1999); Fischersworing y Robkamp (2001) mencionan que es de gran importancia la compatibilidad de los árboles de sombra con café, es decir, que no causen daños por competencia, efectos alelopáticos, o ser posibles hospederos de insectos o patógenos. Dos estudios realizados por López *et al* (2003) y Yépez (2001) en San Ramón (Matagalpa) y Chiapas (México) respectivamente demuestran que los componentes preferidos por los productores fueron las especies de sombra como guabas, musáceas y maderables, tanto por la sombra que brindan a sus cafetales como por los productos derivados que obtienen de las mismas.

En los sistemas en estudio se pudo constatar, que la especie de sombra predominante es la guaba (*Inga* sp), la cual se encontró presente en cinco sistemas de los siete en estudio, siendo su presencia mas fuerte y abundante en los sistemas leguminosos, con datos que oscilan de 41.05 % a 63.28 % del total de la población de plantas muestreadas, la predominancia de esta especie arbórea posiblemente se deba a que presenta buena adaptabilidad edafoclimática en la zona coincidiendo con Muschler (2000) y Likimer *et al* (2002).

Cuadro 11.- Predominancia de las especies de sombra (%) empleadas en las fincas cafetaleras.

Especie	Sistema					
	Leguminosa + bajo orgánico	Leguminosa + moderado orgánico	Leguminosa + moderado químico	No leguminosa + bajo orgánico	No leguminosa + moderado orgánico	No leguminosa + moderado químico
Leguminosas						
Guaba	45.54	41.05	63.28		1.39	19.45
Madero negro	21.43			1.5		
Jenízaro	8.93					
Otras		3.22				
Maderables						
Laurel	5.36	1.52		26.96	13.45	26.39
Chaperno		1.67		38.09	3.6	31.11
Guácimo	1.19				14.73	
Otras	9.24	0.93	2.78	14.38	20.84	2.78
Frutales						
Musáceos	4.17	28.17	33.95	12.15	9.72	17.5
Aguacate	2.09	9.14			13.56	2.78
Otras		10.6		5.95	17.84	

Además cabe mencionar que ésta especie es de rápido crecimiento en comparación con otras especies, altura sobre el cultivo adecuada, buena distribución de la sombra y es fijadora de nitrógeno al suelo (Jiménez, 1982). Otra de las especies predominantes es el laurel (*Cordia alliodora*) la que se encontró también en cinco sistemas de los siete en estudio, predominando

en los sistemas con no leguminosas, lo cual es justificado por López *et al* (2003) quien realizó un estudio donde indica que las especies maderables se están usando en mayor cantidad como especies de sombra en los cafetales, debido a que muchos caficultores están reemplazando de manera gradual, la sombra tradicional de árboles leguminosos, los cuales tienen poco o ningún valor comercial, con especies frutales y maderables de rápido crecimiento, que se caracterizan porque la altura de las ramas sobre el cultivo y el ancho de copa, les permite distribuir uniformemente la sombra y además les genera divisas (C \$) al comercializar la madera.

Entre otras de las especies encontradas están *Musa spp* (guineo cuadrado, banano, plátano) la cual representa entre un 4.17 y 33.95 % en todos los sistemas en estudio; mientras que el aguacate (*Persea americana*) está presente en cuatro de los sistemas estudiados con un 2.09 y 13.56 % en todos los sistemas, coincidiendo con lo planteado por el Likimer (2002), cuando dice que las especies arbóreas además de proporcionar sombra al cultivo generan alimentos y divisas a la(s) familia(s) encargadas de la producción cafetalera.

Según un estudio realizado por López (2003) en Matagalpa los cítricos y frutales son atractivos solamente a los pequeños productores, coincidiendo con lo reportado por Likimer (2002) quien sugiere que al momento de seleccionar y promover el uso de especies de sombra en cafetales se tome en cuenta las preferencias de los pequeños productores hacia las especies frutales.

3.1.4. Altura de la planta, ancho de copa y densidad de cafetos.

Carvajal (1984) menciona que la producción de café se ve influenciada por el medio agro ecológico en que se desarrolla; como la temperatura e intensidad lumínica. Cuando estos factores afectan negativamente, ejercen influencia directa sobre la fisiología de la planta y sus diferentes etapas; sin embargo, existen otros factores de tipo agronómico que influyen en su desarrollo como: variedad, densidad de siembra, manejo de sombra y nutrición (Enriques 1984). De acuerdo, con Garriz y Vicuna (1990), tanto los factores de tipo físico como agronómicos, conforman un ambiente propicio para el desarrollo del café.

Los altura de los cafetos encontrados en los sistemas evaluados, varían desde 1.55 m hasta 2.39 m (cuadro 12), datos que comparados con los planteados por Castro y Téllez (1998) y Gutiérrez (1998), coinciden en que el café es un arbusto que puede variar en su altura y crecer desde 1 a 5 m de altura, dependiendo de la variedad y de las prácticas de poda que se le practiquen, con lo que se justifica que las alturas de las variedades encontradas en estos sistemas, están dentro de los rangos adecuados de altura de planta para mantener una producción estable de café. Sin embargo, es necesario señalar que las mayores alturas que presentaron los cafetos, se debieron a que no se les había practicado ninguna actividad cultural de mantenimiento de los mismos (podas).

Cuadro 12.- Altura (m), ancho de copa (m) y densidad poblacional por hectárea de los cafetos.

Sistema	Altura (m)	Ancho de copa (m)	Cafetos ha⁻¹
Leguminosa + bajo orgánico	2.02 (0.25)	1.52 (0.11)	5 746 (289.35)
No leguminosa + bajo orgánico	2.05 (0.3)	1.31 (0.21)	6 087 (572.15)
Leguminosa + moderado orgánico	2.31 (0.58)	1.38 (0.19)	5 924 (1413.56)
No leguminosa + moderado químico	1.97 (0.21)	1.50 (0.20)	4 987 (606.11)
Leguminosa + moderado químico	2.39 (0.22)	1.71 (0.17)	5 027 (892.19)
No leguminosa + moderado orgánico	1.91 (0.47)	1.31 (0.27)	4 638 (974.91)
Pleno sol + moderado químico	1.55 (0.16)	1.36 (0.15)	5 417 (476.40)

Entre paréntesis el valor de la Desviación estándar

El ancho de copa de los cafetos es variable dependiendo de la variedad cultivada, obteniéndose datos para los cafetales en estudio que van desde 1.31 a 1.71 m de ancho de copa (cuadro 12). Estos valores son similares a los obtenidos por Simon (1999); Borem (1999) y UNICAFE (1996), quienes obtuvieron datos de 1.5 a 1.8 m de ancho de copa para los cafetales estudiados, los cuales se encontraban en condiciones edafoclimáticas similares a las que presenta esta zona, a excepción de la temperatura la cual varía de 18 – 24 ° C en estaciones lluviosas.

En lo que respecta a la densidad poblacional de cafetos encontrada en los sistemas estudiados, podemos afirmar que está por encima de los valores adecuados de siembra, ya que encontramos promedios de 5,404 plantas ha⁻¹ (3797 plantas mz) (cuadro 12), posiblemente debido a que las variedades cultivadas en la zona estudiada, son de porte bajo, lo cual coincide con UNICAFE. (1996), quienes mencionan que estas especies se siembran a menor distancia entre plantas y entre surcos que las especies de porte alto, obteniéndose hasta 5000 plantas ha⁻¹, con distancias de 1 m entre plantas y 2.5 m entre hilera.

3.1.5. Diámetro a la altura del pecho, porcentaje de sombra y población de árboles.

Las plantas de café en su ambiente natural cuando fueron descubiertas por el hombre vivían bajo la sombra de bosque (INTA-FAO 1997). Es por ello que el cultivo de el café (*Coffea arabica L.*) mantiene características de adaptación a la sombra (Muschler 2000); siendo esto un componente importante en el cultivo, ya que reduce la radiación solar y la temperatura, protegiendo al suelo y el agua del sistema (Barradas y Fanjul 1986).

Los niveles óptimos de sombra recomendados para el cultivo de café son de 30 - 40 % (Pinto *et al* 2002 y Muschler, 1997).

Es notable que la asociación de cafetos con árboles de sombra puede mejorar el aprovechamiento potencial del sitio, mejorar el microclima y reducir las exigencias de nutrientes sintéticos por el cultivo (Willey, 1975 y Beer, 1987). A pesar de los beneficios ecológicos de los árboles de sombra, la producción de este sistema es menor que al sistema a plena exposición solar, pues la tasa fotosintética disminuye bajo sombra (Beer *et al* 1998 y Muschler 1997). La mayoría de las plantaciones en América Latina están combinadas con árboles para obtener sombra, la densidad de sombra puede tener efectos en los rendimientos del café (Beer 1992), especialmente cuando las densidades asociadas son demasiadas altas (Galloway y Beer 1997; Muschler 1999; Talavares *et al* 1999 y Viera *et al* 1999).

El alto porcentaje de sombra y de árboles ha⁻¹ lo presentaron los sistemas con especies leguminosas, con un promedio de 73.63 % de sombra y de 522.53 árboles ha⁻¹ promedio (cuadro 12). Estos resultados se deben posiblemente a que los árboles de sombra encontrados

en estos sistemas presentaron una copa amplia, hojas anchas y en abundancia, lo cual es destacado por Rodríguez (1990). Además cabe mencionar que por la alta densidad de árboles presentes en los sistemas, sus copas se podrían entrelazar y cubrir mas espacios, lo que coincide con los datos obtenidos por Somarriba (2002), quien menciona que al aumentar el tamaño de la copa y la densidad de árboles se llega a una situación donde puede llegar a desaparecer el espacio sin sombra.

Con respecto a los sistemas donde no hay leguminosas, el porcentaje de sombra fue menor comparado al porcentaje de sombra encontrado en los sistemas con especies leguminosas, presentando un promedio de 68.18 % de sombra y de 415.19 árboles ha⁻¹ promedio, posiblemente porque los árboles no leguminosos presentaron una copa mas estrecha, coincidiendo con estudios realizados por Likimer *et al.* (2002) quien menciona que estos árboles presentan una copa angosta con hojas finas y pueden aumentar el tamaño de la copa según la especie y la edad del árbol (Cuadro 13).

Cuadro 13.- Porcentaje de sombra, DAP y población de especies de sombra por hectárea.

Sistema	Sombra (%)	DAP (cm)	Árboles ha ⁻¹
Leguminosa + bajo orgánico	67.9 (23.68)	15.81 (4.24)	466.30 (113)
No leguminosa + bajo orgánico	71.76 (10.99)	20.13 (7.61)	528.84 (143)
Leguminosa + moderado orgánico	86.06 (8.00)	15.47 (4.47)	759.46 (371)
No leguminosa + moderado químico	56.26 (10.66)	34.46 (6.72)	253.20 (167)
Leguminosa + moderado químico	66.94 (22.64)	17.6 (2.73)	341.31 (209)
No leguminosa + moderado orgánico	76.54 (10.75)	26.51 (6.98)	463.54 (139)

Entre paréntesis el valor de la Desviación estándar

En lo que respecta al diámetro de tronco, en los tres sistemas con no leguminosos el mayor diámetro a la altura del pecho fue de 27.03 cm, posiblemente porque el diámetro de los árboles está íntimamente relacionado con la edad del árbol, coincidiendo con Somarriba y Beer (1986), quienes constataron que los árboles no leguminosos con edad de siete años, presentaban un diámetro a la altura del pecho de 31.5 cm. En menor proporción encontramos a

los sistemas con Leguminosas los cuales presentan un de diámetro de 16.29 cm siendo similar a los obtenidos por Alegre *et al* (2000) en árboles de leguminosas de 4.5 años con 15.3 cm. de diámetro (Cuadro 13).

Con respecto a la densidad poblacional de árboles de sombra, los sistemas con leguminosas presentaron el mayor número de árboles por hectárea desde 341.31 a 759.46 árboles ha⁻¹ con un promedio general de 522.53 árboles ha⁻¹ y en menor escala se presentaron los sistemas con no leguminosas desde 253.20 a 528.84 árboles ha⁻¹ obteniendo un promedio de 415.19 árboles ha⁻¹, datos que comparados con los obtenidos por López *et al* (2003) en un estudio realizado en el departamento de Matagalpa son altos, pues ellos encontraron una densidad promedio en el dosel de 316 árboles ha⁻¹, probablemente porque los productores prefieren mas a unas especies que a otras por sus características de adaptabilidad, cantidad de sombra, productos derivados etc. Según Muschler (2000), el número de árboles en un sistema depende principalmente de la cantidad de sombra requerida por el cultivo, de parámetros ambientales, de las características de la especie escogida (tasa de crecimiento, arquitectura y densidad de la copa) y de la competitividad por el agua, nutrientes de los árboles de sombra para el café.

3.1.6.- Cantidad de insumos utilizados y rendimientos obtenidos.

La tendencia moderna en caficultura es la de emplear programas de fertilización balanceada que permitan alcanzar altos rendimientos y calidad de grano, por períodos prolongados de acuerdo con Malavolta (1992a). Como punto de partida, cada variedad de café tiene distinto potencial de productividad y por ende, tiene una tasa distinta de aprovechamiento de los fertilizantes. La planta de café está constituida por una raíz principal o pivotante, que profundiza de 0.5 hasta 1.0 m en suelos profundos, extrayendo los nutrientes desde las capas mas profundas del suelo de acuerdo con Carvajal (1984).

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron en lo que respecta al rendimiento de los cafetales podemos afirmar que los mejores rendimientos se obtuvieron en el sistema Pleno sol con 2053.55 kg ha⁻¹, posiblemente porque las dosis de fertilizantes químicos en este sistema son altas, por tanto la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas es mayor. En los sistemas Leguminoso + moderado químico y No leguminoso + moderado químico en donde

también se hicieron aplicaciones de fertilizantes químicos, los rendimientos obtenidos fueron satisfactorios de acuerdo con IICA (2003) obteniéndose rendimientos de 1156.23 y 1052.40 kg ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 14).

Cuadro 14.- Uso de nutrientes y rendimientos obtenidos en los cafetales.

Sistema	Años fertilizados reportados	Contenido de abono y nutrientes aplicados en kg. ha ⁻¹				Años y grano oro en kg. ha ⁻¹ reportados	
		Orgánico	N	P	K		
Leguminosa + bajo orgánico	0,5	647.60	0	0	0	4	1280.09
Leguminosa + moderado orgánico	4	963.23	0	0	0	4	583.86
Leguminosa + moderado químico	3,5	0	98.83	59.39	35.85	3.5	1156.23
No leguminosa + bajo orgánico	1,5	5990.25	0	0	0	4.5	840.76
No leguminosa + moderado orgánico	3,5	1528.31	0	0	0	5	1093.19
No leguminosa + moderado químico	3,5	0	130.95	130.86	106.67	4	1052.40
Pleno sol	2,5	0	183.04	107.80	171.16	5	2053.55

En los sistemas donde la fertilización fue orgánica los mayores rendimientos se obtuvieron en los sistemas Leguminoso + bajo orgánico y No leguminoso + moderado orgánico con 1280.09 y 1093.19 kg ha⁻¹ en donde la edad promedio de los cafetales fue de 4.3 años.

En los sistemas No leguminosos + moderado y bajo orgánicos, los rendimiento obtenidos fueron de menores 1093.19 kg ha⁻¹ y 840.76 kg ha⁻¹ respectivamente, siendo rendimientos óptimos para la edad de estos cafetales (Cuadro 14).

3.2. Biomasa de los residuos vegetales y el contenido de nutrientes aportados.

3.2.1. Materia seca de los residuos vegetales

Biomasa es toda la materia orgánica que tiene su origen en un proceso biológico. A partir de la luz solar, la formación de biomasa vegetal, conocida como fitomasa, se lleva a cabo mediante

el proceso de fotosíntesis que producen moléculas de alto contenido energético. Esta fitomasa de alguna manera retorna al suelo, producto de la senescencia de las hojas que se desprenden y caen al suelo o producto de actividades agronómicas como la realización de podas. Material vegetal que forma parte de la fuente principal de la materia orgánica en el suelo.

Los sistemas con leguminosas obtuvieron el mayor contenido de biomasa en peso seco con datos totales que van de 3898.8 a 5901.82 kg. ha⁻¹ como se muestra en el Cuadro 15, con un promedio general de 4618.15 kg. ha⁻¹, posiblemente por la alta producción de follaje por parte de las especies leguminosas presentes en los sistemas, coincidiendo con estudios realizados por Yépez *et al* (2003) y Geilfus (1994) quienes constataron la alta producción de follaje por parte de las especies de leguminosas, que al caer se acumula en el suelo formando una capa de mantillo la cual pone a disposición un nuevo material vegetativo que puede ser incorporado al suelo.

Mientras en los sistemas con no leguminosas, los contenidos de biomasa en peso seco fueron de 2388.15 a 3783.94 kg ha⁻¹, obteniendo un promedio de 2,985.17 kg. ha⁻¹ (Cuadro 15), siendo menores comparados a los datos obtenidos en los sistemas leguminosos, probablemente porque las especies encontradas en estos sistemas producen menor cantidad de biomasa vegetal en comparación a las especies leguminosas, coincidiendo con estudios realizados por Somarriba *et al* (2000) quienes constataron que los árboles no leguminosos producen menos cantidad de biomasa vegetal, desarrollan una copa estrecha, rala y el tamaño de las hojas es menor comparado con las leguminosas, lo cual influye en el efecto del viento de arrastrar gran parte de las hojas a grandes distancias fuera de la parcela debido al tamaño de las mismas.

El sistema a Pleno sol presentó el menor peso de biomasa seca en comparación a los sistemas de las leguminosas y de no leguminosas, con 1650.87 kg ha⁻¹ (Cuadro 15) debido principalmente a la ausencia de árboles de sombra, donde la biomasa encontrada es la desprendida por los cafetos producto de las altas radiaciones, coincidiendo con Rena *et al* (1994) y Kumar y Tieszen (1980).

Cuadro 15.- Biomasa de los residuos vegetales (kg ha^{-1}) por componente y sistema en calle e hilera de los cafetos.

Sistema	Posición	Hoja fina	Hoja gruesa	Ramas	Total
Leguminosa + bajo orgánico = 3898.8	Calle	1523.7 (1601.1)	1369.8 (825.7)	1082.2 (624.96)	3975.77
	Hilera	1117.4(804.3)	1652.2(946.7)	1052.3(535.04)	3821.83
No leguminosa + bajo orgánico = 2388.15	Calle	538.1(409.1)	791.5(90.3)	1148.0(299.9)	2477.68
	Hilera	378.9(404.9)	892.5(254.2)	1027.14(342.99)	2298.62
Leguminosa + moderado orgánico =5901.82	Calle	2359.9(1463.8)	1900.4(821.7)	1481.9(889.6)	5742.24
	Hilera	2531.9(1442.2)	1989.1(842.3)	1540.4(744.4)	6061.40
No leguminosa + moderado químico = 2783.42	Calle	1017.2(730.3)	853.09(252.92)	1244.62(921.78)	3114.87
	Hilera	934.24(740.55)	1285.91(548.05)	231.81(253.05)	2451.96
Leguminosa + Moderado químico = 4242.84	Calle	262.50(1297.3)	1946.91(1270.48)	752.74(160.56)	2962.15
	Hilera	2183.16(526.6)	2394.08(2097.52)	946.29(303.93)	5523.53
No leguminosa + moderado orgánico = 3783.94	Calle	651.64(536.67)	1384.3 (1284.57)	1487.35(284.78)	3523.32
	Hilera	487.15(195.27)	1462.94(1261.98)	2094.47(853.75)	4044.56
Pleno sol + moderado químico = 1650.87	Calle	231.81(253.05)	462.43(260.63)	431.05(252.43)	1125.29
	Hilera	534.96(446.74)	1092.4(1062.66)	549.06(457.38)	2176.45

Entre paréntesis el valor de la Desviación estándar

3.2.2. Concentración y cantidades de N, P y K en la biomasa de los residuos vegetales sobre el suelo.

En la nutrición mineral de las plantas, los tres mayores nutrientes esenciales (N, P y K) son generalmente suministrados de manera limitada por muchos suelos, según Defoer *et al* (2000).

En los ecosistemas terrestres la descomposición de la hojarasca y la mineralización de nutrientes, representan una importante fuente de nutrientes para la producción primaria. Además se estima que los nutrientes liberados durante la descomposición de la hojarasca constituyen entre un 70 - 90 % del total de nutrientes requeridos por las plantas según Waring y Schlesinger (1985). Por lo tanto, la tasa de descomposición es un factor determinante en el contenido de nutrientes de la biomasa y la productividad de estos ecosistemas (Geilfus, 1994).

El contenido mineral de los tejidos vegetales es variable, dependiendo del tipo de planta, las condiciones climáticas prevalecientes durante el período de crecimiento, la composición química del medio y la edad del tejido entre otros. Por ejemplo, una hoja madura es probable que tenga un contenido mineral mayor que una hoja muy joven.

Así mismo, una hoja madura puede tener un contenido mineral mayor que una hoja vieja, la que sufre una pérdida apreciable de minerales solubles en agua, al ser lavada por el agua de lluvia o mediante mecanismos de translocación hacia hojas jóvenes (Fernández y Morales 2003).

Los resultados obtenidos en los siete sistemas agroforestales evaluados para el nitrógeno, demuestran que la concentración total de este nutriente contenido en la biomasa del suelo, está en mayores concentraciones en los sistemas leguminosos con un 2.5 % que equivale a 117.03 kg ha⁻¹ comparado con los sistemas no leguminosos y pleno sol, los cuales obtuvieron el 2.4 % cada uno, equivalente a 71.64 y 40.07 kg ha⁻¹ respectivamente (ver cuadro 17), probablemente porque la mayoría de las especies de leguminosas encontradas en las fincas son fijadoras de N. Al mismo tiempo se encontró que este nutriente está en mayores concentraciones en los componentes hoja gruesa y hoja fina con un 3.05 y 3.02 % respectivamente, comparado con el componente rama el cual obtuvo 2.57 % (ver cuadro 16), probablemente porque los nutrientes se conservan en mayores cantidades en las hojas que aun no están descompuestas.

Cuadro 16.- Concentración media de N, P y K en componentes hoja fina, hoja gruesa y rama.

Especies	Nutrientes (%)								
	Hoja fina			Hoja gruesa			Rama		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Leguminosas	2.38	0.06	0.38	3.05	0.08	0.42	2.06	0.05	0.27
No leguminosas	3.02	0.08	2.49	2.42	0.05	0.95	1.7	0.02	0.64
Pleno sol	2.07	0.06	0.68	2.57	0.07	1.75	2.48	0.02	0.73

En cuanto al fósforo, se encontraron las mayores concentraciones en los sistemas leguminosos con 0.06 % que equivale a 8.01 kg ha⁻¹, comparado con el 0.05 % de los sistemas no leguminosos y pleno sol, equivalente a 4.36 y 0.87 kg ha⁻¹ respectivamente (ver cuadro 17), encontrándose en mas altos porcentajes en los componentes hoja gruesa y hoja fina, con 0.08

Cuadro 17.- Concentración media de N, P y K en biomasa de los sistemas leguminosos, no leguminosos y pleno sol.

Especies	Nutrientes (%)			Nutrientes (kg ha ⁻¹)		
	N	P	K	N	P	K
Leguminosas	2.5	0.06	0.36	117.03	2.81	16.85
No leguminosas	2.4	0.05	1.36	71.64	1.5	40.30
Pleno sol	2.4	0.05	1.05	40.07	0.87	19.79

% comparado con el 0.07 % de la fracción hoja gruesa del sistema a pleno sol (ver cuadro 16). Los bajos porcentajes de este nutriente los justifica Hernández (1989) al mencionar que los

vegetales poseen como norma general un bajo contenido de fósforo, alrededor de 0.5 % o menos y que las fuentes de MO con valores por encima de 1% se consideran buenos y >2 % excelentes.

Con respecto al K en la biomasa, los mayores porcentajes de este elemento están en los sistemas Pleno sol y no leguminosos, los cuales obtuvieron 1.05 y 1.36 % equivalente a 19.79 y 40.03 kg ha⁻¹ respectivamente (ver cuadro 17), comparado con el porcentaje obtenido en el sistema leguminoso, el cual fue de 0.36 %, que equivale a 16.85 kg ha⁻¹, encontrándose en mayor porcentaje en el componente hoja fina con 2.49 % comparado con el 1.75 y 0.73 % obtenido en los componentes hoja gruesa y rama respectivamente (ver cuadro 16). Estos datos coinciden con los obtenidos por Babor y Aznarez (1993) y Clarkson y Hanson (1980), quienes realizaron un estudio en Costa Rica en condiciones similares a la zona en estudio, en el que obtuvieron datos de 0.30 - 8 % de potasio, por lo tanto afirmamos que los resultados obtenidos en nuestro estudio se encuentran dentro de los rangos normales de concentración de potasio en los residuos vegetales de cafetales, ya que la concentración de los nutrientes varía, dependiendo de la parte de la planta que se examine.

3.3. Caracterización física de los suelos.

3.3.1. Textura de los suelos.

La textura de un suelo es la proporción de los tamaños de los grupos de partículas que lo constituyen y está relacionada con el tamaño de las partículas de los minerales que lo forman y se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo (arena, limo y arcilla) (Fassbender, 1987).

La textura se determina en campo por la sensación que da al tacto en el suelo húmedo, que resulta de la mezcla de las partículas minerales constituyentes y la materia orgánica, una vez frotado el suelo húmedo entre los dedos (Fitzpatrick ,1987). Es una de las más importantes propiedades del suelo que ayudan a determinar la necesidad de abastecimiento de los nutrientes, agua y aire que son fundamentales para la vida de la planta. La materia orgánica ejerce influencia sobre las propiedades físicas del suelo, modificando y mejorando principalmente la estructura la cual influye en la porosidad. (Fassbender 1987).

Los mejores suelos para el cultivo del cafeto son los francos de estructura granular, donde hay buena aireación y permeabilidad, ya que en esos suelos las raíces pueden penetrar con facilidad y disponer de buena cantidad de aire y agua (AGROINRA1980).

En el estudio realizado en la zona baja y húmeda, se constató que los suelos de todos los sistemas en estudio, presentaron tres horizontes, siendo estos el A, B y C, encontrándose las siguientes características texturales:

Cuadro 18.- Textura de los suelos en los diferentes sistemas agroforestales.

Sistema agroforestal	Cafetal 1			Cafetal 2		
	Horizontes			Horizontes		
	A	B	C	A	B	C
Leguminosa + bajo orgánico	FAL	AL.	FA	FL	FAL	FA
Leguminosa + moderado orgánico	FAL	FA	F	FAL	A	A
Leguminosa + moderado químico	FAL	FA	A	FAL	A	A
No leguminosa + bajo orgánico	FA	FAL	A	FL	FAL	A
No leguminosa + moderado orgánico	FA	A	A	FA	A	A
No leguminosa + moderado químico	FA	FA	A	FAL	FAL	FAL
Pleno sol	FAL	FAL	A	FA	FAL	AL

FAL: Franco-arcillo-limoso; A: Arcilloso; F: Franco; FA: Franco arcilloso; AL: Arcillo-limoso

Para el horizonte A, de los siete sistemas en estudio, encontramos una textura que va de franco-arcillolimoso (FAL) a franco-arcilloso (FA), con una profundidad que varía de 0 – 43 cm (Cuadro 18). Estos datos son similares a los planteados por Fernández y Morales (2003), quienes mencionan que este horizonte en zonas de humedad media está formado en la superficie, por mayor % de materia orgánica (transformada) que los horizontes situados debajo, con una textura variable que puede ser franco, arcilloso, franco-arcilloso, franco-arcillolimoso y en algunos casos hasta limoso, con profundidades que pueden ir desde 0 a 15 cm o hasta 42 cm.

En el horizonte B, la textura varía de franco-arcilloso (FA); arcilloso(A), hasta franco-arcillolimoso (FAL). Datos que al igual que los anteriores son similares a los planteados por Fernández y Morales (2003), quienes dicen que la textura para este horizonte puede ser variable de franco (F) hasta franco- arcillolimoso en lugares donde las precipitaciones son poco abundantes, es decir medias.

Para el horizonte C, muestran que la textura de suelo mostró características desde franco hasta franco-arcilloso y franco-arcillolimoso siendo estas bastante similares a las encontradas en el horizonte B (Cuadro 18).

3.3.2. Presencia de gravas a diferentes profundidades de suelos.

Los suelos empiezan a formarse cuando las partículas de roca son transformadas por acción química y biológica. Dichos fragmentos de roca pueden haberse acumulado por diversas causas. Hay suelos que retienen muchos fragmentos resistentes a las alteraciones químicas, lo que contribuye a formar suelos húmedos y a sustentar las plantas. Estas partículas disminuyen su tamaño a través de fenómenos físicos, aumentando a medida que se profundiza el perfil e incrementando la vulnerabilidad a los procesos químicos (Porta, 1993). La naturaleza física del suelo está determinada por la proporción de partículas de varios tamaños que varían entre el de los trozos distinguibles de piedras y gravas hasta los de menos de 1/40.000 cm. Las grandes partículas del suelo, como la arena y la grava, son en su mayor parte químicamente inactivas, pero las pequeñas partículas inorgánicas, componentes principales de las arcillas finas, sirven también como depósitos de los nutrientes que las plantas extraen (Porta, 1999).

Según Henin (1972) la concentración de gravas en los horizontes del suelo dependerá básicamente de la profundidad a la que se encuentre dicho horizonte considerando como gravas a las partículas de suelo de 2mm de diámetro. Los fragmentos con diámetros superiores a los 2 mm no se consideran a efectos de textura, pues no influyen sobre la capacidad del suelo par retener agua y para almacenar y suministrar nutrientes a la planta (Fuentes 1994).

La presencia de grava y roca en las 42 áreas muestreadas, varió con forme a la profundidad (Cuadro 19). Para la profundidad de 0-10 y 11-20cm, se encontró presencia de grava en 6 y 4 áreas respectivas, posiblemente se deba a que en la superficie de estos suelos se acumula mayor cantidad de materia orgánica, que hacen que el suelo aparezca como que tiene un alto contenido de limo, disminuyendo la presencia de gravas (Fitzpatrick, 1987) y para la profundidad de 11 –20 cm en una barrenada de las 42, se encontró la presencia de roca, posiblemente debido a la naturaleza del suelo.

Cuadro 19.- Frecuencia relativa de la presencia de gravas y rocas a diferentes profundidades de los suelos.

Profundidad	Barrenadas	Presencia de gravas		Presencia de roca	
		Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
0-10	42	6	14.24	0	0
11-20	42	4	9.52	1	2.38
21-30	41	12	29.26	3	7.31
31-40	38	13	34.21	0	0
41-50	38	17	44.73	3	7.89
51-60	35	14	40	1	2.85
61-70	34	12	35.29	4	11.76
71-80	30	12	40	6	20
91-90	24	10	41.66	2	8.33
91-100	22	15	68.18	3	13.63
101-113	19	8	42.10	18	94.73

La cantidad de barrenadas disminuyó a medida que aumentó la profundidad de los horizontes del suelo, por la presencia de rocas las cuales no permitieron el paso del barreno. La presencia de grava y roca aumentan con forme aumenta la profundidad del muestreo, coincidiendo con Sánchez (1981) y Henin *et al* (1972) quienes destacan que la presencia de material rocoso estará en dependencia de la profundidad a la que se realice el muestreo.

De las 38 áreas muestreadas se encontraron de 10 a 17 áreas con presencia de gravas a profundidades de 21-100cm, encontrándose mayor presencia de gravas a la profundidad de 41-50 cm (Cuadro 19).

Según Fuentes (1994) el horizonte A es el más expuesto a las acciones del clima y de los seres vivos, que originan una meteorización mas o menos rápida donde tienden a emigrar por lavado las partículas de suelo a horizontes más profundos.

La presencia de rocas se encontró desde los 41cm de profundidad en 6 áreas de las 30 muestreadas y en 18 áreas de las 19 muestreadas la presencia de gravas fue mayor a la profundidad de 101-113cm coincidiendo con INTA-FAO (1997) que menciona que en la región central de Nicaragua los suelos pueden llegar a profundidades de hasta 100cm.

Según Fitzpatrick (1987) la profundidad que puede alcanzar un suelo se determina por su naturaleza, normalmente varía de 1 a 3 m debajo de lo cual se encuentra material relativamente inalterado.

3.3.3.- Profundidad de los suelos de los diferentes sistemas agroforestales.

Los suelos no son uniformes en el sentido vertical o en la profundidad, presentando variaciones en capas de diferente composición y color. En un suelo distinguimos varias capas verticales, o sea en profundidad, denominadas horizontes del suelo. Los horizontes son consecuencia de procesos de formación y desgaste de los suelos (Fuentes 1994).

Los suelos, por lo general se caracterizan por tener dos o mas horizontes; el superficial, que contiene o consiste de una acumulación de hojas, tallos y raíces; este horizonte, de residuos de plantas varía en espesor desde dos centímetros a menos de medio metro de profundidad; un horizonte que debido a la acción de las fuerzas que forman el suelo, ha perdido una porción de sus componentes originales y un horizonte acumulativo (es la capa donde se deposita el material que ha sido removido) (Millar y Turk 1961). En algunos suelos se diferencia claramente los tres horizontes principalmente, por que el paso de uno al otro se realiza en unos pocos centímetros; en otros suelos, en cambio, no hay una diferenciación tan clara, debido a

que la constitución de cada uno de ellos va variando gradualmente con forme aumenta la profundidad (Fuentes, 1994).

Cuadro 20.- Profundidad de los horizontes del suelo (cm) de dos cafetales por sistema agroforestal.

Sistema agroforestal	Cafetal 1			Cafetal 2		
	Profundidad del horizonte (cm)			Profundidad del horizonte (cm)		
	A	B	C	A	B	C
Leguminosa + bajo orgánico	0 - 42	42 -72	72-75+R	0-10	10-26	26-65+R
Leguminosa + moderado orgánico	0-20	R	R	0-22	22-37	37-56+
Leguminosa + moderado químico	0-24	24-71	71-113	0-16	16-44	44-80
No leguminosa + bajo orgánico	0-26	26-72	72-87+R	0-20	20-34	34-79+R
No leguminosa + moderado orgánico	0-43	43-75	75-96+R	0-30	30-74	74-112+R
No leguminosa + moderado químico	0-30	30-87	87+R	0-27	27-57	57-110+R
Pleno sol	0-28	28-49	49-108+R	0-20	20-67	67-108+R

La profundidad de los suelos de la región central de Nicaragua varía desde superficiales (<25 cm), hasta profundos (>100cm), con pendientes topográficas desde 15 % (INTA-FAO 1997) y Marín (1999).

La profundidad de los horizontes, en las 14 fincas cafetaleras en estudio son variables. En lo que respecta al horizonte A, para ambos cafetales las diferencias de profundidades entre los sistemas son mínimas obteniéndose datos que oscilan entre 0 y 43 cm en general. El sistema leguminoso bajo orgánico del cafetal dos presentó la menor profundidad y los sistemas no leguminoso moderado orgánico y pleno sol, presentaron las mayores profundidades (cuadro 20), posiblemente por que la localización del cafetal no presenta pendientes inclinadas. Es importante mencionar que la finca uno del sistema leguminoso moderado orgánico, no presentó horizonte B y C por la presencia de roca a partir de los 20 cm de profundidad.

En lo que respecta al horizonte B las profundidades varían desde 10 hasta 87 cm, siendo los sistemas mencionados anteriormente los que presentan las menores y mayores profundidades respectivamente. En el horizonte C las profundidades varían desde 26 hasta 113 cm, donde el

sistema leguminoso moderado orgánico del cafetal dos, presentó la menor profundidad. Los sistemas leguminoso + bajo orgánico, no leguminoso + bajo orgánico y no leguminoso + moderado químico del cafetal uno, se encontró presencia de roca a partir de los 70 cm.

3.3.4. Color de suelos en los diferentes sistemas agroforestales.

El color del suelo está relacionado con los minerales que lo componen y con su contenido de agua y de materia orgánica, lo que determina algunas de sus propiedades físicas y químicas (Fuentes 1994). El color de las capas superficiales del suelo viene determinado, sobre todo, por el contenido de materia orgánica y los minerales de hierro, que dan su propio color a las partículas minerales del suelo. El contenido de materia orgánica determina en gran medida el color del suelo; a mayor cantidad, el color se vuelve más oscuro (Fassbender 1987).

Lyon y Buchman (1952); Instituto Cubano del libro (1976); Fuentes (1994); Millar y Turk (1961), indican que el hierro presente en el suelo se combina con el oxígeno y con el agua del suelo, dando lugar a compuestos de distintos colores. Los suelos bien drenados retienen suficiente cantidad de aire, con lo cual el hierro se combina con el oxígeno y aparece en estado oxidado o férrico, dando compuestos de color rojo. Si la humedad no es excesiva, el hierro aparece todavía en estado férrico pero en formas hidratadas, dando compuestos amarillentos. Según el Instituto Cubano del libro (1976), un exceso de agua y ausencia de oxígeno da como resultado el color gris mientras Millar y Turk (1961), indican que puede ser causa de una deficiencia de hierro y oxígeno.

Para el horizonte A en los sistemas agroforestales en estudio, se puede constatar que la mayoría de los sistemas, presentó tonalidades de color negro a café muy oscuro, indicado por una porción considerable de materia orgánica en el suelo. Cabe mencionar que los sistemas leguminosa + moderado químico y no leguminosa + moderado químico además del color café muy oscuro presentaron tendencias rojizas y amarillentas (Cuadro 21). Según Wooding (1967), estas tendencias se deben a la presencia de óxidos férricos con grado variable de hidratación unidos a la materia orgánica, el sistema no leguminoso moderado orgánico presentó tendencias grisáceo dato que según Millar y Turk (1961), pueden ser causa de una

deficiencia de hierro y oxígeno. Es importante destacar que para el cafetal uno del sistema leguminoso moderado orgánico no se encontró horizonte B.

El horizonte B, presentó colores similares al horizonte A con diferencia en algunas tonalidades, debidas según Anon (1999) a que en el horizonte A es el más expuesto a los factores ambientales (lluvias, vientos, escorrentías) los cuales provocan el lavado y arrastre de sustancia minerales hacia horizontes más profundos lo que tiende a dar diferentes tonalidades del suelo.

En este horizonte se constató que la mayoría de los sistemas presentaron color café muy oscuro, donde los sistemas leguminosa moderado químico, no leguminosa moderado químico y leguminosa moderado orgánico, presentaron colores café oscuro con tendencias rojizas y los sistemas no leguminosa bajo orgánico, no leguminosa moderado orgánica, leguminosa bajo orgánica y pleno sol presentaron tonalidades de café oscuro con tendencias grisáceos y amarillentas.

Cuadro 21.- Coloración de los suelos cafetaleros obtenidos en la caracterización física por horizonte en cada sistema agroforestal.

Cafetal	Horizonte	Sistemas						
		Leguminoso + bajo orgánico	Leguminoso + moderado orgánico	Leguminoso + moderado químico	No leguminoso + bajo orgánico	No leguminoso + moderado orgánico	No leguminoso + moderado químico	Pleno sol
1	A	Café oscuro a grisáceo	Negro a café muy oscuro	Café oscuro a Café oscuro rojizo	Café muy oscuro	Café muy oscuro a negro	Café muy oscuro a Café muy oscuro rojizo	Café muy oscuro
	B	Café muy oscuro a agrisáceo		Café oscuro rojizo	Café oscuro a Café grisáceo	Café a café oscuro grisáceo	Café muy oscuro a Café muy oscuro rojizo	Café muy oscuro a rojo amarillento
	C	Café oscuro a Café oscuro grisáceo		Café oscuro rojizo a Café oscuro grisáceo	Café a Café aceituno encendido	Café a café rojizo	Café a Café rojizo	Café oscuro rojizo a amarillo rojizo
2	A	Café muy oscuro a negro	Café muy oscuro	Café muy oscuro	Café muy oscuro grisáceo a Negro	Café muy oscuro	Café muy oscuro a Café oscuro amarillento	Café muy oscuro
	B	Café oscuro a Café muy oscuro grisáceo	Café muy oscuro a Café oscuro rojizo	Café oscuro a Café oscuro rojizo	Café oscuro a grisáceo	Café muy oscuro	Café oscuro a Café rojizo	Café oscuro
	C	Café aceituna , A Café amarillento encendido	Café muy oscuro a Café oscuro rojizo	Café rojizo + a Café amarillento oscuro	Café a Café oscuro rojizo	Café oscuro amarillento a café oscuro	Café oscuro rojizo, a rojizo amarillento	Café oscuro a café rojizo

El horizonte C para los siete sistemas presentaron color café con tendencias variables entre los sistemas que van de rojizas, amarillentas a grisáceos (Cuadro 21). Según el Instituto Cubano del libro (1976) el color café de un suelo se debe generalmente al contenido de humus, la tendencia rojiza que tienden a presentar estos sistemas probablemente se deba a que son suelos que presentan buen drenaje, el color amarillo se debe a los óxidos férricos hidratados y el color amarillo indica retención de humedad.

3.4. Caracterización química de suelos cafetaleros.

3.4.1. Contenido promedio de materia orgánica encontrado en los suelos cafetaleros a tres profundidades muestreadas.

La materia orgánica se compone de los residuos vegetales y animales presentes en el suelo en distintos grados de descomposición, estos residuos descompuestos por organismos del suelo que se alimentan de ellos, liberando elementos mas simples y asimilables para las plantas, y empleando parte de la energía obtenida para su propia multiplicación (ANACAFE 1999). La materia orgánica es uno de los principales componentes del suelo, constituyendo aproximadamente el 5 % del volumen del suelo (Anon, 1999). Es de gran importancia por su influencia en la estructura y el color del suelo, cambiando a colores pardos oscuros o negros oscuros; mejora la capacidad de intercambio catiónico y regula el pH (Fuentes1994).

Una parte importante de la materia orgánica está formada por microorganismos, que a su vez crecen a partir de restos o de enmiendas orgánicas.

Durante el proceso de descomposición de los residuos, la relación C/N disminuye, resultando finalmente en el humus un contenido medio del 5 % de nitrógeno. La hojarasca como residuo vegetal al depositarse sobre la superficie del suelo, es una fuente primaria para la formación de la materia orgánica del suelo, por lo que la cantidad de hojarasca y la velocidad de descomposición y las propiedades, son esenciales para la formación y de los procesos de humificación (Kogel-Knabner, 2002). Las raíces, hojas y tallos de las plantas en diferentes etapas de descomposición constituyen la mayor parte de los materiales orgánicos del suelo (Millar y Turk 1961).

Según los datos obtenidos de materia orgánica a la profundidad de 0 – 5 cm, los sistemas no leguminosas presentaron altos contenidos de materia orgánica con datos desde 10.77 hasta 13.76 % con un promedio de 11.72 % de materia orgánica (cuadro 22). Estos datos coinciden con la teoría planteada por Henin *et al* (1972), quienes mencionan que las especies leguminosas se caracterizan por el gran aporte de biomasa vegetal en forma de hojarasca. Cabe señalar que los sistemas no leguminosos presentaron menores contenidos de biomasa vegetal en la superficie del suelo que los sistemas leguminosos (Cuadro 15), pero mayores contenidos de materia orgánica en el suelo (Cuadro 22), posiblemente porque la descomposición de las hojas es mas lenta por los contenidos de lignina que éstas contienen, por lo tanto están por mucho mas tiempo sobre la superficie del suelo.

Cuadro 22.- Contenido promedio de materia orgánica (%) a tres profundidades en los suelos cafetaleros.

Sistema	Profundidad de muestreo en suelos (cm)		
	0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	8.01	7.24	6.78
Leguminosa + moderado orgánico	9.67	7.05	5.41
Leguminosa + moderado químico	9.11	5.62	5.46
No leguminosa + bajo orgánico	10.77	6.58	4.72
No leguminosa + moderado orgánico	10.62	7.29	5.26
No leguminosa + moderado químico	13.76	7.8	6.48
Pleno sol	10.22	7.3	5.87

Por otra parte en el sistema a Pleno sol se encontró 10.2 % de materia orgánica, valores que según Fassbender (1987) son muy altos. Es importante señalar que en este sistema no hubo aportes de biomasa por los árboles de sombra, puesto que éstos no existen, pero según Porta (1993) y Duchaufour (1984), los suelos agrícolas a la profundidad de 0 a 30 cm son ricos en materia orgánica, con valores promedios comprendidos entre 4.1 y 10 %.

Los sistemas leguminosos presentaron menores porcentajes de materia orgánica comparados con los sistemas no leguminosos, presentando contenidos comprendidos entre 8.01 a 9.11 % con un promedio general de 8.93 %, valores que según Fassbender (1987), son altos. Estos datos son justificados por Núñez (1985); Cairo (1980) y Mela (1963), quienes mencionan que

los altos porcentajes de materia orgánica contenidos en un suelo, se relaciona con la cantidad añadida de residuo fresco aportada por los árboles de sombra utilizados en el cafetal y que el aporte principal por parte de los árboles es la parte aérea, por ello la mayor cantidad de materia orgánica se encuentra en la parte superficial del suelo.

A las profundidades de 5-15 cm y de 15-30 cm se notó una reducción del porcentaje de materia orgánica en los suelos de los sistemas estudiados (ver cuadro 22), lo cual es justificado por Núñez (1985) quien menciona que el contenido porcentual de materia orgánica en la superficie del suelo es alto y que va decreciendo a medida que aumenta la profundidad del muestreo.

Aunque los porcentajes de materia orgánica fueron altos para todos los sistemas estudiados, se notaron las diferencias en algunos sistemas como el sistema a Pleno sol, el que a profundidades de los 5 a 30 cm , presentó promedios de 7.3 y 5.87 % de materia orgánica respectivamente; los sistemas no leguminosas presentaron contenidos promedios de 7.23 y 5.49 %, y el menor porcentaje lo presentaron los sistemas leguminosas con promedios de 6.64 % y 5.88 %, datos que coinciden con Núñez (1985) quien encontró para suelos bajo uso agrícola, porcentajes de materia orgánica entre 0.5 y 8.5 % en los primeros 10 - 20 cm de profundidad, posiblemente se deba a que estos suelos son de uso agroforestal, donde la materia orgánica se incrementa por los aportes de los árboles de sombra (García 1982).

3.4.2. Capacidad de intercambio catiónico.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un suelo, es simplemente una medida de la cantidad de sitios sobre la superficie del suelo, que pueden retener iones cargados positivamente (cationes) por fuerza electrostática.

Los cationes retenidos electrostáticamente, son fácilmente intercambiables con otros cationes en la solución del suelo y están así rápidamente disponibles para que los tomen los vegetales los cuales dependen del contenido de arcilla y de materia orgánica (Reynaert 1968).

Es importante resaltar que para que el intercambio de cationes se realice plenamente es necesario que el número de cationes contenidos en la solución del suelo y en el complejo coloidal, alcancen un cierto nivel de equilibrio. Por eso en tierras muy empobrecidas es

necesario hacer inicialmente aportaciones importantes de fertilizantes cuyos iones pueden ser adsorbidos por el complejo coloidal, con el fin de que las aportaciones posteriores sean más efectivas (Mourelle et al 2000).

No debe confundirse la CIC con la capacidad complejante (más fuerte) de la materia orgánica. La CIC está muy relacionada con el pH del suelo de forma que al aumentar, éste también aumenta, la CIC es especialmente notable en los coloides orgánicos y en las partículas minerales.

Los valores por debajo de 5 meq / 100 g de suelo indican fertilidad baja, y los valores por encima de 30 meq / 100 g de suelo indican un suelo excesivamente arcilloso o con gran contenido de materia orgánica (Fuentes 1994).

Cuadro 23.- Capacidad de intercambio catiónico (meq / 100 g suelo) de los suelos cafetaleros.

Sistemas	Profundidades del muestreo de suelos (cm)		
	0 - 5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	49.95	46.09	44.84
Leguminosa + moderado orgánico	30.04	25.48	23.64
Leguminosa + moderado químico	30.97	27.05	23.9
No leguminosa + bajo orgánico	30.04	25.48	23.64
No leguminosa + moderado orgánico	43.29	34.89	29.06
No leguminosa + moderado químico	37.04	31.02	26.16
Pleno sol	30.97	27.05	23.9

Los valores de CIC obtenidos para los sistemas en estudio, demuestran que el suelo muestreado tiene una alta capacidad para intercambiar cationes obteniéndose la más alta capacidad de intercambiar cationes en los sistemas Leguminoso + bajo orgánico y No Leguminoso + moderado orgánico a los 0 - 5 cm de profundidad, con valores de 40 - 50 meq / 100 g de suelo (ver cuadro 23), lo que según Bertsch (1987); Reynaert (1968); Salmerón y Centeno (1994) es calificada como alta. Así mismo el sistema Leguminoso + bajo orgánico en las profundidades de 5 - 15 cm y 15 - 30 cm obtuvo valores similares (40 - 50 meq / 100 g de suelo), demostrando ser el sistema con mayor CIC de todos los sistemas evaluados. No así para los sistemas No leguminoso + bajo orgánico, No leguminoso + moderado orgánico, No leguminoso + moderado químico, Pleno sol y Leguminoso + moderado químico en los cuales

a la misma profundidad se obtuvieron valores promedios de 30 - 40 meq / 100 g de suelo, siendo la CIC moderadamente alta a esta profundidad.

En la profundidad de 5-15 cm, el sistema Leguminoso + bajo orgánico fue el que obtuvo la mayor CIC con 46.09 meq / 100 g de suelo, y la menor CIC la obtuvieron los sistemas No leguminoso + moderado orgánico y No leguminoso + moderado químico en los cuales se obtuvo una CIC moderadamente alta con valores de 34.89 y 31.02 meq / 100 g de suelo respectivamente. Por otra parte los sistemas Leguminoso + moderado orgánico, y moderado químico y No leguminoso + bajo orgánico obtuvieron valores de capacidad de intercambio catiónico por debajo de los 30 meq / 100 g de suelo.

A la profundidad de 15 - 30 cm el sistema Leguminoso + bajo orgánico con 44.84 meq / 100 g de suelo fue el que obtuvo la mayor CIC y con valores menores se presentaron los sistemas Leguminoso + moderado orgánico, y moderado químico, No leguminoso + bajo orgánico, moderado orgánico y moderado químico y Pleno sol, los cuales obtuvieron una calificación de CIC media, por estar por debajo de los 30 meq /100 g suelo.

La alta CIC que presentaron estos suelos es justificada por Bertsch (1987); Reynaert (1968); Salmerón y Centeno (1994) y Mourelle 2000, quienes destacan que la CIC común en los suelos está en rangos de 0 - 50 meq / 100 g de suelo, siendo 50 el valor más alto, y que generalmente los presentan los suelos con alto contenido de arcillas, alta capacidad de retención de agua y los que tienen gran capacidad de retener nutrientes a una profundidad determinada. Este planteamiento coincide con los datos de textura obtenidos en los suelos de los sistemas en estudio, en donde la presencia de arcilla es notable.

3.4.3. Contenido de nitrógeno de los suelos cafetaleros.

El nitrógeno es el nutrimento mas limitante en la productividad de las plantaciones cafetaleras, ya que forma parte de las proteínas y de otros compuestos orgánicos esenciales como las enzimas, coenzimas, vitaminas, ácidos nucleicos y clorofila (Carvajal 1984 y Fuentes 1994). Cuando el nitrógeno es escaso en el suelo, el cafeto presenta un color amarillento, las hojas se ponen raquílicas y son pocas las cosechas (AGROINRA 1980).

Las plantas absorben el nitrógeno bajo formas nítricas (NO_3^-) y amoniacal (NH_4^+). El nitrógeno presente en el suelo se encuentra bajo forma de nitrógeno orgánico y nitrógeno inorgánico, donde la forma orgánica se encuentra formando parte de la materia orgánica procedente de organismos vegetales y animales, este nitrógeno, que representa la casi totalidad del nitrógeno del suelo, no puede ser utilizado por la planta mientras no se transforme previamente en nitrógeno inorgánico (Fuente 1994). Según Sommer (1978), solamente el 30 % del nitrógeno aplicado a los cafetales es absorbido por la planta de café, lo que hace suponer grandes pérdidas de nitrógeno en diversos cafetales.

La profundidad a la cual se acumula el nitrógeno y la variabilidad del porcentaje de este elemento en el suelo, estará en dependencia mayormente de la acumulación de materia orgánica, así como de muchos factores climáticos y edáficos, perturbaciones naturales y humanas que influyen en la relación entre adiciones vegetales y animales (entradas) y tasa de descomposición (salidas) (Pritchett 1986). En general se puede decir que la mayor porción de nitrógeno y materia orgánica se encuentra en los primeros 60 cm del suelo y su distribución a través del perfil varía entre ellos (Ortega 1978 y Mela 1963).

Cuadro 24.- Contenido de Nitrógeno (%) a tres profundidades en los suelos cafetaleros.

Sistema	No. Cafetal	Profundidad de muestreo en suelos (cm)		
		0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	1-14	0.16	0.07	0.04
Leguminosa + moderado orgánico	3-9	0.19	0.07	0.03
Leguminosa + moderado químico	5-12	0.18	0.05	0.03
No leguminosa + bajo orgánico	2-13	0.22	0.06	0.035
No leguminosa + moderado orgánico	6-8	0.21	0.07	0.03
No leguminosa + moderado químico	4-11	0.28	0.08	0.04
Pleno sol	7-10	0.20	0.07	0.04

La textura del suelo tiene efecto en el contenido de nitrógeno, aumenta conforme la textura es mas fina, debido principalmente a las características de aireación, fertilidad y tendencias de la porción mineral del suelo al combinarse con la materia orgánica (Ortega 1978).

El contenido de nitrógeno en el suelo a tres profundidades 0-5 cm, 5-15 cm y 15-30 cm, encontrado en los sistemas agroforestales en estudio fue variable.

Para la profundidad de 0-5cm, los sistemas no leguminosos presentaron contenidos de nitrógeno de 0.21 % a 0.28 % con un promedio de 0.24 % (ver cuadro 24), calificado por Fuentes (1994) como un suelo con un alto porcentaje de nitrógeno, siendo estos sistemas los que presentaron los más altos contenidos de N seguido del sistema a Pleno sol con 0.20 %, probablemente por los altos contenidos de materia orgánica encontrados para estos, sistemas (ver anexo 12) ya que según Ortega (1978) la variabilidad del porcentaje del nitrógeno del suelo, depende de la aportación de la materia orgánica.

Los sistemas con leguminosas presentaron el menor contenido en comparación con los sistemas mencionados anteriormente, presentando un promedio de 0.18 %, posiblemente por los menores contenidos de materia orgánica encontrados en estos sistemas. Cabe mencionar que las hojas de las leguminosas son poco lignificadas y ricas en nitrógeno, por lo que se descomponen rápidamente, tendiendo a lixiviarse en el suelo (Montagnini *et al* 1999 y Mela 1963).

Las profundidades 5-15 cm y 15-30 cm presentaron disminución de contenidos de nitrógeno, los sistemas de las no leguminosas presentaron promedios de 0.09 % y 0.04 %; el sistema a Pleno sol presentó promedios de 0.07 % y 0.04 % respectivamente a su profundidad es de (5-15 y 15-30 cm) y los sistemas de las leguminosas presentaron menores contenidos en comparación a los sistemas mencionados anteriormente, los cuales van de 0.06 % y 0.03 %, datos considerados entre bajos y muy bajos señalado en el cuadro 24. La disminución de estos contenidos posiblemente se deba a la disminución de materia orgánica en el perfil. Se debe de tomar en cuenta que los nutrientes producto de la mineralización, pueden llegar a la solución del suelo y ser lixiviados o retornar a las plantas por la vía de absorción de las raíces, provocando menores contenidos de elementos nutritivos para las plantas en el suelo (Montagnini *et al* 1999 y Mela 1963).

3.4.4. Acidez del suelo (pH en agua y KCl) en los diferentes sistemas agroforestales.

De acuerdo con Ávila (1998), la acidez presente en el suelo corresponde a la concentración de iones hidrónio en disolución, extraída de la mezcla de suelo y agua o del suelo y una disolución extractora. También es definida como pH que representa la relativa condición básica o ácida de una sustancia. La mayoría de los suelos productivos fluctúan entre un pH de 4.0 a 9.0.

Cuando un suelo se satura con H^+ actúa como un ácido débil. Mientras mayor sea el H^+ retenido por el complejo de intercambio, mayor será la acidez del suelo. El aluminio (Al) también actúa como un agente acidificante y activa el H^+ (Velasco 1991). Los grados relativos de acidez se presentan en la Cuadro 25. Los valores de pH del suelo determinados en KCl son de 0.5 - 1.0 unidades menores que los de agua, siendo la diferencia menor cuando mayor es el pH.

Cuadro 25.- Valores de acidez para los suelos de los diferentes sistemas agroforestales evaluados.

Sistema	Valores de pH de los suelos					
	0 – 5 cm		5 – 15 cm		15 – 30 cm	
	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl
Leguminosa + bajo orgánico	6.39	5.41	6.36	5.21	6.43	5.14
Leguminosa + moderado orgánico	5.79	5.12	5.80	4.99	5.87	5.06
Leguminosa + moderado químico	5.26	4.51	5.51	4.51	5.62	4.53
No leguminosa + bajo orgánico	5.99	5.25	5.85	4.96	5.87	4.86
No leguminosa + moderado orgánico	6.30	5.55	6.23	5.32	6.31	5.25
No leguminosa + moderado químico	5.79	5.16	5.72	4.88	5.73	4.78
Pleno sol	5.59	4.73	5.66	4.77	5.64	4.68

Los datos de acidez del suelo para los sistemas en estudio demuestran que los valores para esta variable se inclinan hacia valores que indican una acidez marcada de los suelos, variando en este estudio de acuerdo a la profundidad de muestreo.

La acidez del suelo tanto en los sistemas leguminosos como en los no leguminosos determinada con agua, disminuye a medida que aumenta la profundidad de muestreo, es decir,

que los mayores valores de acidez están en la capa superficial del suelo, obteniéndose en los sistemas leguminosos valores que van desde 5.8 hasta 5.9 y en los no leguminosos, valores desde 6.0 –5.9 (ver cuadro 25), ambos valores son considerados por Velasco (1991) y Fassbender (1984 a) como un suelo con una acidez media.

Por otra parte tanto en los sistemas leguminosos como en los no leguminosos la acidez determinada con KCl, aumenta a medida que se profundiza el muestreo, obteniéndose en los sistemas leguminosos valores que van desde 5.0 hasta 4.9 grados de acidez, siendo según Reynaert (1968), un cambio no significativo para las plantas y en los sistemas no leguminosos valores desde 5.3 – 4.9 grados de acidez, siendo un suelo medianamente ácido.

La acidez determinada tanto con H₂O como con KCl, en el sistema a pleno sol, es mayor a la acidez obtenida en los sistemas leguminosos y no leguminosos, pero los valores son estables desde la superficie del suelo hasta la máxima profundidad muestreada (113 cm), obteniéndose valores entre 5.6 y 5.7 con H₂O y 4.7 y 4.8 grados de acidez respectivamente (Cuadro 25), siendo este último según Fassbender (1984a) como un suelo fuertemente ácido.

De manera general, el conjunto de estos datos comparados además con Jackson (1970); Bertsch (1987) y Reynaert (1968), están dentro de los rangos promedios que indican que estos valores de acidez tienden a ser un suelo ácido, esto posiblemente debido a la influencia de muchos factores como la humedad, la cantidad de material vegetal en descomposición, la calidad del material vegetal, la velocidad de mineralización de dichos materiales y manejo agronómico y el aporte de fertilizantes sintéticos.

3.4.5. Contenido de fósforo en los suelos de los diferentes sistemas agroforestales.

Las plantas absorben el fósforo en forma de H₂PO₄ , ión que queda disponible al solubilizarse o romperse cualquiera de los compuestos fosfatados. Los equilibrios de reacción llevan a que la mayor parte del fósforo del suelo se encuentre en formas de baja o muy baja disponibilidad. Solo un porcentaje muy bajo (entre 0.1 y 0.3 ppm) se encuentra realmente en solución, plenamente disponible para las plantas y microorganismos (Eira 1992).

Cuando se aportan fertilizantes fosfatados al suelo, la raíz de la planta sólo toma una parte del fósforo el resto es absorbido (retenido en la superficie) por las partículas del suelo. Si la

retención no es fuerte, el fósforo puede pasar a la solución del suelo y cuando el fósforo se introduce al suelo, más del 90 % de él pasa rápidamente a formas solubles, no disponibles. Así gran parte de los fertilizantes fosfatados que se aplican no son utilizados por las plantas si no que se almacenan en el suelo (Tsai Rossetto 1992).

Tras la adsorción inicial, nuevas reacciones conducen a la absorción (asimilación), lo que significa que el vínculo se hace mas fuerte y el fósforo, menos fácilmente aprovechable. La velocidad de esas reacciones y por tanto, la velocidad con que la carencia de fósforo se hace patente dependen mucho del tipo y tamaño de las partículas minerales, de la absorción de otros elementos como el aluminio, el hierro y el calcio, de la acidez del suelo y de la materia orgánica (Borie 1991).

Cuadro 26.- Contenido de fósforo (ppm) obtenidos a diferentes profundidades en los suelo cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Profundidad (cm)		
		0-5	5-15	15-30
Leguminosa + bajo orgánico	1-14	16.33	14.08	12.91
Leguminosa + moderado orgánico	3-9	11.30	9.42	8.46
Leguminosa + moderado químico	5-12	14.91	9.18	8.52
No leguminosa + bajo orgánico	2-13	14.29	8.90	8.13
No leguminosa + moderado orgánico	6-8	13.85	8.50	7.59
No leguminosa + moderado químico	4-11	14.52	8.52	7.48
Pleno sol	7-10	16.05	9.57	7.37

El fósforo orgánico del suelo puede asociarse a la materia orgánica de ese suelo (humus) o a los desechos orgánicos recientemente aportados y procedentes de las plantas o de los animales. Estas moléculas orgánicas no pueden ser directamente utilizadas por las plantas y tienen que ser descompuestas por los microbios del suelo para que se liberen iones de fosfato inorgánico que puedan ser aprovechados por las raíces de las plantas o que puedan intervenir en las mismas reacciones que otros iones de fosfato presentes en los fertilizantes (Boschetti *et al* 2001).

La concentración de fósforo en el suelo para los sistemas evaluados está en una calificación variable de acuerdo a la profundidad del muestreo, obteniéndose el más alto contenido de este

elemento en los sistemas No leguminoso + bajo orgánico, Pleno sol, leguminoso + moderado químico, No leguminoso + moderado químico y No leguminoso + bajo orgánico con 16.33, 16.05, 14.91, 14.52 y 14.29 ppm respectivamente, a una profundidad de 0-5 cm. No así para los sistemas Leguminoso + bajo orgánico, Leguminoso + moderado orgánico y Leguminoso + moderado químico en los cuales la concentración de este elemento fue moderada con un promedio de 8-9.11 ppm (ver cuadro 26).

En las profundidades de 5-15 y 15-30 cm respectivamente, en todos sistemas, los contenidos de este nutriente fueron menores en comparación con los obtenidos en la profundidad de 0 - 5 cm con valores desde 8.5 hasta 14.08 ppm a los 5-15 cm de profundidad y 7.37- 12.91 ppm a los 15-30 cm de profundidad.

Los resultados para este nutriente, posiblemente estén vinculados a que la concentración de fósforo en los residuos orgánicos es usualmente menor que en el tejido microbiano, los microbios respiran CO₂ y retienen el fósforo inmovilizándolo.

IV.- CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este estudio en la zona baja y húmeda del país, comprendida en el departamento de Matagalpa, podemos concluir lo siguiente:

- La explotación cafetalera en el departamento de Matagalpa actualmente se basa en tres variedades, siendo éstas: Catimor, Caturra y Catuaí, las que por sus características de adaptabilidad son las más cultivadas en la zona en estudio. Sin embargo, variedades como Bourbon y Paca también están siendo cultivadas, pero en menor escala. Estas variedades están en condiciones de altitud (m.s.n.m.) adecuadas y mantienen una altura de planta óptima para mantener una producción estable de café.
- La diversidad de especies de sombra encontradas en los sistemas evaluados, es muy bajo pues en la mayoría de los sistemas existe la predominancia de una sola especie como es la Guaba (*Inga sp*) y la población de cafetos por ha⁻¹ presente en los sistemas en estudio fue variable, donde los sistemas no leguminosos + moderado químico, y moderado orgánico y leguminoso + moderado químico fueron los sistemas que presentaron densidades poblacionales por ha⁻¹ cercanas a las adecuadas.
- Los sistemas de las leguminosas, representados principalmente por *Inga sp* y *Musa sp*, presentaron el mayor porcentaje de sombra y el mayor número de árboles por ha⁻¹, en comparación al sistema de las no leguminosas en los cuales se destacaron las especies como el Chaperno (*Lonchicarpus parviflorus*) Laurel (*Cordia alliodora*) y *Mussa sp*.
- Los sistemas de las leguminosas presentaron el mayor contenido de biomasa en peso seco, con un promedio de 4618.15 kg ha⁻¹ en comparación con los sistemas no leguminosos que obtuvieron 2985.17 kg ha⁻¹ y el sistema a pleno sol con 1650.87 kg ha⁻¹.
- Las concentraciones de N, P y K en los componentes de la biomasa del suelo (hoja fina, hoja gruesa y rama) fueron muy variables, presentándose altas concentraciones de N en el componente hoja gruesa y hoja fina en comparación con el componente rama; en el caso del P se encontraron concentraciones similares en los tres componentes. Con respecto al K se encontró en mayores concentraciones en la hoja fina, siendo el N y el K los nutrientes que se encontraron en mayores concentraciones en todos los sistemas comparados con el P que se encontró en cantidades muy bajas en todos los sistemas.

- El horizonte A presentó una textura franco- arcillo limoso (FAL) a franco arcilloso (FA), con una profundidad que varía de 0-43 cm; el horizonte B tiene una textura franco arcilloso (FA); arcillosa (A), hasta franco arcillo limosa (FAL) y el horizonte C la textura varía de franco hasta franco arcilloso y franco arcillo limoso, siendo estos los suelos más adecuados para este cultivo.
- Los suelos de las fincas cafetaleras en estudio son moderadamente profundos siendo estos los suelos aptos para el cultivo del café, pues el horizonte A se encontró entre los 10 a 43 cm de profundidad; el horizonte B a una profundidad entre los 10 y 87 cm donde predominó la presencia de gravas y el horizonte C se encontró a una profundidad de 55.5 y 113 cm donde predominó la presencia de rocas.
- La coloración de los suelos varió de acuerdo a la profundidad de los horizontes, siendo los horizontes A y B similares con colores que variaron de negro a café muy oscuro, indicado por una porción considerable de materia orgánica con tonalidades rojizas y amarillentas en los sistemas leguminosos y no leguminosos químicos y en el horizonte C los colores variaron de café oscuros a rojizos y amarillentos hasta grisáceos.
- Los sistemas de las leguminosas para las tres profundidades muestreadas presentaron las mayores concentraciones de CIC en el suelo, siendo la profundidad de 0-5 cm la más representativa de estos sistemas con valor promedio de 49.95 meq / 100 gramos de suelo, y el sistema a pleno sol presentó la menor concentración con un promedio de 27.3 meq / 100 gramos de suelo.
- Los siete sistemas agroforestales en estudio presentaron un pH en el suelo menor a 6.4 determinado en H₂O y menor a 5.5 determinado en KCl para las tres profundidades, sobresaliendo el sistema a pleno sol con los más altos índices de acidez con valores de hasta 4.7 grados de acidez en estos suelos cafetaleros.
- Los sistemas con no leguminosas presentaron los mayores contenidos de materia orgánica a una profundidad de 0-15 cm en el suelo, con un promedio de 9.47 % y el menor contenido lo presentó el sistema de las leguminosas con un promedio de 7.8 %. Para la profundidad de 15-30 cm fue el sistema con leguminosas el que presentó los mayores

contenidos de materia orgánica en comparación a los demás sistemas con un promedio de 5.87 %.

- El sistema leguminoso + bajo orgánico presentó altos valores de contenidos de fósforo para las tres profundidades muestreadas (0-5, 5-15 y 15-30 cm). En general tanto los sistemas leguminosos como los no leguminosos, presentaron altos contenidos de fósforo con un promedio general de 14.28 ppm en el sistema.
- Los sistemas no leguminosos presentaron los mayores contenidos de N en el suelo a sus tres profundidades, principalmente a la profundidad de 0-5 cm donde se encontró 0.24 % de N, y los sistemas leguminosos presentaron los menores contenidos de este elemento siendo la profundidad de 0-5 cm donde se encontró el mayor porcentaje de N con 0.18 %.

V.- RECOMENDACIONES

1. Motivar a los productores a diversificar más los sistemas de producción con otras especies útiles para sombra de los cafetales como frutales y maderables, para mejorar las condiciones agroclimáticas al cultivo y mitigar la caída de los precios del café con la obtención de productos adicionales como madera, leña y alimentos para las familias productoras.
2. Reducir la densidad poblacional de cafetos por hectárea a una densidad promedio de 3000-3500 plantas para obtener una producción de calidad y que facilite las labores de cosecha sin estresar los cafetos.
3. En cafetales con edades superiores a los 20 años, renovar las plantaciones para obtener mejores rendimientos en el futuro.
4. Que en futuras investigaciones sobre café, se tomen en cuenta variables como la rentabilidad del cultivo, la influencia de la fertilidad en la calidad del grano, el aporte nutricional de las malezas y las especies de sombra fijadoras de nitrógeno en suelos cafetaleros.
5. Reducir las densidades de árboles de sombra / ha a una densidad promedio de 278 árboles con espaciamientos de 6 x 6 m y realizarles podas dos veces por año (dependiendo de la especie que se utilice), preferentemente en el mes de enero después de la cosecha del café y en julio antes del inicio de la maduración de la cosecha.
6. Divulgar los resultados de este estudio por métodos apropiados para que los productores cafetaleros y población en general tomen en cuenta la importancia que tiene este estudio y los aportes que estamos haciendo al conocimiento técnico sobre las características físicas y químicas del suelo de los cafetales.
7. Combinar en los sistemas el uso de especies de leguminosas y maderables en el cultivo de café para mejorar y diversificar los ingresos de las fincas cafetaleras.

VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROINRA. 1980. Libro práctico para cultivar café. 126 p.
- Alegre, J; Arévalo, L, Gusmán, W, Rao, M. 2000. Barbechos mejorados para intensificar el uso de la tierra en los trópicos húmedos Perú. 7: 27.
- ANACAFE. 1999. Manual de la caficultura orgánica. Guatemala. Asociación Nacional de café. 159 p.
- Anon. 1999. Enciclopedia de la agricultura y la ganadería. Edit. Océano/ Centrun . Barcelona , España. 1023 p
- Ardón G, J. 1970. Variedades de café existentes en la zona norte. Estelí, Nicaragua. 28 p.
- Ávila V. J. (1998). Acidez del suelo. Turrialba Costa Rica. 29 p.
- Bález Mejía J y Corrales Rodríguez M, 1997. Análisis de rentabilidad económica de sistemas agroforestales. Managua Nicaragua. 102 p.
- Babor, J.A, y J. Ibarz Aznarez. 1993. Química General Moderna. Marín, Barcelona. 144 p.
- Barradas V. L ; Fajul L .1986. Microclimatic charecterization of shaded and open –grown coffe (*coffe arabica L.*) Plantation mexico . Agric. for. meteorol. 38:101-112.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E.1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry systems 38:139-164 pag.
- Beer, J. 1997. Café bajo sombra en América Central. ¿Hace falta mas investigación sobre este sistema agroforestal exitoso?. Agroforesteria en las Américas, 4 (13): 4-5.
- Beer, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa and tea. Agroforestrty Systems, 5:3-13
- Bertsch F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 120 p.
- Borie, F. 1991. Microbiología del fósforo. En Jornadas de Fertilidad de Suelos en Cero Labranza. Sociedad de Conservación de Suelos de Chile e INIA, Concepción, Chile. 228 p.

- Boschetti, N.G.; Quintero C.E.; Benavidez, R.A. Giuffre, L. 2001. Destino del fósforo proveniente de diferentes fuentes de fertilizante fosfatado en suelos de la provincia de Entre Ríos. Revista Científica Agropecuaria, FCA, UNER. 5: 23 – 30.
- Borem, A. (1999) Hibridación Artificial de Plantas. Vicoso: Editora UFV, Sau Pablo, Brasil. 546p.IICA, 2003. Estudio de la cadena de comercialización del café. Managua, Nicaragua. 169 p.
- Blanco M. 1983. Cultivos industriales. Managua, Nicaragua. 182 p.
- Blanco N y Pérez P. (1983). Cultivos industriales. Managua, Nicaragua. Pág. 1 – 28.
- Cairo P. 1980. Suelos. Editorial Pueblo y Educación. La Habana , Cuba. 367 Pág.
- Castillo S. 1998. Diagnóstico del café y su impacto en el medio ambiente. Managua, Nicaragua. 54 p.
- Carvajal, JF. 1984. Cafeto; cultivo y fertilización. Berna, Suiza. Instituto de la potasa. 254 Pág.
- Castro J y Téllez W. 1998. El caficultor (Núm. 20, Septiembre). Managua, Nicaragua. 120 p.
- Clarkson, D.T. y J.B. Hanson. 1980. The mineral nutrition of higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 31:239-298.
- Defoer, T; Budelman, A, Toulmin, C; Carter, SE. 2000. Building common knowledge. Participatory learning and action research (part 1).In Defoer, T; Budelman, A.(eds). Managing soil fertility in the tropics. A Resource Guide for partipatory learning and action research. Amstendam, The Netherlands. Royal Tropical Institute. 208 p.
- Duchaufour philippe y Soucher B. 1984.Edafogénesis y clasificación. Editorial Masson . Barcelona .493 Pág. .
- Eira, F. 1992. Solubilización microbiana de fosfatos. En Microbiología de suelos. Sociedad Brasileña de Ciencia del suelo. Campinas, Brasil. 62 p.
- Enriques, G, A. 1984. Ecofisiología del cultivo del café. ANACAFE. Lima, Perú. 254 p.

- Fassbender W. 1984a. Química de suelo, con énfasis en suelos de América Latina .Instituto de Cooperación para la Agricultura .4ª reimpresión .San José ,Costa Rica. 385 p
- Fassbender W. 1987.Modelos edafológicos de sistemas agroforestales .Turrialba, Costa Rica. 484 p.
- Fernández R y Morales M. 2003. Ecología para la agricultura. Mundiprensa. México. 223 Pág.
- Fitzpatrick, E. A. 1987. Suelos, su formación, clasificación y distribución. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México, DF. 423 p.
- Fischersworing H, B; Ro Bkamp R., R .2001.Guía para la caficultura ecológica. 3ed. Lima, Perú, GTZ. 153 p.
- Fuentes L .J.1994. El suelo y los fertilizantes. Ediciones MUNDI-PRENSA - Madrid, España. 4ta edición. 327 p.
- Gagnon D, 1979. El Machete verde. Manual campesino. Managua Nicaragua. 5 Pág.
- García J. 1982. Edafología y fertilización agrícola .Editorial AEDOS. Barcelona, España. 241 Pág.
- Galloway, G; Beer ,J.1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en América Central. Turrialba, Costa Rica .CATIE.168 p. (Serie técnica. INFORME TÉCNICO N 18. 128 p.
- Garriz, P, L y Vicuna, R. 1990. Variaciones anuales en el crecimiento vegetativo y la arquitectura de canopea de *coffea arabica* l, Variedad Caturra rojo. San José, Costa Rica. 30 p.
- Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor. Manual de Agroforestería para el desarrollo rural. Vol. 1. Principios y técnicas. Costa Rica, ENDA CARIBE / CATIE. 337 P.
- Gómez, A.1977. "Posibles consecuencias que dejará la roya del cafeto en Nicaragua" in: Blanco, M. y Baylon, M. "Albores de la Caficultura de Nicaragua. 133 p.
- Gutiérrez F. 1998. El caficultor (Núm. 21, Octubre). Managua, Nicaragua. 28 p.

- Hernández Gil, R. 1989. Nutrición Mineral. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida. 81 p.
- Henin S. *et al* .1972. El perfil cultural, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ediciones Mundi –prensa. Madrid, España. 235 Pág.
- IICA, 2003. Estudio de la cadena de comercialización del café. Managua, Nicaragua. 169 p.
- ICAFE. 2004. Boletín informativo. Renovación de cafetales. Oficina Regional Turrialba. Abril 2004 Cartago, Costa Rica. Pág. 1.
- Instituto cubano del libro.1976.Introducción al estudio de suelos y fertilizantes .Primera edición .Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba .67 Pág.
- Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos. (INEC) 2001. Tercer Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) CD Room. 224 p.
- INTA 1978. Cultivos industriales. Managua, Nicaragua. 128p.
- INTA-FAO.1997. Sombra de café orgánico . Managua, Nicaragua. 24 p.
- Jackson M. 1970. Análisis químico de suelos. Universidad de Valencia La Habana, Cuba. 28 p.
- Jiménez A. 1982. Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero. INIREB, Xalapa, Veracruz, México. 126 p.
- Kogel-Knabner. ,I. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic mater. *Soil Biology & Biochemistry*.34:139-162
- Kumar, D.Tieszen, LL.1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I effects of light and temperature. *Experimental Agriculture*, Pág. 16-13-19.
- Levy, Paúl. 1871."Notas geográficas y económicas sobre la República de Nicaragua". In: Blanco, M. y Baylon, M. "Albores de la Caficultura de Nicaragua. 26 p.
- Likimer M ,Muschler R ,Benjamín T ,Harrey C.2002. Árboles nativos para diversificar cafetales en la zona atlántica de Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*, 9: 35-36.
- Lingbaeck, A; Muscherl, R; Sinclair, F.1999. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in costa rica. *agroforestry systems* 53:205-213.

- López, A; Orozco, L; Somarriba, E; Bonilla, G. 2003. Tipologías y manejo de fincas cafetaleras en los municipios de San Ramón y Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 10: 37-38.
- Lyon L.y Buchman H.1952. Edafología naturaleza y propiedades del suelo. Traducido por Victors Nicollier .Segunda edición. Argentina, Buenos Aires .479 Pág.
- MAGFOR . 1996. Variedades e híbridos recomendados en los cultivos de granos básicos, oleaginosas, forrajeras, café, hortícola para el ciclo agrícola 1995/1996. Managua, Nicaragua. 28 p.
- Malavolta, E. 1992.(a) Fertilización del café en: Memoria del seminario de fertilización y nutrición del café, ANACAFE-USAID-PPIC. p. 43-57.
- Marín, E. 1999. Estudio agro ecológico y su aplicación al desarrollo productivo agropecuario, región IV. Informe final. Ordenamiento productivo agropecuario. Managua, Nicaragua 240 p.
- Mela M. P. 1963. Tratado de la edafología y sus distintas aplicaciones. Ediciones Zaragoza. 582 Pág.
- Millar C. E. y Turk C. M. 1961. Fundamentos de la ciencia de suelo compañía. Editorial continental. México D F.612 Pág.
- Montagnini, F. y Buschbacher, R. 1999. Nitrification rates in two undisturbed tropical rain forest and three slash- and burn sites of The Venezuela Amazon. *Biotropica* 21(1): 9-14.
- Molina J. 2001. El café en la Nicaragua del siglo XIX. Una contribución documental. Escuela de Historia. Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 125 p.
- Mourelle A. *Et al* 2000. "Reserva hídrica atmosférica de la selva misionera: un recurso natural que debemos preservar". 1^{ra} Ed. Buenos Aires, Argentina. 54 p.
- Muschler R. 2000. Árboles en cafetales .Materiales de enseñanza /CATIE. no 45. CATIE. Turrialba, Costa Rica . 139 p.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba Costa Rica. Proyecto Agroforestal CATIE/ GTZ. Materiales de enseñanza CATIE. N^o. 45. 139 P

- Muschler, R, 1997. Efectos de la sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor. IN XVIII. Simposio latinoamericano de caficultura. San José, Costa Rica. 157-161 Pág.
- Núñez, S. 1985. Fundamentos de Edafología. 2^{da} Ed. San José Costa Rica. 185 p.
- Ortega E. 1978. Química de suelo. Patenac AC. Chapingo, México .152 Pág.
- Pinto, L; Perfecto, I; Castillo, J; Caballero, J. 2002. Shade effect on coffe plantation at the northern tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. Agriculture, ecosystem and evionment, 80: 61-69
- Porta C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-prensa. 2^{da} Ed. Madrid España. 849 p.
- Porta C. 1993. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-prensa. Madrid, España. 807 p.
- Pritchett, L.W. 1986. Suelos forestales. Editorial Limusa, S.A de C.V. 1^{ra} Ed. Mexico, DF. 633 p.
- Rena, A. B, Barros R.S; Maestri, m; m Sandall, m 1994. Coffee. In Shaffer, B. Anderson, Pceds. Handbook of environmental physiology of fruits cops. V 2. Subtropical and tropical crops CRC Press. Pag: 101-122.
- Reynaert E. 1968. La investigación de la fertilidad de los suelos para la producción agrícola en las zonas templadas. FAO / IICA. Uruguay. 132 p.
- Reanold .j. Palmer , A, Lockhart J, Mac Gregor, A. 1993. Soil quality and financial performance ef bio- dynamic and conventional farms in new Zealand. Science, 260: 344 - 349.
- Rodríguez, Carlos. 1990. *Inga vera* Willd. Guaba. SO-ITF-SM-39. New Orleans, LA: U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 4 p.
- Salmeron F y Centeno L 1994. Fertilidad y fertilización de suelos. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 89 p.
- Sánchez, P.A. 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. Editorial IICA. 86 p.

- Simon M. 1999. Encuentro sobre producción de café con calidad, Suprema Gráfica y Editora LTDA, Sau Pablo, Brasil. 259p.
- Sommer, K. 1978. Use of radioisotopes in agriculture. Report to the government of Costa Rica. International Atomic Agency-TA. Report 1360. 26 p.
- Somarriba E .2002 . Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. Agroforestería de las Américas, Vol.9 N° 35-36 13 Pág.
- Somarriba, B; Beer, J. 1986. Dimensiones, volumen y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. CATIE, Serie técnica. Boletín técnico N° 16-23 Pág.
- Somarriba E. Beer J y Muchler R . 2000. Problemas y soluciones metodológicas en la investigación agroforestal con café y cacao en CATIE. Turrialba Costa Rica. 171 p.
- Suárez Pascua D .A , 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yasica Sur, Matagalpa, Nicaragua, 117 p.
- Tavares, FC; Beer J; Jiménez, F; Schroth, G; Fonseca, C. 1999. Experiencia de agricultores de Costa Rica con la introducción de árboles maderables en plantaciones de café. Agroforestería en las Américas, 6 (23): 17-20.
- Tsai, M. y R. Rossetto. 1992. Transformaciones microbianas de fósforo. En Microbiología del Suelo. Sociedad Brasileña de Ciencia del Suelo. Campinas, Brasil. 56 p.
- UNICAFE. 1996. "Manual de caficultura de Nicaragua". Managua, Nicaragua. 242 pp.
- Velasco H. 1991. Uso y manejo de los suelos. Estudios de campo. Determinaciones físicas y químicas. Prácticas de recuperación y manejo. México D.F. 84 p.
- Viera, CJ; Kopsell, E; Beer, J; Lok, R; Calvo, G. 1999. Incentivos financieros para establecer y manejar árboles maderables en cafetales. Agroforestería en las Américas 6 (23): 21-13.
- Waring R.H., Schlesinger W.H. 1985. Forest Ecosystems: Concepts and Management. Academic Press, New York. 52 p.
- Willey, RW. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. Horticultural Abstracts 45 (12) : 791-798.
- Wooding R., G. 1967. Los suelos, su origen, constitución y clasificación e introducción a la edafología. Trad por Dr. Luis Amorós Ediciones Omega, Barcelona 512 Pág.

- Yépez C. Muchler R. Benjamín T y Musalem M. 2003. Selección de especies para sombra en cafetales diversificados de Chiapas, México. 123 p.
- Yépez C. 2001. Selección de árboles para sombra en cafetales diversificados de Chiapas. Tesis Mag. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 88p.
- Zelaya Urbina F. G, 2000. Manejo de la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo del café (*Coffea arabica* L), en dos años consecutivos. Managua Nicaragua, 50 p.

VII.- ANEXOS

Anexo 1.- Cantidad de N (kg ha⁻¹) en la biomasa de los residuos vegetales en calle e hilera del cafetal.

Sistema	Cafetal	Posición	Componentes			Total
			Hoja fina	Hoja gruesa	Ramas	
Leguminoso + bajo orgánico	1 y 14	Calle	41.38	35.68	21.02	98.08
		Hilera	34.80	49.12	25.06	108.98
Leguminoso + moderado orgánico	3 y 9	Calle	43.96	54.33	32.06	130.35
		Hilera	43.76	52.43	24.07	120.26
Leguminoso + moderado químico	5 y 12	Calle	52.68	58.69	11.80	123.17
		Hilera	46.95	71.85	14.23	133.03
No leguminoso + bajo orgánico	2 y 13	Calle	25.79	598.25	7.37	631.41
		Hilera	19.25	672.54	18.51	710.3
No leguminoso + moderado orgánico	6 y 8	Calle	15.45	36.88	29.38	81.71
		Hilera	10.48	42.67	42.64	95.79
No leguminoso + moderado químico	4 y 11	Calle	28.27	14.40	15.69	58.36
		Hilera	26.42	21.12	20.49	68.03
Pleno sol	7 y 10	Calle	3.50	11.70	9.64	24.84
		Hilera	8.88	25.21	12.06	46.15

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 2.- Cantidad de P (kg ha⁻¹) en la biomasa de los residuos vegetales en calle e hilera del cafetal.

Sistema	Cafetal	Posición	Componentes			Total
			Hoja fina	Hoja gruesa	Ramas	
Leguminoso + bajo orgánico	1 y 14	Calle	2.80	1.25	1.043	5.093
		Hilera	1.47	1.36	1.08	3.91
Leguminoso + moderado orgánico	3 y 9	Calle	2.10	0.27	0.80	3.17
		Hilera	2.03	0.21	1.10	3.34
Leguminoso + moderado químico	5 y 12	Calle	2.19	0.12	0.01	2.32
		Hilera	1.01	0.18	0.02	1.21
No leguminoso + bajo orgánico	2 y 13	Calle	0.13	0.12	0.07	0.32
		Hilera	0.12	0.13	0.05	0.3
No leguminoso + moderado orgánico	6 y 8	Calle	0.57	1.03	0.07	1.67
		Hilera	0.53	1.08	0.09	1.7
No leguminoso + moderado químico	4 y 11	Calle	0.64	0.36	0.36	1.36
		Hilera	0.63	0.64	0.39	1.66
Pleno sol	7 y 10	Calle	0	0.33	0.04	0.37
		Hilera	0.24	0.94	0.05	1.23

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 3.- Cantidad de K (kg ha⁻¹) en la biomasa de los residuos vegetales en calle e hilera del cafetal.

Sistema	Cafeta I	Posición	Componentes			Total
			Hoja fina	Hoja gruesa	Ramas	
Leguminoso + bajo orgánico	1 y 14	Calle	3.26	5.53	1.94	10.73
		Hilera	3.32	6.92	2.55	12.79
Leguminoso + moderado orgánico	3 y 9	Calle	20.72	9.94	3.21	33.87
		Hilera	20.26	10.08	3.83	34.17
Leguminoso + moderado químico	5 y 12	Calle	6.64	6.72	2.45	15.81
		Hilera	5.66	8.41	2.71	16.78
No leguminoso + bajo orgánico	2 y 13	Calle	14.49	7.37	5.50	27.36
		Hilera	13.51	7.97	4.15	25.63
No leguminoso + moderado orgánico	6 y 8	Calle	4.06	17.46	11.35	32.87
		Hilera	2.96	23.55	11.77	38.28
No leguminoso + moderado químico	4 y 11	Calle	6.53	8.07	6.21	20.81
		Hilera	6.94	10.12	7.37	24.43
Pleno sol	7 y 10	Calle	1.15	6.48	2.69	10.32
		Hilera	3.76	16.41	2.80	22.97

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 4.-Concentración (%) de N, P y K en los componentes hoja fina, hoja gruesa y rama.

Sistema	Componente	Concentración (%) de nutrientes en la biomasa		
		N	P	K
Leguminosa + bajo orgánico	Hoja fina	3.30	0.07	0.37
	Hoja gruesa	3.97	0.21	0.49
	Rama	2.62	0.08	0.26
Leguminosa + moderado orgánico	Hoja fina	1.81	0.05	0.57
	Hoja gruesa	2.64	0.02	0.45
	Rama	2.02	0.06	0.25
Leguminosa + moderado químico	Hoja fina	2.03	0.05	0.21
	Hoja gruesa	2.55	0.01	0.33
	Rama	1.55	0.01	0.30
No leguminosa + bajo orgánico	Hoja fina	4.35	0.06	5.85
	Hoja gruesa	3.01	0.02	0.86
	Rama	1.96	0.01	0.49
No leguminosa + moderado orgánico	Hoja fina	2.05	0.12	0.66
	Hoja gruesa	2.49	0.09	1.17
	Rama	1.95	0.01	0.79
No leguminosa + moderado químico	Hoja fina	2.68	0.06	0.83
	Hoja gruesa	1.77	0.04	0.82
	Rama	1.18	0.04	0.64
Pleno sol	Hoja fina	2.07	0.06	0.68
	Hoja gruesa	2.57	0.07	1.75
	Rama	2.48	0.02	0.73

Anexo 5.- Cantidad (kg ha⁻¹) de N, P y K en la biomasa de los residuos vegetales.

Sistema agroforestal	Cantidad de elementos minerales en el mantillo en kg /ha ⁻¹		
	N	P	K
Leguminosa + bajo orgánico	131.53	4.95	15.06
Leguminosa + moderado orgánico	66.6	0.55	39.39
Leguminosa + moderado químico	126.13	2.51	26.47
No leguminosa + bajo orgánico	53.79	1.31	21.59
No leguminosa + moderado orgánico	93.34	0.91	12.28
No leguminosa + moderado químico	82.04	2.14	34.56
Pleno sol	40.07	0.87	19.79

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 6.- Textura de los horizontes de los suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Horizontes y su profundidad (cm) encontradas		
		A	B	C
Leguminoso + bajo orgánico	1	A, FAL.	A, AL.	A, FA
	14	FL	FAL	FA
No Leguminoso + bajo orgánico	2	FA	A, FAL	A
	13	FL	A, FAL.	A
Leguminoso + moderado orgánico	3	F A		
	9	FAL	A	A
No leguminoso + moderado químico	4	F, FA	FA	A
	11	FAL	FAL,AL	AL, A
Leguminoso + moderado químico	5	FA	A, FA	A
	12	FAL	A	A
No leguminoso + moderado orgánico	6	FA	A	A
	8	FA	A	A
Pleno sol	7	FAL	FAL, A	A
	10	FA	FA, A	A

Anexo 7.– Profundidad de los horizontes de los suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Horizontes y su profundidad (cm) encontradas		
		A	B	C
Leguminoso + bajo orgánico	1	0-42	42-72	72-75
	14	0-10	10-26	26-65
No Leguminoso + bajo orgánico	2	0-26	26-72	7-87
	13	0-20	20-34	34-79
Leguminoso + moderado orgánico	3	0-20		
	9	0-22	22-37	37-56
No leguminoso + químico	4	0-30	30-87	87-115
	11	0-27	27-57	57-110
Leguminoso + moderado químico	5	0-24	24-71	71-113
	12	0-16	16-44	44-80
No leguminoso + moderado orgánico	6	0-43	43-75	75-96
	8	0-30	30-74	74-112
Pleno sol	7	0-28	28-49	49-108
	10	0-20	20-67	67-108

Anexo 8.– Contenido de Materia Orgánica (%) obtenidos en calle e hilera a tres profundidades de suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Profundidades (cm)			Total
		A (0-5)	B (5-15)	C (15-30)	
Leguminoso + bajo orgánico	1	8.185	7.845	6.375	7.46
	14	7.825	6.64	7.19	7.21
Leguminoso + moderado orgánico	3	9.83	7.735	5.495	7.68
	9	9.51	6.37	5.325	7.06
Leguminoso + moderado químico	5	9.97	7.385	6.515	7.95
	12	8.255	3.86	4.405	5.50
No leguminoso + bajo orgánico	2	10.245	6.6	4.25	7.03
	13	11.3	6.555	5.19	7.68
No leguminoso + moderado orgánico	6	12.145	9.045	5.66	8.95
	8	9.095	5.545	4.86	6.5
No leguminoso + moderado químico	4	8.95	6.055	6.79	7.26
	11	18.56	9.54	6.165	11.42
Pleno sol	7	10.09	7.07	5.52	7.56
	10	10.335	7.52	6.225	8.02

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 9. Contenidos de materia orgánica (%) en los suelos (Fassbender 1987).

Consideraciones	Contenidos en %.
Bajos en materia orgánica	< 2.00
Medios en materia orgánica	2.1-4
Altos en materia orgánica	4.1-10
Muy altos en materia orgánica	> 10

Anexo 10.– Capacidad de intercambio catiónico (meq 100g de suelo) obtenidos en calle e hilera a tres profundidades de los suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Profundidades (cm)			Total
		A (0-5)	B (5-15)	C (15-30)	
Leguminoso + bajo orgánico	1	69.175	63.75	62.19	65.03
	14	30.73	28.435	27.5	28.88
Leguminoso + moderado orgánico	3	28.45	22.695	21.02	24.05
	9	29.095	24.545	23.51	25.71
Leguminoso + moderado químico	5	38.655	32.855	29.245	33.58
	12	37.67	36.79	37.46	37.30
No leguminoso + bajo orgánico	2	31.99	30.1	28.95	30.34
	13	28.09	20.85	18.32	22.42
No leguminoso + moderado orgánico	6	50.775	41.045	31.585	41.13
	8	35.8	28.74	26.535	30.35
No leguminoso + moderado químico	4	37.395	35.63	31.305	34.77
	11	36.685	26.41	21.015	28.03
Pleno sol	7	25.7	23.375	20.745	23.27
	10	36.24	30.73	27.05	31.34

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 11.- Valores medios de Capacidad de Intercambio Catiónico (meq / 100 g de suelo) según el contenido en el suelo y tipo de textura (Bertsch 1987; Reynaert 1968; Salmerón y Centeno 1994 y Fuentes 1994).

CIC	Calificación	Textura	CIC
0-20	Baja	Arenoso	10
20-30	Media	Franco	15
30-40	Moderadamente alta	Arcilloso	20
40-50	Alta	Arcillosos + MO	>30

Anexo 12.- Contenido de nitrógeno disponible (%) obtenidos en calle e hilera a tres profundidades en suelos cafetaleros

Sistema	Cafetal	Profundidades (cm)			Total
		A (0-5)	B (5-15)	C (15-30)	
Leguminoso + bajo orgánico	1	0.16	0.075	0.04	0.09
	14	0.155	0.0665	0.045	0.08
Leguminoso + moderado orgánico	3	0.19	0.07	0.03	0.09
	9	0.185	0.06	0.035	0.09
Leguminoso + moderado químico	5	0.195	0.07	0.04	0.10
	12	0.165	0.035	0.025	0.09
No leguminoso + bajo orgánico	2	0.205	0.065	0.025	0.09
	13	0.225	0.065	0.035	0.09
No leguminoso + moderado orgánico	6	0.24	0.09	0.035	0.09
	8	0.175	0.05	0.025	0.09
No leguminoso + moderado químico	4	0.18	0.055	0.045	0.09
	11	0.37	0.095	0.04	0.09
Pleno sol	7	0.2	0.065	0.035	0.09
	10	0.205	0.075	0.04	0.09

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 13. Valores porcentuales de Nitrógeno en los suelos (Fuentes 1994).

Nitrógeno	Interpretación
0-0.05	Muy bajo
0.06-0.10	Bajo
0.11-0.20	Normal
0.21-0.40	Alto
Mayores de 0.41	Muy alto

Anexo 14.– Contenido de fósforo disponible (ppm / 100 g de suelo) obtenidos en calle e hilera a tres profundidades de los suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Profundidades (cm)			Total
		A (0-5)	B (5-15)	C (15-30)	
Leguminoso + bajo orgánico	1	24.995	23.945	20.33	23.09
	14	7.68	4.215	5.495	5.79
Leguminoso + moderado orgánico	3	5.615	4.15	3.01	4.25
	9	1.915	0.73	0.58	1.07
Leguminoso + moderado químico	5	16.81	4.595	3.895	8.43
	12	34.68	12.33	13.545	20.18
No leguminoso + bajo orgánico	2	14.16	8.78	7.76	10.23
	13	8.8	6.48	4.995	6.75
No leguminoso + moderado orgánico	6	13.995	9.195	5.415	9.53
No leguminoso + moderado químico	4	36.915	17.33	13.33	22.525
	11	2.18	0	0	0.72
Pleno sol	7	10.08	3.345	2.23	5.21
	10	49.68	34.76	10.645	31.69

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 15.- Concentraciones normales de Fósforo (ppm) en los suelos de Nicaragua INTA /
FAO (1997).

Nivel de P (ppm) en el suelo	Calificación
< 3.0	Muy bajo
3.0-6.0	Bajo
6.0-9.0	Moderado
9.0-12.0	Moderadamente alto
>12.0	Alto

Anexo 16.- Valores de acidez (pH H₂O y KCl) de los suelos en calle e hilera a tres profundidades en los suelos cafetaleros.

Sistema	Cafetal	Profundidades (cm)					
		0-5		5-15		15-30	
		H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl
Leguminoso + bajo orgánico	1	6.495	5.655	6.525	5.495	6.595	5.41
	14	6.285	5.165	6.205	4.93	6.275	4.87
Leguminoso + moderado orgánico	3	5.825	5.29	5.705	5.1	5.7	5.05
	9	5.77	4.96	5.905	4.88	6.04	5.08
Leguminoso + moderado químico	5	5.24	4.555	5.3	4.425	5.36	4.46
	12	5.295	4.47	5.73	4.61	5.895	4.605
No leguminoso + bajo orgánico	2	5.925	5.355	5.77	5.055	5.795	4.925
	13	6.065	5.16	5.94	4.88	5.945	4.795
No leguminoso + moderado orgánico	6	6.265	5.65	6.215	5.48	6.3	5.395
	8	6.34	5.455	6.25	5.175	6.325	5.11
No leguminoso + moderado químico	4	5.43	4.83	5.27	4.54	5.32	4.5
	11	6.165	5.49	6.18	5.23	6.155	5.065
Pleno sol	7	5.545	4.84	5.62	4.815	5.71	4.685
	10	5.65	4.63	5.71	4.73	5.585	4.685

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNA.

Anexo 17.- Clasificación de los suelos de acuerdo a su pH determinado en KCl y agua
(Fassbender 1984).

pH en KCl	Calidad de suelo	pH en agua	Calidad de suelo
Extremadamente ácido	< 4.0	Muy ácida	< 5.5
Fuertemente ácido	4.0-4.9	Acidez media	5.5-6.0
Medianamente ácido	5.0-5.9	Acidez débil	6.0-6.5
Ligeramente ácido	6.0-6.9	Acidez muy débil	6.5-7.0
Neutro	7.0	Neutro	7.0
Ligeramente alcalino	7.0-8.0	Alcalinidad muy débil	7.0-7.5
Moderadamente alcalino	8.1-9.0	Alcalinidad débil	7.5-8
Fuertemente alcalino	9.1-10	Alcalinidad media	8.0-8.5
Extremadamente alcalino	10.1	Muy alcalino	8.5