

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE



TRABAJO DE DIPLOMA

**PRODUCCIÓN, DESCOMPOSICIÓN Y LIBERACIÓN DE NUTRIENTES
DE LA HOJARASCA BAJO CAFÉ A PLENO SOL Y CON SOMBRA DE
Gliricidia sepium (Jacq) EN CARAZO, NICARAGUA**

Autores:

Br. Danilo Antonio Pérez Flores

Br. Otoniel de Jesús Soza Álvarez

Asesores:

Ing. Msc. Rodolfo Munguía

Ing. Msc. Glenda Bonilla

Managua, Nicaragua, 2006

DEDICATORIA

¡AL SANTÍSIMO PADRE NUESTRO: creador, redentor, consolador y salvador nuestro que estás en los cielos!

A la mujer que me dio a luz, mi madrecita querida, Elsa Flores, por su apoyo incondicional y su amor eterno, a mi padre Santos Pérez, por su aprecio.

A mis queridos hermanos: Francisco, Carlos, Inés y muy en especial a mi hermano Santos José Pérez Flores por su apoyo ilimitado en mi carrera y a mi hermana Liliam Pérez Flores por su ayuda, aprecio y consejos.

A mis sobrinos que he visto crecer con mucho amor: Wilnstor Pérez, Norlan Rodríguez y Jason Pérez.

A mi mejor amiga en este mundo, Ruth Bautista Gómez, con todo mi amor.

A la Orden de Hermanos Menores Capuchinos.

PAX ET BONUM

Danilo Antonio Pérez Flores

DEDICATORIA

ALTÍSIMO, OMNIPOTENTE Y BUEN SEÑOR, a Ti loor y gloria, honor y toda bendición.

A mis padres, Melba Alvarez y Alejandro Soza, con profundo orgullo, como tributo a sus sacrificios y esperanzas.

A mis queridos hermanos: Elgécida, Melba, Alex y Erick, por creer siempre en mí, apoyarme y estar conmigo en todo momento.

A mis sobrinos: Leana Sofía, Odalys, Mariángeles, Alexa, José y David, para los que quiero ser un ejemplo a seguir en la vida.

A mi abuela Elgésida Castillo y mi tía Isabel, con cariño.

A la Orden de Hermanos Menores, con mucho afecto.

Otoniel de Jesús Soza Álvarez

AGRADECIMIENTO

Al proyecto Sistemas Agroforestales de café en Centroamérica (UNA/CASCA), financiado por la Unión Europea (INCO-DEV: ICA-CT-2001-10071) a través del pueblo de Francia, que apoyó en la realización de este estudio, en especial al coordinador general Ph. D. Phillipe Vaast.

A Inversiones Generales S. A. por habernos permitido establecer el ensayo experimental en su propiedad, especialmente al Ingeniero Enrique Quiñónez, administrador de la finca San Francisco.

Al Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández, Profesor Titular de la Facultad de Agronomía, asesor de esta investigación, por brindarnos su tiempo y compartir sus conocimientos, muchas gracias.

A la Ing. MSc. Glenda Bonilla Zúñiga, Profesora Titular de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, asesora de esta investigación, por proponernos este tema de investigación y su acompañamiento hasta el final, nuestros sinceros agradecimientos.

A los docentes de la Universidad Nacional Agraria, que durante estos años contribuyeron a nuestra formación profesional.

A la Dirección de Servicios Estudiantiles, de la Universidad Nacional Agraria, en especial a la Licenciada Idalia Casco, por su aprecio y apoyo permanente.

INDICE GENERAL

Contenido	Página
DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE GENERAL	iv
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE GRAFICOS	ix
INDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. <i>Gliricidia sepium</i>	4
2.1.1. Botánica	4
2.1.2. Ecología	5
2.1.3. Manejo en Sistemas Agroforestales	5
2.2. El café (<i>Coffea arabica</i> L.)	6
2.2.1. Variedad Costa Rica 95	6
2.3. Los sistemas agroforestales	9
2.3.1. La mejora productiva de los sistemas agroforestales	9
2.3.2. Beneficio de los árboles en los sistemas agroforestales	9
2.3.3. Flujo de nutrientes y energía en los ecosistemas edáficos	11
2.3.4. Producción, calidad y descomposición de la hojarasca	12
2.3.5. El reciclaje de nutrientes en la agroforestería	13

Contenido	Página
III. MATERIALES Y METODOS	15
3.1. Localización y características del sitio	15
3.2. Descripción del área experimental y muestreos	17
3.3. Monitoreo de la caída de hojarasca del sistema agroforestal	18
3.3.1. Procedimiento de muestreo de la caída natural	19
3.3.2. Obtención del material vegetal	19
3.4. Litterbags o bolsas de descomposición	19
3.4.1. Muestreo de bolsas de descomposición	20
3.5. Análisis del material vegetal recolectado por trampas	21
3.6. Análisis de los datos	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	23
4.1. Monitoreo de la caída natural de hojarasca	23
4.1.1.- Parcela de café a plena exposición solar (Psol)	23
4.1.2.- Parcela de café con sombra de <i>G. sepium</i> y fertilizada (PCF)	26
4.1.3.- Parcela de café con sombra de <i>G. sepium</i> y sin fertilización (PSF)	27
4.2.- Concentración N y K en los residuos vegetales capturados	29
4.2.1- Cantidades de N y K en los residuos capturados en la parcela a plena exposición solar	30
4.2.2. Cantidades de N y K en los residuos capturados en la parcela de café y con sombra de <i>G. sepium</i> y fertilizada	31
4.2.3.- Cantidades de N y K en los residuos capturados en la parcela con sombra de <i>G. sepium</i> y sin aplicación de fertilizantes	33
4.3.- Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca	35
4.3.1.- Tasas de descomposición de la hojarasca	35

Contenido	Página
4.3.2.- Tasas de liberación de nutrientes en la hojarasca	38
V. CONCLUSIONES	42
VI RECOMENDACIONES	43
VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	44
VIII ANEXOS	51

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Características Agroproductivas de la variedad Costa Rica 95.	8
2	Características físicas y químicas del suelo en la finca San Francisco, Carazo.	17
3	Dinámica de la caída natural de residuos (kg ha^{-1}) de café durante el año 2004, en la parcela a plena exposición solar en la finca San Francisco, Carazo.	24
4	Dinámica de la caída natural de residuos (kg ha^{-1}) de café y madero negro durante 2004, en la parcela con fertilización (PCF) en la finca san Francisco, Carazo.	27
5	Dinámica de la caída natural de residuos (kg ha^{-1}) de café y madero negro durante 2004 en la parcela sin fertilización (PSF) en la finca san Francisco, Carazo.	28
6	Contenido de nitrógeno en la hojarasca de café en el tratamiento a plena exposición solar, en la finca San Francisco, Carazo	30
7	Contenido de potasio en la hojarasca de café en el tratamiento a plena exposición solar, en la finca San Francisco, Carazo	31
8	Contenido de nitrógeno en la hojarasca de la parcela de café y sombra de madero negro + fertilización, en la finca San francisco, Carazo.	32
9	Contenido de potasio en la hojarasca de la parcela de café y sombra de madero negro + fertilización, en la finca San francisco, Carazo	33

Cuadro	Título	Página
10	Contenido de nitrógeno en la hojarasca de la parcela de café y sombra de madero negro + sin fertilización, en la finca San francisco, Carazo.	34
1	Contenido de potasio en la hojarasca de la parcela de café y sombra de madero negro + sin fertilización, en la finca San francisco, Carazo.	35

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico	Título	Página
1	Ubicación de las parcelas experimentales, Finca San Francisco, Carazo.	15
2	Comportamiento de la precipitación y temperatura durante el 2004. Estación Meteorológica Finca San Francisco, Carazo.	16
3	Trampa metálica para captura de hojarasca.	18
4	Diagrama de la ubicación de las trampas para el monitoreo de la hojarasca.	18
5	Diagrama de ubicación de bolsas de descomposición en el campo por tratamiento, Finca San Francisco, Carazo.	20
6	Total de materia seca en kg/ha ⁻¹ , en tres tipos de manejo agroforestal con café.	29
7	Tasas de descomposición de la hojarasca de <i>G. sepium</i> y <i>C. arabica</i> en los tres tratamientos manejados.	36
8	Tasas de liberación de Potasio de la hojarasca de <i>C. arabica</i> y <i>G. sepium</i> en diferentes sistemas de manejo	39
9	Tasas de liberación de Nitrógeno de la hojarasca de <i>C.arabica</i> y <i>G. sepium</i> en diferentes sistemas de manejo.	40
10	Tasas de liberación de Fósforo de la hojarasca de <i>C. arabica</i> y <i>G. sepium</i> en diferentes sistemas de manejo.	41

INDICE DE ANEXOS

Anexo	Título	Página
1	Dinámica de la caída natural de los residuos vegetales en café con sombra de <i>G. sepium</i> y fertilizada, en Finca San Francisco, Carazo, Nicaragua, 2004.	52
2	Dinámica de la caída natural de los residuos vegetales de café con sombra de <i>G. sepium</i> sin fertilizar, Finca San Francisco, Carazo, Nicaragua, 2004.	52
3	Dinámica de la caída natural de residuos vegetales en café a plena exposición solar fertilizado, en Finca San Francisco, Carazo, Nicaragua, 2004	53
4	Manejo agronómico: Momento, fórmula y dosis de aplicación de fertilizantes en la finca San Francisco, Carazo.	53

RESUMEN

La presente investigación se realizó durante el año 2004, en la finca San Francisco, ubicada en el km 39.5 de la carretera San Marcos-Las Esquinas, Carazo, Nicaragua. Se cuantificó la biomasa de café y madero negro que se deposita sobre el suelo por caída natural y su aporte de nitrógeno y potasio, así también la tasa de descomposición de la hojarasca y la liberación de nitrógeno, fósforo y potasio. El ensayo consistió en tres parcelas de manejo, café a plena exposición solar, con sombra de *Gliricidia sepium* ambos con fertilización química y un tercero con sombra de *Gliricidia sepium* sin aplicación de fertilizantes químicos. Para la cuantificación de los residuos vegetales en cada parcela, se ubicaron aleatoriamente trampas metálicas en el área de hilera y en la calle de los cafetos. Para la determinación de la tasa de descomposición se establecieron 24 bolsas de nylon por parcela, conteniendo 15 g de hojas de café y 15 g de hojas de *G. sepium* para las parcelas con sombra, con y sin fertilización y 30 g de hojas de café para la parcela a pleno sol, estas se ubicaron bajo criterios de homogeneidad de plantas de café y árboles de sombra y uniformidad en cuanto a la penetración de luz. Se procedió a retirar 4 bolsas al azar por fecha, a los 0, 6, 12, 24, 48 y 96 días de exposición en el suelo, cada componente fue separado, limpiado, secado y el remanente secado. Se encontró que el tratamiento que más aportó residuos vegetales fue la parcela con sombra de *G. sepium* sin aplicación de fertilizantes químicos con $9,686.4 \text{ kg ha}^{-1}$, igualmente el mayor contenido de nitrógeno y potasio en los residuos vegetales con $295.64 \text{ kg ha}^{-1}$ y $245.76 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Se demuestra, según el modelo de regresión doble exponencial negativa que cuando está presente la hojarasca de *G. sepium* en mezcla con la hoja de *C. arabica* la tasa de descomposición es más rápida, para este caso, la parcela que obtuvo mayor descomposición fue la parcela de *C. arabica* con sombra de *G. sepium* y fertilización ($k = (0.074; 0.00123)$ $R = 0.998$; $p = 0.0001$). Las tasas de liberación de nutrientes, en cuanto al potasio mostró diferencias estadísticas para cada parcela, obteniendo una dinámica más rápida, la mezcla de hojarasca de *C. arabica* con sombra de *G. sepium* de la parcela sin fertilización química ($k = 0.0705; 0.0587$) $R = 0.961$ $p = 0.0127$. debido a que tiende a perderse con facilidad de los residuos vegetales, el nitrógeno presentó una liberación rápida en los primeros 24 días en los tres tratamientos, pero seguidamente se incrementa, tanto en las muestras de la parcela a plena exposición solar como en las de parcela de sombra con fertilización, debido a una mayor inmovilización, producto de la actividad microbiana, adiciones a través de las precipitaciones y aplicación de fertilizantes, el fósforo al igual que el nitrógeno obtuvo un comportamiento variable, liberándose por efectos de la descomposición e incorporándose al suelo, luego aumenta su concentración a los 48 días debido al proceso de movilización de este elemento del suelo por los microorganismos.

I. INTRODUCCION

El cultivo de café en Nicaragua, es la actividad agrícola de mayor importancia y uno de los rubros de mayor exportación del país. Existen 156,110 manzanas cultivadas con cafetos pertenecientes a 22,724 productores principalmente pequeños y medianos (CENAGRO, 2004). Para el ciclo agrícola 2003/04 representó el 24,6% del valor bruto de las actividades agrícolas, con un incremento del 42,5% luego de tres ciclos consecutivos de caída, significando un 3,4% de la exportación total nacional (BCN, 2004).

En el 2001, con el efecto de la caída de los precios internacionales su aporte disminuyó a un 6% del PIB¹ total y 35,5% de PIB¹ agrícola (IICA, 2003). Desafortunadamente, la reducción del valor del café no fue acompañada por una disminución en los costos de producción, esta situación motivó, en parte, el interés creciente en la diversificación de los cafetales con árboles para reducir los costos y aumentar ingresos por otros productos como: madera, leña, frutos, etc., contribuyendo así a una mayor sostenibilidad ecológica y económica, obteniendo de esta forma beneficios en la producción y calidad del café (Muschler, 2000).

Uno de los árboles utilizados en la sombra de cafetales es el madero negro (*Gliricidia sepium*), siendo ésta una planta con alto potencial productivo. La razón principal por la cual muchos productores utilizan esta especie en agroforestería y otros usos, se debe a su fácil propagación, manejo y capacidad de fijar nitrógeno (CATIE, 1991). Su cultivo intensivo como abono verde ha demostrado, mediante la fijación de nitrógeno, que la incorporación de la hojarasca y los residuos de cosecha de tallos lignificados de cultivos asociados con esta especie, mantienen la fertilidad y producción a niveles óptimos debido al eficiente reciclaje de nutrientes (García *et al.*, 2005). En el presente estudio se introduce esta especie como sombra, para conocer su aporte al sistema.

Se constata por estudios realizados por García *et al.*, (2005); Montagnini *et al.*, (1999) y Santibáñez (2004), que las tasas de descomposición y el ciclaje de los nutrientes

¹ Producto Interno Bruto

están correlacionados con la temperatura y las precipitaciones anuales, la humedad y las propiedades químicas de la hojarasca, especialmente la concentración inicial de nitrógeno, la relación carbono: nitrógeno (C: N) y la relación lignina: N en la hojarasca y en el suelo. Santibáñez (2004), también indica que se estima que los nutrientes liberados durante la descomposición de la hojarasca constituye entre un 70 – 90 % del total de nutrientes requeridos por las plantas.

Con este trabajo de investigación se busca cuantificar la hojarasca que cae anualmente, su velocidad de descomposición y el aporte de nutrientes en un sistema de producción de café con sombra de *G. sepium* en Carazo, Nicaragua; planteándonos los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la dinámica de la caída natural de los residuos vegetales, la velocidad de descomposición y de liberación de nutrientes de la hojarasca de madero negro y café en sistemas de producción con y sin sombra, en el Pacífico de Nicaragua.

Objetivos específicos

- Cuantificar la caída natural de la hojarasca en cada uno de los tratamientos que conforman los sistemas de producción de café, en el Pacífico de Nicaragua.
- Cuantificar los contenidos de Nitrógeno y Potasio en los diferentes componentes de la hojarasca que se deposita por caída natural en los sistemas de producción de café, en el Pacífico de Nicaragua.
- Determinar la tasa de descomposición de la hojarasca de café sola y la mezcla de hojas de café y madero negro en los sistemas de producción, en el Pacífico de Nicaragua.

- Determinar la tasa de liberación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la descomposición de la hojarasca de los sistemas de producción de café, en el Pacífico de Nicaragua.

Hipótesis

La producción anual de hojarasca es mayor en un sistema de producción de café con sombra sin aplicación de fertilizantes que en este mismo sistema manejado con fertilización.

La descomposición de hojarasca es más eficiente cuando está compuesta por mezcla de especies en comparación con la descomposición de la hojarasca de una sola especie.

El aporte de nutrientes liberados por descomposición de la hojarasca es más rápido en sistemas de producción de café con sombra que en los sistemas de producción de café a pleno sol.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. *Gliricidia sepium*

Es un árbol versátil de rápido crecimiento, se comporta como pionero agresivo colonizando los suelos infértiles y es considerado un recuperador de praderas, con un amplio rango de distribución, lo cual ha permitido conocer su comportamiento, manejo y aporte en los sistemas agroforestales (Fact Net, winrock internacional, 1998).

Los nombres comunes dados a esta especie en diferentes partes incluyen: madre cacao, mata ratón, palo de hierro, cocoite (América Central), kakawati (Filipinas), gamal (Indonesia), quick stick (Jamaica) y *Gliricidia* (Fact Net, winrock internacional 1998; CATIE, 1991; Cordero, 2003).

Es nativo de las zonas bajas, secas y subhúmedas de las costas de México y América Central, naturalizado en el norte de América del Sur hasta Brasil, el Caribe, Hawaii, el Oeste de África, India, Sri Lanka, Sureste de Asia incluyendo Tailandia, Filipinas, Indonesia y Australia (CATIE, 1991; Fact Net, Winrock International 1998); En Nicaragua se encuentra en la región del Pacífico y la región Central (Salas, 1993).

2.1.1. Botánica

Es un árbol de tamaño pequeño a mediano que alcanza alturas de 8 a 20 metros, copa estratificada, 20 – 50 cm de DAP, subcilíndrico o ligeramente acostillado; simpódico; muy irregular en su forma debido a que se poda (Jong, 1990). La corteza es entre gris - café y blanquecino y puede ser profundamente corrugada en los árboles viejos de grandes diámetros. Las hojas son compuestas, imparipinada, alternas y deciduas, ovaladas a elípticas, opuestas en el raquis y de color gris claro en el envés (CATIE, 1991). La floración se caracteriza por ser un racimo axilar zigomorfa ocurriendo al comienzo de la estación seca que va de noviembre a marzo según Fact Net, winrock internacional (1998) y Jong (1990), cuando los árboles han perdido sus hojas, las flores son de color rosado a rosado pálido, desvaneciéndose a blanco con manchas café o púrpuras descolorido con la edad. Las vainas pueden

alcanzar un tamaño completo de 10 a 20 cm, dentro de las tres semanas de fertilización. Las suculentas vainas verdes se vuelven como de madera y amarillas con la maduración, la que requiere de 35 a 60 días. Las vainas contienen de 3 a 10 semillas y revientan con explosión (Fact Net, winrock internacional, 1998).

2.1.2. Ecología

Es natural de los bosques de tierras bajas y secas desde el nivel del mar hasta los 1200 msnm. No es común arriba de esta elevación debido a su sensibilidad al frío. El rango de temperatura es de 20 a 30 °C. Se desarrolla pobremente debajo de este rango, pero, tolera las temperaturas tan altas como los 42 °C. El rango de precipitaciones óptimo para la adaptación de esta especie es generalmente de 900 a 1500 mm año⁻¹ y cinco meses de periodo seco, pero puede adaptarse a extremos 600 mm año⁻¹ o 3500 mm año⁻¹ (Salas, 1993).

Crece bien en muchos tipos de suelos: volcánicos, arenosos, pedregosos y altamente barrocos, incluyendo vertisoles. Tolerar algunos suelos con salinidad y acidez, tolerará suelos ácidos, pero no la acidez severa (pH < 4.5) ni la saturación alta de aluminio (> 60%) ni los suelos mal drenados (CATIE, 1991). En el último siglo el *Gliricidia sepium* se ha vuelto común en los trópicos (Fact Net, winrock internacional 1998).

2.1.3. Manejo en Sistemas Agroforestales

El follaje es rico en Nitrógeno cuando se usa como lecho o abono verde, mejora la producción de la siembra mediante la adición de nutrientes, control de malezas, conservación de la humedad y reducción de la temperatura del suelo (CATIE, 1991). La biomasa de hoja es generalmente obtenida de la fila del lindero o de las cercas del alrededor o dentro del área de cultivo, estas se usa en terrenos agrícolas en declive para controlar la erosión y la formación pasiva de terrazas. El manejo de filas de lindero debe minimizar la competencia con las cosechas. Los sistemas de linderos pueden ser un trabajo intenso que puede limitar su adopción. *G. sepium* se usa como

sombra para cultivos de té, café y cacao; y como apoyo para la mandioca, ñame, vainilla, pimienta, pitahaya y maracuyá. Estos cultivos también se benefician del mejoramiento de suelo característico de ésta especie forestal. La presencia de éstos en los terrenos reduce la incidencia de algunos ataques de hongos e insectos (Fact Net, winrock internacional, 1998).

2.2. El café (*Coffea arabica* L.)

El género *Coffea* esta integrado por unas 80 especies, de ellas solo cuatro se mencionan las cultivadas comercialmente como *C. arabica* L., *C. canephora* Pierre ex – Froehner, *C. liberica* Bull ex Hiern y *C. deweyrei* de Wild. (Munguía, 2003). Sin embargo, se presentan límites climáticos para las distintas especies indicadas anteriormente. La especie que más se cultiva en el mundo es la *C. arabica* y se produce entre los 21° N y 25° S (Carvajal, 1984). De acuerdo con éste mismo autor, el cultivo de café tiene preferencia sobre suelo ligeramente ácido con un pH 6 - 6.5, con un 5 % de contenido de materia orgánica la cual es considerada ideal en Brasil.

El café se considera como una planta esquilante, es decir, que extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo y es muy poco lo que retribuye en materia orgánica, debido a la persistencia de sus hojas; por trabajos de investigación realizados sobre la extracción de nutrientes para los cultivos, se conoce que el café remueve del suelo un aproximado de 257, 45 y 280 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente a una densidad de 4000 plantas ha⁻¹ (Blanco, 1992).

2.2.1. Variedad Costa Rica 95

Es un producto de la selección genealógica de la serie T8600 (F5), en diversas zonas cafetaleras de Costa Rica, basados en estudios del Instituto del café, Costa Rica (ICAFE), que consistieron en la comparación de “Familias” (descendientes de un antecesor común) y la escogencia de los mejores individuos que conformaron las familias más sobresalientes; Fue introducida y evaluada en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) por el Programa de Mejoramiento del

café del IICA (Instituto Interamericano de Cooperación a la Agricultura). En este caso se comprobó la alta capacidad productiva y agronómica de la “Familia” T8667 (Zamora, 1998).

Esta variedad es de porte pequeño con brotes bronceados y de vandolas muy cortas, fruto y grano de tamaño grande; hojas nuevas de color café o bronce (ANACAFE, 1998). Este Catimor en Costa Rica y en otros países ha presentado resultados satisfactorios en cuanto a precocidad de producción, superando a variedades comerciales como el Caturra y Catuaí (Cisnero *et al.*, 2000), inducida por un mayor vigor vegetativo inicial y propensión a la emisión de yemas florales (Aguilar, 1995).

Para mantener los altos rendimientos requiere una fuerte fertilización, sino se agota a partir del tercer año de producción. Algunas de las características agroproductivas de la variedad Costa Rica 95 se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características Agroproductivas de la variedad Costa Rica 95

Variables	Características	Variables	Características
I. Agronómicas			
Precocidad	Alto	Vigor	Alto
Ciclos productivos	Corto	Densidad	7086 plantas por hectáreas
Binualidad	Marcada	Densidad recomendada	1.68m. x 0.84m. Altitudes bajas 2.0 x 1.0m. Altitudes altas
II. Fruto			
coloración	Rojo	Resistencia a la caída Fruto vano	Alto
Época de maduración	Temprana a media	Fruto vano	< 5.0 %
No de semilla por Kilo	2800	% de germinación	94
III. Enfermedades y plagas			
Ojo de gallo (<i>Mycena citricolor</i>)	Tolerancia Moderada	Chasparria (<i>Cercospora coffeicola</i>)	Tolerancia Media
Rosada (<i>Cotycium salminocolor</i>)	Susceptible	Roya (<i>Hemileia vastatrix Berk</i>)	Resistente
CBD (<i>Colletotrichum coffeanum</i> Noack)	Susceptible	Broca (<i>Hypothenemus hampei</i>)	Susceptible
Nemátodos (<i>Pratylenchus sp</i> y <i>Meloidogyne sp</i>)	Susceptible		
IV. Física del grano			
Tamaño	Grande (> 17/64'')	Anormalidades	<12.0%
Forma	Typica	Peso/Volumen	Alto
V. Condiciones de adaptabilidad			
Altura (msnm)	700 a 1450	Textura de suelo	Limo arenoso a arcilloso
% de materia orgánica	5 – 12	pH del suelo	4.5 - 5.5
Fertilidad	Buena a excelente	Observaciones	Requiere nivel de manejo nutricional medio

Fuente: Aguilar, 1995; Brandt, 1998.

2.3 Los sistemas agroforestales

2.3.1. La mejora productiva de los sistemas agroforestales

La agrosilvicultura se distingue de otros sistemas de cultivo por la integración deliberada de especies leñosas (árboles, arbustos, palmas, bambúes) con cosechas y/o animales sobre la misma unidad de manejo de tierra (Dudal and Roy, 1995). La integración puede ser ya sea en asociación espacial o en secuencia temporal. Las asociaciones espaciales de árboles y cosechas incluyen el cultivo de callejón, árboles en los perímetros, árboles dentro del área de cultivo, y cercas vivas. Secuencias temporales o rotaciones de árboles y cosechas; se incluyen barbechos mejorados. (Dudal and Roy, 1995).

La combinación de árboles con cultivos perennes es una forma de la agroforestería más generalizada en los trópicos. Los cultivos asociados más a menudo son: Café, Cacao, Té, Caucho, Plátanos y Bananos, Especies (vainilla, cardamomo, clavos de olor, jengibre).

El principal objetivo de los sistemas agroforestales es obtener una producción más diversificada y sostenible; ya que se ha demostrado que estos sistemas son más productivos que el monocultivo. Por ejemplo, el beneficio económico obtenido por las ganancias de rendimiento con siete ejemplos de cultivos bajo plantación de café estuvo en rango de 150 a 360 % en México. Los rendimientos de Té en China fueron 30 % mayores bajo árboles, que sin ellos. Se revisaron once ejemplos de rendimiento de cultivos de 14 a 367 % bajo cocotero. El cultivo en callejones con *Leucaena leucocephala* aumentó el rendimiento de maíz en un 68 % en Nigeria. Los pastizales en Australia fueron más productivos cuando se cultivaron en asociación con árboles (Krishnamurthy y Ávila, 1996).

2.3.2. Beneficio de los árboles en los sistemas agroforestales

Según Geilfus (1994), dentro de un sistema agroforestal las funciones que realizan los árboles en estos sistemas son múltiples, considerándose entre ellos: Sombra y

protección; fertilización y conservación del suelo; control de las malezas; soportes vivos; producción de leña y madera; producción de forraje para los animales y producción de frutas. Otras de las funciones importantes de los árboles de sombra en las plantaciones es principalmente la protección contra las variaciones del clima: se conserva la humedad del aire, se reducen las variaciones de temperatura, se reduce la evaporación del agua y disminuye la velocidad de los vientos que resecan el follaje; el sombrío es particularmente importante en las zonas con pluviosidad irregular y estaciones secas prolongadas así como de aguaceros fuertes que provocan la caída de las flores.

Pero también, los árboles integrados al sistema de producción se benefician del manejo dado a los cultivos; las plántulas de árboles establecidos tienen altas tasas de sobrevivencia y desarrollo porque reciben la misma atención dada a los cultivos, están cercados o vigilados y por lo tanto protegidos del ganado y animales silvestres, son desyerbados junto con los cultivos y hacen uso de los fertilizantes que se mueven por debajo del nivel de las raíces de los cultivos (Krishnamurthy y Ávila, 1996).

Los árboles asociados con cultivos perennes pueden jugar un papel en la fertilidad del suelo, y se ha observado que las leguminosas llegan a aportar entre 100 y 200 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, por medio de la caída de sus hojas (Geilfus, 1994) y hasta 600 kg N² ha⁻¹ año⁻¹ por fijación biológica (Gil, 1995); otros estudios indican que el *G. sepium* puede fijar hasta 13 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Krishnamurthy y Ávila, 1996).

Las ventajas hipotéticas incluyen el bombeo de sustancias nutritivas del subsuelo realizado por plantas perennes de raíces profundas, reducción de pérdidas por lixiviación a través de la captura de sustancias nutritivas móviles por los sistemas radiculares bien desarrollados de leñosas perennes y el mantenimiento y enriquecimiento de la materia orgánica del suelo por el suministro de biomasa bajo y sobre el suelo producto de la poda de los árboles del sistema de producción, la caída natural de residuos vegetales, adición de nitrógeno a través de la fijación biológica del nitrógeno realizada por leñosas perennes leguminosas, protección contra la

erosión y protección o mejora de las propiedades físicas del suelo (Dudal and Roy,1995).

2.3.3. Flujo de nutrientes y energía en los ecosistemas edáficos

Según Lampking (1998); un ecosistema como el suelo depende del ciclo de nutrientes y de la disponibilidad de energía que permite el funcionamiento del mismo ciclo. La energía, no se puede crear dentro del sistema, tiene que venir de fuera porque, independientemente de la eficacia del sistema, siempre habrá pérdidas. Sin una fuente externa, el sistema se detendrá. Desde una perspectiva global, toda la energía que necesitan los ecosistemas viene del sol. En el sistema suelo - planta, las plantas son los principales organismos captadores de energía solar y la almacenan en forma de compuestos orgánicos (del carbón); por ello, se llaman “productoras primarias”.

El suelo, no es tan eficaz como las plantas en la captación de la energía solar. Los únicos “productores” son las algas fotosintéticas, que pueden captar directamente la energía solar. El suelo puede absorber en cierta medida la energía térmica, y los efectos de esto son obvios en los ritmos de crecimiento estacional, sin embargo, la principal fuente de energía son los residuos de los cultivos y en menor medida los residuos animales que son descompuestos por organismos edáficos para liberar la energía necesaria que permite el funcionamiento del ecosistema del suelo (Lampking ,1998).

Otro aspecto fundamental del ecosistema edáfico, es la disponibilidad y el reciclaje de los nutrientes. Los minerales presentes en el suelo constituyen un almacén enorme de nutrientes, y junto a los nutrientes del aire y en particular del nitrógeno, son suficientes para mantener la producción de grandes cantidades de biomasa o materia viva. Pero, cuanto mayor es la cantidad de materia viva producida, más rápida ha de ser la descomposición y el reciclaje para que pueda mantenerse la producción de biomasa (Lampking ,1998).

2.3.4. Producción, calidad y descomposición de la hojarasca

Estimaciones hechas de la cantidad de hojarasca de café en sistemas agroforestales por diferentes investigadores, como el realizado en México por Jiménez y Martínez (1979) en diferentes sistemas agroforestales con café, indican que obtuvieron 1367 kg. ha⁻¹ de materia seca de *Inga leptoloba* (Chalahuite), 1190 kg. ha⁻¹ en *Inga jinicuil* (Jinicuil) y 921 kg. ha⁻¹ en un sistema mixto con árboles de *I. Jinicuil*, *I. leptoloba*, *Musa* sp (Plátano) y *Citrus sinensis* (Naranja dulce); este comportamiento es aducido por los autores a las condiciones de iluminación para cada cultivo y al proceso de abscisión de las hojas en la época seca las que influyeron la tasa de caída natural de hojas de café.

Los residuos de plantas que son altos en nutrientes, especialmente N², se descomponen con rapidez, la que es considerada de alta calidad, mientras que los residuos leñosos y otros materiales lignificados como la paja de cereales, son más resistentes a la descomposición y son considerados de baja calidad (Krishnamurthy y Ávila, 1996). Entonces, es claro que las hojas frescas de algunas leguminosas perennes tales como *L. leucocephala*, *G. sepium* y *Herirían spp* se descomponen rápidamente.

En una mezcla de hojarasca, la presencia de una especie en particular puede ejercer considerables efectos positivos o negativos sobre la descomposición de la otra. Se han observado efectos sinérgicos, antagonistas o ausencia de efectos al aumentar la riqueza de las especies, por lo que las tasa de descomposición pueden cambiar en forma impredecible con el aumento de la riqueza de las especies de plantas. Sin embargo, la mayoría de los trabajos publicados coinciden en que el aumento en la riqueza de especies vegetales (Mezcla) tiene como consecuencias una mayor tasa de descomposición de la hojarasca, siempre y cuando las especies vegetales no presenten compuestos inhibitorios de la actividad descomponedora de los microorganismos (Santibáñez, 2004).

El suelo contiene una gran cantidad de organismos vivos diferentes, que varían tanto en tamaño como en función. Sin embargo, todos ellos tienen una misión importante en la movilización de los nutrientes edáficos (Lampking, 1998).

La gran mayoría de los organismos del suelo funcionan como consumidores y descomponedores. El proceso de descomposición en su fase inicial, es realizado por invertebrados tales como artrópodos, los cuales fragmentan físicamente la hojarasca, mejorando así las condiciones para que la microfauna (microartrópodos y nemátodos) puedan continuar con el proceso. Finalmente, la descomposición bioquímica es llevada a cabo por hongos y bacterias del suelo (Santibáñez, 2004); el producto final de este trabajo de descomposición son los nutrientes, que las plantas pueden tomar de nuevo, ser liberados a la atmósfera o ser arrastrados por el agua que escurre del suelo (Lampking, 1998).

2.3.5. El reciclaje de nutrientes en la agroforestería

Las interacciones entre los diferentes componentes de un sistema se describen a través de los fenómenos dinámicos de la transformación de la materia orgánica que existen dentro del sistema las que pueden ser vía hojarasca por medio de la producción de residuos vegetales (producción por caída natural y por podas), que se incorporan al suelo cayendo primero sobre la capa de mantillo donde van siendo descompuestos e incorporados al suelo en función de los procesos de mineralización y humificación (Fassbender, 1993).

Cuando las plantas absorben los elementos nutritivos, éstos dejan de estar disponibles a otros organismos vivientes. Cuando las estructuras vegetales llegan a su madurez fisiológica y se incorporan al mulch, los nutrientes permanecen en las estructuras; si este material muerto, o detritus, no es fragmentado y descompuesto por los microbios, esos nutrientes nunca podrán estar disponibles para sostener la vida de otros organismos (Action Bioscience, 2001).

La fijación biológica del nitrógeno es un proceso natural por el cual se fija el nitrógeno atmosférico. La asociación simbiótica entre la bacteria del género *Rhizobium* y las

raíces de muchas especies leguminosas de forma ambientalmente amigable y sin ningún costo adicional que realizan la fijación de éste elemento (Krishnamurthy y Ávila, 1996). Allí se dan un sin número de reacciones bioquímicas tales como solubilización de nutrientes; inmovilización de nutrientes; mineralización, humificación entre las más estudiadas que hace se de un continuo o perenne reciclaje de nutrientes no sólo entre los más destacados como lo son: el nitrógeno, potasio y fósforos, sino también otros tantos micro nutrientes indispensables para la nutrición de la planta (In Motion Magazine, 2005).

Los árboles son más eficientes que las plantas herbáceas en la absorción de nutrientes liberados por el desgaste de los horizontes más profundos del suelo, porque las raíces de los árboles frecuentemente se extienden más allá de la profundidad de las raíces de los cultivos anuales (Krishnamurthy y Ávila, 1996). Este mismo autor indica que el potasio, fósforo, bases como calcio y magnesio y micronutrientes son liberados por el intemperismo de las rocas, particularmente en suelos con horizontes B/C y C en donde frecuentemente penetran las raíces de los árboles y estos son absorbidas convirtiéndose en insumos para los cultivos anuales cuando son transferidos a la superficie del suelo en forma de hojarasca, raíces y poda de hojas y tallos de los árboles.

Los procesos de transferencia de elementos nutritivos dentro de los sistemas se llevan a cabo por medio de agentes de transportes como: el agua (lluvia, lavado foliar, escurrimiento de los tallos, escurrimiento superficial, filtración a través del suelo y filtración en el agua freática), y restos vegetales, descomposición y liberación de nutrientes (Fassbender, 1993). Las reservas de los nutrientes pueden ser incrementadas por la meteorización de los elementos primarios y el aporte de fertilizantes sintéticos o pueden disminuir por medio de la lixiviación.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización y características del sitio

La presente investigación se llevó a cabo en la finca cafetalera San Francisco, propiedad de Inversiones Generales S.A, ubicada en el km 39.5 de la carretera a San Marcos – Las Esquinas, departamento de Carazo. Ubicado geográficamente entre las coordenadas $11^{\circ} 53' 08''$ de latitud Norte y $86^{\circ} 14' 05''$ de longitud Oeste (Gráfico 1).

La zona es de baja altura (450 msnm), presenta un clima caliente y seco que corresponde a condiciones suboptimales para la producción de café, con una estación seca de 5 meses

(Diciembre a Abril); temperatura promedio de 24°C y una precipitación promedio anual de 1350 mm (Castro y Díaz, 2004).

Para el monitoreo del clima, se estableció en la Finca San Francisco, una estación meteorológica, la cual registró durante la realización de este estudio, la precipitación y temperatura anual (Gráfico 2).

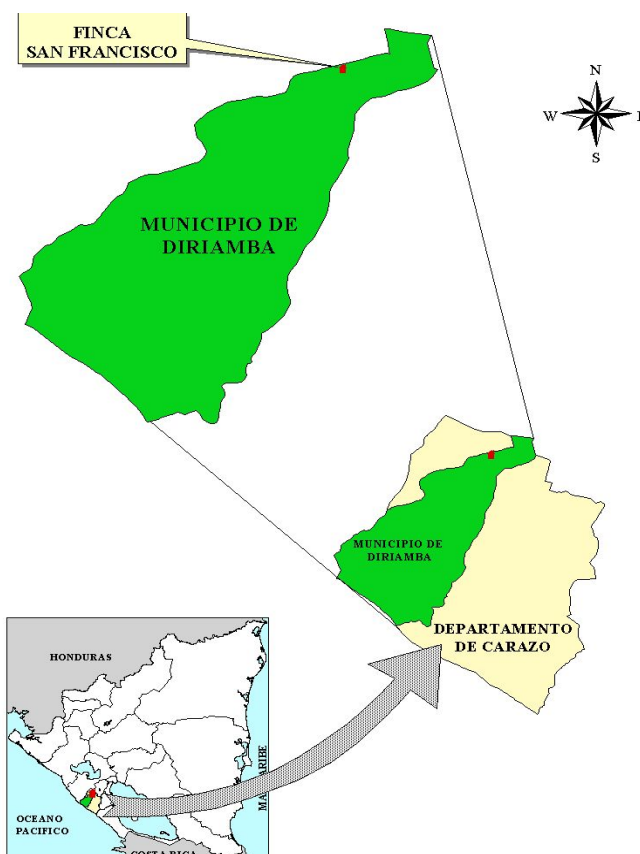


Gráfico 1. Ubicación de las parcelas experimentales, Finca San Francisco, Carazo.

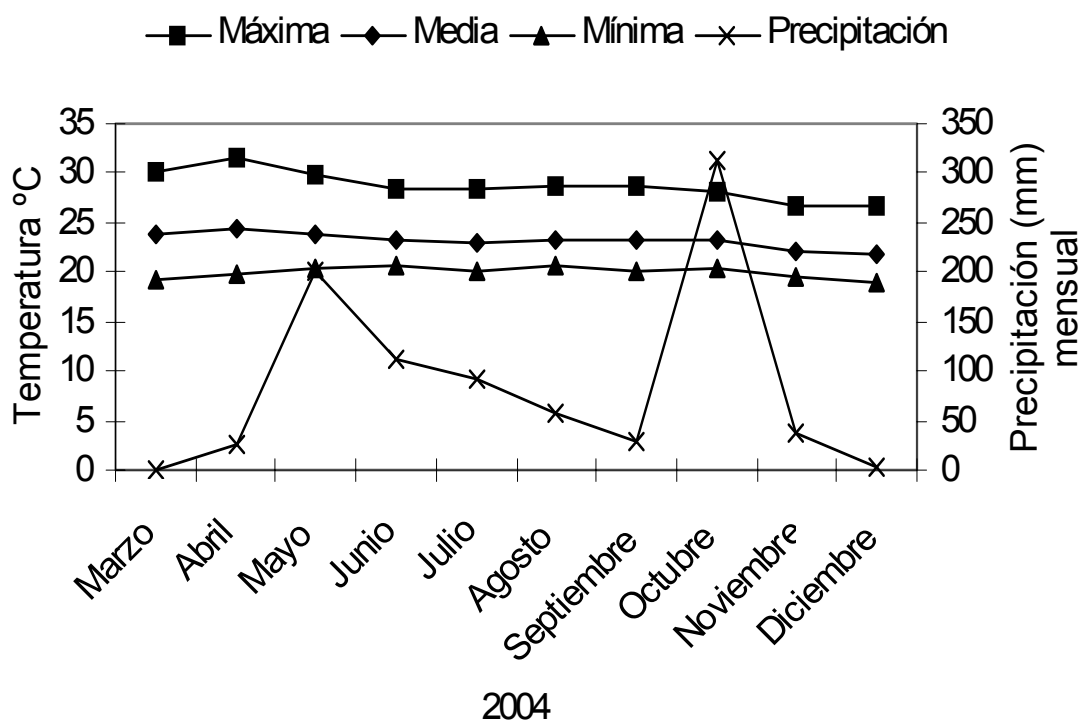


Gráfico 2. Comportamiento de la precipitación y temperatura durante el 2004. Estación Meteorológica Finca San Francisco, Carazo.

Marín (1990), clasifica la región donde se realizó el estudio como bosque húmedo premontano tropical. Los suelos de la zona pertenecen a la serie San Marcos del orden de los Andisoles con topografía plana, pH de 4.8 – 6.3 y textura franco arenoso. En muestras de suelos tomadas en Septiembre de 2002 se determinó una textura franco arenoso, pH entre 5.4 y 5.7, alto en materia orgánica y nitrógeno, pero baja en fósforo (Cuadro 2).

La finca antes mencionada a través de su gerencia administrativa asignó un área de café establecido con la variedad Costa Rica 95 con sombra de la especie *G. sepium*, para que la Universidad Nacional Agraria, desarrollara un trabajo de estudio de sistemas agroforestales con el apoyo financiero del proyecto Coffee Agroforestry Systems of Central America conocido como CASCA, el cual se ha desarrollado desde el año 2001 con un período de duración de 4 años.

Cuadro 2. Características físicas y químicas del suelo en la finca San Francisco, Carazo. (Fassbender* H, 1993; Quintana** et al., 1983).

Variable	Sombra y fertilizada	Pleno sol y fertilizada	Sombra y sin fertilización
pH	5.7 MDA**	5.6 FA**	5.4 FA**
MO (%)	12.5 MA*	11.7 MA*	11.2MA*
N (%)	0.62 A**	0.58 A**	0.56 A**
P (ppm)	7.47 P**	4.94 P**	0.12 P**
K (meq / 100 g)	0.48 A**	0.56 A**	0.37 A**
Ca (meq / 100 g)	9.81 A**	10.11 A**	7.23 A**
Mg (meq / 100 g)	1.72 A**	2.04 A**	1.03 A**
Arcilla (%)	2.5	5	5
Limo (%)	25	22.5	22.5
Arena (%)	72.5	72.5	72.5
Textura	Franco Areno	Franco Areno	Franco Areno

Fuente: Laboratorio de Suelos y Agua, UNA 2002.

MA = Muy altos. A = Alto. FA = Fuertemente Acido. P = Pobre. MDA= Medianamente Acido.

3.2. Descripción del área experimental y muestreos

Se seleccionó una finca privada de producción de café en sistema con sombra de madero negro (*Gliricidia sepium*) de 4 años de edad. Las plantas de café están establecidas a 2 m entre surco y 1 m entre plantas con una población de 4000 plantas ha⁻¹, los árboles de *G. sepium* están establecidos a 8 x 10 m para un total de 125 árboles ha⁻¹. El experimento base, consistió de tres parcelas independientes con un área de 1920 m² (40 x 48 m) cada una. Una parcela constituida con café a plena exposición solar; otra de café con sombra de *G. sepium* ambas con aplicación de fertilizantes sintéticos y una tercera de café con sombra de *G. sepium* sin aplicación de fertilizantes sintéticos.

En cada una de las parcelas se desarrollaron dos trabajos durante el 2004; un primero fue el monitoreo de la caída natural de los residuos vegetales (hojarasca, tallos, flores y frutos de cada especie) y un segundo trabajo fue evaluar la tasa de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de café y de madero negro.

3.3. Monitoreo de la caída de hojarasca del sistema agroforestal

Este estudio se realizó en el periodo que comprendió de enero a diciembre del 2004, cuantificando la caída de hojarasca en las parcelas de: café a plena exposición solar (Psol), café y sombra de *G. sepium*, (PCF) ambas manejadas con fertilización química y café con sombra de *G. sepium* sin fertilización (PSF).

La determinación de la cantidad de hojarasca en cada tratamiento se realizó por medio de trampas (Gráfico 3) puestas aleatoriamente en la parcela experimental (Gráfico 4), teniendo las siguientes características:

- Dimensiones de las trampas = 50 x 50 x 15 cm.
- Consisten de malla metálica (Tamiz) de 2 mm.



Gráfico 3.- Trampa metálica para captura de hojarasca

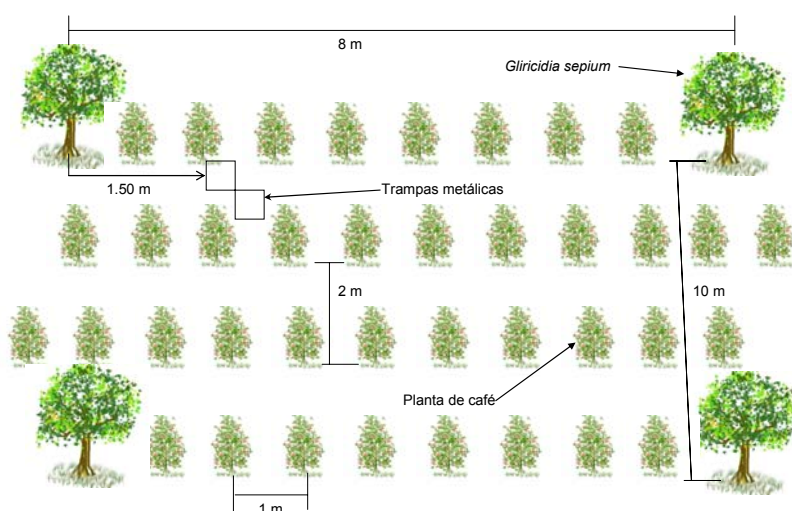


Gráfico 4. Diagrama de la ubicación de las trampas para el monitoreo de la hojarasca

- Cantidad de trampas por tratamiento = 8 trampas (4 en calle y 4 en hilera). De estas se establecieron el 50 % al lado izquierdo de la hilera y el resto a la derecha.

Las trampas se establecieron: a 1.5 m de distancia del tronco del árbol de sombra. A partir del tronco de café se colocó la primera trampa y una segunda a partir del vértice opuesto al de la primera trampa.

3.3.1. Procedimiento de muestreo de la caída natural

Se seleccionaron aleatoriamente por cada tratamiento, 4 árboles de sombra de *G. sepium*; para el caso de la parcela de café a pleno sol se hizo aleatoriamente en el área experimental poniendo 8 trampas.

Cada mes se procedió a reunir toda la hojarasca recolectada cada 15 días por trampa, dicho contenido se almacenó en bolsas de papel kraft debidamente etiquetadas. Posteriormente se realizó una separación por especie y componente en hojas, ramas, flores y frutos para café y hojas, ramas, raquis y flores para *G. sepium*. Cada muestra separada en sus componentes por especie se secó al horno a una temperatura de 65°C hasta peso constante y se pesaron para obtener la relación de materia seca de los residuos recolectados.

3.3.2. Obtención del material vegetal

La hojarasca de *C. arábica*, y *G. sepium* fue recolectada de forma manual de hojas recién caídas sobre el suelo del día anterior o del mismo día, las cuales eran almacenadas y conservadas en estado seco. Previamente fueron puestas al horno a 65 °C para su secado y así evitar el desarrollo del proceso de descomposición.

3.4. Litterbags o bolsas de descomposición

El método utilizado para medir la descomposición de la hojarasca es el conocido "Litterbags" de malla de plástico con 1 - 2 mm de diámetro de perforación, la parte que estuvo en contacto con el suelo y de 4 - 5 mm correspondiendo a la capa

superior. Las dimensiones de cada bolsa fueron de 0.3 x 0.3 m considerando la cantidad de hojarasca que cae y su proporcionalidad en el campo.

3.4.1. Muestreo de bolsas de descomposición

Para este experimento se establecieron 24 bolsas de fibra sintética por tratamiento (Gráfico 5), conteniendo 15 g de hojas de café y 15 g de madero negro para las parcelas de sombra con y sin fertilizante, y 30 g de hojas de café para la parcela pleno sol, para un total de 72 bolsas de fibra sintética. Para la ubicación de las bolsas de descomposición se consideraron apropiados los criterios de homogeneidad de plantas de cafeto y árboles de sombra, uniformidad en cuanto a la penetración de luz por la combinación de los árboles de sombra y los cafetos.

Se procedió a retirar por tratamiento 4 bolsas por fecha de recolección al azar, a los 0, 6, 12, 24, 48 y 96 días, para que todas las mallas de plástico tuviesen la misma oportunidad de ser muestreadas.

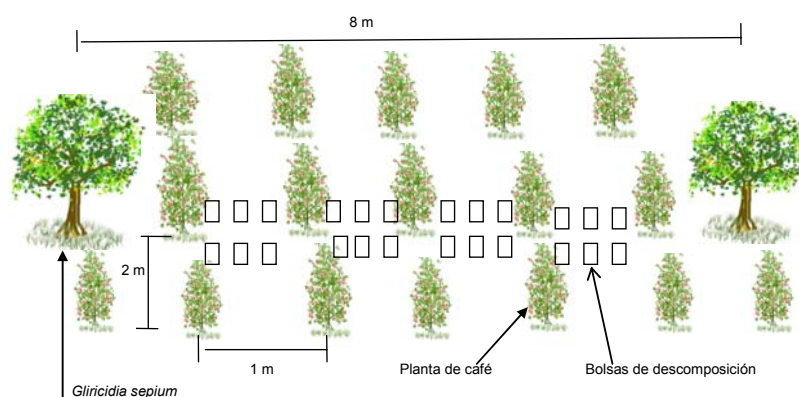


Gráfico 5.- Diagrama de la ubicación de bolsas de descomposición en el campo por tratamiento, Finca San Francisco, Carazo.

Las bolsas de fibra sintética recolectadas se depositaron en otras de tela de algodón de (0.3 x 0.3 m) para evitar pérdida del material en el trayecto del campo al laboratorio. Se procedió a limpiar cada muestra recolectada de material extraño a la hojarasca como suelo agregado producido por termitas, lombriz de tierra, piedras, etc.; así como su separación por componente y especie. Una vez separado, se puso a secar a 65° C en horno hasta peso constante y determinar la dinámica de descomposición por pérdida de masa, hasta que fue posible la separación de los componentes.

3.5. Análisis del material vegetal recolectado por trampas

Del material vegetal capturado cada dos meses se procedió a dividir para obtener una muestra compuesta por especie y tratamiento. A cada muestra se le determinó el contenido de N por el método micro Kjeldall, el P por el método Colorimetría y el K por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica.

En el caso del material de descomposición se obtuvo una muestra compuesta por componente y tratamiento hasta la separación de los componentes y se determinó el contenido de N, P y K utilizando los mismos métodos indicados anteriormente.

3.6. Análisis de los datos

Los datos totales de materia seca provenientes de las 8 trampas por tratamiento, por mes, se sometieron a un análisis de varianza por medio de la aplicación de una prueba de t Student, con una probabilidad de error del 5 % para detectar diferencias entre ellos.

Con los datos provenientes de la pérdida de masa en la descomposición y el remanente de los nutrientes en la hojarasca, se realizó un análisis doble exponencial, que nos permite determinar las tasas (k) de descomposición por tratamiento. Se aplicó el modelo de regresión doble exponencial para obtener un mejor ajuste del proceso de descomposición el cual asume que la tasa constante de descomposición (k) es constante en el tiempo.

$$Y = W_0 e^{-k_1 t} + (100 - W_0) e^{-k_2 t} + \varepsilon$$

Donde:

W_0 = es el contenido inicial de hojarasca.

$100 - W_0$ = es la cantidad remanente de hojarasca en el t.

K_1 = constante de descomposición t.

K_2 = constante de descomposición t.
t = tiempo en días.

ε = error experimental

e = base de los logaritmos naturales

La ejecución de los análisis estadísticos se realizó utilizando el software SAS.
(sistema de análisis estadístico) versión 7.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Monitoreo de la caída natural de hojarasca

En la búsqueda de un sistema de producción sostenible, especialmente para las zonas tropicales donde los problemas socioeconómicos sumados a los de alta susceptibilidad a la erosión y baja fertilidad del suelo producen reducciones significativas de la productividad, los sistemas agroforestales resultan ser ventajosos a corto y largo plazo, especialmente por el componente arbóreo que aporta la materia orgánica y nutrimentos a través de la hojarasca (Argüello, 2005; Lehmann *et al.*, 1995).

La materia orgánica proviene de muy diversas fuentes, como por ejemplo: estiércol de animales como ganado mayor y animales domésticos, pero la fuente más importante es la que proviene de organismos vegetales, tales como los árboles dentro de un sistema agroforestal.

Los flujos de hojarasca son determinados principalmente por las condiciones edáficas y climáticas en que se desarrollan los arboles, arbustos, etc. y por las características biológicas de las especies, densidad, edad y desarrollo de los mismos (Ibarra, 2003).

Los residuos orgánicos provenientes de la vegetación y acumulados sobre el suelo, además de representar la fuente de energía y de bioelementos necesarios para la microflora edáfica constituyen la principal fuente de retorno de minerales al suelo (Ibarra, 2003), transformándose en sustancias que mejoran las propiedades físicas, químicas y microbianas (Kass, 1996), representando entre el 1 y 5 % del Carbono y Nitrógeno y hasta 19 % del fósforo orgánico (Osorio, 2004).

4.1.1.- Parcela de café a plena exposición solar (Psol)

La materia seca del café proviene de los procesos de fotosíntesis y respiración que se realizan principalmente en las hojas (ANACAFE, 1998).

Los resultados obtenidos en la captura de hojarasca en la parcela a plena exposición solar (Psol) y fertilizada se estimó en un total de 6871.6 kg ha⁻¹ de residuos vegetales correspondiendo a un 82,96 %, 2,80 % y 14,22 % de hoja de café, ramas, flores y frutos, respectivamente, demostrándose una mayor caída de hojarasca en los meses de Febrero, Marzo y Abril; así mismo los meses que menos aportaron hojarasca al sistema fueron Junio, Agosto y Octubre, logrando una recuperación de residuos en el mes de Diciembre (Cuadro 3).

Cuadro 3. Dinámica de la caída natural de residuos (kg ha⁻¹) de café durante el año 2004, en la parcela a plena exposición solar en la finca San Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca de café	Ramas	Flores y frutos	Total
Enero	338	3.2	66	407.2
Febrero	880	0	4	884
Marzo	1418	0	40	1,458
Abril	830	0	0	830
Mayo	361.2	0	0.4	361.6
Junio	256.8	27.6	39.6	324
Julio	266.4	26	66.4	358.8
Agosto	254.8	43.2	193.2	491.2
Septiembre	274.8	60	94.8	429.6
Octubre	144.8	4.8	90	239.6
Noviembre	326.4	13.2	113.2	452.8
Diciembre	350	14.8	270	634.8
Total	5701.2	192.8	977.6	6871.6

La caída principal de las hojas del café se registró entre los meses de febrero a abril, debido principalmente al patrón fenológico y a un déficit hídrico provocado por las fuertes radiaciones y altas temperaturas (Gráfico 2) propias de la temporada, lo que obligó a los arbustos a una mayor caída de las hojas (Robledo, 1994). Las plantaciones de café al final del ciclo productivo pierden grandes cantidades de hoja tanto por las labores de cosecha como por la preparación de renovación vegetativa que lo lleva a la floración para un nuevo ciclo de producción.

La disminución de la caída de hojarasca de la planta de café, se inicia en el mes de mayo progresivamente empezando así su nutrición, desde las primeras lluvias, la

planta reconstruye el follaje, en detrimento de la fructificación en el año (Coste, 1975).

Otro factor decisivo es la fertilización, la ausencia de elementos más importantes como son el nitrógeno y el potasio. Puede observarse en la hoja una coloración uniforme amarilla o amarillo-verdosa del limbo, provocado por la ausencia de nitrógeno, lo que conlleva a la caída de la hoja (Coste, 1975) y debilita el desarrollo del fruto (Alvarado y Rojas, 1998).

Durante el mes de junio del 2004, se aplicó urea (272 kg ha^{-1}) y KCl (45 kg ha^{-1}) que permite una coloración más verde y lustrosa en las hojas y como consecuencia más estabilidad del follaje en el arbusto.

En un ensayo de estimación de hojarasca realizado por Munguía (2003), en los meses de Julio, Septiembre y Noviembre obtuvo 1954, 9272 y 4536 Kg ha^{-1} de materia seca de *C. arabica*, *Eucalyptus deglupta* y una porción no identificable (material vegetal con alto proceso de descomposición), observándose una cantidad relativamente baja de residuos de café, pero con tendencia a incrementar.

En Costa Rica, experimentos efectuados por técnicos de ICAFE-MAG han demostrado que el café produce más materia seca cuando el manejo del cultivo se hace en condiciones a plena exposición solar (Alvarado y Rojas, 1998).

Informaciones recientes sobre la productividad del café a pleno sol muestran un aumento de un 10 - 20 %, sin embargo, los frutos tienden a ser más pequeños que los provenientes de plantas bajo sombra (Valdés y Vento, 1986).

Finalmente se insiste en la importancia de una buena nutrición mineral del café cultivado a pleno sol, ya que demanda mayor nutrición, y si no se hace, puede producir ciertos desequilibrios nutricionales (Fournier, 1987). Los vientos circulan libremente y se reseca más rápido el suelo, se presenta el ataque de la enfermedad conocida como chasparria (*Cercospora coffeicola*) y se da mayor incidencia de malezas exigiendo la aplicación de grandes cantidades de herbicidas que son perjudiciales al suelo y a los organismos descomponedores, aumentando así los costos de producción (Alvarado y Rojas, 1998). En suelos sin limitaciones de nutrientes, humedad y sin barrera para el enraizamiento es más adecuado para café a pleno sol que para café bajo sombra.

4.1.2.- Parcela de café con sombra de *G. sepium* y fertilizada (PCF)

La presencia de árboles provee a los sistemas agroforestales algunas características que favorecen la productividad y la sostenibilidad (Alfonso *et al.*, 2003). En términos generales, se considera que la sombra tiene una acción moderadora sobre la inducción floral y sobre la fructificación del café, se reduce la evaporación y la transpiración y permite al cafeto soportar mejor los períodos de sequía prolongados (Coste, 1975), además, aporta hojarasca, bien sea por desprendimiento natural o aplicación de podas (Zamora, 1998).

Debido a que el follaje del *G.sepium* no es muy denso permite que se filtre la luz necesaria, su sombra no es permanente ya que pierde sus hojas antes de la floración aportando a la vez cantidades apreciables de hojarasca (Gómez *et al.*, 1995). La hojarasca y las ramas podadas ayudan también a controlar el crecimiento de hierbas indeseables, ayudando a reducir costos de control mecánico (Castañeda y Castañeda, 2000).

En ésta parcela, el sistema productivo aportó un total de 7481.2 kg ha⁻¹ de materia seca, correspondiendo al 58,24 %, 20,56 %, 8,14 %, 13,05 % de hojarasca de café, hoja de madero, ramas+raquis y flores+ frutos, demostrando que los meses de mayor aporte fueron Febrero, Marzo y Noviembre y los meses de menor aporte fueron Junio, Julio y Octubre (Cuadro 4). El componente que más aportó hojarasca durante el año fue el café con 4357.6 kg/ha⁻¹ seguido del madero negro (*G.sepium*) con 1538.4 Kg/ha⁻¹.

En un cultivo en callejones de maíz con madero negro en Nigeria se contabilizó 1263 kg ha⁻¹ de hojarasca en calidad de materia seca (CATIE, 1991). Araya (1987) , trabajando en plantas de café asociado con árboles de madero negro (*G.sepium*) de 30 años de edad, obtuvo una producción de 52 kg de peso seco de hojarasca por árbol y 42.4 kg en ramas. En otro estudio realizado por Heuveldop *et al.* (1985) en el transcurso de 2 años obtuvo una producción de hojas de café en asocio con laurel (*Cordia alliodora*) de 2364 kg ha⁻¹ relativamente bajo que el obtenido en el presente trabajo.

Cuadro 4. Dinámica de la caída natural de residuos (kg ha⁻¹) de café y madero negro durante el año 2004, en la parcela con fertilización (PCF) en la finca san Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca		Ramas y raquis	Flores y frutos	Total
	Café	Madero			
Enero	314	105.2	2.4	66	487.6
Febrero	926	169.6	46	149.2	1290.8
Marzo	1030.4	68	30.8	77.2	1206.4
Abril	385.2	52	29.2	0	466.4
Mayo	354.4	64.4	21.6	24.4	464.8
Junio	201.2	89.6	34.4	20.8	346
Julio	150.4	110.4	8	42.8	311.6
Agosto	210	173.2	60	173.2	616.4
Septiembre	310	94.8	140	80	624.8
Octubre	84.8	114.8	30	80	309.6
Noviembre	166.4	311.6	96.4	106.4	680.8
Diciembre	224.8	184.8	110	156.4	676
Total	4357.6	1538.4	608.8	976.4	7481.2

4.1.3.- Parcela de café con sombra de *G. sepium* y sin fertilización (PSF)

Uno de los principales objetivos de un sistema agroforestal es la disminución de aplicación de fertilización artificial, esto puede ser conseguido con la deposición de hojarasca de los componentes del sistema, ya sea por poda o caída natural, garantizando así la salud de las plantas y del suelo (Castañeda y Castañeda, 2000; ALADI, 2001).

Este tratamiento aportó un total de 9686.4 kg ha⁻¹ de hojarasca de café y madero negro correspondiendo a un 59,68%, 23,67%, 7,87%, 8,76% de hoja de café, hoja de madero, ramas + ráquiz y flores + frutos (cuadro 5).

Se observó que los meses de mayor aporte son Febrero, Marzo y Abril con 1427.6; 1804.4 y 1023.6 kg ha⁻¹ y los meses de menor aporte son Junio, Julio y Octubre con 394.4; 368.8 y 414.8 kg ha⁻¹ siendo el café el que más aportó residuos vegetales al sistema con 5781.6 kg ha⁻¹ en tanto, el madero negro (*G.sepium*) aportó 2292.8 kg ha⁻¹ de residuos vegetales.

La época de mayor caída de hojarasca de los árboles de sombra, precede a la floración y fructificación del cultivo de café, esta sincronización es importante cuando no se fertiliza artificialmente, debido a que le permite la liberación de nutrimentos

cerca de las raíces del café, justamente en el momento de máxima demanda de nutrimentos (ALADI, 2001).

Cuadro 5. Dinámica de la caída natural de residuos (kg ha^{-1}) de café y madero negro durante el año 2004, en la parcela sin fertilización (PSF) en la finca San Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca		Ramas y raquis	Flores y frutos	Total
	Café	Madero			
Enero	347.2	137.6	20	77.6	582.4
Febrero	1119.2	168	41.6	98.8	1427.6
Marzo	1655.2	72	31.6	45.6	1804.4
Abril	899.2	95.2	29.2	0	1023.6
Mayo	688	101.6	43.2	76.8	909.6
Junio	173.6	111.2	96	13.6	394.4
Julio	137.2	182.8	31.6	17.2	368.8
Agosto	122.4	380	110	90	702.4
Septiembre	160	264.8	84.8	40	549.6
Octubre	80	244.8	80	10	414.8
Noviembre	124.8	314.8	70	84.8	594.4
Diciembre	274.8	220	124.8	294.8	914.4
Total	5781.6	2292.8	762.8	849.2	9686.4

El comportamiento del *G sepium* en un cultivo en callejón con siete años de edad, establecido a través de estacas de 60 cm. de longitud a una distancia de 6 m entre franjas y 0.5 m entre árboles, con una densidad de 3333 árboles por ha; al podarse produjo $17.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de ramas y hojas frescas (Araya, 1987).

Al cuantificarse la hojarasca que cae libre en cada uno de los tratamientos se observaron diferencias en cuanto al aporte de los componentes, debido al manejo agronómico aplicado, la fisiología de los componentes y las condiciones del sitio. (Gráfico 6)

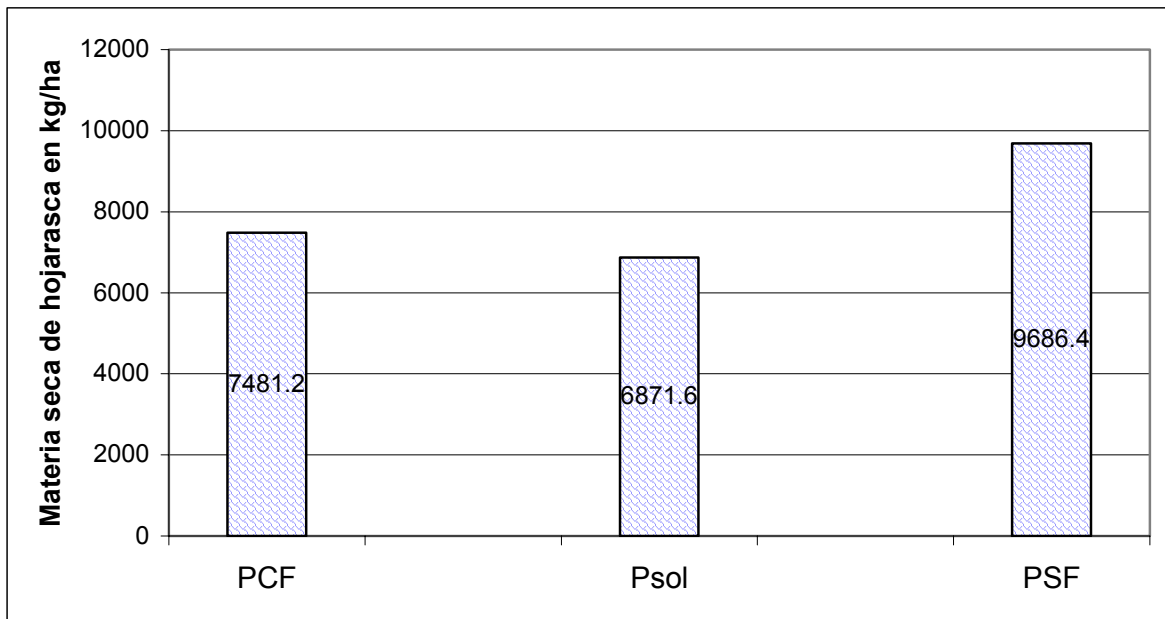


Gráfico 6. Total de materia seca en kg ha⁻¹, en tres tipos de manejo agroforestal con café.

4.2.- Concentración N y K en los residuos vegetales capturados

En general, los suelos destinados a la producción de café requieren la utilización de fertilizantes químicos aplicados tanto directamente al suelo como por vía foliar (Coste, 1975). En cuanto se refiere a la fertilización orgánica es una nueva forma de producir basándose en el conocimiento de los requerimientos nutricionales de la planta y del medio ambiente que lo rodea. La nutrición en café, no sólo es básica para los rendimientos, sino por ser la primera barrera de protección contra las plagas y enfermedades (Castañeda y Castañeda, 2000).

4.2.1 Cantidades de N y K en los residuos capturados en la parcela a plena exposición solar

El resultado obtenido del contenido de nutrientes en la materia seca de café aporta 165.8 y 181.24 kg ha⁻¹ año⁻¹ de Nitrógeno y Potasio, respectivamente, siendo casi proporcional el contenido de ambos nutrientes (Cuadros 6 y 7).

Fournier (1987), menciona que el nitrógeno es el nutrimento más importante para la planta de café y que para una producción de 1800 kg de café a pleno sol por hectárea se consumen 90 kg de nitrógeno. Además las plantas requieren unos 30 kg ha⁻¹ año⁻¹ de este elemento.

Cuadro 6. Contenido de nitrógeno en la hojarasca de café en el tratamiento a plena exposición solar, en la finca San Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca		Ramas	Flores y frutos	Total kg ha ⁻¹
	Café	Madero			
Enero	4.48	0	0.12	1.92	6.52
Febrero	11.6	0	0	0.12	11.72
Marzo	43.68	0	0	1.56	45.24
Abril	25.56	0	0	0	25.56
Mayo	8.88	0	0	1.24	10.12
Junio	6.32	0	1.08	1.24	8.64
Julio	8.88	0	0.76	1.76	11.4
Agosto	8.52	0	1.28	5.12	14.92
Septiembre	3.12	0	0.84	0.88	4.84
Octubre	1.64	0	0.08	0.84	2.56
Noviembre	8	0	0.32	2.08	10.4
Diciembre	8.56	0	0.36	4.96	13.88
TOTAL	139.24	0	4.84	21.72	165.8

El aumento de la dosis de nitrógeno (N) a través de la fertilización permite a las plantas cultivadas a plena exposición solar, una mayor intensidad fotosintética; mientras que el aumento de las dosis de fósforo (P) las repuestas son menos enfatizadas (Valdez y Vento, 1986), el potasio (K) es absorbido pasivamente a través de las raíces en forma iónica a partir de la solución del suelo para compensar la pérdida de agua debido a la transpiración, llegando a regular el intercambio hídrico de las células (Fassbender, 1984).

Cuadro 7. Contenido de Potasio en la hojarasca de café en el tratamiento a plena exposición solar, en la finca San Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca		Ramas	Flores y frutos	Total kg ha ¹
	Café	Madero			
Enero	6.08	0	0.04	1.72	7.84
Febrero	15.84	0	0	0.12	15.96
Marzo	34.04	0	0	1	35.04
Abril	19.92	0	0	0	19.92
Mayo	7.6	0	0	1	8.6
Junio	5.4	0	0.44	0.96	6.8
Julio	3.16	0	0.12	1.48	4.76
Agosto	3.04	0	0.16	4.24	7.44
Septiembre	4.44	0	0.32	2	6.76
Octubre	2.36	0	0.04	1.88	4.28
Noviembre	21.88	0	0.04	5.44	27.36
Diciembre	23.44	0	0.04	13	36.48
TOTAL	147.2	0	1.16	32.84	181.24

4.2.2.- Cantidades de N y K en los residuos capturados en la parcela de café y con sombra de *G. sepium* y fertilizada

La variedad de alta productividad demanda una fuerte cantidad de nutrientes para completar sus procesos fisiológicos incluyendo la formación, llenado y maduración de los frutos; la literatura señala que por cada 22 quintales de café oro la planta retira en promedio del suelo vía fruto 32 kg N, 6.28 kg de P₂O₅, 36 a 44 kg de K₂O, 8.45 kg CaO y 3.5 kg de MgO, si no se devuelve parte de estos nutrientes los suelos van perdiendo su fertilidad. La aplicación de fertilizantes químicos compensa esta pérdida aunque no por completo. El empleo de sombra reduce la demanda de nutrientes porque la planta produce un poco menos que a pleno sol, además se incorpora en forma permanente biomasa que al mineralizarse en el suelo contribuye a suplir los requerimientos nutricionales del cafeto. Se sabe también que los fertilizantes químicos constituyen el insumo más caro, de 12 a 15 % de los costos de producción sin incluir la recolección y beneficiado (FAO, 2004).

En la parcela de café con sombra de madero y con fertilizante (PCF) se encontró un aporte de nutrientes al sistema de 188.88 y 164.28 kg ha⁻¹ de nitrógeno y potasio; de

esto, las hojas de café y madero negro contribuyen en un 60.16 y 20.83 % de nitrógeno y 51.96 % y 24.78 % en potasio, respectivamente (Cuadro 8 y 9).

Cuadro 8. Contenido de nitrógeno en la hojarasca de la parcela de café y sombra de madero negro + fertilización en la finca San Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca		Ramas y raquis	Flores y frutos	Total Kg ha ⁻¹
	Café	Madero			
Enero	9.4	3.36	0.04	1.64	14.44
Febrero	27.68	5.36	0.64	3.68	37.36
Marzo	28.12	1.96	0.8	2.88	33.76
Abril	10.52	1.52	0.76	0	12.8
Mayo	10.6	2.16	0.84	0.64	14.24
Junio	6.04	3.68	0.32	1.08	11.12
Julio	4.36	2.04	0.36	1.08	7.84
Agosto	6.08	3.2	1.92	4.44	15.64
Septiembre	2.44	2.16	2.08	1.96	8.64
Octubre	0.68	2.64	0.44	1.96	5.72
Noviembre	3.28	7.08	1.36	2.2	13.92
Diciembre	4.44	4.2	1.56	3.2	13.4
TOTAL	113.64	39.36	11.12	24.76	188.88

Carvajal (1984), citado por Palma (1991), encontró que una cosecha de 30 fanegas de café en uva retira del suelo las siguientes cantidades de nutrientes: 43.33 kg de N; 8.36 kg de P; 48.07 kg de K y 4.67 kg de Mg (una fanega equivale a 238 kg de café en uva).

Cuadro 9. Contenido de potasio en la hojarasca de la parcela de café y sombra de madero negro + fertilización en la finca San Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca		Ramas y raquis	Flores y frutos	Total kg ha ⁻¹
	Café	Madero			
Enero	7.84	18	0.08	1.52	27.44
Febrero	23.16	3	1.16	3.44	30.76
Marzo	12.56	1.08	0.76	1.84	16.24
Abril	4.68	0.84	0.72	0	6.24
Mayo	6.88	8.4	0.24	0.4	15.92
Junio	3.92	2	0.36	0.36	6.64
Julio	1.2	1.48	0.08	1.04	3.8
Agosto	1.68	2.36	0.72	4.16	8.92
Septiembre	6.28	1.32	1.32	1.48	10.4
Octubre	1.72	1.6	0.28	1.48	5.08
Noviembre	6.56	0.4	2	5.04	14
Diciembre	8.88	0.24	2.28	7.44	18.84
TOTAL	85.36	40.72	10	28.2	164.28

4.2.3 Cantidades de N y K en los residuos capturados en la parcela con sombra de *G. sepium* y sin aplicación de fertilizantes

Debido a la diversidad de los factores agroecológicos y diversos manejos que se les brinda al cultivo, es de suma importancia evaluar los sistemas de cultivos que ayuden de alguna manera a contrarrestar las bajas de los precios para brindar un café de alta calidad. El componente arbóreo proporciona cantidades altas de residuos vegetales (podas, hojarasca, etc.) al suelo, los cuales por medio del proceso de degradación y mineralización, liberan elementos nutritivos al suelo para su incorporación al sistema de nuevo (Fassbender, 1984).

En este tratamiento se encontró un aporte de nutrientes al sistema de 295.64 y 245.76 kg ha⁻¹ de nitrógeno y potasio; de esto la hoja de café y madero negro contribuyen en un 54.47 % y 19.60% de nitrógeno y 46.61% y 16.92% en potasio respectivamente (Cuadros 10 y 11).

Cuadro 10. Contenido de nitrógeno en la hojarasca de la parcela de café y sombra de madero negro + sin fertilización, en la finca San Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca		Ramas y raquis	Flores y frutos	Total kg ha ⁻¹
	Café	Madero			
Enero	6.12	5.08	0.44	1.88	13.52
Febrero	19.68	6.2	0.92	2.4	29.2
Marzo	59.76	2.24	0.8	1.72	64.52
Abril	32.48	2.92	35.92	0	71.32
Mayo	15.16	3.36	1.4	2.88	22.8
Junio	3.84	3.68	3.12	0.52	11.16
Julio	4.52	4.32	0.52	0.6	9.96
Agosto	4.04	9	1.84	3.08	17.96
Septiembre	4.24	7.12	2.16	0.8	14.32
Octubre	2.12	6.56	2.04	0.2	10.92
Noviembre	2.84	4.4	1.6	2	10.84
Diciembre	6.24	3.08	2.84	6.96	19.12
TOTAL	161.04	57.96	53.6	23.04	295.64

En Ibadan, Nigeria en una poda de *G.sepium* a una densidad de 5000 árboles por hectárea, después de dos años se encontró valores de 126 kg ha⁻¹ de nitrógeno; 8 kg ha⁻¹ de fósforo y 86 kg/ha⁻¹ de potasio (Yamoah *et al*, 1986).

Cuando se aportan nutrimentos mediante aplicación de materia orgánica al suelo, se incrementa su reserva en el mismo y su fertilidad, obteniendo una liberación lenta y progresiva, logrando una garantía de que los elementos nutricionales como el Nitrógeno, permanezcan retenidos y no se pierdan por lavado (Kass, 1998).

Se demostró que la hojarasca de café es la que más aporta contenido de Nitrógeno y Potasio en los tres tratamientos en estudio. Las dos parcelas con sombra de *G. sepium* son las que mayor aportan cantidad de minerales (N y K) a través de los residuos vegetales.

Cuadro 11. Contenido de potasio en la hojarasca de la parcela de café y sombra de madero negro + sin fertilización en la finca San Francisco, Carazo.

Meses	Hojarasca		Ramas y raquis	Flores y frutos	Total Kg ha ⁻¹
	Café	Madero			
Enero	12.16	2.88	0.44	1.8	17.28
Febrero	39.16	3.52	0.92	2.28	45.88
Marzo	15.24	1.16	0.6	1.28	18.28
Abril	8.28	1.52	0.56	0	10.36
Mayo	14.24	1.64	5.84	1.44	23.16
Junio	3.6	1.8	12.96	0.28	18.64
Julio	2.32	2.4	0.64	0.44	5.8
Agosto	2.08	4.96	2.16	2.36	11.56
Septiembre	2.08	4.96	2.16	2.36	11.56
Octubre	1.84	2.76	1.4	24.8	30.8
Noviembre	4.24	8.24	2.44	4.04	18.96
Diciembre	9.32	5.76	4.36	14.04	33.48
TOTAL	114.56	41.6	34.48	55.12	245.76

4.3.- Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca

4.3.1.- Tasas de descomposición de la hojarasca

La descomposición de la hojarasca en el suelo es un proceso clave en el reciclaje de nutrientes en los agrosistemas ya que constituye la principal fuente de nutrientes para la vegetación, fauna y microorganismos (Prause *et al.*, 2003).

Los datos obtenidos de las tasas de descomposición de hojarasca de café sola y en mezcla con hojas de *Gliricidia sepium* durante 96 días de exposición al suelo fueron estadísticamente diferentes.

En la parcela a plena exposición solar (Psol) la tasa de descomposición de la hojarasca de café fue de $k = 0.0855$ y 0.00174 ; $p = < 0.0001$; $R^2 = 0.998$. En la parcela de café bajo sombra de *G. sepium* y sin fertilización con una tasa de descomposición de $k = 0.0734$ y 0.00123 ; $p = < 0.0001$; $R^2 = 0.999$, mientras en la parcela de café bajo sombra de *G. sepium* y fertilizada obtuvo una tasa de descomposición de $k = 0.074$ y 0.00123 ; $p = 0.0001$; $R^2 = 0.998$ (Gráfico 7).

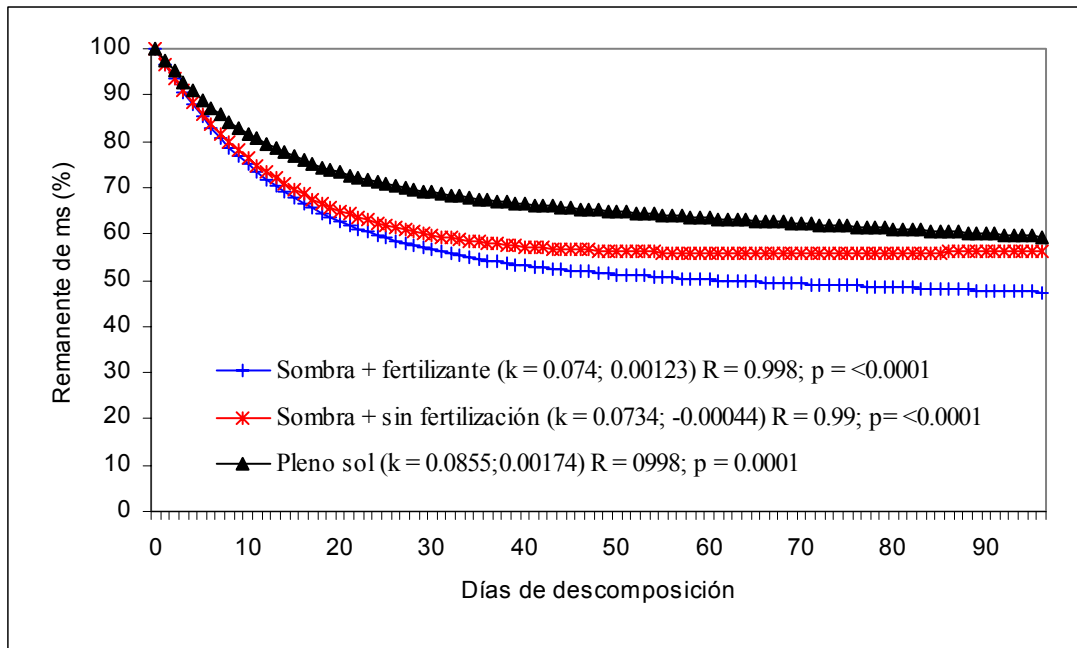


Gráfico 7.- Tasas de descomposición de la hojarasca de *C. arabica* y *G. sepium* en diferentes sistemas de manejo.

La hoja de café sola, obtuvo una lenta descomposición debido probablemente a la presencia de contenidos fitotóxicos tales como, determinados lípidos, resinas, celulosa, grasas, taninos y un alto contenido de lignina, ejerciendo un efecto resistente que prolonga la biodegradación de las hojas (Moreno, 1996).

La descomposición de las hojas en mezclas de café y madero demuestran una rápida descomposición siendo la parcela con fertilizante (PCF), la que presentó mayor velocidad de descomposición, seguido de la parcela sin fertilización (PSF), esto se debe a la riqueza en nitrógeno de la hoja de la leguminosa expresada en la relación C/N y el contenido en compuestos hidrosolubles, tipo polisacáridos (Moreno, 1996).

Munguía (2003), encontró que la tasa de descomposición de la hojarasca de *E. deglupta* en dos fincas en Costa Rica fueron lentas (-0.081) y (-0.163), mientras que la tasa de descomposición de hojas en mezclas de *E. deglupta* + *C. arabica* es mayor con -0.137; sin embargo, en la mezcla de *E. deglupta* + *E. poeppigiana* la velocidad de descomposición se incrementa a -0.255 y -0.256.

Una hojarasca de alta calidad puede estimular la descomposición de hojas adyacentes más recalcitrantes. Se ha sugerido que la transferencia de nutrientes de una especie a otra en mezclas de hojarasca, disminuye la limitación de nutrientes para la comunidad descomponedora aumentando así la descomposición total (Santibáñez, 2004).

Sánchez, (1981) señala que las diferencias en las tasas de descomposición de las especies están relacionadas con la textura de las hojas, especies con hojas de texturas coriáceas presentan una tasa de descomposición lenta y las de texturas membráceas una descomposición rápida.

En los tratamientos de café y madero con fertilización y sin fertilización el comportamiento de la tasa de descomposición es rápido y similar hasta los 12 días, esto es debido a que los compuestos solubles y de fácil degradación como los azúcares, almidones y proteínas son rápidamente consumidos por las bacterias y hongos ya que cerca del 80 % de la degradación de la hojarasca es realizada por estos (Valenzuela *et al.*, 2001), por otro lado, las hojas y tallos bajo sombra son más blandos que los expuestos a la luz (Thaiutsa y Granger, 2005).

Otros factores que influyeron en la descomposición fueron, la temperatura y la humedad ya que las muestras se expusieron en los meses de septiembre y octubre, este último presentó mayor precipitación en el año en la zona de estudio (Gráfico 2).

La vida microbiana y su multiplicación exigen la presencia de agua, bien provenga de los residuos vegetales o de precipitaciones, realizando con mayor rapidez la desintegración de la biomasa (Moreno, 1996).

Según Fassbender (1984), el rango de temperatura óptima para la descomposición de los residuos vegetales es de 25 a 28 °C, la materia orgánica tiende a disminuir su contenido, lo que implica que la temperatura crítica de 25 °C es decisiva en la producción y degradación de restos vegetales, pero la precipitación es más importante sumado a una humedad del suelo relativamente normal, mientras que Ibarra (2003), agrega que también el pH del suelo influye en la transformación de los residuos vegetales, especialmente los suelos ricos en calcio (Fuentes, 1994), estos señalan que las tasas de descomposición son reguladas por factores edafo-

climáticos, por la cantidad y calidad de la hojarasca y por las características de los organismos descomponedores.

4.3.2.- Tasas de liberación de nutrientes en la hojarasca

Después de la destrucción mecánica y física de los restos vegetales, se produce el ataque por microorganismos que a base de sus jugos digestivos y enzimas, llevan a la destrucción de los componentes orgánicos y a la liberación de minerales (Fassbender, 1986).

La liberación de nutrientes durante la descomposición de la hojarasca, es conocido como uno de los cuantitativamente más importantes procesos que contribuyen con el ciclo de nutrientes en los agrosistemas (Prause, 2003). Es un proceso que pueden tardar horas ó meses dependiendo de múltiples factores como condiciones climáticas y edáficas, especie vegetal, edad y densidad de las poblaciones donde la tasa de fijación puede variar ampliamente dependiendo del proceso de fijación y de los microorganismos (Ibarra, 2003).

El potasio es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Las plantas lo obtienen del suelo que proviene de la meteorización de los minerales, de la mineralización de los residuos orgánicos o el que proviene de los abonos y fertilizantes, actúa favoreciendo el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos (Conti, 2000), además proporciona resistencia a los tejidos y aumenta la resistencia de las plantas a las enfermedades (Zamora.1998).

La descomposición de la hojarasca de café sola obtuvo una tasa de liberación de Potasio: $k = 0.0971$ y 0.0303 ; $R^2 = 0.974$; $p = 0.007$, mostrando una liberación lenta. La parcela con sombra de *Gliricidia sepium* y fertilizado fue de $k = 0.0626$ y 0.0536 ; $R^2 = 0.988$ $p = 0.0023$, con relación a la parcela de café bajo sombra de *Gliricidia sepium* y sin fertilización presentó una tasa de liberación de $k = 0.0705$ y 0.0587 ; $R^2 = 0.961$, $p = 0.0127$. Las tasas de liberación del potasio fueron estadísticamente diferentes entre las muestras analizadas (Gráfico 8).

Una de las características importantes de este elemento es que siempre se acumula en tejidos vegetales donde la división celular y los procesos de crecimiento son más activos, encontrándose en forma soluble (iónica) dentro del jugo celular, ya que no se combina con otros elementos para formar masa protoplasmática o compuestos grasos (Kass, 1996).

El potasio es liberado independientemente de las pérdidas de materia seca ocurriendo inmovilización de los otros elementos en el remanente del material de descomposición.

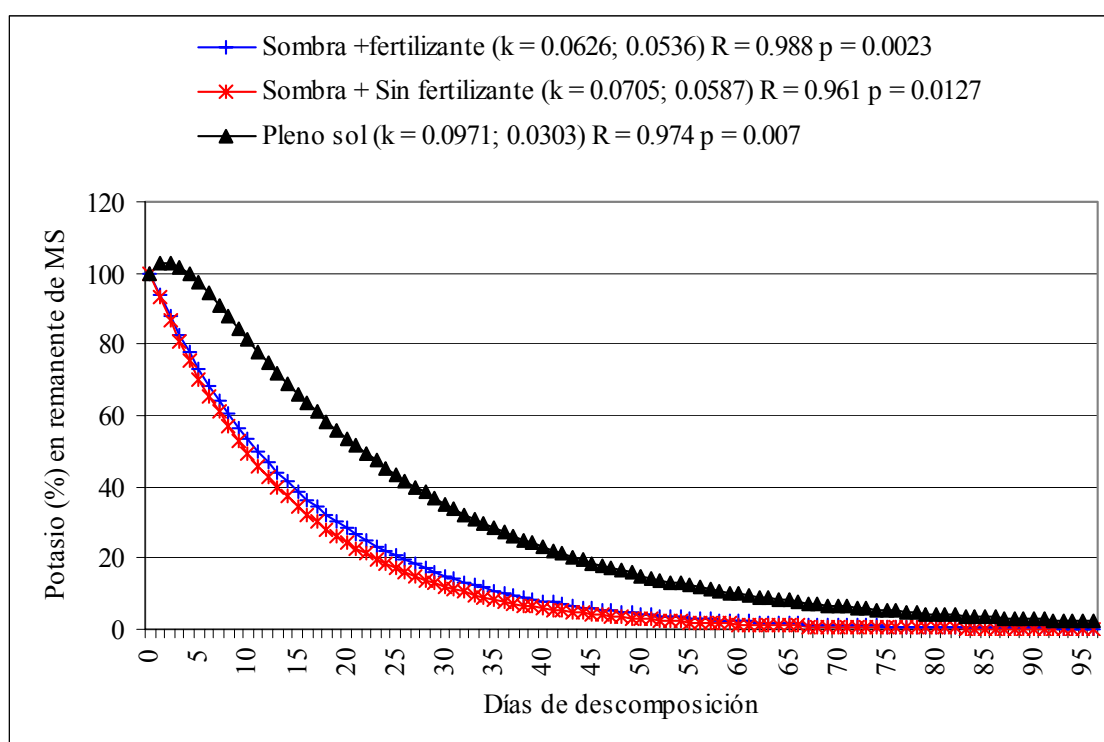
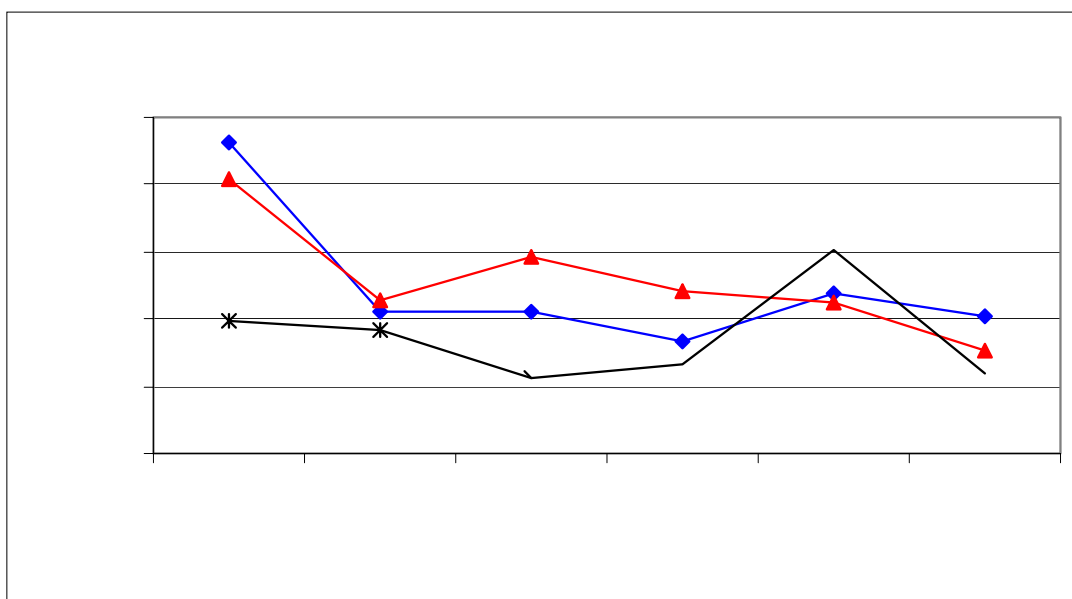


Gráfico 8.- Tasas de liberación de Potasio de la hojarasca de *C. arabica* y *G. sepium* en diferentes sistemas de manejo.

La importancia del nitrógeno para las plantas se acentúa por el hecho de que sólo carbono, hidrógeno y oxígeno abundan más en ellas. El N es el elemento más importante de los procesos fisiológicos que gobiernan la vida de las plantas; ya que forma parte indispensable de la molécula de clorofila, donde tienen lugar importantes reacciones fotosintéticas para la producción de materia seca o biomasa (Salisbury y

Ross, 1994). El nitrógeno es absorbido por las plantas como amonio y nitrato principalmente (Escobar, 1990).

Con este propósito generalmente son utilizadas especies leguminosas, por su alto contenido de N y por su disponibilidad de absorción por los cultivos (Giller y Wilson ,1991), donde los microorganismos, particularmente las bacterias, juegan un importante papel en todas las principales transformaciones del nitrógeno.



En este estudio, se observó que la velocidad de liberación del nitrógeno fue muy rápida en los primeros días de la descomposición de la hojarasca en las muestras analizadas de los tres tratamientos hasta los 24 días, según Fuentes (1994), esto se debe a la riqueza de nitrógeno en los residuos vegetales, lo que conlleva a una mayor actividad de los microorganismos como una necesidad para sintetizar sus proteínas. Luego se incrementó la concentración de este elemento en la muestra de las parcela a pleno sol y con sombra y fertilización (Gráfico 9). Bahuguna *et al.*, (1990), indica que el incremento de la concentración de N es atribuido a una mayor actividad microbiana, durante el período de descomposición y la adición a través de las precipitaciones y la aplicación de fertilizantes.

El fósforo forma parte en la composición de ácidos nucleicos, así como las sustancias de reserva en semillas y bulbos. Contribuye a la formación de yemas, raíces y a la floración, así como a la lignificación. La mayor parte del fósforo presente en el suelo no es accesible a las plantas y su emisión en la solución del suelo es muy lenta (INFOAGRO, 2006).

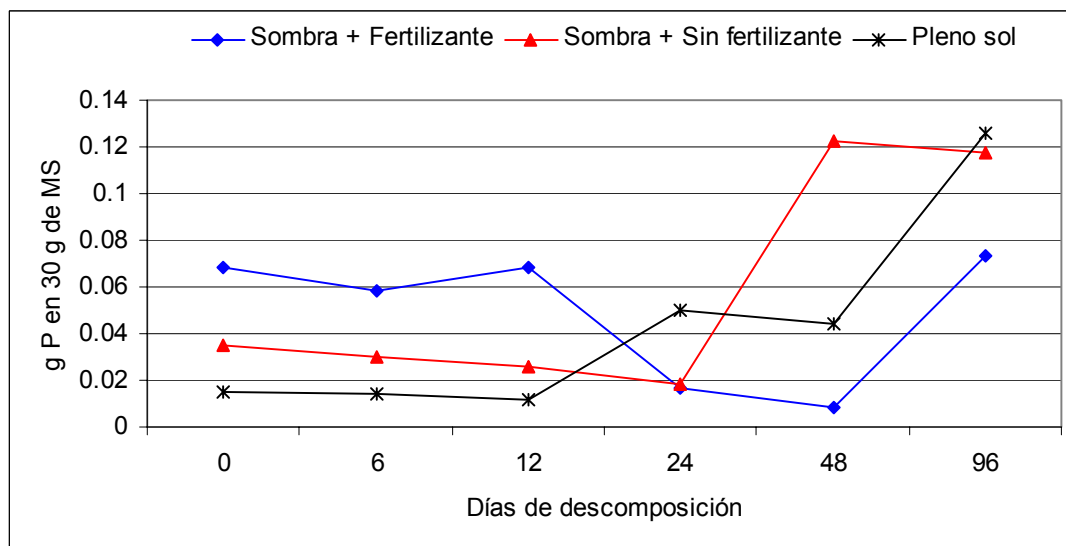


Gráfico 10.- Tasas de liberación de Fósforo de la hojarasca de *C. arabica* y *G. sepium* en diferentes sistemas de manejo.

En este estudio, se observó que la tasa de liberación del fósforo tuvo un comportamiento similar a la del Nitrógeno hasta los 24 días, liberándose por efectos de descomposición de la hojarasca, pasando así a la solución del suelo, posteriormente indicó un incremento en la concentración de este elemento (Gráfico 10) debido a que los microorganismos incorporan fósforo orgánico después de haberlo tomado para su alimentación (Jiménez, 1992).

V. CONCLUSIONES

- El sistema de manejo con sombra de *G. sepium* y sin aplicación de fertilizantes químicos obtuvo una de las mayores producciones de materia seca a partir de la caída de hojarasca y otros residuos vegetales siendo de 9,686.40 kg ha⁻¹ con respecto a los otros tipos de manejo.
- Las cantidades mayores de elementos nutritivos almacenadas en los residuos vegetales caídos naturalmente, fueron aportados por el sistema de manejo con sombra de *G. sepium* y sin aplicación de fertilización química con 295.64 y 245.76 kg ha⁻¹ de nitrógeno y potasio, respectivamente.
- La tasa de velocidad de descomposición que se obtuvo en la mezcla de hojas de café y madero negro con aplicación de fertilizantes ($k = 0.074$; 0.00123) fue la mayor que con respecto a los otros tratamientos.
- Para los tres tratamientos establecidos, el elemento que se liberó más rápidamente, fue el Potasio, proporcional a la tasa de descomposición, seguido por el Nitrógeno y finalmente el fósforo, con dinámicas diferentes.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Ya que el madero negro aporta una cantidad significativa de hojarasca e incrementa la velocidad de descomposición en la hojarasca de café, se recomienda aumentar la densidad de esta leguminosa en el sistema estudiado, pero sin embargo, se deberá de regular sistemáticamente los niveles de sombra óptimos en el cafetal.
- ❖ Realizar estudios de descomposición de hojarasca estableciendo mezclas con más de dos especies de sombra que pueden ser leguminosas o no, para conocer si existen efectos positivos o negativos sobre las tasas de velocidad de descomposición de los materiales vegetales.
- ❖ El cultivo de café a plena exposición solar se establezca únicamente en los lugares con condiciones edafoclimáticas óptimas (sitios de mayor altura, nubosidad, etc.), según la variedad, para disminuir los costos de producción.
- ❖ Promover la producción de café orgánico con uso de tecnologías amigables con el ambiente como la aplicación de fertilizantes orgánicos, el manejo de los residuos vegetales provenientes de podas de árboles de sombra, etc, disminuyendo así los costos de producción.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Action Bioscience, 2001. Los Microbios: Cómo funcionan y cómo los cambian los antibióticos (en línea) New Jersey, USA. Consultado 25 junio 2005. Disponible en <http://www.actionbioscience.org/esp/evolutio/meade-callahan.html>.
- Aguilar, G. 1995. Variedad Costa Rica 95. ICAFE. 1^{ra} Edición. San José, Costa Rica. 30 p.
- ALADI (Asociación Latinoamericana de Integración),2001. Asistencia técnica y capacitación en sistemas agroforestales tipo multiestratos. Departamento de Promoción Económica. Publicación No. 11/01 (En línea). Montevideo, Uruguay. Consultado el 27 de Enero del 2006. Disponible en: [http://www.aladi.org/nsfaladi/estudios.nsf/438f22281c05235303256848005ea465/c8150a32e41c8e3603256a3100634b50/\\$FILE/11-01.doc](http://www.aladi.org/nsfaladi/estudios.nsf/438f22281c05235303256848005ea465/c8150a32e41c8e3603256a3100634b50/$FILE/11-01.doc)
- Alfonso, O. Linares; O. Rubio, A. 2003. Tres cuentos en el Bajo Calima. Cuento No.3 “sistemas agroforestales”. (En línea). Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. Consultado el 28 de enero del 2006. Disponible en: <http://200.13.202.26:90/pronatta/proyectos/pdf/public/201763439car3.pdf>
- Alvarado, M; Rojas, G. 1998.El cultivo y beneficiado del café. 1 reimp de la 1 ed. San José, Costa Rica, EUNED. 184 p.
- ANACAFE (Asociación Nacional de Caficultores). 1998. Manual de Caficultura. 3^{ra} Edición. Guatemala. 317 p.
- Araya, F.1987. Efecto del Madero (*Gliricidia sepium*) como abono verde en un sistema de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) en relevo en Acosta Puriscal, San José. Tesis Magíster Scientiae. Turrialba, Costa Rica. 108 p.
- Argüello, V. 2005. Cambios en la compasión bioquímica y su aplicabilidad en el uso de follajes verdes como fuente de material orgánica y nutrimentos en sistemas agroforestales. (En línea) Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Consultado 03 de febrero de 2006. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2005840/>

- Bahuguna,V; Negi,J; Johi,S. 1990. Leaf litter decomposition and nutrient release in *Shorea robusta* and *Eucalytus camaldulensis* plantation. Indian Forester. 116 (1):p. 103- 114.
- BCN (Banco Central de Nicaragua), 2004. Informe Anual: Desempeño de la economía Nicaraguense (en línea). Managua, Nicaragua. Consultado 25 de octubre 2005. Disponible en [http:// www.bcn.gob.ni](http://www.bcn.gob.ni)
- Blanco, N. 1992. Deficiencias Nutricionales en Café. Comisión Nacional del Café. Boletín Técnico N° 4 Sep- octubre. Managua, Nicaragua.12p.
- Brandt, A. 1998. Catimor T- 8667 o variedad Costa Rica 95, Para la productividad del café guatemalteco. (En línea).Guatemala, Guatemala. Consultado el 24 de enero del 2006.Disponible en <http://www.disagro.com/manejo5.htm>
- Carvajal, J. 1984. Cafeto-cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potasa. 2^{da} Edición. Berna, suiza. 254p.
- Castro B., J. E.; Díaz V., D. C. 2004. Evaluación de tres sistemas de manejo sobre el crecimiento, estructura productiva y calidad del café (*Coffea arabica* L.) Vr. Costa Rica 95. Tesis Ing. Agrónomo. UNA, Managua, Nicaragua.68p.
- Castañeda, P; Castañeda, O. 2000.El café ecológico. Algunas recomendaciones para su cultivo, procesamiento y comercialización.1^{ra} Edición. Guatemala, Guatemala. 230p.
- CATIE, 1991. Madero Negro (*Gliricidia sepium* (Jacquin) Kunth ex Walpers). Árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, C. R. (Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no. 180). 72 p.
- CENAGRO (Censo Nacional Agropecuario) 2004. Resultados finales. (En línea). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. INEC. Consultado el 24 de noviembre del 2005. Disponible en: www.inec.gob.ni
- Cisnero, D; Arias, V; Fonseca, C; Ramírez, M; Obando, J. 2000. Estudio del comportamiento agropecuario de los materiales genéticos caturra, Variedad costa rica 95, catuaí y catimor T5175 en ocho zonas cafetaleras en Costa Rica. p. 243-250.

- Conti, M. 2000. Dinámica de la liberación y fijación de Potasio en el suelo. (En línea). Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Consultado el 31 de enero del 2006. Disponible en: <http://www.ppi-ppic.org>
- Coste, R. 1975. El café. 1^{ra} reimpresión. Barcelona, España. 284 p.
- Cordero, J. 2003. Árboles de Centro América. Manual Para extensionistas, CATIE, Turrialba, Costa Rica. p.549 – 554.
- Dudal. R and Roy .R.N (Eds), 1995, Integrated plant nutrition systems, FAO, Rome, Italy, 155- 164p.
- Escobar, M. 1990. Dinámica del nitrógeno en un cultivo en callejones de poro *Eritrina poeppigiana* (Walpers) y Madero negro *Gliricidia sepium* (Jacq) con frijol común *Phaseolus vulgaris*. Tesis Mag. Turrialba, Costa Rica. CATIE.98 p.
- Fact Net, winrock internacional. 1998. Una guía útil para los árboles fijadores de nitrógeno del mundo (en línea) 38 Winrock Drive Morrilton, AR, USA. Consultado 25 junio 2004. Disponible en <http://www.winrock.org/forestry/facnet.htm>
- FAO, 2004. Sistema de información científico técnico. Buenas prácticas tecnológicas. (En línea). Honduras 027.Consultado el 21 de enero del 2006. Disponible en: http://www.fao-sict.un.hn/practicass/011_bioabono_pulpa.htm
- Fassbender H, 1984. Bases edafológicas de los sistemas de producción agroforestal.1^{ra} Edición CATIE. Turrialba, Costa Rica.192p.
- 1986. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina.1^{ra} Edición IICA. San José, Costa Rica. 398p.
- 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales.2^{da} Edición CATIE. Turrialba, Costa Rica. 491 p.
- Fournier. L, 1987. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: Un enfoque agronómico y ecofisiológico, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica .p.131-132.
- Fuentes, J. 1994. El suelo y los fertilizantes. 4^{ta} Edición. Mundi empresa. Madrid, España. p 55-58.
- García, D. Sánchez, P. Montoya, A. 2005. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total del tomate. (En línea). Chapingo, México.

- Consultado el 18 de enero del 2006. Disponible en:
<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/20/4/art401-409.pdf>
- Gelfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor. Vol. II. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 422-550.
- Gil, M. 1995. Elementos de fisiología Vegetal; 1^{ra} Edición; Madrid, España. 1147p.
- Giller, K; Wilson, K. 1991. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB International. UK. 313p.
- Gómez, E; Rodríguez, L; Murgueitio, E. 1995. Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica. FAO. 1 edición. Calí, Colombia. 130 p.
- Heuvelop, J. Alpizar, L. Fassbender, H. Henríquez, G. Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con Laurel (*Cordia alliodora*) y café con Poró (*Erythrina poeppigiana*). Turrialba, Costa Rica. Vol. 35, N° 4. p. 347-355.
- Ibarra, M, 2003. Dinámica de Nutrientes en Ecosistemas Forestales. Curso de ecofisiología forestal. (En línea). Universidad de Chile. Consultado el 27 de enero del 2003. Disponible en <http://146.83.41.79/proferor/ecofor03/dinNut.doc>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2003. Estudio de la cadena de comercialización del café. 1^{ra} Edición, Managua, Nicaragua. 169 p.
- INFOAGRO. 2006. Análisis de suelos. (En línea). Madrid, España. Consultado el 3 de febrero de 2006. Disponible en: http://www.infoagro.com/abonos/analisis_suelos.htm
- In Motion Magazine, 2005. Bases Científicas de la Agricultura Tropical Sustentable. (En línea). Barinas, Venezuela. Consultado 30 septiembre 2005. Disponible en http://www.inmotionmagazine.com/global/man_base.html
- Jiménez, S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta. Tipos, evaluaciones y aplicaciones. 1^{ra} Edición. Madrid, España. 146 p.
- Jiménez, E; Martínez, P. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero: II producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. *Biótica*. 4 (3) p. 109-127.
- Jong, H J. 1990. Apuntes de dendrología II. Universidad Nacional Agraria. Managua Nicaragua. 273 p.
- Kass, D. 1996. Fertilidad de suelos. 1^{ra} Edición San José, Costa Rica. 272p.

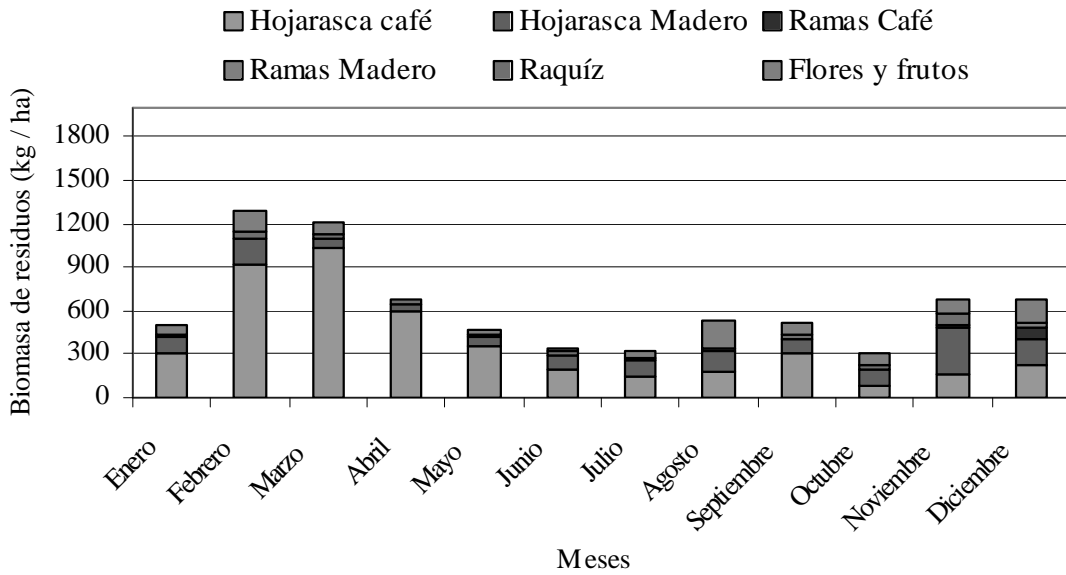
- Krishnamurthy, L; Ávila. L; 1996; Agroforestería Básica; 1 edición; México, D.F, México, FAO, 340 p.
- Lampking, 1998; Agricultura ecológica, 1^{ra} Edición, Madrid, España, Ediciones mundiprensa. p.18- 21.
- Lehmann, J; Schroth, G; Zech, W.1995. Decomposition and nutrient release from leaves, twigs and roots of three alley cropped tree legumes in Central Togo. *Agroforestry Systems* 29: 21 – 36 p.
- Marín, C. 1990. Estudios agroecológicos y su aplicación al desarrollo productivo agropecuario. Ministerio de Agricultura y ganadería (MAG).242p.
- Montagnini, FI; Jordan, C.F; Matta , R. 1999. Reciclaje y eficiencia en el uso de nutrientes en sistemas agroforestales. 9: p. 21 – 40.
- Moreno, J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1^{ra}. Co – edicion. Madrid, España. 174p.
- Munguía, R. 2003. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y de las hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* solas y en mezclas. Tesis Magíster Scientiae. Turrialba, Costa Rica, 82 p.
- Muschler, R. 2000. Sombra o sol para un café sostenible. Enfoque de una vieja discusión. Simposio Latinoamericano de caficultura. San José, Costa Rica. p. 471-476.
- Osorio, V. 2004. Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café. Tesis Magíster Scientiae. Turrialba, Costa Rica, 89 p.
- Palma, M. 1991. Estimación de los requerimientos de fertilización del café a partir del diagnóstico químico del suelo. XIV Simposio sobre caficultura latinoamericana. IICA. Panamá, Panamá. p. 433-434.
- Prause, J; Lifschitz, A; Toledo D; 200 Prause, 2003. Dinámica de la mineralización de N, P, y K en las hojas de *Schinopsis balansae* Engl sobre un suelo forestal del parque Chaqueño húmedo. (En línea). Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral, Argentina.). Consultado el 15 de Noviembre del 2005. Disponible en: www://fcf.unse.edu.ar/pdf/Quebrado/910-05npk.pdf

- Quintana, J; Caceres, V; Aleman,J; Obando,L; Gallardo,A. 1983. Informe de las investigaciones sobre la fertilidad de los suelos en Nicaragua 1980-1982. MIDINRA. Managua, Nicaragua. 159p.
- Robledo, A.1994. Simposio internacional sobre café adensado. Instituto Agronómico de Paraná. Londrina, Brasil. p.49:50 – 66 .
- Salisbury, F.B; Ross,C. 1994. Fisiología Vegetal. 4 ed. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 759p.
- Salas, B.1993. Árboles de Nicaragua. Managua, Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENA) 390p.
- Sánchez, A. 1981. Nitrógeno en el suelo del trópico, Características y manejo. IICA. San Jose, Costa Rica. 408 p.
- Santibáñez, C. 2004. Dinámica de la descomposición de hojarasca en función de la riqueza de especies. (En línea). Curso de ecología de ambientes fragmentados. Programa de doctorado campus sur, Universidad de Chile. Consultado el 3 de agosto del 2005. Disponible en:
http://www.veterianria.uchile.cl/profesor/agrez/informaciones%20fragmentaci%F3n/seminarios/MONOGRAFIA_CSV.pdf#search='descomposicion%2Ahojarasca%2Auniversidad%20de%20chile
- Thaiutsa, B; Granger, O. 2005. El clima y la descomposición de la hojarasca en el bosque tropical. (En Línea). FAO. Roma, Italia. Consultado el 15 Diciembre del 2005. Disponible en:
http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/n6845s/n6845s05.htm
- Valenzuela, E; Godoy, R; Leiva, S. 2001.Variación estacional y potencial enzimático de micro hongos asociados con la descomposición de hojarasca de *Nothofagus pumilio*. (En Línea).Revista Chilena de historia natural. Vol. 74.2001.Consultado el 28 de noviembre Del 2005. Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2001000400001&scrip=sci_arttext&tlng=es
- Valdés, R; Vento, H. 1986. Influencia de la nutrición nitrogenada y fosfórica en la capacidad fotosintética del café cultivado a pleno sol. 1. edición. La Habana, Cuba. 44p.

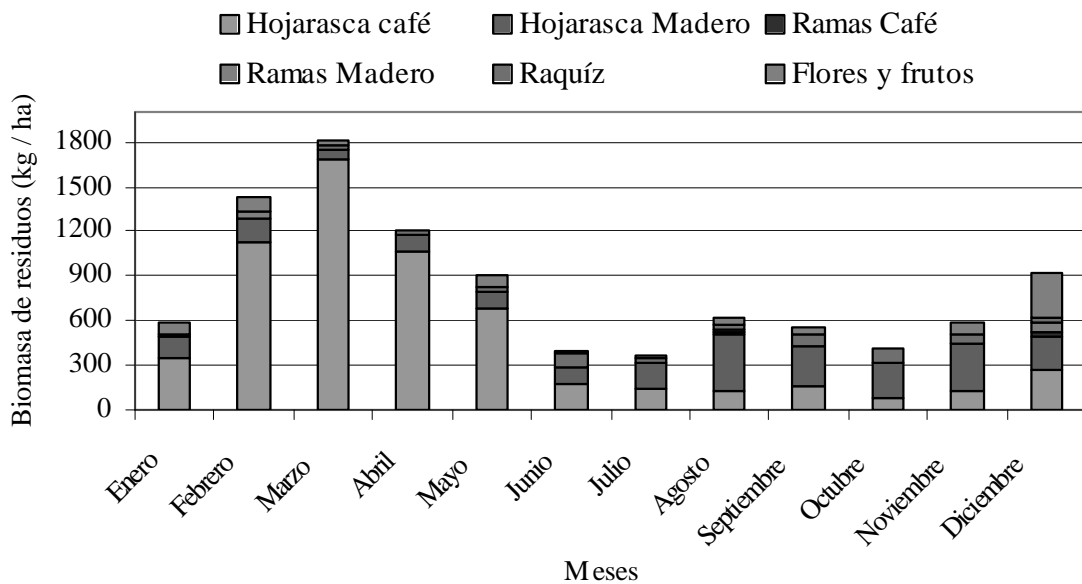
Yamoah, C; Agboola, A; Wilson, C. 1986. Nutrient contribution and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry systems*. Holand. 4:247-254 p.

Zamora, L. 1998. Manual de recomendaciones de cultivo de Café, 1^{ra} Edición. Heredia, Costa Rica, ICAFE –CICAFE, 139 p.

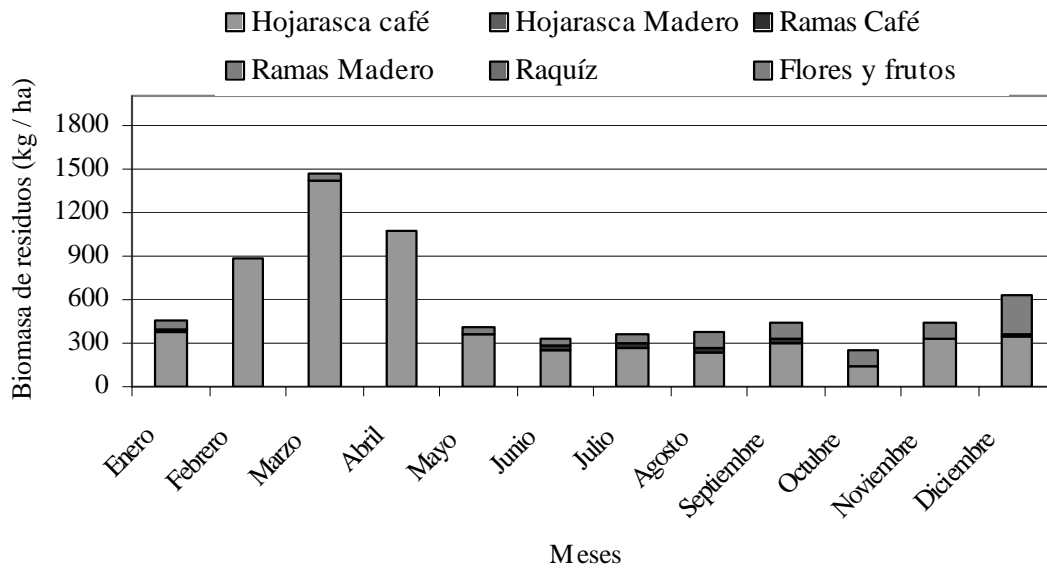
ANEXOS



Anexo 1. Dinámica de la caída natural de los residuos vegetales en café con sombra de *G. sepium* y fertilizada, en Finca San Francisco, Carazo, Nicaragua, 2004.



Anexo 2. Dinámica de la caída natural de los residuos vegetales de café con sombra de *G. sepium* sin fertilizar, Finca San Francisco, Carazo, Nicaragua, 2004.



Anexo 3. Dinámica de la caída natural de residuos vegetales en café a plena exposición solar fertilizado, en Finca San Francisco, carazo Nicaragua, 2004.

Anexo 4. Manejo agronómico: Momento, fórmula y dosis de aplicación de fertilizantes en la finca San Francisco, Carazo.

Mes	Fórmula	Dosis (kg/ha)
Junio/2004	Urea	272
	KCl	45
Agosto/2004	30-00-20	230
	KCl	92
Octubre/2004	Urea	260
	KCl	65