

**APORTE DE BIOMASA Y CICLAJE DE NUTRIENTES EN DOS SISTEMAS DE
PRODUCCION DE CAFÉ.**

**Trabajo de grado bajo la modalidad de Diplomado presentado como
requisito para optar al título de ingeniera agroforestal**

Presentado Por:

JUANA ZORAYA IBARRA SOLIS

BRIGITH YURLEY MINDINEROS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

INGENIERIA AGROFORESTAL

DIPLOMADO EN SAF COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE

EN LA PRODUCCION DE CAFES ESPECIALES

PASTO-NARIÑO

2011

**APORTE DE BIOMASA Y CICLAJE DE NUTRIENTES EN DOS SISTEMAS DE
PRODUCCION DE CAFÉ.**

**Trabajo de grado bajo la modalidad de Diplomado presentado como
requisito para optar al título de ingeniera agroforestal**

Presentado Por:

JUANA ZORAYA IBARRA SOLIS

BRIGITH YURLEY MINDINEROS

Presidente (a):

SANDRA PATRICIA QUIROZ ORTIZ I.A.F

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

INGENIERIA AGROFORESTAL

DIPLOMADO EN SAF COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE

EN LA PRODUCCION DE CAFES ESPECIALES

PASTO-NARIÑO

2011

“Las ideas y conclusiones aportadas en el artículo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1^o de acuerdo № 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño

Nota de aceptación

SANDRA QUIROZ RUIZ I.AF

Presidente

JAMES DEL CASTILLO I.A

Jurado Delegado

JORGE FERNANDO NAVIA ESTRADA I.A, Ph,D

Jurado

San Juan de Pasto, 17 de noviembre de 2011

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre presente en cada uno de los días de mi vida y apoyarme siempre

A mis padres Beatriz Solis y Yovin Ibarra por hacer lo imposible para el logro de esta nueva meta.

A mis hermanos por ser fuente de estímulos constante en la realización de este sueño anhelado.

A mi querida y especial abuela Floripe Sevillano que Dios me la siga conservando con vida y salud.

A mi familia gracias por su apoyo y compañía, porque fue un gran esfuerzo y sacrificio de todos.

JUANA ZORAYA IBARRA SOLIS

DEDICATORIA

A dios por ser mi padre y confidente y regalarme cada maravilloso dia para cumplir de mis metas.

A mi madre amada Dialix O. Rodriguez Quiñones por todo su amor, apoyo y sacrificios.

A mi familiares abuela, tios, primos, sobrinos por estar siempre a mi lado brindándome siempre una sonrisa y,

A mis angeles que desde donde están siempre me iluminan.

BRIGITH YURLEY MINDINEROS RODRIGUEZ

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 GENERAL	14
2.2 ESPECIFICOS.....	14
3. MARCO REFERENCIAL	15
3.1 ASPECTOS GENERALES DEL CAFÉ.....	15
3.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ	16
3.3 SISTEMAS AGROFORESTALES.....	18
3.4 APORTE DE BIOMASA Y NUTRIENTES POR LOS ÁRBOLES DE SOMBRA EN LOS SISTEMAS	19
3.5 DESCOMPOSICION DE LA HOJARASCA	20
3.5.1 APORTE DE MATERIA SECA Y LIBERACIÓN DE NUTRIENTES EN SAF CON CAFÉ.....	23
4. APORTE DE BIOMASA Y CICLAJE DE NUTRIENTES EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCION DE CAFÉ.....	35
4.1 METODOLOGIA.....	35
4.1.1 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACION	35
5. CONCLUSIONES	45
6. RECOMENDACIONES	46
7. BIBLIOGRAFIA	47

INDICE DE TABLAS

1. CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LAS REGIONES CAFETERAS DE COLOMBIA. CENICAFÉ, 2007.....	11
2. ÉPOCAS DE FLORACIÓN Y COSECHA DE CAFÉ EN COLOMBIA CENICAFÉ, 2007.....	11
3. COMPONENTES DE LOS VEGETALES EN PORCENTAJE DE PESO SECO. FARFÁN, URREGO, 2011.....	21
4. PESO SECO DEL MATERIAL ORGÁNICO INGRESADO EN CADA SISTEMA EVALUADO. CARDONA, SADEGHIAN 2005.....	30
5. RETORNO ANUAL DE NUTRIMENTOS EN EL MATERIAL ORGÁNICO. CARDONA, SADEGHIAN 2005.....	32
6. TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA (K), CONCENTRACIÓN INICIAL DE NUTRIENTES EN LAS HOJAS Y PORCENTAJE DE NUTRIENTES TRANSFERIDOS AL SUELO POR EL CAFÉ. FARFÁN, URREGO, 2011.....	33
7. PRODUCCIÓN DE RESIDUOS VEGETALES POR CAÍDA NATURAL EN TRES SISTEMAS DE MANEJO DE CAFETAL. MUNGUÍA 200.....	36
8. CONCENTRACIONES (%) DE N, P Y K EN LOS COMPONENTES DE RESIDUOS VEGETALES EN TRES SISTEMAS DE CAFÉ. MUNGUÍA 2005.....	37
9. CANTIDAD DE NUTRIENTES (KG HA) EN LOS DIFERENTES COMPONENTES DE RESIDUOS VEGETALES EN TRES SISTEMAS DE CAFÉ.....	38

INDICE DE FIGURAS

1. DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA. MENDONCA, GOMIDE, 2005.....20
2. RELACIÓN C/N, INMOVILIZACIÓN (I) Y MINERALIZACIÓN (M), DURANTE LA DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA. FARFÁN 2011.....22
3. INMOVILIZACIÓN Y LIBERACIÓN DE N DURANTE LA DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA. FARFÁN 2011.....23
4. ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL CICLAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN PLANTACIONES Y BOSQUES. ALVARADO, 2008 Y CITADO POR FARFÁN 2011.....25
5. ESQUEMA DE LA DINÁMICA DE LOS CICLOS DE NUTRIENTES. WWW2.GTZ.DE/DOKUMENTE/OE44/ECOSAN/CB/ES-NUTRIENT-RECYCLING-SELF-SUFFICIENCY.2003.....26
6. CURVAS DE DESCOMPOSICIÓN PARA RESIDUOS DE GUAMO, EN CAFETALES AL SOL Y A LA SOMBRA, EN LAS DOS LOCALIDADES. CARDONA, SADEGHIAN 2005.....31

RESUMEN

La hojarasca, los residuos de poda del café y de árboles asociados pueden contribuir en gran medida a la demanda de nutrimentos del cultivo de café y de esta manera ayudar a mejorar las características de los suelos y simultáneamente, a la reducción de los costos de producción en el mantenimiento de los agroecosistemas cafeteros. De aquí nace el objetivo de este trabajo que consistió en determinar y comparar el efecto del aporte de biomasa y del ciclaje de nutrientes en dos sistemas de producción de café. Para ello se hizo uso de una revisión de fuentes secundarias, donde se planteo que el aporte de biomasa y el ciclaje de nutrientes es mayor en el sistema de producción bajo sombra, debido a que en el de a libre exposición hay mayor volatilización de nutrientes y ausencia de árboles que aporten materia seca al suelo que mediante el proceso de mineralización se convierten en nutrientes que son absorbidos nuevamente por las plantas. Aunque la sombra en cafetales, en zonas óptimas, también tiene sus desventajas como son la reducción de la producción, los beneficios ecológicos de los árboles asociados, a través del ciclaje de nutrientes y la adición de materia orgánica, causaran que la reducción en el sistema arbolado sea relativamente menor que en un cafetal al sol, por ende los árboles asumirían un rol más importante. Además, este aumento en la producción genera una mayor exigencia de fertilización que compense la mayor demanda de nutrimentos que tiene la planta al incrementar su producción.

Palabras claves: Sistemas de producción agrícola, sostenibilidad, cultivo del café, sistemas agroforestales, ciclaje de nutrientes, hojarasca, aporte de biomasa, aporte de nutrientes.

ABSTRAC

The litter, garden waste and tree coffee partners can contribute greatly to the nutrient demand of coffee cultivation and thereby help to improve soil characteristics and simultaneously, to reduce production costs in the maintenance of coffee agroecosystems. From this arises the aim of this work was to determine and compare the effect of the contribution of biomass and nutrient cycling in two systems of coffee production. For this hiso use of a review of secondary sources, which suggests that the contribution of biomass and nutrient cycling is higher in the shade production system, because in a free exhibition of no greater volatilization of nutrients and lack of trees to provide dry matter to the soil through the mineralization process become nutrients are absorbed again by plants. Although coffee shade in optimal areas, also has disadvantages such as reduction of production, the environmental benefits associated with trees, through nutrient cycling and the addition of organic matter, will cause a reduction in the system woodland is relatively lower than in a sun coffee plantation, the trees thus assume a larger role. Furthermore, this increase in production creates a greater demand for fertilizer to compensate for the increased demand for nutrients that the plant has to increase production.

Keywords: farming systems, sustainability, coffee plantations, agroforestry, nutrient cycling, litter biomass contribution, contribution of nutrients.

1. INTRODUCCION

Los sistemas de producción agrícola se han visto afectados por el manejo que el ser humano realiza dentro de estos, por razones económicas, sociales o ambientales, causando un efecto directo sobre la sostenibilidad del mismo (Bertsch 1995, Martínez 2004). Tal es el caso de los sistemas convencionales donde se cultiva café sin sombra, con altas densidades de cultivares de porte bajo, con poca protección del suelo, baja restitución de materia orgánica y por ende bajo ciclaje de nutrientes, lo cual conlleva a depender de insumos externos (Vaast y Snoeck 1999).

En Colombia, el café es un cultivo que puede establecerse a libre exposición solar, pero es común observar plantaciones establecidas con varios tipos y cantidades de sombra, dadas las diversas condiciones climáticas y de suelo de nuestra zona cafetera. El componente arbóreo persigue optimizar el uso de los recursos y aumentar la productividad por unidad de terreno; además de ser fuente de energía, madera y frutos, el mismo sombrero puede regular las condiciones de luz para el cafetal y suplir parte de los nutrientes requeridos por el cultivo. Así mismo, ayudan a reducir los vientos fuertes, lo que contribuye a la protección del suelo y del cafetal.

Muschler (2000) manifiesta que los sistemas agroforestales juegan un papel ecológico importante en la estabilidad del sistema, al reducir ciertos insumos (fertilizantes, herbicidas). Hernández e Ibarra (1997) sugieren que el cultivo de café debe establecerse bajo sombra para garantizar la sostenibilidad de la caficultura a largo plazo, ya que los árboles asociados con café pueden ayudar a mantener tanto la productividad y la calidad de producción. A la vez que permiten una captura más eficiente de la energía solar, favoreciendo la absorción y el ciclaje de nutrientes (Gliessman 2002).

Por eso es importante elegir especies de árboles que se adapten a las condiciones locales, ya que se contribuye a que los nutrientes sean devueltos a la superficie del suelo a través de la hojarasca, residuos de poda, raíces muertas o por la biomasa microbial (Montagnini y Jordan 2002).

En sistemas agroforestales, el asocio de los árboles especialmente con leguminosas fijadoras de nitrógeno y el uso de abonos orgánicos (estiércol y compost) pueden contribuir en gran parte a la demanda de nutrientes del café, en forma más eficiente debido a que la liberación de nutrientes se realiza de forma

lenta, existiendo un máximo aprovechamiento por parte del cultivo, a la vez que se reduce la pérdida por lixiviación y volatilización (Vaast y Snoeck 1999; Cody *et al.* 2000).

Por eso se deben tener en cuenta los factores que regulan la descomposición y liberación de nutrientes de los residuos orgánicos y materia orgánica del suelo, entre los cuales están: el clima (temperatura y humedad), textura del suelo, cantidad y composición química del material, relación C:N, contenidos de polifenoles y lignina (Szott y Kass 1994), y la actividad biológica del suelo especialmente bacterias, hongos y actinos (Vaast y Snoeck 1999). Estos últimos juegan un papel importante en la velocidad de descomposición de los residuos (Fassbender 1993).

Por otra parte la hojarasca, los residuos de poda del café y de árboles asociados pueden contribuir en gran medida a la demanda de nutrientes del cultivo de café y de esta manera ayudar a mejorar las características de los suelos y simultáneamente, a la reducción de los costos de producción en el mantenimiento de los agroecosistemas cafeteros. De aquí nace el objetivo de este trabajo que radica en determinar y comparar el efecto del aporte de biomasa y del ciclaje de nutrientes en dos sistemas de producción de café.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Comparar el aporte de biomasa y el ciclaje de nutrientes en dos sistemas de producción de café.

2.2 ESPECIFICOS

- ❖ Determinar el aporte de biomasa en los dos sistemas de producción de café, bajo sombra y a libre exposición.
- ❖ Determinar el ciclaje de nutrientes en los dos sistemas de producción de café, bajo sombra y a libre exposición.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 ASPECTOS GENERALES DEL CAFÉ

El café es uno de los cultivos ideales para la producción agroforestal, siendo una planta originaria de los ecosistemas forestales. Para un buen crecimiento, floración y fructificación se requiere de un microclima fresco con semisombra y suficiente humedad propiciada por especies forestales (Fischersworing y Robkamp 2001).

Estudios han demostrado que el café se desarrolla en diferentes ambientes con altitudes que van desde los 400 a 2000 msnm. Sin embargo, para obtener la mejor calidad este requiere de altitudes entre los 1200 a 2000 msnm (Fischersworing y Robkamp 2001). Las condiciones climáticas ideales de temperatura anual debe estar entre los 17 y 23°C, la precipitación entre 1600 y 2800 mm año-1, con una distribución anual mínima entre 145 y 245 días (Icafé1998). El suelo debe tener un buen drenaje, son preferibles suelos con profundidad no menor de un metro, de color oscuro, ricos en nutrientes especialmente potasio y materia orgánica con textura franca (Fischersworing y Robkamp 2001).

Por otra parte en Colombia el cultivo del café se inició en el oriente del país, posteriormente floreció en el gran Cauca y en Antioquia hasta prácticamente no existir una región del país en donde no se cultivara. En el país, el café se cultiva en casi todas las regiones, aunque estas tengan condiciones climáticas diferentes como se muestra en la Tabla 1. En lo referente a las épocas de floración y cosecha se consideran dos ciclos (Tabla 2).

Tabla 1: Condiciones climáticas de las regiones cafeteras de Colombia. Cenicafé, 2007.

REGIONES CAFETRAS DE COLOMBIA					
Elementos del clima	Unidad	Norte	Sur	Central	Oriental
A.S.N.M.	m.s.n.m	1.000–1.200	1.500–2000	1.250–1.760	1.000–2.000
Lluvias	Mm	2.205	1.625	2.140	2.000
Días Lluviosos	Días	193	218	224	208
Épocas mas lluviosas	Meses	Mayo, Junio, septiembre, octubre, noviembre	Marzo, abril, mayo, octubre, noviembre, diciembre	Marzo, abril, mayo, junio, octubre, noviembre	Mayo, junio, septiembre, octubre, noviembre
Temperatura	°C	21	18	19	20
Humedad relativa	%	79	77	80	80
Brillo solar	Horas luz año	2.063	1.783	1.738	1.798

Fuente: Cenicafé, 2007.

Tabla 2: épocas de floración y cosecha de café en Colombia Cenicafé, 2007.

Épocas de floración y cosecha en Colombia	
Primera época de floración	Cosecha
Noviembre 1 - Abril 30	→ julio 1 - Diciembre 31
Segunda época de floración	Cosecha
Mayo 1 - Octubre 31	→ Enero 1 - Junio 30

Fuente: Cenicafé, 2007.

3.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ

El café es cultivado bajo diversos sistemas de producción, resultado de factores socioeconómicos y biofísicos, que comprenden desde los sistemas tradicionales bajo sombra diversificada a los sistemas modernos de monocultivo y/o bajo sombra especializada (Perfecto et ál. 1996, Beer et ál. 1998, Moguel y Toledo 1999, Donald 2004, Somarriba et ál. 2004. Citados por Mena, 2008). Los sistemas tradicionales de producción de café (rústico, policultivo tradicional y comercial, se

basan en una estrategia de aprovechamiento integral de recursos locales, se desarrollan en pequeñas superficies de producción. Estos sistemas tradicionales generalmente emplean mano de obra familiar, y el ingreso económico no solo depende de la producción del café sino también de los beneficios obtenidos del componente de la sombra diversificada, tal como frutales, medicinales, maderables. Por el contrario, los sistemas modernos de producción monocultivo bajo sombra y sin sombra, se caracterizan por su objetivo de obtener máximos rendimientos por unidad de superficie, posee una alta dependencia de insumos externos, predominan las grandes fincas con capital para inversión en mano de obra y agroquímicos, y el componente de árboles de sombra frecuentemente es monoespecífica o eliminada totalmente (Perfecto et ál. 1996, Beer et ál. 1998, Moguel y Toledo 1999, Yépez 2001, Donald 2004. Citados por Mena, 2008). De acuerdo con la clasificación de los sistemas de producción de café de Moguel y Toledo 1999 (Citados por Mena, V. 2008.) en América Latina existen cinco tipos principales de producción de café.

1. Sistema rústico: se caracteriza por la sustitución del estrato bajo de bosques tropicales y subtropicales por plantas de café. Por lo tanto, la diversidad del dosel arbóreo es preservada en una forma modificada. Este sistema de producción es característico de zonas indígenas, con un manejo mínimo y una nula aplicación de agroquímicos, además de tener un bajo rendimiento.

2. Sistema policultivo tradicional: se trata de un sistema de manejo modificado de bosques nativos, en el cual se establece el café en el estrato bajo, pero a diferencia del sistema rústico, la sombra tiene un mayor manejo ya que se favorecen o introducen especies de interés para los caficultores. Además, es el resultado del conocimiento tradicional en el manejo de los recursos florísticos de grupos indígenas principalmente.

3. Sistema policultivo comercial: este SAF incluye solo especies de sombra introducidas (cultivadas), en el cual la cobertura forestal ya no se encuentra integrada por los árboles nativos, fomentándose árboles de sombra generalmente de leguminosas y/o con algún valor comercial. Las plantaciones son homogéneas, empleándose en muchos casos una sola variedad de cafetos, por lo que la diversidad florística es considerablemente menor que en el sistema anterior.

4. Monocultivo bajo sombra especializada: es un sistema moderno y comercial de producción de café, en el cual se utilizan solo sombras de leguminosas, tal como *Inga* o *Erythrina* principalmente. De esta forma se crea una plantación

monoespecífica bajo un dosel (estrato de sombra) igualmente especializado. En este caso el uso de agroquímicos se torna una práctica obligada y la unidad productiva se concentra en una producción exclusivamente dirigida al mercado.

5. Monocultivo bajo sol: este sistema elimina el componente arbóreo de sombra y representa un sistema agrícola que pierde el carácter agroforestal. Convertido ya en una plantación especializada, el café requiere de grandes insumos de agroquímicos e incluso de maquinaria. En este sistema se alcanzan los más altos rendimientos de café por unidad de superficie.

3.3 SISTEMAS AGROFORESTALES

Los sistemas agroforestales (SAF) son la interacción bioeconómica en una misma área de un componente leñoso y perenne con cultivo y/o animales asociados en forma simultánea o secuencial, que incorporan cuatro características importantes: estructura, sostenibilidad, productividad, y adaptabilidad cultural y socioeconómica (Somarriba 1998; Farell y Altieri 1999).

Los SAF pueden verse como una alternativa para el uso y manejo de los recursos naturales en regiones tropicales y sub tropicales. Estos pueden ser utilizados en diferentes escalas geográficas y ecosistemas frágiles como estables, a nivel de subsistencia o comerciales, cumpliendo diferentes funciones de importancia en los sistemas como: diversificar la agricultura, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar nitrógeno atmosférico, reciclar nutriente, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema, en función del rendimiento sostenido (Gliessman 2002).

Benzing (2001) manifiesta que los sistemas agroforestales bien diseñados pueden ayudar a que lo ecológicamente necesario se vuelva a su vez económicamente atractivo para los agricultores.

La productividad sostenible de los sistemas agroforestales se debe al uso de energía y a la característica de los árboles (Gliessman 2002). Estos tienen la capacidad de alterar drásticamente las condiciones del ecosistema del cual forma parte (Rifsnnyder y Darnhofer 1989, Farell 1990). En esta dirección, uno de los factores importantes atribuido a los árboles de sombra es mejorar la calidad del café (Salazar *et al.* 2000), mejorar la viabilidad económica, la sostenibilidad y la biodiversidad en la producción cafetalera (Vaast 1999), el mejoramiento de los

sistemas (Fischersworing y Robkamp 2001), aumentar la vida útil de los cafetales y fomentar el desarrollo de ramas primarias y secundarias del café.

Según Beer (1988); Rao *et al.* (1998) bajo el suelo, las raíces de los árboles penetran a niveles más profundos que las de los cultivos anuales; y consecuentemente estas van favoreciendo la estructura del suelo, el reciclaje de nutrientes y las relaciones de humedad del suelo (Gliessman 2002). Sobre el suelo el árbol altera el ambiente de luz mediante la sombra; con niveles de 40 a 60 % se reducen o suprimen los problemas fitosanitarios utilizando de 2 a 4 especies o más, esto ocurre en zonas bajas y secas; mientras que en zonas bajas y húmedas con niveles de 20 a 40 % de sombra, afecta la humedad y evapotranspiración debido al manejo y característica de las copas (Imbach *et al.* 1989; Haggar y Staver 2001; Guharay *et al.* 2001).

Las hojas caídas juegan un papel importante al proveer cobertura al suelo modificando el ambiente edáfico, conforme se descompone; esta hojarasca se convierte en fuente importante de materia orgánica, activando el ciclo biogeoquímico (Altieri. 1999; Gliessman 2002). Los árboles permiten una captura más eficiente de la energía solar y favorecen la adsorción, retención o captura de carbono y nitrógeno sobre y bajo el suelo (Shepherd y Montagnini 1999; Arana 2003; Beer *et al.* 2003). Además, reciclan nutrientes y mantienen el sistema en un estado de equilibrio dinámico, al reducir la dependencia del sistema sobre insumos externos (Gliessman 2002).

3.4 APORTE DE BIOMASA Y NUTRIENTES POR LOS ÁRBOLES DE SOMBRA EN LOS SISTEMAS

La biomasa vegetal representa la principal reserva de nutrientes del ecosistema. Por ello, para comprender el proceso de ciclaje de nutrientes es necesario conocer la biomasa del ecosistema por unidad de área (Montagnini y Jordan, 2002). Un buen diseño de manejo del sistema debe garantizar el uso eficiente de los nutrientes, conociendo de antemano que el beneficio que proporcionan los árboles varían entre sistemas, se debe tener en cuenta las prácticas de manejo que se le brinde y el objetivo que se persigue (Sánchez *et al.* 1993; Cordero *et al.* 2003).

Estudios realizados por Sánchez *et al.* (1993) consideran que al someter la *Erythrina* a condiciones de precipitación poco estables, y suelos poco fértiles, se logra una producción de 2639 kg ha⁻¹ año⁻¹ de biomasa seca y esta recircula 44

kg ha⁻¹ de N, 29 kg ha⁻¹ de K, 11 kg ha⁻¹ de Ca, 8 kg ha⁻¹ de Mg, y 4 kg ha⁻¹ de P, por año. Alpizar *et al.* (1983) al evaluar, la *E. poepiggiana* en un sistema agroforestal con café encontraron un aporte de biomasa seca de 12,587 kg ha⁻¹ año⁻¹, y que entre ramas y hojas recircularon 286 kg ha⁻¹ de N, 183.87 kg ha⁻¹ de K, 122.03 kg ha⁻¹ de Ca, 42.80 kg ha⁻¹ Mg y 24.35 kg ha⁻¹ de P. Mientras que Chesney *et al.* (2001) reportan que los árboles podados de dos y ocho años de edad aportaron al suelo 187 y 256 kg N ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente.

Montagnini *et al.* (1995) Estudiaron la relación del contenido de elementos en la biomasa entre especies nativas, encontrando que el nitrógeno, magnesio y potasio se encuentran en mayor concentración en la hojas, sugiriendo un buen potencial para la recirculación de estos nutrientes. Sin embargo, las concentraciones de calcio y fósforo resultaron similares en hojas, ramas y raíces, lo cual implica un potencial similar tanto para la retención como para la recirculación de estos nutrientes. Por otro lado, Montagnini (2000) al comparar especies nativas en rodales puros y mixtos encontró que en rodales puros las ramas y el follaje sumados representan entre el 25 y 35 % de la biomasa aérea total, pero en general representaron cerca del 50% de los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) de la biomasa arbórea. Sin embargo, en la biomasa de los rodales mixtos se obtuvieron los mayores contenidos de nutrientes para todos los elementos considerados, lo cual demuestra la necesidad de trabajar en sistemas agroforestales con dos o más especies. En plantaciones de 10 años de *Terminalia amazonia* Cordero *et al.* (2003) encontraron aportes de biomasa de 91.7 t ha⁻¹. Montagnini (2000) en plantaciones puras de *Terminalia* encontró mayor cantidad de fósforo y magnesio en el tronco. Por otra parte, Di Stéfano y Fournier (1998) evaluaron la biomasa de *Vochysia gautemalensis*, y encontraron que esta especie aporta 32.3 t ha⁻¹ de biomasa seca, 7000 kg ha⁻¹ N, 850 kg ha⁻¹ P, 5000 kg ha⁻¹ de Ca, 1125 kg ha⁻¹ Mg y 7250 kg ha⁻¹ K, al menos el 50% de los nutrientes se quedarían en el sitio si las hojas y ramas no se extrajeran, excepto para el potasio que solo representaría el 39%.

3.5 DESCOMPOSICION DE LA HOJARASCA

En la actualidad se emplean varias definiciones del término hojarasca. Algunos autores lo definen como uno de los horizontes constituyentes del suelo y es llamado horizonte A00 (Ibáñez 2006), el cual está constituido en su mayoría por restos vegetales recientemente desprendidos por la vegetación (hojas, secas, frutos, pequeñas ramas, trozos de corteza, etc.). La morfología y procedencia de tales restos es reconocible a simple vista y su humedad depende de las

condiciones meteorológicas, mientras su espesor suele estar condicionado con la facilidad o dificultad con la que se descompone el material vegetal.

Beare (1995) lo llama detritosfera, ya que constituye un hábitat complejo y uno de los estratos de mayor importancia, pues presenta gran actividad microbiana y con base en ella se encuentra una gran actividad descomponedora, involucrando procesos físicos y químicos que reducen la hojarasca a CO₂, y H₂O y nutrientes minerales como N, P, K, Na, Ca, Mg y S (Moorhead *et al.* 1998).

La descomposición de la hojarasca constituye la vía principal de entrada de los nutrientes en el suelo y es uno de los puntos clave del reciclaje de la materia orgánica y los nutrientes (Vitousek *et al.* 1994), constituyendo el escenario más evidente de los procesos de respiración y descomposición. Paradójicamente, este material es a menudo descartado de los análisis de suelos convencionales, a pesar de ser uno de los horizontes con mayor actividad biológica (Bardgett 2005), ya que puede ser colonizado por microorganismos, mesofauna y macrofauna, los cuales contribuyen al flujo respiratorio y a otros procesos biogeoquímicos (Brussaard 1997).

La materia orgánica del suelo es uno de los materiales más complejos que existe en la naturaleza. Esencialmente todos los residuos de plantas y animales retornan al suelo donde se mineralizan o descomponen por acción de los microorganismos, convirtiéndose en humus, el cual actúa como depósito que libera gradualmente los elementos N, P, K y micronutrientes esenciales para la nutrición de las plantas y para la población microbiana del suelo (Cenicafe 1993). La materia orgánica desempeña un papel importante en la estructura, aireación y capacidad del suelo para sostener el agua, y ofrecer un medio favorable para el crecimiento de raíces y para la captación de nutrientes. El humus, la fracción más estable de la materia orgánica, forma asociaciones de enlaces con partículas de arcillas, las cuales incrementan la agregación del suelo y la formación de microporos, lo que mejora la estructura del suelo (Vaast y Snoeck 1999). Los contenidos de materia orgánica y de N en los suelos están determinados, en primer lugar, por el clima y la vegetación y en segundo lugar, por factores locales como el relieve, material parental del suelo, tipo y duración de explotación de los suelos, además de otras características físicas y microbiológicas (Fassbender y Bornemiza 1987).

El aporte de materia orgánica supone una adición de fuente de alimento y energía para los microorganismos y fauna responsable de llevar a cabo los ciclos bioquímicos en la naturaleza, presentando efectos directos e indirectos sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal, sirviendo como fuente de

N, P, y S el cual se lleva a cabo a través de la mineralización por parte de los microorganismos del suelo (Silva *et al.* 1992).

La biomasa microbiana en los residuos aumenta el movimiento de la materia orgánica del suelo, a través de reacciones concurrentes de inmovilización, mineralización y estabilización. Estos procesos fundamentales ayudan a mantener el ciclo de nutrición de las plantas y es importante para la conservación de la materia orgánica del suelo a largo plazo, a través de la producción de precursores de sustancias húmicas. La formación de sustancias orgánicas estabilizadoras de la estructura del suelo depende principalmente, de la incorporación de residuos y de prácticas de manejo de suelos (Voroney *et al.* 1989).

Teniendo en cuenta las variables anteriormente mencionadas Aerts (1997) se refirió al proceso de descomposición de hojarasca como procesos físicos y químicos involucrados en reducirla a sus constituyentes químicos elementales. Sin embargo Swift *et al.* (1979) y Couteaux *et al.* (1995) describen que involucra dos procesos simultáneos y fundamentales: la mineralización y humificación. En el proceso de humificación se condensan amorfamente anillos aromáticos, compuestos cíclicos de nitrógeno y cadenas péptidas (Coyne 1999), que contribuyen a la fertilidad del suelo en tres formas: cementa las partículas del suelo formando unidades estructurales o agregados del suelo, ayuda a la retención de cationes intercambiables y conserva nutrientes y energía (Lavelle *et al.* 1993). La mineralización se define como la transformación de compuestos orgánicos en compuestos inorgánicos disponibles para las plantas y microorganismos (Coyne 1999).

Swift *et al.* (1979) desarrollaron un modelo el cual puede ser aplicado al proceso de descomposición de la materia orgánica, teniendo en cuenta tres grupos de factores: el ambiente físico-químico (temperatura, humedad, pH); el segundo trata de la calidad del recurso, en particular concentraciones de nitrógeno, fósforo, lignina y polifenoles, y el tercero abarca la comunidad descomponedora (microbiota, microfauna, mesofauna y macrofauna). La importancia de los tres factores resulta en un modelo de jerarquía (Lavelle *et al.* 1993), en el cual se señalaron los factores que regulan las tasas de descomposición de la hojarasca en tres niveles principales, que Aerts (1997) categorizó en forma ascendente en:

1. Factores climáticos, particularmente temperatura y humedad
2. Química de la hojarasca
3. Organismos del suelo

La descomposición y el ciclaje de nutrientes están regulados por factores físico químicos ambientales, la calidad de sustrato y la comunidad de microorganismos descomponedores (Lavelle *et al.* 1993; Joffre y Agren 2001). Estos organismos están principalmente representados por la microbiota (hongos y bacterias) y la fauna edáfica (artrópodos).

3.5.1 APOORTE DE MATERIA SECA Y LIBERACIÓN DE NUTRIENTES EN SAF CON CAFÉ

El componente arbóreo en un sistema agroforestal persigue optimizar el uso de recursos y aumentar la productividad por unidad de terreno, además de ser fuente energética, madera, frutos o sombrío; puede regular las condiciones de luz para el cultivo principal y suplir parte de los nutrientes requeridos por él. Con una densidad suficiente de árboles se logra reducir los vientos fuertes, lo que contribuye a la protección del suelo y del café (Zaia y Gama, 2004). Los arboles también aportan gran cantidad de residuos vegetales que actúan como material de cobertura (Lopez, 2001); la capa de hojarasca es el eslabón que mantiene unidos los componentes arbóreos con el suelo, esta capa a su vez, por procesos de descomposición y mineralización, libera nutrientes que podrán ser nuevamente absorbidos por las plantas (Schroth *et al.*, 1993; Staver *et al.*, 2001. Citados por Farfán 2011).

El retorno anual de la materia orgánica y bioelementos al suelo, a través de la hojarasca, es uno de los condicionantes más importantes en la renovación en el seno del ecosistema agroforestal. El efecto que la acumulación de los restos orgánicos en la superficie del suelo tiene sobre la productividad, ha inducido a muchos autores al estudio de la cinética de la descomposición de la hojarasca (Bunvong y Granger, 1979; De las Salas, 1987, Citados por Farfán 2011). El posible papel de las especies arbóreas sobre la circulación de nutrientes en su ecosistema, depende de la cantidad de material reciclable y de su tasa de descomposición. Por ello, es importante la identificación de las especies con influencia positiva sobre la restauración de la fertilidad del suelo, para utilizarlas en el diseño de plantaciones arbóreas mixtas y sistemas agroforestales (Labrador, 1996; Montagnini *et al.*, 1993; Zaia y Gama, 2004). Investigaciones sobre aporte de materia seca aérea y transferencia de nutrientes, se presentan en este aparte.

3.5.1.1 Liberación de nutrientes y requerimientos por las plantas

La liberación de nutrientes y los requerimientos por las plantas, se denomina **sincronía**. Los sistemas naturales conservan nutrimentos y tienen pérdidas pequeñas, pero frecuentemente las pérdidas de los sistemas agrícolas son grandes. Para aumentar la productividad tiene que conservar nutrimentos existentes o aplicar insumos de bajo costo. La sincronía ocurre cuando la liberación del nutrimento es similar a lo requerido por la planta tanto en espacio como en el tiempo. Se aplica el concepto a los ciclos de N, P, y S, donde un manejo adecuado puede aumentar (mineralización) o inhibir (inmovilización) la cantidad de nutrimento disponible a la planta (Myers *et al.*, 1997, Citados por Farfán 2011).

3.5.1.2 Manejo para mejorar la sincronía

En el uso de residuos orgánicos, el manejo de la sincronía es clave para la sostenibilidad de los agroecosistemas, siendo importante tener algunas consideraciones:

Planta: Tipo de cultivo, sistema radical, demanda, plantas que modifican los patrones de liberación de nutrimentos.

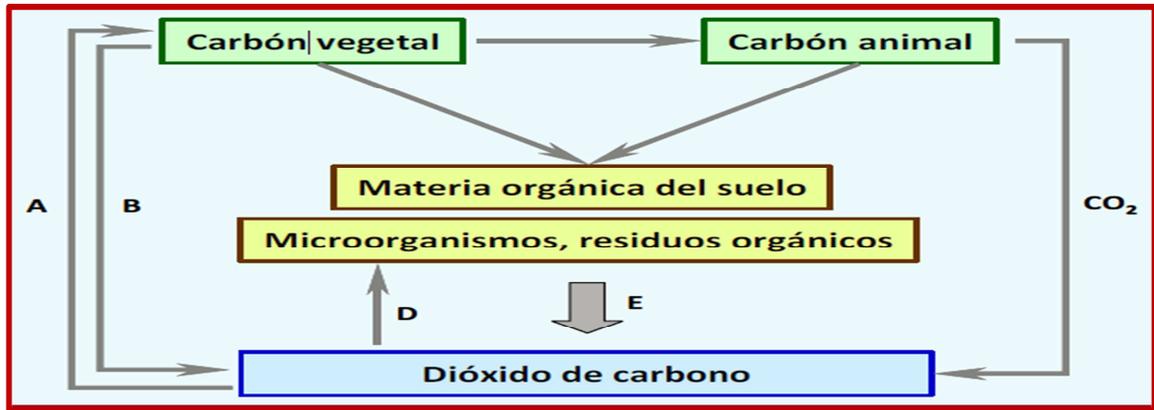
Manejo de fertilizantes: Liberación controlada o lenta, aplicaciones divididas, inhibidores de nitrificación, mezclas de abonos orgánicos e inorgánicos.

Insumos orgánicos: Uso de residuos de cultivos, abonos verdes, estiércoles, compost, desechos. Como factor fundamental en la sincronía o la liberación de nutrientes, es conocer la tasa o velocidad de descomposición de los residuos orgánicos.

Descomposición de la materia orgánica en el suelo

Las transformaciones por la que pasa el carbono, comprende esencialmente dos fases, una de fijación y otra de regeneración (Figura 1).

Figura 1. Dinámica de la materia orgánica



Fuente: Mendonca, Gomide, 2005

La fijación del gas carbónico atmosférico es efectuada por los organismos fotosintéticos, plantas verdes, algas y bacterias autótrofas. Esta fijación finaliza con la síntesis de compuesto hidrocarbonados de complejidad variable, amidas, hemicelulosas, celulosas, ligninas, proteínas, aceites y otros polímeros. Estos compuestos retornan al suelo con los residuos vegetales; y son utilizados por los microorganismos que regeneran a gas carbónico durante reacciones de oxidación respiratoria, en las cuales se emplea energía (Mendonca y Gomide, 2005, Citados por Farfán 2011).

La velocidad de descomposición de la materia orgánica del suelo, independiente de la forma en que se encuentre, está condicionada por numerosos factores, entre ellos están:

- Origen y naturaleza de la materia orgánica
- Agentes responsables de la descomposición
- Humedad
- Temperatura
- Acidez del suelo
- Contenido de nutrientes del suelo

❖ **Origen y naturaleza de la materia orgánica.** La materia orgánica del suelo proviene, casi en su totalidad, de residuos vegetales cuya composición media varía entre las diferentes especies vegetales; dentro de una misma especie

varia con la edad y nutrición de la planta (Mendonca y Comide, 2005, Citados por Farfán 2011).

Los principales componentes de los vegetales, en porcentaje de peso seco, se indican en la tabla 3.

Tabla 3: Componentes de los vegetales, en porcentaje de peso seco.

Celulosa	15% a 60%
Hemicelulosa	10% a 30%
Lignina	5% a 30%
Fracción soluble en agua	5% a 30% (azúcares, aminoácidos, ácidos alifáticos)
Fracción soluble en alcohol	1% a 15% (aceites, resinas, pigmentos, ceras)
Proteínas	1% a 10%
Constituyentes minerales	1% a 12%

Fuente: Farfán, 2011

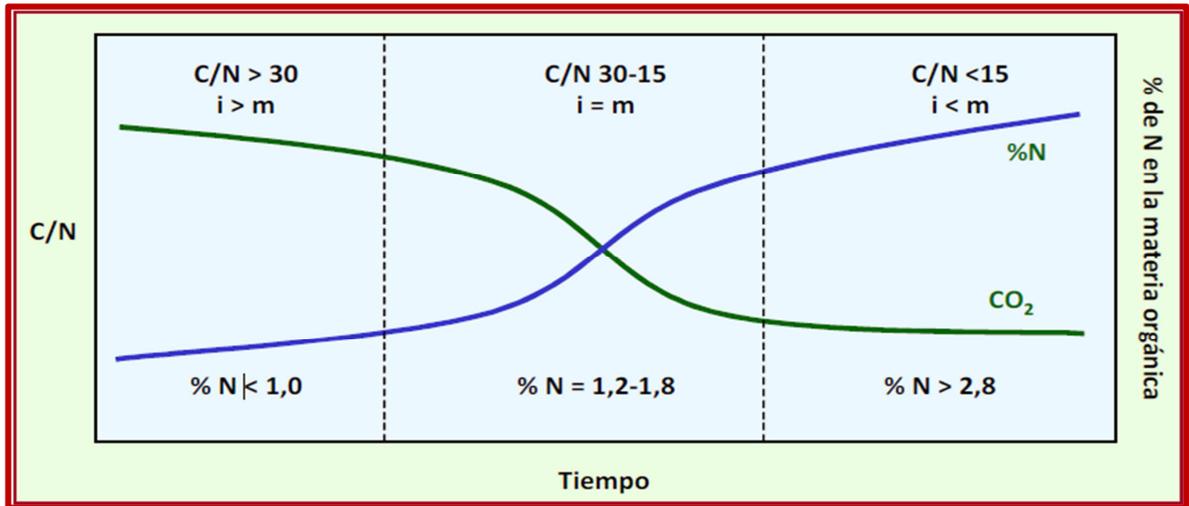
Durante la descomposición de la materia orgánica por la acción de las enzimas y los microorganismos, algunos compuestos son utilizados más rápidamente que otros, siendo la fracción soluble en el agua y las proteínas los primeros compuestos en ser metabolizados. La celulosa y hemicelulosa no desaparecen con la misma intensidad, más la permanencia de estos compuestos en el suelo es relativamente corta. Las ligninas son altamente resistentes, tornándose a veces como las más abundantes en la materia orgánica en descomposición. La relación carbono/nitrógeno (C/N) puede determinar muchas veces la cinética de la descomposición, entonces debe considerarse la dinámica de la relación C/N bajo dos aspectos:

- a. La relación C/N de los microorganismos
- b. La relación C/N de la materia orgánica

En el primer caso la relación C/N de las células microbianas es muy variable; por ejemplo la relación C/N en hongos es de 10:1; en actinomicetos de 8:1; en bacteria aeróbicas 5:1 y en las anaerobias 6:1.

Durante la descomposición de la materia orgánica en el suelo la relación C/N disminuye, y parte de C orgánico se pierde en forma de CO₂ (Figura 2).

Figura 2. Relación C/N, inmovilización (i) y mineralización (m), durante la descomposición de la materia orgánica



Fuente: Farfán, 2011

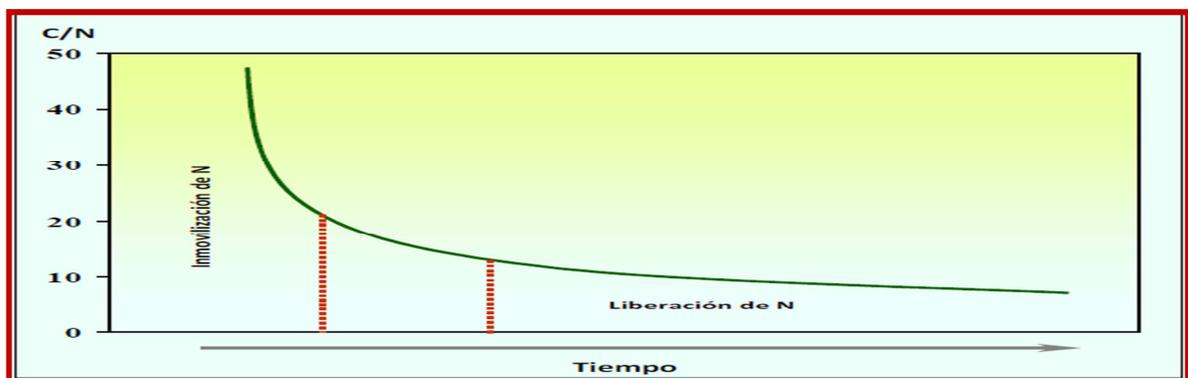
En la Figura 2, adaptada por Alexander (1977) y Broadbent (1954) y citados por Mendonca y Gomide, (2005), representa la curva de descomposición de la materia orgánica del suelo, correlacionándola con la relación C/N y con los fenómenos de inmovilización y mineralización.

La relación C/N es variable de acuerdo con las especies y la edad de las mismas y es un buen indicador de la susceptibilidad de la hojarasca a ser degradada. En general, el rango óptimo en los residuos orgánicos de leguminosas se encuentra entre 25-30/1. Si el residuo de partida es rico en carbono y pobre en nitrógeno, la descomposición será lenta. En el caso contrario, en altas concentraciones de nitrógeno, este se transformará en amoníaco, impidiendo la correcta actividad biológica. Si el material final obtenido tras la descomposición, tiene un valor C/N alto (>35), indica que no ha sufrido una descomposición completa y, si el índice es muy bajo (<25), puede ser por una excesiva mineralización. Una relación C/N en los residuos orgánicos mayor a 30 es alta; entre 15 y 30 es equilibrada y una menor de 15 es baja (Mendonca y Gomide, 2005); aunque todo ello depende de las características del material de partida (Farfán, 1995; Farfán y Urrego, 2004; MINAGRICULTURA, 2004, Citados por Farfán 2011). Es de anotar que las relaciones C/P/S y N/Lignina y los tenores de fenoles, también tienen influencia en la tasa de descomposición del material orgánico adicionado al suelo como materia orgánica propiamente dicha.

- ❖ **Coefficiente asimilatorio de carbono (C).** Cuando se aplican residuos vegetales con una elevada relación C/N, en una primera fase, se produce una inmovilización del nitrógeno presente en el suelo por parte de los hongos encargados de la destrucción de esos restos, principalmente celulósicos o lignínicos. Cuando la citada relación va bajando al producirse el consumo del carbono, utilizado como fuente de energía de todos los microorganismos del suelo, se inicia una mayor actividad bacteriana que va liberando nitrógeno mineral a la velocidad que los hongos lo inmovilizan.

Al mismo tiempo se produce la muerte de muchos de ellos y su transformación por parte de las bacterias con liberación del nitrógeno que posee. En ese lapso de tiempo el nitrógeno del suelo no sufre variaciones significativas. Finalmente, cuando la relación C/N es baja los compuestos presentes son atacados con mayor facilidad por las bacterias que equilibran su población, por lo que va resultando un excedente de nitrógeno que queda en el suelo en forma mineral, se produce una liberación del elemento que será utilizado por las plantas (Figura 3).

Figura 3. Inmovilización y liberación de N durante la descomposición de la materia Orgánica.



Fuente: Farfán, 2011

Los coeficientes asimilatorios o consumo de carbono orgánico, dados en porcentaje, por algunos microorganismos son: Hongos 30% a 40%; Actinomicetos 15% a 30% y Bacterias 1% a 15%. En términos prácticos, puede considerarse un coeficiente asimilatorio de carbono orgánico del 35%, este coeficiente asimilatorio tiene mucha utilidad práctica.

Ejemplo: Descomposición de residuos secos del Sorgo. El sorgo contiene 40% de C y 0,7% de N.

- ♣ Considerando un coeficiente de asimilación de C del 35%, en 100 kg de materia seca, resulta 14,0 kg de C asimilable: (40 kg de C total * 0,35).
- ♣ Considerando una relación C/N de los microorganismos de 10:1, se obtiene que se necesitan 1,4 kg de N para la descomposición de 100 kg de residuos de sorgo: C/N = 14/10).
- ♣ El material residual del sorgo (100 kg), contienen 0,7 kg de N disponible.
- ♣ Como se requiere de 1,4 kg de N para la descomposición de los residuos y solo se tiene 0,7 kg; entonces hay déficit de 0,7 kg de N para la completa descomposición.

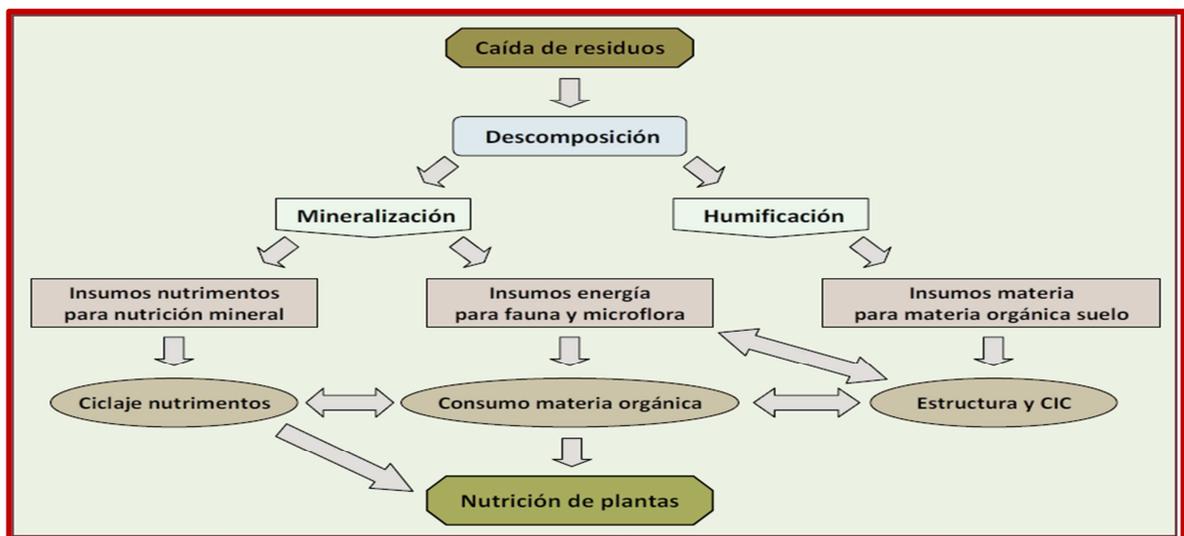
En este caso los microorganismos retiran del suelo el N disponible, provocando un fenómeno de inmovilización de N del suelo y compitiendo así con las plantas por este elemento.

Esta es una de las razones de la controversia existente entre la conveniencia de enterrar las pajas de los cereales o destruirlas. En terrenos con una actividad biológica intensa y con contenidos en nitrógeno mineral altos, su incorporación al suelo resulta beneficiosa pues facilita el desarrollo microbiano e incrementa el contenido orgánico del suelo, tras esa primera fase depresiva que el suelo y las plantas soportan bien. En caso contrario tendrá unos efectos negativos, pues se transformara con excesiva lentitud y provocara grandes huecos en la superficie del suelo que impedirán el contacto entre el suelo y las raíces de las plantas recién germinadas (Fassbender, 1987; Herrera, 2001; Labrador, 1996; Primavesi, 1984; Burbano, 1989, Citados por Farfán 2011).

- ❖ **El ciclo de los residuos orgánicos.** De acuerdo con Alvarado (2008) y Citado por Farfán (2011), El ingreso de nutrimentos al ecosistema está más ligado a su reciclaje que a la forma en que funciona la adición de residuos provenientes del ecosistema, sin que se encuentren diferencias entre lo que ocurre en las plantaciones o bosques tropicales. Se entiende por residuos los productos orgánicos acumulados en el suelo, provenientes de la vegetación viva que crece sobre ellos (hojas, ramas, flores y madera), aunque el concepto puede ampliarse para incluir raíces en descomposición y los residuos de animales muertos que viven sobre el suelo.

Los residuos que se depositan en el suelo, provenientes del bosque o la plantación forestal, las cuales se encadenan y representan el ciclo de los residuos. En la Figura 4 se representa un esquema simplificado de las principales funciones que tienen los residuos en el ecosistema, separándose las funciones de mineralización (liberación de nutrientes ligados a los residuos) y de la humificación (proceso que conlleva a la formación de sustancias orgánicas que se acumulan en el suelo) y de allí en adelante los efectos específicos que cada una de estas dos fracciones juega sobre las propiedades del suelo (Alvarado, 2008, Citado por Farfán 2011).

Figura 4. Esquema simplificado del reciclaje de residuos orgánicos en plantaciones y bosques.



Fuente: Alvarado, 2008 y citado por Farfán 2011

3.7 CICLAJE DE NUTRIENTES

El ciclaje de nutrientes en el suelo depende de la habilidad de una población microbial para mineralizar la materia orgánica, transformarla en inorgánica y liberar los elementos esenciales para las plantas. El ciclaje se ha referido, convencionalmente, al proceso de asimilación de nutrientes recién mineralizados por parte de raicillas ubicadas en estrecho contacto con hojarasca en descomposición, de modo que se minimizan las pérdidas de dichos nutrientes por lixiviación, escorrentía o fijación química del suelo.

Figura 5. Esquema de la dinámica de los ciclos de nutrientes



Fuente: www2.gtz.de/dokumente/oe44/ecosan/cb/es-nutrient-recycling-self-sufficiency-2003.pdf.

Existen 16 nutrimentos que se consideran esenciales para el desarrollo vegetal, los que se utilizan en mayor cantidad son C, H, O, que se obtienen principalmente del agua y el aire. Como elementos mayores, la planta adsorbe del suelo N y K, aunque el N también puede ser fijado biológicamente de la atmósfera por algunas bacterias que se asocian a las plantas, el P generalmente se incluye dentro de este grupo porque, aunque se aplica en grandes cantidades, el consumo de este por la planta es muy ineficiente. Como elementos medios se consideran el Ca, Mg y S; como elementos esenciales, pero que se requieren en pequeñas cantidades (oligoelementos o micronutrimentos) están el Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl y Ni. Otros elementos (no esenciales), pero que en algunos casos pueden ser muy beneficiosos a las plantas son el Co, Si, Na, Ga y Va. También existen elementos que resultan tóxicos a las plantas porque dañan sus tejidos, como Al, Pb y Hg (Bertsch 1998).

Cada nutrimento tiene formas químicas particulares de adsorción, algunas catiónicas (N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu y Fe) y otras aniónicas (N, P, S, B, Mo y Cl). Es importante favorecer la presencia de dichas formas en el suelo, para propiciar una buena adsorción, y para que esta ocurra, además de los mecanismos fisiológicos de la membrana que interviene en la introducción de los nutrimentos del suelo a la raíz, son importantes otros procesos relacionados con la forma en

que ellos se acercan desde los diferentes puntos del suelo (Bertsch 1998), de manera que los nutrientes sean provistos en sincronía con la necesidad de los cultivos (Palm 1995, citado por Montenegro G., 2005).

La mayor parte de los aspectos del ciclo de nutrientes es afectada directamente por la selección de las especies de sombra, que difieren en la producción de biomasa aérea, producción de raíces finas y porcentaje de descomposición de su biomasa (Palm 1995, citado por Montenegro G., 2005). El aporte de biomasa y nutrientes (especialmente hojas y ramas) depende, además de las especies involucradas, de las condiciones climáticas reinantes (Fassbender 1992). El manejo de sombra (especialmente poda) tiene un efecto crítico en el ciclo de nutrientes, ayuda al mantenimiento del microclima de la superficie del suelo de los cultivos y provee una herramienta para manipular el tiempo y la cantidad de nutrientes transferidos del árbol al suelo (Beer *et. Al* 1998).

La disponibilidad de nutrientes para las plantas, está determinada por la proporción en que los nutrientes circulan dentro del sistema y la cantidad de insumos que éste recibe (Lampkin 2001). La composición bioquímica de los restos vegetales varía dentro de los límites, según su edad y funciones del órgano vegetal analizado. Los tejidos verdes son más ricos en carbohidratos y proteínas, mientras que los tejidos leñosos presentan mayores contenidos en compuestos fenólicos (ligninas) y celulosas (Fassbender 1992). Son los contenidos de polifenoles y ligninas factores adicionales que influyen la liberación de los nutrientes de la hojarasca y otros residuos vegetales, ya que ambos disminuyen la calidad de los materiales vegetales (Palm 1995, citado por Montenegro G., 2005).

Particularmente, los árboles de especies leguminosas de rápido crecimiento pueden acelerar la restauración de las reservas de N, P, y K en la capa superior del suelo, donde pueden ser aprovechados por el cultivo; sin embargo, no siempre reponen completamente las reservas de Ca y Mg (Szott y Palm 1996, citado por Montenegro G., 2005). Las plantas pueden tomar directamente algunos de estos componentes, tal vez por sus asociaciones con micorrizas, activándose en ellas procesos fisiológicos o bioquímicos. Como consecuencia de esto, el crecimiento puede verse estimulado o regulado, o puede incluso ayudar a la resistencia de la planta frente a ataques de patógenos. Las sustancias húmicas actúan como intercambiadores de iones que, hasta cierto punto, regulan la nutrición de la planta. Los grupos de carboxilos que estas sustancias contienen se disocian para proporcionar cargas negativas, y generalmente, tienen el doble de carga que los minerales de la arcilla de manera que, aún una pequeña proporción de materia

orgánica, podría contribuir significativamente a la capacidad de intercambio catiónico (Lampkin 2001, citado por Montenegro G., 2005).

Aporte de biomasa y ciclaje de nutrientes

En SAF de café, las frecuencias de poda del estrato arbóreo afectan la acumulación de biomasa y nutrientes que retornan al suelo; si las podas por año aumentan sucesivamente, decrece la acumulación de biomasa producida en la parte aérea, así como la caída natural de hojarasca y por ende, los nutrientes contenidos en esta (Ruso y Budowski 1986, citado por Montenegro G., 2005). Otro factor que afecta el aporte y ciclo de nutrientes es el tipo de asociación del estrato arbóreo y su densidad de plantación, Glover y Beer (1986) encontraron diferencias en los aportes de biomasa y nutrientes, al comparar SAF de café en asocio con poró y poró más laurel (*Cordia alliodora*).

Montenegro (2005), al evaluar la producción de biomasa y aporte de nutrientes en residuos de poda de árboles de sombra en tres SAF de café, bajo tres niveles de manejo, concluyó que el sistema de manejo y el tipo de sombra determinan el aporte y la tasa de liberación de nutrientes; encontró que los tratamientos con mayor aporte de biomasa (MS) y nutrientes fueron aquellos con sombra de poró bajo manejo medio convencional (MC) (11790 kg ha⁻¹ MS, 144 kg ha⁻¹ de N y 101 kg ha⁻¹ de K) y bajo manejo orgánico intensivo (MO) (10072 kg ha⁻¹ MS, 113 kg ha⁻¹ de N, y 90,8 kg ha⁻¹ de K).

Glover y Beer (1986), evaluando la producción de nutrientes de dos SAF de café, uno bajo sombra de poró y otro bajo laurel más poró, encontraron que los nutrientes que aportaron estos sistemas alcanzaron los valores de fertilización recomendados por el ICAFE para esa época. Cardona y Sadeghian (2005) encontraron valores similares de biomasa de hojarasca en cafetales bajo sombra y a pleno sol, en dos localidades de Colombia, con condiciones ambientales contrastantes; la biomasa en los cafetales bajo sombra fue de 2200 y 1900 kg ha⁻¹año⁻¹ respectivamente, y la biomasa en los cafetales a pleno sol fue de 1100 y 900 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. No encontraron diferencias significativas en los aportes de nutrientes entre localidades para los cafetales bajo sombra; no obstante, los aportes de P y Mg si fueron significativos entre localidades para los cafetales a pleno sol.

Aguilar 2001(citado por Montenegro G., 2005), evaluando el manejo selectivo de la ocurrencia natural de vegetación herbácea con la introducción de una

leguminosa concluyó, que la presencia de mala cobertura en plantaciones de café parece no tener (o tiene poco) efecto en su rendimiento. Sugiere, a la vez que el retorno de materia orgánica, cuando se mantiene la cobertura de vegetación herbácea, podría mejorar, a largo plazo, la fertilidad del suelo.

Evaluando métodos de mantenimiento del suelo en un cafetal en Camerún, se encontró que los tratamientos bajo control químico (Roundup), tuvieron un efecto depresivo sobre la cosecha, en comparación con aquellos en los que se mantuvo con cuatro a seis cortes de vegetación herbácea al año (Bouharmont 1993, citado por Montenegro G., 2005). Aguilar *et al.* 1997 (citado por Montenegro G., 2005,) evaluando manejo selectivo de malezas bajo tratamientos químico-mecánico y mecánico en cafetales, con *Arachis pintoii* y sin ella, concluyeron que es posible manejar la composición botánica de las malezas, y que el cambio se acelera cuando la composición inicial incluye hierbas de buena cobertura. La buena cobertura prosperó más en el sistema mecánico; sin embargo, con herbicidas predominó *Arachis pintoii*. Los cambios en la cobertura y las malezas también fueron asociados al desarrollo de los cafetos y al incremento en la sombra.

En un estudio, en el que se evaluó la acumulación y descomposición de biomasa en el estrato herbáceo, bajo tres niveles de manejo, se encontró que en general, bajo control mecánico-químico, se redujo la cantidad de biomasa y la mayor parte del tiempo el suelo permaneció libre de malezas. Bajo manejo convencional, la biomasa de malezas se redujo, observándose que las hierbas de buena cobertura colonizaron rápidamente los espacios dejados por las malezas. Bajo manejo selectivo de cobertura con aplicación de herbicida en los brotes de las malezas (chapodas), la buena cobertura devolvió una cantidad promedio de 11,8 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, 1,40 kg ha⁻¹ año⁻¹ de P y 14,7 kg ha⁻¹ año⁻¹ de K. Bajo manejo selectivo de cobertura y *Arachis pintoii* con chapodas, se reciclaron 16,0 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, 1,95 kg ha⁻¹ año⁻¹ de P y 19,9 kg ha⁻¹ año⁻¹ de K; siendo este último tratamiento más efectivo que el primero para reducir la biomasa de las malezas (Aguilar y Staver 1997, citado por Montenegro G., 2005).

4. APOORTE DE BIOMASA Y CICLAJE DE NUTRIENTES EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCION DE CAFÉ.

4.1 METODOLOGIA

Para el desarrollo de la temática, se recurrió a una revisión de fuentes secundarias, se revisó en documentos encontrados en la Federación de Cafeteros, en investigaciones, tesis de grado, revistas, libros, páginas de internet, etc. En donde se obtuviera información referente al tema aporte de materia seca y ciclaje de nutrientes en café.

Una vez realizada la recopilación de las fuentes de información secundaria se procedió a la discusión y análisis de los estudios de las investigaciones estudiadas.

4.1.1 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACION

4.1.1.1 Aporte de biomasa y ciclaje de nutrientes

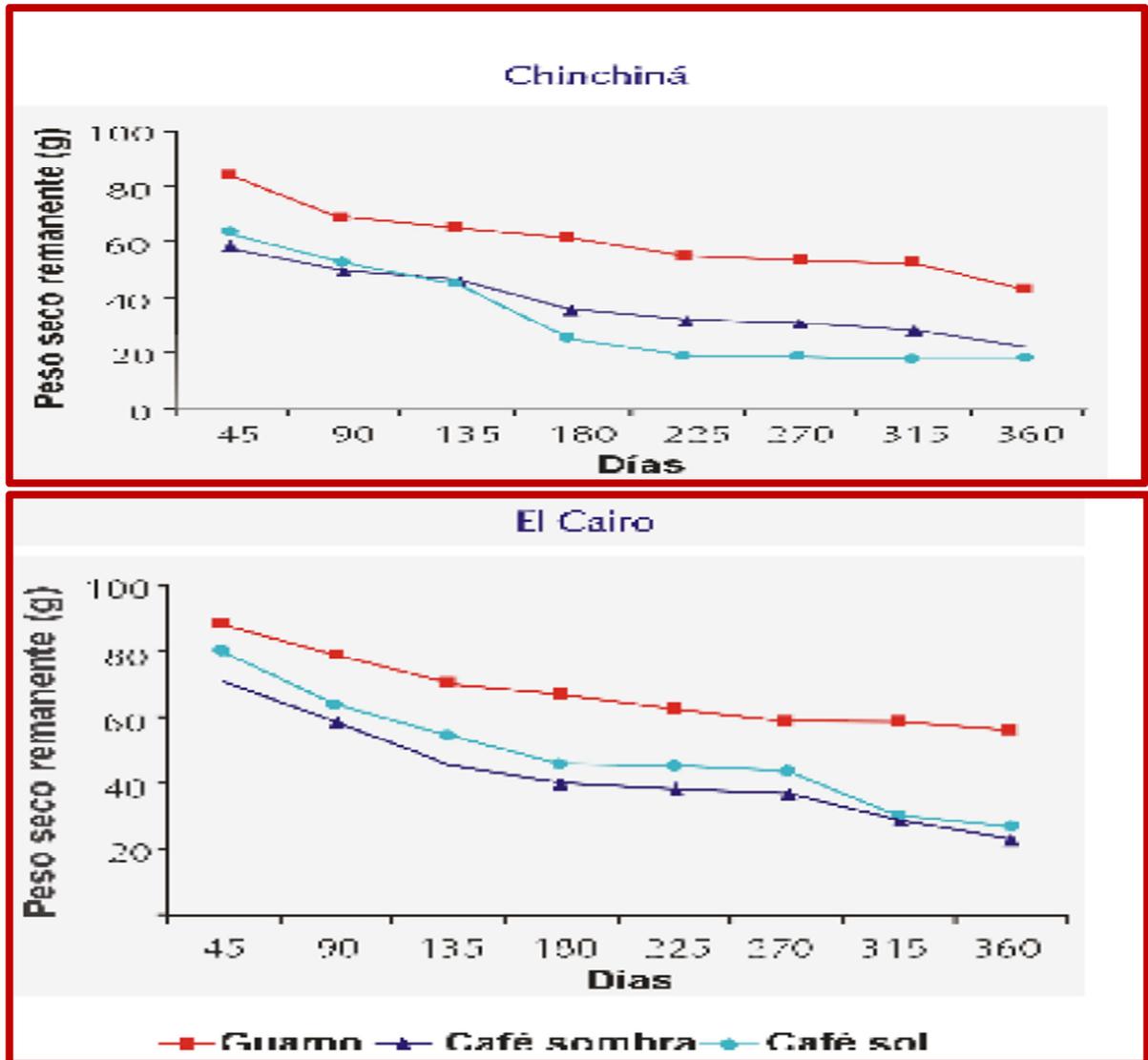
En lo concerniente al aporte de nutrientes, los cafetales con sombrío de guamo, en la investigación realizada por Cardona y Sadeghian, en el municipio de Chinchiná (Caldas) y la vereda Albán (municipio de El Cairo, Valle del Cauca), la cantidad del material orgánico que el sistema café y guamo llega aportar (cerca de 11 t. ha⁻¹. año⁻¹) es el doble que en el monocultivo de café (menor a 4,5 t ha⁻¹. año⁻¹) (Tabla 4), con suministros importantes de nutrientes. Con la finalidad de cuantificar la descomposición de la hojarasca, se ubicaron muestras de 100 g (materia seca) de cada especie en el campo. En la figura 6 se presenta el peso seco remanente de la hojarasca, durante 360 días, en los dos sistemas. Estos resultados señalan que la velocidad de la descomposición de la hojarasca de café es similar a sol y bajo sombra, y es mayor a la del guamo (figura 6).

Tabla 4. Peso seco del material orgánico ingresado en cada sistema evaluado.

Localidad	Café bajo sombrío (ton/ha/año)	Café a libre exposición solar (ton/ha/año)
Chinchiná	10,5	4,2
El Cairo	11,2	4,6

Fuente: Cardona, Sadeghian 2005

Figura 6. Curvas de descomposición para residuos de guamo, en cafetales al sol y a la sombra, en las dos localidades.



Fuente: Cardona, Sadeghian 2005

Tabla 5. Retorno anual de nutrimentos en el material orgánico.

Nutrientes	Chinchiná		Albán	
	Café y Guamo	Café	Café y Guamo	Café
N	199.24	92.17	219.37	98.26
P	7.73	4.7	13.75	8.58
K	48.87	36.3	55.53	55.15
Ca	158.05	54.61	187.05	77.71
Mg	27.31	5.98	30.66	14.59
Fe	1.27	1.18	1.24	0.71
Mn	0.99	0.94	2.34	1.16
Zn	0.21	0.04	0.19	0.07
Cu	0.15	0.06	0.17	0.14
B	0.21	0.2	0.22	0.27

Fuente: Cardona, Sadeghian 2005

En la anterior tabla (tabla 5) se observa que el contenido de minerales, en los cafetales con sombrío tuvieron más del doble de nitrógeno que en los cafetales a libre exposición, alcanzando valores cercanos a los requerimientos de fertilización para este elemento; los contenidos de fósforo también mostraron diferencia entre los dos sistemas de cafetales, pero esta no fue tan marcada.

Dentro del grupo de las bases intercambiables hubo mayores ingresos de calcio y magnesio en cultivos sombreados, diferencia especialmente notoria para el primer elemento. Entre los nutrientes menores fueron superiores las entradas de zinc en los cafetales bajo sombra para los dos sitios evaluados, lo mismo que el manganeso en El Cairo y el cobre en Chinchiná.

Estos resultados demuestran la ventaja del sistema de producción bajo sombrío en lo referente al aporte de materia orgánica, lo que se refleja una vez transcurre el proceso de mineralización, en nutrientes que ingresan al sistema a través del cual, la materia orgánica llega a aportar considerables cantidades de nutrientes a las plantas, principalmente nitrógeno (N), reduciendo considerablemente los costos de producción en el momento en el que se realice la fertilización al café.

En otras investigaciones realizadas por Cenicafe (Farfán y Urrego), con especies forestales que se establecen en asocio con café en algunas regiones de Colombia, entre las cuales se encuentran el nogal (*Cordia alliodora*), el pino (*Pinus oocarpa*)

y el eucalipto (*Eucalyptus grandis*), se evidencia que estas plantas llegan a aportar importantes cantidades de residuos orgánicos y nutrientes mediante el ciclaje.

Farfán y Urrego midieron la producción de biomasa y la transferencia de nutrientes de estas especies en la Subestación Paraguaicito (Buenavista, Quindío). La materia seca generada por el café a libre exposición solar, durante dos años, fue de 4,9 t. ha⁻¹ y en asocio con nogal, pino y eucalipto fue de 3,8, 4,6 y 4,1 t. ha⁻¹, respectivamente; así mismo, se reportan los siguientes valores promedio para la biomasa aportada por tres especies forestales: nogal 3,5 t. ha⁻¹, pino 6,7t. ha⁻¹ y eucalipto 6,4 t. ha⁻¹.

En la siguiente Tabla (tabla 6) se observa la tasa de descomposición mensual del follaje, la concentración inicial de nutrientes en las hojas y el porcentaje de nutrientes transferidos por cada una de las especies objeto de estudios durante un año.

Tabla 6: Tasa de descomposición de la hojarasca (k), concentración inicial de nutrientes en las hojas y porcentaje de nutrientes transferidos al suelo por el café y tres especies en asocio con café.

NUTRIENTES	Café al Sol	Nogal	Pino	Eucalipto
	Tasa de descomposición mensual del follaje (k.año ⁻¹)			
		1.00	0.78	0.26
	Concentración inicial de nutrientes (%)			
N	2.81	1.44	0.48	0.78
P	0.19	0.07	0.02	0.05
K	1.23	0.80	0.18	0.59
Ca	1.7	5.50	0.45	1.07
Mg	0.33	0.80	0.06	0.14
	Transferencia de nutrientes por año			
N	64.8	33.3	23.6	0
P	82.9	54.4	35.5	0
K	96.7	93.6	89.3	64.5
Ca	34.3	54.0	28.5	0
Mg	63.1	67.4	39.9	0

Fuente: Farfán, Urrego, 2011

De acuerdo a los resultados de las investigaciones expuestas, en cafetales bajo sombrío de guamo se evidencia que los aportes del sombrío a través del ciclaje de nutrientes son ampliamente superiores en orden de beneficios en comparación a los del café a libre exposición. En cambio, en estudios de café bajo sombrío de otras especies maderables como el Nogal, Pino y Eucalipto, los aportes de biomasa fueron mayores en cafetales a sol, que el de las diferentes especies de

sombra, al igual que la transferencia de nutrientes que también resultaron superiores.

En cuanto a la diferencia en la cantidad de biomasa y aporte de nutrientes entre las diferentes especies de sombras, puede atribuirse a que:

En el primer caso (sombrió de guamo), se produjo mayor cantidad de biomasa y mayor aporte de nutrientes en el sistema con sombra, debido a que el guamo es una leguminosa, y esta especie aporta múltiples beneficios en comparación con otros maderables, ya que extraen y fijan nitrógeno del aire (Fassbender et al., 1988) y recirculan nutrimentos. (Ramírez 1990; Russo y Bowski 1986) manifiestan que *Inga edulis* es un género de rápido crecimiento, alta producción de biomasa y habilidad para soportar podas regulares con brotes posteriores vigorosos.

Esto también se pudo dar por las frecuencias de podas, (Chesney et al. 2001, citado por Montenegro G., 2005) revela que los árboles de *Inga edulis* con poda parcial conserva más raíces finas que una poda completa, y que la retención de una rama es suficiente para asegurar la recuperación rápida del área foliar. En consecuencia, Russo y Budowski 1986 (citados por Montenegro G., 2005), evaluando tres frecuencias de poda en la producción de biomasa de poró en un SAF de café, encontrando que la producción de biomasa se ve disminuida conforme se aumenta la frecuencia de poda al año. Los valores de producción de biomasa (MS) para una poda al año fueron 18470 kg ha⁻¹ año⁻¹, para dos podas al año 11800 kg ha⁻¹ año⁻¹ y para tres podas al año 7850 kg ha⁻¹ año⁻¹. El aporte total de N fue similar para las dos primeras frecuencias de poda, pero para tres podas al año fue muy baja (de 237,2 kg ha⁻¹año⁻¹ a 173,4 kg ha⁻¹año⁻¹). Berninger y Salas 2003 (citados por Montenegro G., 2005), recomiendan ciclos de poda espaciados para propiciar la sostenibilidad de la producción de biomasa del sistema.

Igualmente, se puede adjudicar a la tasa de descomposición de las especies maderables utilizadas, en este caso por los altos contenidos de carbono en especies como Nogal, Pino y Eucalipto es más lenta, que en comparación con la del café y el guamo.

Por otra parte, Primavesi 1984 (citado por Montenegro G., 2005), presenta que la concentración de los distintos compuestos en hoja de leguminosa son alrededor de 21% de proteína, 15% en celulosa, 8% de hemicelulosa y 5% de lignina, mientras que para la raíz de leguminosa sus valores son de 22% de celulosa 13% de proteína, 11% de hemicelulosa y 8% de Lignina. Estos compuestos tienden a

descomponen bajo el siguiente orden: primeros los almidones y Proteínas, seguido de la celulosa y lignina que tiende a descomponerse más lentamente debido a su estructura química.

En esta dirección Ribeiro *et al.* 2002 (citado por Farfán 2011), evaluaron el comportamiento de descomposición y liberación de nutrientes en especie de *E. globulus* y no encontraron pérdida de peso al incrementar la concentraciones de N, P, S por aplicación de fertilizante, sin embargo encontraron que la cantidad de N, P, S liberado durante la primera etapa de descomposición dependía de su concentración inicial en la hoja. Infiriendo que la cantidad de estos nutrientes reciclados está relacionado con la cantidad de hoja caída y de su patrón de liberación. Igual comportamiento encontraron Guo y Sims 2002 (citados por Farfán 2011) en tres especies de Eucalyptus atribuyendo la descomposición y liberación a factores interno como lignina, celulosa y magnesio debido a sus concentraciones iniciales.

Además, Kershnar y Montagnini (1998) al evaluar cuatros especies maderable en áreas degradadas encontraron que las hojas de *T. amazonia* tuvo una descomposición total (rápida) al cabo de 6 meses, mientras que las hojas de *D. panamensis*, *A. guachapele* y hojas mixtas su descomposición fue total a los 12 meses excepto *V. koschnyi* que contenía un 15% remanente de su peso original y que la diferencias encontrada en la descomposición está relacionada con los contenidos de nutrientes en la hoja.

La biomasa y nutrientes contenidos dependen, entre otros factores, del tipo de asociación en el SAF. Jiménez y Martínez (1979), evaluando la producción de materia orgánica en SAF de café con diferentes estructuras, encontraron que la biomasa en el estrato herbáceo fue inferior en SAF con sombra diversa (37,5 kg ha⁻¹), que la biomasa acumulada en SAF con dosel de una sola especie de sombra (1142 kg ha⁻¹) y que la biomasa acumulada a pleno sol (1851 kg ha⁻¹).

Adicionalmente en un estudio realizado por Munguía 2005, que se llevó a cabo en una finca privada del municipio de San Marcos, departamento de Carazo (Nicaragua), establecido bajo tres manejos de sombra: con sombra y fertilización, (PCF), con sombra y sin fertilización (PSF) y cafetal a pleno sol (PS), se obtuvieron resultados con respecto a la producción de residuos vegetales (Tabla 7), que muestra como en parcelas de café con sombra de *G. Sepium* y sin fertilización (PSF) contribuyo con 9 867.60 kg ha⁻¹ año¹, mientras que las parcelas de café fertilizadas con (PCF) y sin sombra (PS) produjeron 7 377.33 y 7

332.81 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. En las parcelas con sombra, se puede observar que aproximadamente entre el 58.3 y 60.2 % de la biomasa es proveniente de la hojarasca de café, mientras que *G. Sepium* contribuye con valores de 20.5 y 22.7% respectivamente, diferencias debidas al tamaño de las hojas y su capacidad de conservar materia seca. En la parcela de café a plena exposición solar, la hojarasca de *C. Árábica* contribuye con 83.9 % más un 14.4 % repartido en residuos florales y frutos caídos debido a afectaciones de broca del fruto de café (*Hypothenemus hampei*) y chasparria (*Cercospora coffeicola*).

Parcela de Café	Hojarasca		Ramas		Raquíz madero	Flores y frutos	Total
	Café	Madero	Café	Madero			
Con sombra y fertilizada	4299.66 (58.3)	1511.57 (20.5)	115.70 (1.6)	10.66 (0.14)	360.53 (4.9)	1079.21 (14.6)	7377.33
Con sombra y no fertilizada	5945.21 (60.2)	2241.10 (22.7)	69.99 (0.71)	219.00 (2.2)	612.16 (6.2)	780.14 (7.9)	9867.60
A pleno solar y fertilizada	6152.17 (83.9)	0.00	123.23 (1.7)	0.00	0.00	1057.41 (14.4)	7332.81

Datos entre paréntesis refleja el porcentaje que contribuye cada componente en el total

Fuente: Munguía 2005

Tabla 7: Producción de residuos vegetales por caída natural en tres sistemas de manejo de cafetal.

En general estos resultados se deben en parte a la alta calidad de la hojarasca de especies de leguminosas. Datos mostrados por Handayanto *et al*, 1994 (citado por Munguia 2005), indican que el material podado de *G. sepium* tiene un concentración de 3.95 % de Nitrógeno (N) y 20 % de lignina; mientras que Oglesby *et al* 1992 (citado por Munguia 2005), reporta concentraciones de 3.43 % de N y 8.6 % de lignina; que hace que los microorganismos dispongan en mayor cantidad de estos nutrientes.

Tabla 8: Concentraciones (%) de N, P y K en los componentes de residuos vegetales en tres sistemas de café.

Parcela de Café	Nutriente	Hojarasca		Ramas de café y madero	Raquiz	Flores y frutos
		Café	Madero			
Con sombra y fertilizada	N	2.39	2.63	1.36	2.51	2.02
	P	0.28	0.38	0.03	0.27	0.19
	K	2.07	1.39	2.50	1.55	2.20
Con sombra y no fertilizada	N	2.63	2.75	2.73	2.23	3.14
	P	0.35	0.21	nd	0.22	0.17
	K	2.31	1.72	1.77	2.27	2.65
A pleno sol y fertilizada	N	2.29	-	2.58	-	2.73
	P	0.21		0.30		0.23
	K	2.63		0.66		2.69

Fuente: Munguía 2005

En la anterior tabla (Tabla 8) se muestran las concentraciones de los diferentes elementos dentro de los componentes de residuos vegetales analizados en el laboratorio, estos resultados fueron:

Las concentraciones de N fueron de 2.39, 2.63 y 2.29 % en la hojarasca de café correspondiendo a las parcelas de café con sombra y fertilizada, con sombra y no fertilizada y a pleno sol, respectivamente, siendo estos valores superiores a los determinados en Costa Rica por Munguía (2002) en la hojarasca de café (2.02 y 2.16 %), sin embargo, Aranguren et al 1982 (citado por Munguía 2005), reporta concentraciones de N en hojarasca de café desde 0.42 % hasta 1.97 %.

Las concentraciones de P en la hojarasca de café en el presente estudio fue de 0.28, 0.35 y 0.21 %; en tanto, el K fue de 2.07, 2.31 y 2.63 %, en las parcelas con sombra y fertilizada, con sombra y no fertilizada y a pleno sol respectivamente, igualmente valores superior a los encontrados por Munguía (2002) bajo condiciones de trópico húmedo. En relación con la hojarasca de *G. Sepium* los contenidos de N fueron de 2.63 y 2.75 % en las parcelas con sombra (fertilizada y no fertilizada) valores mayores con respecto a la hojarasca de café.

Del producto obtenido de la biomasa de residuos vegetales y la concentración de N, P y K; la hojarasca de café aportó mayor biomasa teniendo una relación directa en la cantidad de éstos elementos minerales que anualmente se estarían depositando sobre el suelo producto de la caída natural para formar la capa de mantillo, seguido del proceso de descomposición y consecuentemente la liberación lenta de nutrientes, su mineralización y su disponibilidad para ser

nuevamente absorbidos por las plantas de café y árboles de sombra constituyendo el reciclaje de nutrientes.

Parcela de Café	Nutriente	Hojasasca		Ramas		Raquiz	Flores y frutos
		Café	Madero	Café	Madero		
Con sombra y fertilizada	N	102.97	39.84	1.57	0.14	9.06	21.82
	P	12.29	5.74	0.03	0.003	0.98	2.09
	K	89.00	21.08	2.89	0.26	5.60	23.75
Con sombra y no fertilizada	N	113.08	61.74	1.90	5.97	13.69	24.56
	P	15.26	4.70			1.37	1.32
	K	99.23	38.68	1.24	3.88	13.89	21.00
A pleno sol y fertilizada	N	141.37	-	3.18	-	-	28.87
	P	12.73		0.39			2.43
	K	162.10		0.82			28.46

Tabla 9: Cantidad de nutrientes (kg ha) en los diferentes componentes de residuos vegetales en tres sistemas de café.

En la tabla 9 se evidencia que en la parcela de café con sombra y fertilizada existe una potencialidad en los residuos vegetales en cantidad de 175.4, 21.1 y 142.6 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente. Mientras la parcela con sombra y no fertilizada contribuye en N, P y K con 220.9, 22.6 y 177.92 kg ha⁻¹ respectivamente, siendo esta parcela, la que da una mayor contribución de nutrientes; entre tanto la parcela a pleno sol y fertilizada aporta 173.4, 188.9 y 191.4 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente. En estos resultados se observan las ventajas del sistema de producción bajo sombra, al ser mayores los aportes de nutrientes tanto en el sistema con fertilización y sin fertilización. Además, dentro del estudio se muestra la influencia de los fertilizantes durante el ciclo agrícola influyendo positivamente en una mayor actividad biológica de los microorganismos descomponedores, facilitando el proceso de destrucción de los residuos vegetales expuestos.

De este trabajo se establece que:

Con base a los diferentes estudios analizados, se plantea que el aporte de biomasa y el ciclaje de nutrientes es mayor en el sistema de producción bajo sombra, debido a que en el de a libre exposición hay mayor volatilización de nutrientes y ausencia de árboles que aporten materia seca al suelo que mediante el proceso de mineralización se convierten en nutrientes que son absorbidos nuevamente por las plantas. Aunque la sombra en cafetales, en zonas óptimas, también tiene sus desventajas como son la reducción de la producción, los beneficios ecológicos de los árboles asociados, a través del ciclaje de nutrientes y

la adición de materia orgánica, causaran que la reducción en el sistema arbolado sea relativamente menor que en un cafetal al sol, por ende los árboles asumirían un rol más importante. Además, este aumento en la producción genera una mayor exigencia de fertilización que compense la mayor demanda de nutrimentos que tiene la planta al incrementar su producción.

También debe tenerse en cuenta que la descomposición de los residuos vegetales es mayor en los cafetales a libre exposición debido a que las especies forestales presentan mayores contenidos de carbono que el café, igualmente por la concentración de los distintos compuestos en la hojarasca (proteína, celulosa, hemicelulosa y lignina), aunque esto ocurra, es necesario saber que entre los efectos del ciclaje de nutrientes se encuentran los beneficios prestados por la hojarasca en el suelo en los cafetales bajo sombrero, que por su lenta descomposición, se convierte en una capa de hojarasca o mantillo que cubre la superficie de los cafetales. Por tal razón, la presencia de una mayor capa de hojarasca en cafetales con sombrero trae consigo una serie de beneficios, entre los que se encuentran: la reducción del potencial erosivo de las gotas de lluvia y la disminución de las pérdidas de suelo por escorrentía; este mantillo además proporciona una mayor cantidad de nutrientes para las plantas, producto de la mineralización (descomposición) del material vegetal. Debe considerarse también la acción producida por la hojarasca sobre la aparición de arvenses, ya que como afirman Silva y Tisdell, la selección adecuada y el manejo de las especies de sombrero puede reducir considerablemente las labores y costos de su manejo.

5. CONCLUSIONES

- ❖ La velocidad de descomposición de la materia orgánica del suelo, independiente de la forma en que se encuentre, está condicionada por factores como origen y naturaleza de la materia orgánica, agentes responsables de la descomposición, Humedad, Temperatura, Acidez del suelo y Contenido de nutrientes del suelo.
- ❖ La tasa de descomposición de la biomasa es similar en los dos sistemas de producción, pero la diferencia radica en los aportes de nutrientes, siendo casi en todos los casos menores a libre exposición que bajo sombra y esta variación se debe a las distintas especies forestales establecidas sobre el café.
- ❖ El aporte de biomasa en el sistema bajo sombra es mayor a los obtenidos en el monocultivo, lo que genera un aumento en el ciclaje de nutrientes en este sistema de producción.
- ❖ Los efectos del ciclaje de nutrientes se evidencian en el mejoramiento de las propiedades de los suelos, al igual que en los aportes de nutrientes al sistema, resultando mejores en el sistema de producción bajo sombra.
- ❖ La capa de hojarasca que se forma en los cafetales bajo sombra, además de proporcionar una mayor cantidad de nutrientes para las plantas disminuye la pérdida de suelo a causa de la erosión, reduce la presencia de arvenses y contribuye a la economía hídrica en el suelo.
- ❖ En los sistemas agroforestales el reciclaje total de nutrientes fue significativamente mayor al promedio de los tratamientos de café a libre exposición, lo que sugiere los beneficios potenciales de la siembra de café con sombra en comparación con el sistema de producción a libre exposición.

6. RECOMENDACIONES

- ❖ Es muy recomendable asociar con el cultivo de café especies maderables combinadas con leguminosas, con el propósito de tener sistemas agroforestales diversificados en los cuales se pueda suplir las necesidades de N para el cultivo con material vegetal (hojarasca) proveniente de la caída natural de hojas de las especies maderables y de las podas de las especies leguminosas; de esta manera el sistema dispone de N en el corto, mediano y largo plazo, ya que las leguminosas como *E. poeppigiana* e *I. edulis* mineralizan N en el corto plazo mientras que especies maderables como *T. ivorensis*, *C. alliodora*, *T. amazonia*, *E. deglupta* mineralizan en el mediano y largo plazo, para tener en cuenta en la sincronía de la planta.
- ❖ Es importante tener en cuenta que las especies maderables presentan una lenta descomposición y mineralización en la hojarasca, lo que desfavorece al sistema si se espera un reciclaje rápido de nutrientes. Sin embargo, es recomendable su establecimiento porque favorece la protección de los suelos, ya que una cobertura de lenta descomposición protege el suelo de la radiación solar, conserva la humedad, minimiza la temperatura y evita la pérdida de materia orgánica por erosión por lo que se deben realizar investigaciones sobre aporte de biomasa y ciclaje de nutrientes en los diferentes sistemas de producción de café en Nariño.
- ❖ Se requiere estudios complementarios que evalúen la descomposición de materiales vegetales en mezclas, especialmente con especies que posean hojarasca de alta calidad con otras de baja calidad, esto con el fin de permitir desarrollar estrategias de manejo de los sistemas agroforestales en busca de un mejoramiento de la sostenibilidad del sistema.
- ❖ Para estudios comparativos de tasa de liberación de nutrientes de árboles de sombra se debe tomar en consideración el sistema de manejo que se utilice, así como el sistema de poda.

7. BIBLIOGRAFIA

- ❖ Aert, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79: 439-449.
- ❖ Alpizar, L.; Fassbender, H W.; Heuvelop, J. 1983. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento Central del CATIE, Turrialba,1. Determinación de biomasa y acumulación de reservas nutritivas (N, P, K, Ca, Mg). Turrialba, Costa Rica. 28p.
- ❖ Altieri, M.A. 1999. Sistemas agroforestales. *In* Altieri, MA (ed) Agroecología: Bases científica para una agricultura sustentable. Montevideo, UY. Editorial Nordan-Comunidad. 229-243 p.
- ❖ Arcila P., J.; Farfán V., F.; 2007. Moreno B., A.M.; Salazar G., L. F.; Hincapié G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafe, 309 p.
- ❖ Arana M, V H. 2003. Dinámica del nitrógeno en un sistema de manejo orgánico de café (*Coffea arabica* L.) asociado con poró (*Erythrina poeppigiana* (walpers) o.f Cook). Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 100 p.
- ❖ Arroyo G. Francisco J. 2003 Reciclaje de nutrientes On line: www2.gtz.de/dokumente/oe44/ecosan/cb/es-nutrient-recycling-self-sufficiency-2003.pdf.
- ❖ Bardgett, R.D. 2005. The biology of soil: A community and ecosystem approach. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom. 256 p.
- ❖ Beare, M.H., Coleman, D.C, Crosley, D.A., Hendrix, P. Odum, E.P. 1995. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Pant and soil* 170:5-22.
- ❖ Beer, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-114.
- ❖ Benzing, A. 2001. Agricultura orgánica: Fundamento para la región andina. Villingen- Schwenningen. DE. Editorial Neckar-Verlag. 682 p.

- ❖ Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, C:R: Asociación Costarricense de la Ciencias del Suelo (ACCS) 157 p.
- ❖ Brussard, L. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26: 563-570.
- ❖ Cardona D., A; Sadeghian K., S. 2005. Beneficios del sombrero de guamo en los suelos cafeteros Chinchiná: Cenicafe, 9 p.
- ❖ CENICAFE. 1993. La materia organica y su importancia en el cultivo del café. Boletín Técnico N°. 16. Chinchiná, Colombia. 24 p.
- ❖ Chesney, P.E. Schlönvoigt, A.; Kass, D. 2001. Producción de tomate con soporte vivos en Turrialba, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 7(26): 57-60.
- ❖ Cody, M; McGill, W; Alegre, J; Gill, D; Kass, D; Rothwell, R. 2000. Patrones de liberación y distribución de nitrógeno en barbechos mejorados. *Agroforestería en las Américas*: 7(26): 65-67.
- ❖ Cordero, J; Mesén, F; Montero, M; Stewart, J; Dossier, D; Chamberlain, J; Pennington, T; Hands, M; Hughes, C; Detlefsen, G. 2003. Descripciones de especies de árboles nativos de América Central. In Cordero, J; Boshier, D H . (eds). *Árbol de Centro América: un Manual para Extensionistas*. Oxford, UK.FRP. OFI/CATIE. p. 311-958.
- ❖ Couteaux, M., Bottner, P. & Berg, B. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution* 10(2):63-66.
- ❖ Coyne, M. 1999. *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 416 p.
- ❖ Di Stéfano, J.F.; Fournier, L.A. 1998. Biomasa aérea, concentración de nutrientes y daños en árboles de *Vochysia guatemalensis*, en un monocultivo de cuatro años, Tabarcia, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 22 (2): 235-241.

- ❖ Farell, J. 1990. The influence of trees in selected agroecosystems in Mexico. In S.R. Gliessman (Ed), *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. New York, US. 169-183. p
- ❖ Farfán V., F, 2010. Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrío de especies forestales. *Cenicafe* 61(1): 7-27.
- ❖ Farfán V., F, Fernando I.A.; M. Sc. 2011. *Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café*. Cenicafe, Chinchiná, Caldas.
- ❖ Farfán V., F; Jaramillo R., A. 2008. Efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en el suelo en sistemas agroforestales con café. *Cenicafe* 59 (1): 39-54.
- ❖ Farfán V., F.; Urrego J. B. 2007. Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arábica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales con café. *Cenicafe* 58(1):20-39.
- ❖ Fassbender, H.W & Bornemiza, E. 1987. *Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina*. IICA. San José, Costa Rica. 420 p.
- ❖ Fassbender, H.W. 1993. *Modelo Edafológico de Sistemas Agroforestales*. 2da edición. Turrialba, CATIE, Costa Rica. 530p. (Serie de Materiales de Enseñanza nº 29).
- ❖ Fichersworrning H, B.; Robkamp R, R. 2001. *Guía para la Caficultura Ecológica*. 3ed. Lima, PE. Editorial López. 153p.
- ❖ Fournier, LA. 1988. El cultivo de cafeto (*Coffea arabica* L) al sol o la sombra: Un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense* 12 (1):131-146.
- ❖ Galvez P., Marcela. 2008. Efecto del uso del suelo sobre la descomposición de la hojarasca y grupos funcionales microbianos (Cuenca del río la vieja, Quindío). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C.
- ❖ Gliessman, S R. 2002. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, CR, CATIE. 359p.

- ❖ Guharay.F.; Monterroso, D.; Staver, C. 2001. El diseño y manejo de la sombra para la supresión de plagas en cafetales de América Central. *Agroforestería en las Américas*. 8(29): 22-29.
- ❖ Haggar, J.P; Staver, C. 2001. Como determinar la cantidad de sombra que disminuya los problemas fitosanitarios de café: Como hacerlo. *Agroforestería en las Américas*. 8 (29): 42-45.
- ❖ Hernández, R.; Ibarra, E. 1997. El marco conceptual de la sostenibilidad en la modernización de la caficultura en el entorno tecnológico del IICA/PROMECAFÉ. In Simposio Latinoamericano de caficultura (XVIII, 1997, San José, Costa Rica). Panel de caficultura sostenible. J. Echeverri; O. Mora; L. Zamora (eds). San José Costa Rica. IICA/PROMECAFÉ. p 27.
- ❖ Ibañez, J. 2006. Clasificación de horizontes orgánicos: un horizonte invisible bajo nuestros pies. Madrid, España, 15 pág.
- ❖ Imbach, A.C.; Fassbender, H.W.; Beer, J.; Borel, R.; Bonnemann. A. 1989. Sistemas Agroforestales de Café (*Coffea arabica*) con Laurel (*Cordia alliodora*) y Café con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. VI. Balance hidrológicos e ingreso con lluvias y lixiviación de Elementos Nutritivos. *Turrialba*. 39(3):400-414.
- ❖ Joffre. R., Agren. G.I., Gillon. D. & Bossata. E. 2001. Organic matter quality in the ecological studies: theory meets experiment. *Oikos* 93: 451-458.
- ❖ Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A. & Martin, S. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial animals ecosystems: Application to soils of the humid tropical. *Biotropica* 25(2): 130.
- ❖ LÓPEZ, A. M. 2001 Sistemas agroforestales tipo multiestratos. Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), Departamento de Promoción Económica Montevideo, Publicación No. 11(01) abril de 2001. 50 p.
- ❖ Martínez C, R. 2004. Manejo agroecológico del agroecosistema. In Encuentro Nacional de Agricultores Experimentadores e Investigadores en Producción Orgánica. (4to.2004. Turrialba, Costa Rica). La finca integral una propuesta local para un desarrollo global. Memoria. D. Polanco ; G. Soto . Eds. Turrialba, Costa Rica. p 13-22.

- ❖ Mena, V., 2008. Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. 68 P.

- ❖ Mendonça E, De Sá.; Gomide L, E. Matéria Orgânica do Solo, 1ª Aproximação. Universidade Federal de Viçosa. Centro de Ciências Agrárias Departamento de Solos. SOL 375–Fertilidade do Solo. On-Line Internet:www.ufmt.br/petfloresta/disciplinas/solos/Apostila_MateriaOrganica.pdf. (Consultado Diciembre de 2005).

- ❖ Montagnini, F.; Fernández, R.; Hamilton, H. 1995. Relación entre especies nativas y la fertilidad de los suelos, 1. Contenido de elementos en la biomasa. Yvyrareta. 6 (6): 5-12.

- ❖ Montagnini, F. 2000. Ciclaje de nutrientes en plantaciones con especies puras y mixtas en Región de Bosque Húmedo Tropical. In Consejo Nacional de Rectores (6,2000, San José, Costa Rica) Taller de nutrición forestal, Memoria. San José, Costa, Rica. FONAFIFO/UNA/INTEC. p17-24. ; Jordan, C. 2002. Reciclaje de nutrientes. In Ecología y conservación de Bosques Neotropicales.. Guariguata, MR; Catan,GH. eds. Cartago, Costa Rica. LUR. P.167-191.

- ❖ Montenegro G., Edilberto J. 2005. Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional, Turrialba, Costa Rica.

- ❖ Moorhead D.L., Sinsabaugh R.L., Linkins A.E. Y Reynolds J.F. 1998. Decomposition processes: modelling approaches and applications, science of the total environment 183 (1-2): 137-149 p.

- ❖ Muschler, R.G. 1997. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica: CATIE/GTZ. 139 p. (Materiales de enseñanza nº 5).

- ❖ Munguía H.R. 2005. Aportes de biomasa y nutrientes de un sistema agroforestal con café en el pacífico de Nicaragua. Facultad de Agronomía / Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. 9 p.

- ❖ Munguía H., R. 2002. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y de hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* solas y en mezclas. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. 82 p.
- ❖ Quiroz M., T.; Hincapié G., E. 2007. Pérdidas de suelo por erosión en sistemas de producción de café con cultivos intercalados. *Cenicafe* 58(3):227-235.
- ❖ Ramos T., Cristobal. Sistemas agroforestales con café y especies valiosas en el sistema agroforestal Municipalidad Provincial Chanchamayo. On line Internet: www.monografias.com/trabajos-pdf2/sistemas-agroforestales/sistemas-agroforestales.pdf.
- ❖ Rao, M. R; Fair, P.K; Ong, CK. 1998. Biophysical interaction in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38: 3-5.
- ❖ Refsnnyder, W. S., Darnhofer.T.O. 1989. *Meteorology and agroforestry*. Internacional Center for Research in Agroforestry: Nairobi, Kenya.
- ❖ Rivera E., L.; Guerrero E. 2005. Ciclaje directo de nutrientes a través de endomicorriza. ¿Un complemento del proceso de mineralización? Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia.
- ❖ Romero L., Siyyid A. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arábica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Turrialba, Costa Rica,
- ❖ Sadeghian K., S. 2010. La materia orgánica: componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. Chinchiná: Cenicafe, 61 p.
- ❖ Salazar, E.; Muschler, R.; Sánchez, V.; Jiménez. F. 2000. Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 7(26.): 40-42.
- ❖ Sánchez, J F.; Moreno, R A.; Muñoz, F. 1993. *Erythrina fusca*: un árbol leguminosa de la costa norte de Colombia con potencial agroforestal. In Westley, S B; Powell, M H (eds) *Erythrina in the New and old worlds*. Hawaii, US. NFTA p 55-61.

- ❖ Silva, A., Ponce De León, J Carassa R, Reyes, W. 1992. Efecto de la aplicación de efluentes orgánicos de tambo sobre la producción de verdeos y propiedades físico químicas del suelo. Notas Tecnicas. Facultad de Agronomía. Paraguay. 16 p.
- ❖ Silva, N.T.M.H. De; Tisdell, C.A. 1990. Evaluating techniques for weed control in coffee in Papua New Guinea. *International Tree Crops Journal* 6(1):31-49.
- ❖ Sistema de informacion sectorial (S I S). Café. 2008. On line Internet: <http://www.cafedecolombia.com/docs/presentacion.pdf>.
- ❖ Somarriba, E. 1998. Diagnóstico y Diseño Agroforestal. *Agroforesteria en las Américas* 5(17-18):68-72.
- ❖ Shepherd, D.; Montagnini, F. 1999. Acumulación de carbono en plantaciones mixta y pura en el Trópico húmedo. In *Semana Científica CATIE* (4,1999. Turrialba, Costa Rica). Logros de la investigación para el nuevo milenio; Acta. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p 345-349 (serie técnica nº5).
- ❖ Swift, M., Heal, O. & Anderson J. 1979. *Descomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press. Berkeley and Los Angeles, USA. 372 P.
- ❖ Szott, L.T.; Kass, D.C.L. 1994. Los fertilizantes en los sistemas agroforestales. In Krishnamurthy, L; Leos-Rodríguez, J.A. eds. *Agroforestería en Desarrollo: Educación, Investigación y Extensión*. Chapingo, México. p 83 -103.
- ❖ Vaast, P. & Snoeck, D. 1999. Hacia un manejo sostenible de la materia organica y de la fertilidad biológica de los suelos cafeteros. In Betrand, B, Rapidel, B. Eds. *Desfios de la caficultura en Centroamerica*. Francia. 139-169 p.
- ❖ Victoria O., Eugenia. 2004. Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café. Turrialba, Costa Rica,
- ❖ Vitousek, P., Turner, D., Parton, W. & Stanfor, R. 1994. Litter descomposition on the manual environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms and models. *Ecology* 75: 418-429.

- ❖ Voroney, R.P., Paul, E.A. & Anderson, D.W. 1989. Descomposition of wheat straw and stabilization of microbial products. *Canadian Journal of Soil Science* 69: 63-77.
- ❖ Zaia F. C.; Gama-Rodrigues A. C 2004. Ciclagem e balanço de nutrientes em Povoamentos de eucalipto na região Norte fluminense. Seção IV – Fertilidade E nutrição do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:843-852
- ❖ Zuluaga P, J.J. 2004. Dinámica de la materia orgánica del suelo en sistema agroforestales de café con *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook en Costa Rica. Tesis M.Sc., CATIE, Costa Rica. 116p.