



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

Trabajo de Graduación

Producción de materia seca y acumulación de nutrientes en el mantillo por la combinación de árboles de sombra y niveles de insumo en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) Masatepe, Nicaragua.

AUTORES

Br. Josué Guillermo Reyes Trujillo

Br. Oscar Oswaldo Rodríguez Madrigal

ASESOR

Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández

MANAGUA, NICARAGUA

JULIO, 2014



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Graduación

Producción de materia seca y acumulación de nutrientes en el mantillo por la combinación de árboles de sombra y niveles de insumo en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) Masatepe, Nicaragua.

AUTORES

Br. Josué Guillermo Reyes Trujillo
Br. Oscar Oswaldo Rodríguez Madrigal

ASESOR

Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández

MANAGUA, NICARAGUA

JULIO, 2014

HOJA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la Decanatura de la Facultad de Agronomía y/o director de sede: como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del tribunal examinador

Dr. Víctor Aguilar
Presidente

Ing. MSc. Martha
Secretaria

Ing. MSc. Hugo Rodríguez
Vocal

Managua, 03 de julio del 2014

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	3
III MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1 Localización del ensayo	4
3.2 Diseño metodológico	4
3.2.1 Descripción de los tratamientos	5
3.2.2 Variables evaluadas	9
3.2.3 Muestreo de la hojarasca en campo	10
3.2.4 Análisis estadísticos de los datos	11
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 Manejo de tejidos en café y dosel de sombra	13
4.2 Efecto de la interacción de especies de árboles de sombra y niveles de insumo sobre la acumulación de Materia Seca en el suelo (kg ha^{-1}), años 2004, 2009 y 2013	17
4.3 Concentraciones de Nutrientes por componente, años 2004, 2009 y 2013	19
4.3.1 Concentración de Nitrógeno y Fósforo	19
4.3.2 Concentración de Potasio, Calcio y Magnesio	20
4.4 Efecto de la interacción de especies de sombra y niveles de insumos sobre la acumulación potencial de Nutrientes en el mantillo	23
4.4.1 Nitrógeno	23
4.4.2 Fósforo	25
4.4.3 Potasio	26
4.4.4 Calcio	28

SECCIÓN	PÁGINA
4.4.5 Magnesio	30
V CONCLUSIONES	32
VI RECOMENDACIONES	33
VII LITERATURA CITADA	34
VIII ANEXOS	37

DEDICATORIA

*Primeramente y de manera especial a **DIOS** todo poderoso por darme la vida, salud y capacidad física e intelectual para culminar mis estudios universitarios y terminar esta etapa importante de mi vida.*

*Con mucho cariño y amor a mi madre **Ruth Trujillo Gallegos** que en paz descanse, por haberme inculcado valores éticos, morales y espirituales, y enseñarme lo hermoso que es la vida.*

*A mi abuelita **Gloria Gallegos** por estar siempre a mi lado en todo tiempo y apoyarme para seguir adelante en la vida.*

***Mi familia** que con mucho cariño me ha enseñado el camino correcto, por sus consejos y esfuerzo me han apoyado en el transcurso de mi trayectoria académica.*

*A **mis ex compañeros y amigos de clase**, por compartir esta experiencia a lo largo de estos cinco años de estudio universitario.*

Br. Josué Guillermo Reyes Trujillo

DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico en primera instancia y de manera muy especial a **Dios** nuestro padre por darme siempre vida, salud, fuerzas y sabiduría necesaria para culminar exitosamente mis estudios universitarios durante esta etapa de mi vida.*

*A mis padres: **Luis Rodríguez Mendoza** y **Electeria Madrigal Pérez** porque siempre me han dado su apoyo, comprensión y amor por haber confiado en mí y en mis capacidades que con su aliento y consejos supieron guiarme en mi camino con la educación y cariño que me han transmitido y por llevarme siempre en sus oraciones.*

A mis hermanos: porque siempre me llenan de fuerzas con sus motivaciones cariño y confianza que han depositado en mí.

Y a todos aquellos seres especiales que en algún momento me acompañaron durante esta etapa de mi vida y que formaron un espacio en mi historia que espero nunca olvidar.

Br. Oscar Oswaldo Rodríguez Madrigal

AGRADECIMIENTO

*Agradezco de manera muy especial a **DIOS** por estar siempre presente en mi vida, por darme fortaleza y sabiduría, y poder cumplir con esta fase de mi vida.*

*A **mi familia** por todo su apoyo, esfuerzo y motivación para la realización de mis sueños como profesional, gracias a todos!*

*A nuestra **Universidad Nacional Agraria (UNA)**, por haber contribuido en la enseñanza y formación de profesionales.*

*Al personal **docente de la UNA**, por brindar sus conocimientos en mi formación profesional para poder enfrentar nuevos retos en un futuro.*

*A nuestro asesor Ing. MSc. **Rodolfo Munguía Hernández**, por su tiempo y apoyo incondicional en la realización de nuestro trabajo de tesis.*

*A mis ex compañeros de clase de **Agronomía generación 2009-2013**, por su amistad y por los momentos de alegría que compartimos durante estos cinco años.*

*Al grupo de instituciones (**UNA, CATIE, INTA y CENECOOP**), por haberme dado la oportunidad de realizar nuestro trabajo de tesis.*

*Así mismo a **Elvin Navarrete** y **Lédis Navarrete**, por su valiosa cooperación en la obtención de muestras en la etapa de campo del estudio realizado y su apoyo en brindar información necesaria para el desarrollo de tesis.*

Expreso mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido a que lo que una vez fue un sueño, hoy es una realidad, porque sin ustedes, esto no hubiese sido lo que es...un verdadero éxito....!!

Br. Josué Guillermo Reyes Trujillo

AGRADECIMIENTO

*Agradecer en primer lugar a mi padre dios, por proveerme lo necesario para vivir la vida que él me concedió, y a nuestra madre la **virgen María** por ser la fuente de inspiración de lucha, entrega y deseo de superación.*

*A Mis padres: **Luis Rodríguez Mendoza** y **Electeria Madrigal Pérez** que por amor se han sacrificado para darme una buena formación y apoyándome a superar las metas que a veces parecían imposible, que por gracias a ellos soy una persona con criterios y valores cristiano y sentirme capaz de levantar la frente antes las circunstancia de la vida.*

*A mis hermanos **Bismarck Antonio**, **Sandra María**, **Luis Rubén**, **José Daniel**, y **Luisa Amelia** que por cariño siempre me han brindado su apoyo.*

*A nuestro asesor **el Ing. MSc Rodolfo Munguía Hernández** Por su apoyo incondicional durante el proceso de realización de esta Investigación.*

A la Universidad Nacional Agraria (UNA) por darme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa universidad.

A todos los docentes que por diferentes medios contribuyeron a nuestra formación como profesionales.

A nuestros amigos con quienes hemos compartido nuestra formación por brindarnos su amistad fruto de su compañerismo.

*A las instituciones que generosamente nos brindaron apoyo en la elaboración de esta investigación como la Universidad Nacional Agraria (**UNA**), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (**CATIE**), al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (**INTA**) y al Centro de Cooperativismo (**CENECOOP**).*

Br. Oscar Oswaldo Rodríguez Madrigal

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Combinación de los niveles de estudio del factor A y B	5
2	Porcentaje mínimo y máximo de manejo de tejidos de 4,000 plantas ha ⁻¹ de café en el periodo 2005- 2013	13
3	Tipos de podas realizadas en árboles de sombra en sistema agroforestal con café, Masatepe	15
4	Población de árboles de sombra por ha ⁻¹ periodo 2000, 2005, 2009 y 2013	16
5	Producción de Materia Seca en kg ha ⁻¹ por efecto de la interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 y 2013	18
6	Promedios de las concentraciones de N y P encontrados con el análisis de tejidos	20
7	Promedios de las concentraciones de Potasio, Calcio y Magnesio encontrados con el análisis de tejidos	22
8	Acumulación de Nitrógeno en el mantillo (kg ha ⁻¹) por efecto de la interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 Y 2013	23
9	Acumulación de Fósforo en el mantillo (kg ha ⁻¹) por efecto sombra e interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 Y 2013	25
10	Acumulación de Potasio el mantillo (kg ha ⁻¹) por efecto de interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 Y 2013	27
11	Acumulación de Calcio en el mantillo (kg ha ⁻¹) por efecto de interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 Y 2013	29
12	Acumulación de Magnesio el mantillo (kg ha ⁻¹) por efecto de interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 Y 2013	31

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Localización del municipio de Masatepe en donde se ubican los dos sitios experimentales Jardín Botánico y Campos azules	4
2	Árbol de Aceituno (<i>Simarouba glauca</i> DC)	6
3	Árbol de Roble (<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC)	6
4	Árbol de Guaba (<i>Inga laurina</i> (Sw) Willd)	7
5	Árbol de Genízaro (<i>Samanea saman</i> (Jacq) Merr)	7
6	Planta de Café variedad Paca	9
7	Muestreo de hojarasca del área experimental	11
8	Ensayo experimental. Réplica 1 Níspero, Jardín botánico, Masatepe	41
9	Ensayo experimental. Réplica 2, El Mamón, Jardín botánico, Masatepe	42
10	Ensayo experimental. Réplica 3 Campos Azules, Masatepe	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	PÁGINA
1 Exportaciones de café verde por año periodo del 2000 al 2012	37
2 Exportaciones de café verde por norma de calidad periodo del 01/10/2011 al 30/09/2012 cierre de cosecha cafetalera 2011/2012	37
3 Exportaciones de café verde por mes período del 01/10/2011 al 30/09/2012 cierre de cosecha cafetalera 2011/20012	38
4 Principales Países importadores de café verde por calidad periodo del 01/10/2011 al 30/09/2012 cierre de cosecha cafetalera 2011/2012	39
5 Las 10 principales empresas exportadoras de café verde en Nicaragua, periodo del 01/10/2011 al 30/09/2012 cierre de cosecha cafetalera 2011/2012	40
6 Manejo de fertilidad de suelo en el ensayo de sistema agroforestales con café	44
7 Manejo de enfermedades en el ensayo de sistema agroforestales con café	45
8 Manejo de hierbas en el ensayo de sistema agroforestales con café	46
9 Manejo técnico de Insectos Plagas en el ensayo de sistema agroforestales con café	47
10 Población de plantas y manejo de tejidos en árboles y cafetos	48
11 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha^{-1}) sobre el tipo de sombra bajo sistema agroforestal, año 2004	49
12 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha^{-1}) en diferentes niveles de insumos bajo sistema agroforestal, año 2004	49
13 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha^{-1}) por cada uno de los tratamientos bajo el sistema agroforestal, año 2004	49
14 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha^{-1}) sobre el tipo de sombra bajo sistema agroforestal, año 2009	50
15 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha^{-1}) en diferentes niveles de insumos bajo sistema agroforestal, año 2009	50
16 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha^{-1}) por cada uno de los tratamientos bajo el sistema agroforestal, año 2009	50
17 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha^{-1}) sobre el tipo de sombra bajo sistema agroforestal, año 2013	51

ANEXOS	PÁGINA
18 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha ⁻¹) en diferentes niveles de insumos bajo sistema agroforestal, año 2013	51
19 Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha ⁻¹) por cada uno de los tratamientos bajo el sistema agroforestal, año 2013	51
20 Cantidad total de macronutrientes extraídos por las partes que componen el fruto del café, equivalente a 1,000 kg de café en uva	52
21 Salida de Nitrógeno del sistema por la extracción de la cosecha en kg ha ⁻¹ periodo 2013-2014	52
22 Salida del Fósforo del sistema de por extracción de cosecha periodo 2013 - 2014	53
23 Salida del Potasio del sistema por extracción de cosecha periodo 2013-2014	53
24 Foto 1.Hojarasca aportada por sistema agroforestal con café, Jardín Botánico, Masatepe	54
25 Foto 2. Muestreo de Campo	54
26 Foto 3. Café bajo sombra, CECA	55
27 Foto 4. Café a Pleno sol CECA	55

Reyes, J.; Rodríguez, O. 2014. Producción de materia seca y acumulación de nutrientes en el mantillo por la combinación de árboles de sombra y niveles de insumos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) Masatepe, Nicaragua.

RESUMEN

En un experimento de sistemas agroforestales con café en el municipio de Masatepe, Nicaragua, se determinó el aporte de materia seca y sus contenidos de N, P, K, Ca y Mg, en las combinaciones de árboles de sombra de *Simarouba glauca*+ *Tabebuia rosea* (SGTR), *Samanea saman* + *Inga laurina* (SSIL) y café a pleno sol (Psol) como factor A, y el factor B: aplicación de Niveles de insumos: Convencional Intensivo (CI) y Convencional Moderado (CM), Orgánico Intensivo (OI) y Orgánico Moderado (OM). Las interacciones fueron establecidas en un diseño de bloques incompletos al azar en parcelas divididas con tres repeticiones. Se evaluó la cantidad de materia seca y sus contenidos de N, P, K, Ca y Mg en el mantillo en el años 2004, 2009 y 2013; realizándose el muestreo de campo en los meses de Abril y Mayo de cada año. Fueron definidos seis puntos de muestreo al azar dentro del área de la parcela útil del área experimental a través de un marco de 0.25 m². Cada punto fue ubicado en calle y otro paralelo en la hilera cerca de la base de una planta de café. Se recolectó todo el material vegetal separándose por componente (hojas, tallos, raquis, ramas, flores, frutos, material fraccionado), por tipo de especie, las cuales fueron pesadas. Una muestra compuesta por componente y especie se obtuvo para determinar la relación peso fresco peso seco. Los resultados obtenidos muestran que la combinación de sombra *S. saman* + *I. laurina* (SSIL) árboles leguminosos, fue la que aportó mayor cantidad de materia seca con 6,926.75 kg ha⁻¹ en el 2004, 18,351.88 kg ha⁻¹ en el 2009 y 20,356.43 kg ha⁻¹ en el 2013. Con respecto al nivel de insumo, el Orgánico Intensivo (OI), fue el que tuvo mayor efecto en la producción de materia seca con 7,559.68 kg ha⁻¹ en el 2004, 16,688.31 kg ha⁻¹ en el 2009 y 20,474.16 kg ha⁻¹ en el 2013. La interacción sombra*insumo (SSIL-OI), fue la que contribuyó con mayor cantidad de materia seca en los tres años cuantificados, en comparación a la combinación de árboles maderables (SGTR) y la condición Pleno sol. Los tratamientos con árboles *S. saman* + *I. laurina* y manejo orgánico, fueron los que presentaron las mayores acumulaciones de nutrientes en residuos vegetales, obteniendo los siguientes resultados: en el año 2004, (SSIL-OM); acumuló 202.60 kg ha⁻¹ de N, 34.69 kg ha⁻¹ de P, 92.85 kg ha⁻¹ de K, 88.82 kg ha⁻¹ de Ca y 31.25 kg ha⁻¹ de Mg. En el año 2009, presentó una mayor acumulación de nutrientes el tratamiento (SSIL- OI); con 435.64 kg ha⁻¹ de N, 20.36 kg ha⁻¹ de P, 123.95 kg ha⁻¹ de K, 83.34 kg ha⁻¹ de Ca y 60.47 kg ha⁻¹ de Mg. En el año 2013, (SSIL- OI); acumuló 513.60 kg ha⁻¹ de N, 34.46 kg ha⁻¹ de P, 297.61 kg ha⁻¹ de K, 426.83 kg ha⁻¹ de Ca y 20.23 kg ha⁻¹ de Mg. Las combinaciones de árboles leguminosos y maderables con manejo orgánico presentaron los mayores aportes de materia seca y acumulación de nutrientes en los años 2004, 2009 y 2013, en comparación a los tratamientos con café a Pleno sol con manejo convencional.

Palabras claves: Sistema agroforestal, café, Ciclaje de nutrientes, absorción de nutrientes, *Simarouba glauca*, *Tabebuia rosea*, *Samanea saman*, *Inga laurina*, Pleno sol, Convencional Intensivo, Convencional Moderado, Orgánico Intensivo, Orgánico Moderado.

Reyes, J.; Rodríguez, O. 2014. Dry matter production and nutrients accumulation in the mulch by the combination of shade trees and input levels in coffee crop (*Coffea arabica* L.), Masatepe, Nicaragua.

ABSTRACT

In an experiment in agroforestry systems with coffee in the place Masatepe, Nicaragua, the contribution of dry matter and the contents of N, P, K, Ca and Mg was determined combinations of shade trees *Simarouba glauca* + *Tabebuia rosea* (SGTR), *Samanea saman* + *Inga laurina* (SSIL) and coffee to full sun (Psol) as factor A and factor B: application of levels of inputs: Conventional Intensive (CI) and Conventional Moderate (CM), Organic Intensive (OI) and Organic Moderate (OM). Interactions were established in a randomized incomplete split plot design with three repetitions. The amount of dry matter and the contents of N, P, K, Ca and Mg in the mulch in the years 2004, 2009 and 2013 were evaluated; field sampling performed in the months of April and May of each year. Six points were defined random sampling within the service area of the experimental plot area through a frame of 0.25m². Each point was located in streets and other parallel in the row close to the base of a coffee plant. All plant material separated by component (leaves, stems, rachis, branches, flowers, fruits, split items), by type of species, which were collected were weighed. A sample of component species was obtained to determine the fresh weight dry weight ratio. The results show that the combination of shadow *S. saman* + *I. laurina* (SSIL) leguminous trees, was the one that brought greater amount of dry matter with 6926.75 kg ha⁻¹ in 2004, 18351.88 kg ha⁻¹ in 2009 and 20356.43 kg ha⁻¹ in 2013. Regarding the level of input, the Intensive Organic (OI) was the one that had most effect on dry matter production with 7559.68 kg ha⁻¹ in 2004, 16688.31 kg ha⁻¹ in 2009 and 20474.16 kg ha⁻¹ in 2013. The shadow * input (SSIL-OI), the interaction was contributing more amount of dry matter in the three quantized years compared to the combination of timber (SGTR) and Full sun condition. The treatments *saman* + *I. laurina* and organic management, were those with the greatest accumulations of nutrients in plant residues, obtaining the following results: in 2004, (SSIL-OM) accumulated 202.60 kg ha⁻¹ N, 34.69 kg ha⁻¹ of P, 92.85 kg ha⁻¹ K, 88.82 kg ha⁻¹ of Ca and 31.25 kg ha⁻¹ Mg. in the years 2009, presented a greater accumulation of nutrient treatment (SSIL-OI), with 435.64 kg ha⁻¹ N, 20.36 kg ha⁻¹ of P, 123.95 kg ha⁻¹ K, 83.34 kg ha⁻¹ Ca and 60.47 kg ha⁻¹ Mg. In 2013, (SSIL-OI), accumulated 513.60 kg ha⁻¹ N, 34.46 kg ha⁻¹ of P, 297.61 kg ha⁻¹ of K, 426.83 kg ha⁻¹ of Ca and 20.23 kg ha⁻¹ of Mg. Combinations of bean and timber with organic management had the highest contribution of dry matter and nutrient accumulation in the years 2004, 2009 and 2013, compared to treatment with open sun coffee with conventional management.

Keywords : Agroforestry system, coffee, nutrient cycling, nutrient absorption, *Simarouba glauca*, *Tabebuia rosea*, *Samanea saman*, *Inga laurina*, open sun, Conventional Intensive, Moderate Conventional, Organic Intensive, Organic Moderate.

I. INTRODUCCION

El café (*Coffea arabica* L.) ha sido y es el principal rubro de exportación de Nicaragua, ha representado consistentemente cerca del 25 % del valor total de las exportaciones agrícolas del país. De acuerdo con el IICA (2003), del total de la producción nacional de café se comercializa el 85 % de ella en el mercado externo y el resto se consume localmente.

El ingreso de divisas por las exportaciones de café de Nicaragua para el período de cosecha 2011 - 2012 (anexo 1, 2 y 3) fue de US\$ 450, 383,446.61 siendo un 2.8 % superior al ciclo agrícola anterior. Esto se refleja en el precio de mercado obtenido en el ciclo 2011 - 2012, obteniéndose un precio promedio de 208.98 dólares por quintal oro vendido. Para este mismo ciclo se logran vender aproximadamente 2,155,120.42 de quintales oro, siendo record para el país. Los Estados Unidos, Venezuela, Bélgica, Alemania y Canadá (anexo 4), en este orden han sido los principales países compradores del café de Nicaragua (CETREX, 2012).

La cadena productiva del café es un conglomerado de agentes, tales como, los pequeños, medianos y grandes productores; industriales y exportadores; empresas proveedoras de insumos para la producción primaria (anexo 5), por lo que su peso en la economía nacional es significativo (IICA, 2003).

En Nicaragua, la producción de café se encuentra en manos de pequeños y medianos productores, unas 20,559.55 manzanas de café son producidas por productores con menos de 5 mz; unas 20,153.49 manzanas en productores de 5-10 mz, otras 91,164.21 manzanas de café en fincas de 10 - 50 mz, unas 24,758.68 manzanas de café en manos de productores con fincas de 50 - 100 mz y 57,386.8 manzanas de café producidos en fincas mayores a 100 mz; principalmente ubicados en los departamentos de Jinotega, Matagalpa y Las Segovias (CENAGRO, 2012).

El cultivo de café da beneficios ambientales proporcionados a partir del desarrollo de sistemas agroforestales, en ellos, se han identificado y dada su importancia económica que posee el cultivo en Nicaragua, y que las actividades de estos sistemas, por su propia naturaleza, modifican los ecosistemas naturales para ser convertido en agro-sistemas, cuya productividad se orienta hacia el suministro de uno o varios servicios de importancia ambiental y económica. El manejo de café a plena exposición al sol, se logran cosechas altas, pero las necesidades de nutrientes son elevadas, teniendo desventajas, ya que los productores no les prestan atención a la fertilidad natural del suelo que es proporcionada por la biomasa de los árboles forestales a través del reciclaje de nutrientes. Las plantaciones de café sin sombra, se caracterizan por una deficiente protección al suelo, bajo en la restitución de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y en una alta movilidad de los mismos. Esta situación lleva a los agricultores a depender considerablemente de los fertilizantes sintéticos e insumos químicos, así con el uso de herbicidas para el control de malezas dejando al suelo expuesto a la erosión (Altamirano, 2005).

En los agroecosistemas cafetaleros, el suelo es uno de los componentes fundamentales y entre sus propiedades químicas, el contenido de materia orgánica es de primordial importancia; las plantaciones a pleno sol acumulan, en términos generales, menos hojarasca que aquellas establecidas bajo sombra regulada, lo que hace que el suelo en las primeras sea más susceptible a la erosión y al crecimiento de malezas (Fournier, 1988).

Las condiciones que se generan en un SAF de café dependerán, en gran medida, de las especies arbóreas asociadas y el manejo. Los aportes de hojarasca y los residuos de podas que cubren el suelo, reducen el impacto de las gotas de la lluvia, la velocidad de escorrentía y la erosión, mejoran la estructura, el contenido de N y la retención de nutrientes en el suelo, por ello la importancia de los árboles en asocio con cultivos perennes. Los residuos vegetales generados en los agroecosistemas, son objeto de procesos de descomposición y mineralización, que liberan una serie de compuestos esenciales para la nutrición de las plantas (Fassbender 1992 citado por Munguía y Gutiérrez, 2012).

Este tipo de sistema productivo genera una capa en la superficie del suelo llamado mantillo formado por tallos, ramas, hojas, peciolo, flores, frutos entre otros materiales vegetales, que son aportados por los árboles forestales. El ciclaje de nutriente es un proceso que constituye un abastecimiento de nutrientes para los propios árboles y cultivo principal. El suministro adecuado de elementos minerales es necesario para la máxima producción, pero estos elementos por sí solos no son una garantía para una abundante cosecha, ya que esta puede variar por posibles efectos limitantes de otros factores que influyen en el crecimiento de la planta (Romero, 2006).

En este sentido los sistemas agroforestales pueden verse como una alternativa para el uso y manejo de los recursos naturales en regiones tropicales, estos pueden ser utilizados en distintas escalas geográficas y ecosistemas cumpliendo importantes funciones tales como: diversificar la agricultura, aumentar la materia orgánica en el suelo, fijar nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes, modificar el micro clima y optimizar la producción del sistema en función de rendimiento y sostenibilidad (CIAT, 2012)

En Nicaragua, se han realizado trabajos como los de Altamirano (2005), Pérez y Soza (2006) en sistemas agroforestales que cuantifican los aportes de hojarasca y residuos depositados por efecto de las podas de los árboles de sombra y de los cafetos. En el Centro de Capacitación y Servicios Regional conocido como Jardín Botánico y el Centro Experimental de Campos Azules ambos sitios localizados en el municipio de Masatepe se han realizado estos estudios sobre aporte de biomasa los cuales están siendo considerados como un parámetro importante en la caracterización de los ecosistemas, ya que refleja su capacidad de acumular materia orgánica durante un determinado periodo.

En base a lo anteriormente expuesto, se desarrollaron los siguientes objetivos:

II. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar los aportes de materia seca y el potencial de nutrientes en el mantillo de diferentes sistemas de manejo de sombra e insumos en el cultivo de café.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar el aporte de materia seca producido en café bajo sistemas agroforestales y café a pleno sol y diferentes niveles de insumo agrícola.
2. Determinar el contenido de N, P, K, Ca y Mg en La materia seca aportados por las especies de árboles forestales de sombra y café a pleno sol.
3. Analizar el aporte de materia seca y el potencial de nutrientes de diferentes sistemas de manejo de café realizados en 2004, 2009 y 2013.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del ensayo

Como parte de un proceso de investigación que durará 20 años se realiza un esfuerzo multi-interinstitucional (CATIE, INTA, CENECOOP y UNA), que conllevó a establecer en 2000 y 2,001 un ensayo experimental de sistemas agroforestales con café en el Pacífico de Nicaragua formado de tres repeticiones: dos ubicadas en el Centro de Capacitación y Servicios Regional conocido como Jardín Botánico (figura 8 y 9), hoy denominado CENECOOP siendo CARUNA el actual propietario con coordenadas geográficas de 11°54" latitud Norte y 86°09" longitud Oeste a una altitud de 685 m, con una precipitación anual de 1400 mm y con temperaturas promedio de 24 °C y humedad relativa entre 70 y 80 %.

Una tercera réplica, se encuentra en el Centro de Desarrollo Tecnológico de Campos Azules), propiedad del Instituto Nicaragüense de Tecnología (INTA), establecida en el año 2001 (figura 10), con coordenadas de 12°19" latitud norte y 86°04" longitud Oeste; a una altitud de 455 m siendo una zona baja y seca con suelos fértiles de origen volcánico, una temperatura promedio anual de 28 °C ambos sitios localizados en el municipio de Masatepe departamento de Masaya (Chavarría y Hernández, 2007; Benavidez *et al* 2004).

3.2 Diseño metodológico

El ensayo está compuesto por cuatro combinaciones de árboles de sombra más una condición a plena exposición solar y combinados con cuatro niveles de insumos, ya sea de tipo convencional como de tipo Orgánico.

Se aplicó un diseño de parcelas divididas en bloques incompletos al azar, conformadas por tres réplicas, I y II establecidas en CENECOOP, mientras que la réplica III, establecido en el 2001, en área del CECA (Vindell y Pantoja, 2004; Suarez *et al*, 2009). En las parcelas grandes se estableció y distribuyó el factor tipo sombra; mientras que en las sub parcelas se distribuyó el factor Nivel de insumo, dando origen a 14 tratamientos (Cuadro 1). No todos los niveles de insumo están distribuidos en las parcelas grandes.

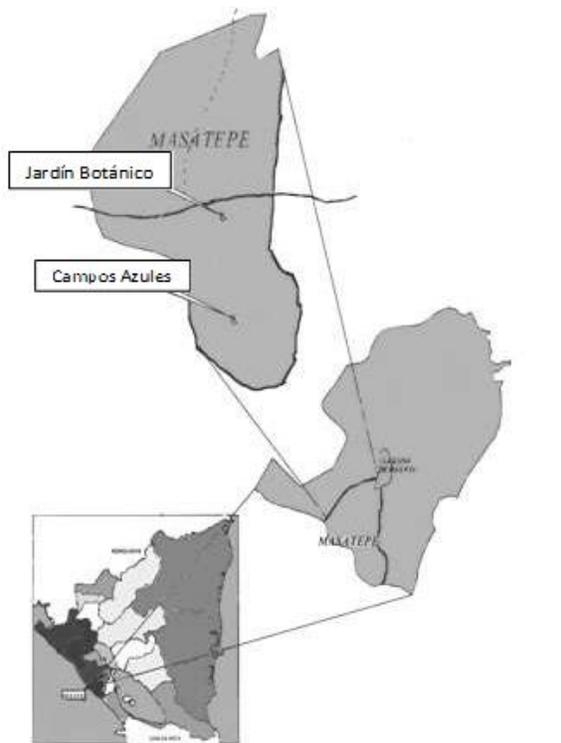


Figura 1. Localización del municipio de Masatepe en donde se ubican los dos sitios experimentales Jardín Botánico y Campos azules.

3.2.1. Descripción de los tratamientos

Se establecieron dos factores de estudio, Factor A: dos Tipos de sombra y una parcela a pleno sol (anexo 26 y 27). Un Factor B: cuatro Niveles de insumos. La combinación de ellos da origen a 14 tratamientos, sin embargo, para el presente trabajo se han considerado las dos combinaciones de sombra del factor A combinados con los cuatro niveles del factor B y el caso del tratamiento a pleno sol se establecieron dos niveles de insumo.

Cuadro 1.-Combinación de los niveles de estudio del factor A y B

Parcela principal		Sub-parcelas	
Especies de Sombra	Descripción	Nivel de Insumo	Descripción
SSIL	<i>Samanea saman</i> + <i>Inga laurina</i> (Genízaro y Guabillo)	CI	Convencional intensivo
		OI	Orgánico Intensivo
		CM	Convencional Moderado
		OM	Orgánico moderado
SGTR	<i>Simarouba glauca</i> + <i>Tabebuia rosea</i> (Acetuno y Roble)	CI	Convencional intensivo
		OI	Orgánico Intensivo
		CM	Convencional Moderado
		OM	Orgánico moderado
Psol	Pleno sol	CI	Convencional intensivo
		CM	Convencional Moderado

Descripción del Factor A: Tipo de sombra: En cada parcela grande o principal se establecieron especies de árboles de sombra (Solo leguminosas o solo maderables), Las especies son: *Simarouba glauca* (Acetuno), *Tabebuia rosea* (Roble), *Samanea saman* (Genízaro) establecida en 2003 que sustituyó a *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste) e *Inga laurina* (Guabillo), adicionalmente se incluyó para hacer comparaciones estadísticas dos parcelas a pleno sol (Chavarría y Hernández, 2007; Cardoza *et al.* 2007).

***Simarouba glauca* DC (Acentuno, Aceituno; Negrito): Familia: Simaroubaceae.**

Es un árbol de mediano a grande, que alcanza 25 – 27 metros de altura y un tallo de 40-50 cm diámetro, a menudo con un fuste cilíndrico limpio, hasta los primeros 9 m, es de copa estrecha, corteza fisurada y de color pardo y amarillento a grisáceo. Ampliamente usada como sombra en los cafetales del pacífico sur de Nicaragua y como árboles dispersos en los cafetales del pacífico de Centro América por su sombra durante todo el verano, se considera un árbol fresco que no afecta a los cafetales (Cordero y Boshier, 2003).

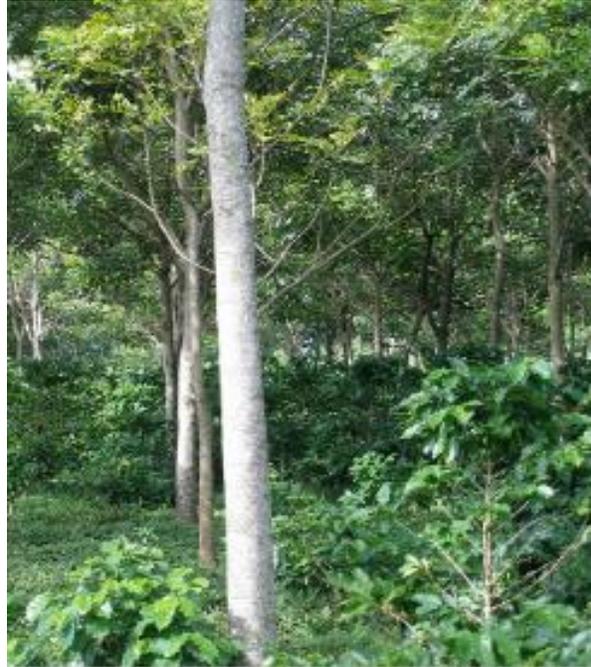


Figura 2. Árbol de Aceituno (*Simarouba glauca* DC)



Figura 3. Árbol de Roble (*Tabebuia roseae* (Bertol) DC)

***Tabebuia rosea* (Bertol.) DC (Roble sabanero, Macuelizo, Falso roble) Familia: Bignoniáceae.**

Se caracteriza por ser un árbol caducifolio de porte mediano a grande, hasta 28-37 m de altura con 50-100 cm DAP. El árbol tiene una copa ancha, que puede ser cónica o irregular con follaje abierto, liviano. La corteza gris oscura, escamosa con fisuras verticales. Las hojas compuestas, opuestas, con 5 folios. Se emplea en plantaciones y ensayos de enriquecimiento, bajo sistemas silvopastoriles, linderos, como sombra ornamental o sombra para café, en proyectos de restauración ecológica, en zonas secas es fuentes de alimento y albergue de animales (Cordero y Boshier, 2003; Escobar 2008).

***Inga laurina* (Sw) Fabaceae (Guaba, guabillo, cuanjiniquil); Familia: Mimosoideae.**

Es un árbol de 4 - 22 m de alto, Copa umbelada o redondeada, tronco con la corteza exterior negra y lenticelada, ramitas terminales con lenticelas blancas. Las flores aparecen en inflorescencia, son apenas fragantes y de color verde amarillo, fruto lineal oblongo, el arilo blanco que cubre la semilla es comestible, las hojas compuestas, alternas, paripinnadas; es una especie de rápido crecimiento. La madera de este árbol es usada para poste, leña, carbón y a veces muebles de baja calidad, rústicos, carpintería. Proporciona sombra a cultivos perennes, proporciona nitrógeno a través de su capacidad fijadora, se usa menos como planta melífera y como forraje (Cordero y

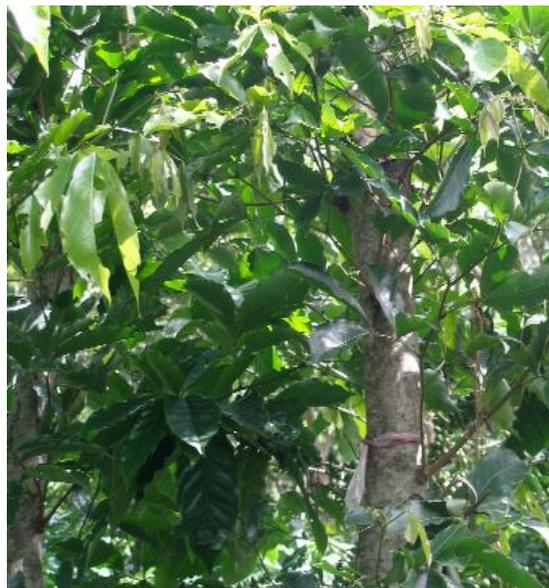


Figura 4. Árbol de guaba (*Inga laurina* (Sw) Willd.)

Boshier, 2003).

***Samanea saman* (Jacq) Merr (Genízaro, jenízaro, guachapali, carroto negro) Familia: Fabaceae.**

Árbol con altura de 30 m, de copa grande y redondeada, provee de sombra a una amplia área, hojas compuestas bipinadas, alternas, inflorescencia en umbela con flores blancas-rosadas, frutos en vainas rectas a ligeramente curvadas. Es considerada como una madera comercial, en general se puede usar en construcciones, acabados y divisiones interiores. Las hojas frescas constituyen un excelente forraje, los frutos son dulces y apreciado por el ganado, es utilizado con preferencia para sombras de potreros y pastizales (Cordero y Boshier, 2003).

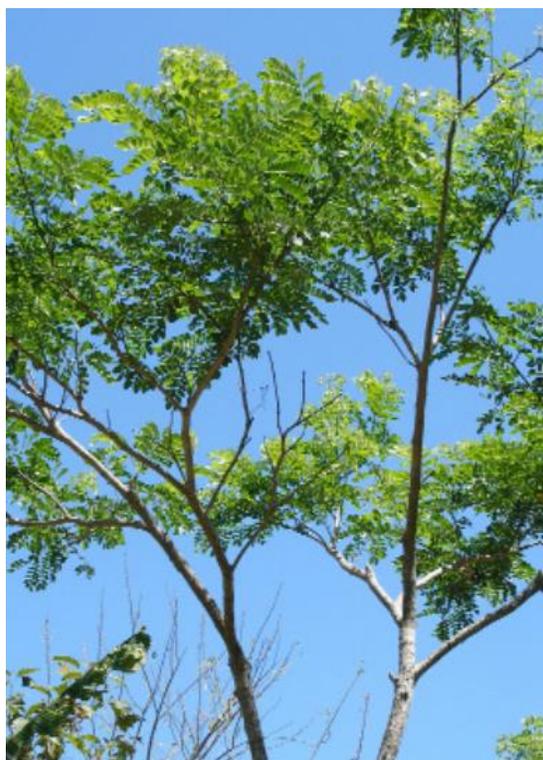


Figura 5. Árbol de Genízaro (*Samanea saman* (Jacq) Merr)

Descripción del Factor B: Niveles de insumo:

Formado por el uso de diferentes componentes de insumos sintéticos y orgánicos en el manejo agronómico del ensayo para el manejo de la fertilización, las malezas, las enfermedades e insectos, plagas (minador y broca) que afectan al cultivo del café en el sistema agroforestal (Chavarría y Hernández, 2007).

Convencional intensivo (CI): Uso intensivo de fertilizantes químicos y plaguicidas. En las parcelas con este tipo de insumo las dosis de fertilizantes (anexo 6), que se aplicaron fueron: 38 g/planta de 27-9-18 en julio, para agosto 70 g/planta de 12-30-10, en octubre 40 g de urea 46% + 10 g de Muriato de Potasio y 4 aplicaciones foliares de 5.6 gr de urea + 1.25 g de Zinc + 1.5 g de Boro/l agua + 1 cc adherente/l agua en los meses de marzo, junio, agosto y octubre. Para control de enfermedades (anexo 7), se realiza una aplicación preventiva de cobre 2.5 gramos/litro de agua (mayo-junio), dos aplicaciones Anvil 3 cc/litro de agua (ago-sept; oct-nov). Para el control de malezas (anexo 8), se realizó chapia en época seca, (febrero –marzo y mayo-junio), 2 aplicaciones herbicidas, Una primera con glifosato (5 cc/litro de agua) y la segunda glifosato (2.5 cc/litro de agua) + Flex (2.5 cc/litro de agua) y se realiza carriléo al momento de limpiar la calle. Y para el control de broca (anexo 9), se hace uso de trampa atrayentes (marzo-agosto), y una aplicación de endosulfán 3 a 5 cc/litros de agua en el 2005 y 2007.

Convencional Extensivo o Moderado (CM): Para la fertilización del cultivo (anexo 6) en este tipo de manejo se aplicaron: 19,5 g/planta de la fórmula 27-9-18 en julio, 35 g/planta de 12-30-10 en agosto, mediados de octubre: 20 g de urea + 5 g Muriato de potasio y 2 aplicaciones foliares: 5,6 g de urea + 1,25 de zinc+1,5 g de boro/ l de agua + 1 cc adherente/l de agua (marzo y octubre). Para el control de maleza (anexo 8), se aplicaron: Chapia en época seca (febrero - marzo y mayo - junio) y manejo selectivo de hierbas con machete y 2 aplicaciones de glifosato (5 cc/l agua). En el control de enfermedades (anexo 7), se realizaron: 1 aplicación preventiva de cobre (mayo - junio) 2,5 g cobre/l agua y 1 aplicación Anvil según criterio (oct - nov) 3 cc/ l agua. Para el control de broca (anexo 9), se utilizaron trampas atrayentes y 1 aplicación de Endosulfán 3.5 cc/l de agua en el 2005. En este tipo de manejo se realiza las aplicaciones con un uso más racional y limitado de agroquímicos comerciales.

Orgánico Intensivo (OI): En este tipo de manejo se excluye lo que es la aplicación de productos químicos (anexo 6), se realizaron aplicaciones de pulpa de café 5 lb/planta en marzo, en agosto se aplica compost (Bioperla) 4 lb /planta y 1 aplicación mensual de biofermentados 100 cc/l agua. En el control de maleza (anexo 8), se realiza con machete en calle y carril cuando es necesario, haciendo manejo selectivo. Para el control de enfermedades (anexo 7), se realizó: 1 aplicación preventiva caldo sulfocálcio junio (50 cc/ l agua) o aplicación según incidencia, además de poda de saneamiento y aplicación de cal (jun - Jul). Para control de minador (anexo 9), se realizó la aplicación de Torta de Nim, para el control de broca se utilizaron trampas atrayentes (marzo –agosto), prácticas como: granitéo, repela y pepena (marzo) y aplicaciones de *Beauveria bassiana*.

Orgánico Moderado (OM): Con respecto a este manejo se realizaron aplicaciones únicamente de pulpa de café 5 lb/planta, excluyendo lo que es el uso de bio-fermentados foliares y bioperla para lo que es la fertilización del cultivo (anexo 6), en cuanto a control de malezas (anexo 8), se realizó limpieza selectiva solo con machete (calle y carril), en el manejo

de enfermedades (anexo 7), se realizaron poda de saneamiento y aplicación de cal. En el control de plagas (anexo 9), en el caso de broca, para todos los niveles de insumo es similar. El método que se utiliza es por medio del uso de trampas atrayentes con mezcla de etanol y metanol 10 cc/trampa, además de prácticas de manejo tales como: granitéo, repela + pepena.

Material experimental: Variedad: Pacas (*Coffea arabica* L.); Familia: Rubiácea



Figura 6. Planta de Café variedad Pacas

La variedad Pacas, tiene como origen a una Mutación del Bourbon muy parecida al Caturra, generada en El Salvador. La planta es de porte bajo menor que el Bourbon, entrenudos y bandolas más cortas, hojas más grandes y de color verde oscuro. El tallo tiene gran proliferación de bandolas, lo que le da un aspecto más compactado y más cerrado.

Esta variedad, se le reconoce cualidades que favorecen su cultivo. Es una planta muy resistente al viento y a la sequía por lo que está siendo recomendado su cultivo en zonas donde azota el viento, a altitudes menores de los 1,000 metros de altura y en los bajíos comprendidos entre los 400 y 600 metros, donde las lluvias son menores y el suelo retiene menos agua. Si se cultiva a más de 1,200 m, la respuesta del cultivo es de un lento crecimiento de la planta y una maduración tardía.

Se ha comprobado, además, que la variedad tiene mayor resistencia a la *Cercóspora* que el Bourbon. Pacas ofrece muy buenos rendimientos, debido a

que puede sembrarse una mayor cantidad de plantas por unidad de superficie. También, es una planta que responde perfectamente a todos los sistemas de poda practicados en el país. Estas características la hacen viable para establecer en las zonas bajas y secas como el Pacífico Sur de Nicaragua.

3.2.2.- Variables evaluadas

Para cumplir con los objetivos específicos planteados en el presente trabajo se definieron un conjunto de variables a partir de la cuantificación de la materia seca existente en el mantillo (anexo 24). El procedimiento definió hacer la separación de los componentes en: biomasa de hojas, raquis, tallos, frutos de las especies de árboles de sombra, pulpa de café, maleza de hoja ancha y hoja fina y material fraccionado no reconocible. A continuación se describe:

- a. **Peso de la biomasa de hojas, tallos, raquis, frutos y vainas.** Se procedió a identificar y separar cada componente de cada especie forestal en evaluación y cafeto que se encontró dentro del cuadrante para después pesar la cantidad de biomasa de cada especie y así obtener el peso fresco de cada una de ellas.

- b. **Peso de biomasa seca de pulpa de café.** Se recolectó la pulpa de café que está dentro del cuadrante que es producto del manejo orgánico intensivo o moderado que se le aplicó a algunos tratamientos que fueron pesados para obtener su biomasa en peso.
- c. **Peso de biomasa seca de maleza.** Se procedió a separar los tipos de maleza según el tipo de hoja (ancha o angosta) seca o en crecimiento que se encontró dentro del cuadrante que luego se pesó la cantidad de biomasa fresca de cada tipo de maleza por muestra.
- d. **Peso de biomasa seca de fraccionado.** Al terminar de seleccionar los diferentes tipos de componentes, se recolectó el material que no se identifica producto de la descomposición de la biomasa, la cual se pesó para tomar la cantidad de biomasa fraccionada.

Las variables evaluadas en este trabajo fueron las mismas para los tres años de estudio que se realizaron en el 2004 y 2009 sobre la cuantificación de la materia seca y la concentración de nutrientes en los residuos vegetales aportados por diferentes sistemas agroforestales. El objetivo de realizar varios estudios a través del tiempo, es para obtener información que nos sirva como un parámetro importante para ver si estos sistemas pueden verse como una alternativa para el uso y manejo de los recursos naturales en regiones tropicales.

Contenido y aporte de nutriente en la materia seca

Para el análisis del contenido de nutrientes se utilizaron muestras compuestas por cada componente en café, árboles de sombra, maleza y material fraccionado de todos los muestreos realizados en cada repetición de cada tratamiento.

Los análisis químicos de los tejidos vegetales fueron realizados en el laboratorio de suelos y agua de la UNA. Los elementos que se analizaron en los diferentes componentes vegetales fueron N, P, K, Ca y Mg. El método de análisis fue el de digestión húmeda con mezcla de ácido nítrico-perclórico 5:1. Los elementos Ca, Mg y K fueron determinados por absorción atómica, P por el método colorimétrico del extracto de digestión Sulfo selénica; y N total por destilación Kjeldhal combustión. El aporte de nutrientes se determinó multiplicando la concentración de cada elemento por la biomasa (kg ha^{-1} MS) correspondiente.

3.2.3 Muestreo de la hojarasca en campo

La recolección de la materia vegetal depositada sobre el suelo por caída natural y restos de podas de cafetos y de árboles de sombra se realizó en el mes de mayo del 2013, por medio del método del marco cuadrado 50 por 50 cm (anexo 25). Antes de realizar la colocación del cuadrante se hizo la asarización del total de plantas de café de cada parcela útil de las cuales contiene las cantidades de 50-64 plantas por parcela, el objetivo de la asarización es obtener un dato más representativo al momento de la colocación del cuadrante.

En cada parcela fueron seleccionados seis puntos al azar en la parcela útil los cuales quedaron distribuidos en el área experimental. En cada punto seleccionado se ubicó un marco en la calle y otro paralelo en la hilera cerca de la base de la planta de café, para obtener una mejor representatividad del área de muestreo por diferencias probables en las cantidades de material vegetal entre calle e hilera, para obtener así una estimación más precisa, lo que permite disminuir el error de muestreo.

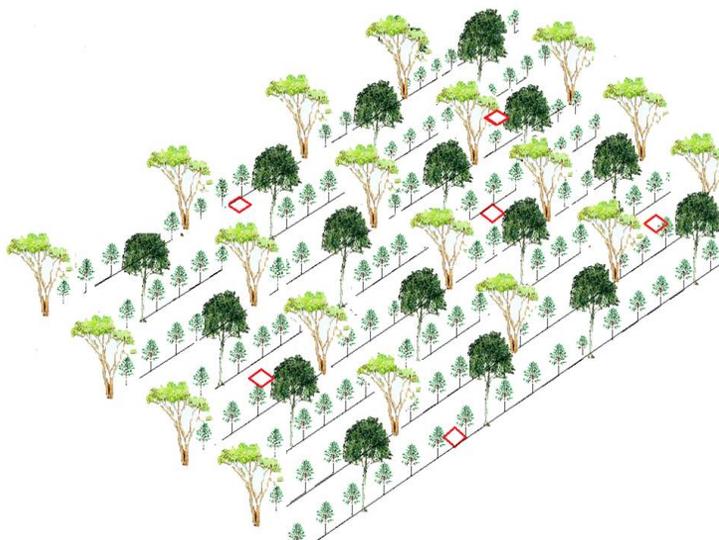


Figura 7. Muestreo de hojarasca del área experimental

Se recolectó de manera manual todo el material vegetal que este dentro del área del marco, y se separó por diferentes componentes como: tallos, ramas, hojas, peciolo, y frutos etc. Por cada especie encontrada, luego se procedió a pesarse y registrarse en una hoja de apunte.

De las seis sub muestras obtenidas por calle e hilera, se reunió los componentes de un mismo tipo de cada especie y se obtuvo una muestra compuesta por parcela útil y se pesó aproximadamente 100 g los que fueron depositados en bolsas de papel Kraft. Esta muestra compuesta fue llevada al laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Nacional Agraria donde fueron secadas al horno a una temperatura de 65 °C por un periodo de 72 horas, para ser pesadas y así obtener el peso seco.

Para determinar el peso seco de las sub- muestras de campo se dividió el peso seco final de la muestra compuesta (muestra secada a horno) con el peso inicial (peso de la muestra al momento de recolección), y de esta manera obtener un coeficiente (k) de materia seca que se multiplicó con el valor del peso fresco obtenido en campo, resultado en el peso seco de las muestras.

3.3.4.- Análisis estadístico de los datos

Para las variables de materia seca por especie vegetal, los contenidos de N, P, K, Ca y Mg; a los datos se procedió a aplicar un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias por medio de Tukey al 5 % de error, con el fin de encontrar diferencias o no entre la combinación de especies de árboles de sombra y nivel de insumo.

El análisis de los datos conllevó a la aplicación del modelo estadístico correspondiente a un diseño de parcelas divididas en bloques incompletos, el que a continuación se describe:

Modelo aditivo lineal de un diseño de parcelas divididas

$Y_{ijk}: \mu + \theta_k + \tau_i + (\theta\tau)_{ik} + \alpha_j + (\tau\alpha)_{ij} + \epsilon_{ijk}$. Dónde:

Y_{ijk} : La k-ésima observación del i-jenésimo tratamiento.

μ : Media general.

θ_k : Efecto de la réplica o bloque

τ_i : Efecto del aporte de materia seca por la combinación de árboles de sombra (parcela grande).

$(\theta\tau)_{ik}$: Error asociado a los árboles de sombra (parcelas grandes).

α_j : Efecto de los niveles de insumo.

$(\tau\alpha)_{ij}$: Efecto de interacción de los árboles de sombra con los niveles de insumo.

ϵ_{ijk} : Error asociado a los niveles de insumo (sub parcelas).

Si se designa:

$i = 1, 2, 3$. = Combinación de especies de árboles de sombra.

$j = 1, 2, 3, 4$. = Niveles de insumo aplicados.

$k = 1, 2, 3$. = número de bloques o replicas.

Para el procesamiento de los datos fue utilizado una hoja electrónica de Excel para los cálculos respectivo y la generación de variables adicionales y el programa SAS (Statistic Analisis Systems), versión 9.1 para el análisis estadístico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. El Manejo de tejidos en café y el dosel de sombra

La poda en café, tiene por objetivo, regular el desarrollo natural de la planta, estimular el crecimiento de nuevos tallos, mantener el equilibrio entre producción de tallos, flores, y frutos para así regular y aumentar la cosecha y evitar el agotamiento prematuro del cafeto. La poda del cafeto, la forma y la altura más conveniente, además de mantener la planta en las mejores condiciones de producción (Fischersworing y RoBrkamp, 2001).

En el Cuadro 2, se presentan las actividades empleadas en el manejo de tejidos en el café, fue iniciado a los 5 años de edad de la plantación, debido a las primeras manifestaciones de agotamiento de la estructura productiva. La estrategia del manejo de tejidos consistió en la poda de cafetos de forma selectiva, la cual consiste en la poda individual de la planta de acuerdo al grado de agotamiento que presentan y a las condiciones fitosanitarias de los tejidos por lo que se aplicaron poda sanitaria, recepo bajo, rock and roll.

Para darle un manejo apropiado y contrarrestar los daños por efecto de las enfermedades principalmente antracnosis que ataca las bandolas y daña la base productiva de las bandolas, por lo que fueron realizadas podas sanitarias en todos los años en una proporción mayor en cada una de las parcelas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje mínimo y máximo de manejo de tejidos de 4,000 plantas ha⁻¹ de café en el período 2005- 2013

Poda	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Recepo	5 – 14	1 – 44	14 – 47	1 – 6	27 – 76	1 – 32	1 - 26	15-71	6 – 36
Rock and roll	6 – 26	0 – 25	2 - 20	1 – 19	1 – 2	0	0	0	0
Poda sanitaria	61 – 86	38 – 81	47 - 68	40 – 71	0 – 71	70 – 96	71 - 97	24 – 51	40 – 87
Falla física	1 – 4	1 – 6	1	1 – 2	1 – 10	1 – 4	0	1 – 7	0

El agotamiento de las plantas de café se empezó a manifestar a partir del cuarto año de edad del cafetal y por ello se dio a la tarea de aplicar recepo bajo (se aplica principalmente en las plantas que presentan agotamiento productivo total de sus bandolas, que consiste en podar el cafeto a una altura de 35 cm del nivel del suelo, con el fin de provocar la emisión de brotes nuevos que habrán de reemplazar al tallo cortado) o rock and roll (empleado en las plantas que aun presentan al menos un estrato productivo significativo, esta poda se realiza principalmente a una altura de 1.30 m del nivel del suelo), este último se aplicó desde el 2005 hasta el 2009, debido a que el agotamiento de las plantas fue más evidente por lo que recepo bajo tuvo la mayor proporción en las parcelas de café.

Todo este manejo de tejido en el cafetal ha permitido una mayor aportación de biomasa, que ha implicado la incorporación de materia orgánica al suelo, posibilitando también

una cobertura permanente que afecta la presencia de malezas, se da el mantenimiento de la humedad del suelo, la incorporación lenta de nutrientes a la solución del suelo.

La poda sanitaria se realiza principalmente después de la cosecha con el objetivo de eliminar ramas infectadas por ciertos agentes patógenos e insectos que deforman los tejidos vegetales, así como el daño producido durante la recolección de la cosecha. La falla física, es por muerte de la planta, esta se elimina y reemplaza por una nueva para mantener la población inicial.

El manejo de los árboles de sombra en el ensayo agroforestal (Cuadro 3), se llevó a cabo bajo diferentes tipos de podas en función del crecimiento de estos durante el transcurso de los años; con el propósito de productividad; orientado a la obtención de mayor biomasa o madera. Dado que los árboles de sombra fueron establecidos en el mismo momento de la siembra del café, el crecimiento de ellos se debe regular orientados a la formación según el propósito definido para cada especie. Para el caso de las especies maderables fue aplicado la poda de elevación, mientras que para las especies de servicios se realizó el descentrado, esto durante los primeros 4 años.

El crecimiento de los árboles de sombra alcanzados para el 2005, muestra evidencias de competencia manifestado por un alto porcentaje de sombra superiores a 60 %, provocado adicionalmente a la alta población que fue establecido siendo de 666 árboles por hectárea (Cuadro 4), por lo que fue tomada la decisión de realizar el raleo de árboles, iniciando con las especies *I. laurina* y *S. glauca* en el 2005, mientras que el 2006 fueron eliminados árboles de *T. rosea*; son estas especies que presentaron mayor crecimiento. En este proceso de raleo la decisión técnica fue reducir la población a aproximadamente la mitad, en el resto de las parcelas donde está presente *S. saman*, se realizó la eliminación de árboles debido a que fue plantado en el 2003 sustituyendo a *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste), quién tuvo un crecimiento limitado ocasionado por ataque de *Atta spp.*

***Inga laurina* fue la especie que presento mayor demanda de podas en comparación con las otras especies de sombra, por su rápida capacidad de rebrotamiento y formación del sistema foliar.**

Cuadro 3. Tipos de podas realizadas en árboles de sombra en sistema agroforestal con café, Masatepe

Manejo aplicado	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Poda de formación	X	X				Genízaro						
Regulación, elevación y descentrado			X	X								
Raleo de árboles					50 % en Acetuno, Guaba	Roble en SSTR		Roble, Acetuno, Genízaro	Guaba, Roble, Acetuno			Guaba, Acetuno, Roble, Genízaro
Poda de Descentrado						Guaba					Guaba	
Poda de Elevación						Acetuno			Guaba	Roble, Acetuno		
Poda de ramas							Guaba Acetuno Roble	Guaba		Guaba		Guaba
Resiembra de árboles								Guaba				

En el año 2008, los árboles de *Inga laurina* fueron atacados por un barrenador del tallo provocando la muerte de plantas lo cual fue necesario realizar resiembra de esta especie arbórea. También en las demás especies de árboles se realizó resiembra en reposición de las plantas muertas.

Cuadro 4. Población de árboles de sombra por ha⁻¹ período 2000, 2005, 2009 y 2013

Combinación de Sombra	Nivel de insumo	Especie	2000-2001	2005	2009	2013
ILSG	OI	IL	333	199	191	76
		SG	333	153	140	89
	CM	IL	333	172	172	52
		SG	333	189	176	90
SSTR	OI	TR	333	338	175	123
		SS	333	294	140	79
	CM	TR	333	335	174	120
		SS	333	306	174	120
SSIL	CI	IL	333	200	164	96
		SS	333	317	136	64
	OI	IL	333	204	173	168
		SS	333	319	159	120
	OM	IL	333	201	201	177
		SS	333	240	128	102
	CM	IL	333	173	152	157
		SS	333	308	188	162
SGTR	OI	SG	333	190	138	112
		TR	333	160	156	82
	OM	SG	333	152	114	95
		TR	333	181	114	105
	CM	SG	333	146	115	162
		TR	333	178	162	131
	CI	SG	333	149	89	77
		TR	333	192	124	111

IL (*Inga laurina*), SG (*Simarouba glauca*), TR (*Tabebuia rosea*), SS (*Samanea saman*)

A partir del 2005, la población de árboles de cada una de las especies asociadas comenzó a tener una reducción debido a la realización de raleo de árboles en este mismo año, cuyo objetivo fue regular la intensidad de sombra al cafetal y la competencia con el cultivo. La parcela con asocio de árboles SSTR-CM, mantiene una población mayor de árboles que la establecida, ya que por efecto de área se estableció una hilera más de roble, por lo tanto existe una relación 40 % SS y 60 % TR.

En el año 2009 y 2013 se continuó realizando este mismo manejo, para reducir población y regular sombra por el crecimiento alcanzado de cada una de las especies, lo cual tiene gran

influencia en el aporte y acumulación de biomasa en el suelo, cuya importancia está en apoyar el reciclaje de nutrientes y el enriquecimiento de la materia orgánica. Falta reducir aún más la población, debido al factor de crecimiento vegetativo de las especies hasta alcanzar entre 70 a 120 árboles por hectárea.

4.2.- Efecto de la interacción de especies de árboles de sombra y niveles de insumo sobre la acumulación de Materia Seca en el suelo (kg ha^{-1}), años 2004, 2009 y 2013

Los desechos vegetales contribuyen con la protección del suelo reduciendo la erosión, mejorando el estado nutricional, conservación de la humedad del suelo y aumento de la actividad microbiana (Merino, 2003), contribuyendo como la principal fuente de materia orgánica (Altamirano, 2005).

Los resultados obtenidos del presente trabajo indican los aportes de materia seca en el mantillo por efecto de las interacciones sombra-insumo (Cuadro 5) en los años 2004, 2009 y 2013, lo tuvo un crecimiento acumulativo en todos los tratamientos, debido principalmente al manejo de podas realizadas en el componente arbóreo (Cuadro 3 y 4) para la regulación y la formación de sombra adecuada para el café (anexo 10), así como el manejo de tejido selectivo de plantas de café que mostraron debilitamiento productivo (Cuadro 2).

En el análisis realizado sobre el aporte de materia seca por efecto de las combinaciones de árboles de sombra, mostró que únicamente en el año 2013 hubieron diferencias significativas, donde la combinación de árboles leguminosos *Samanea saman* + *Inga laurina* (SSIL) aporta una mayor cantidad de materia seca acumulándose hasta $20,356.43 \text{ kg ha}^{-1}$ en el año 2013, en este año fue estadísticamente diferente a la combinación de árboles maderables *Simarouba glauca* + *Tabebuia rosea* (SGTR) y a la condición Pleno sol del café (Cuadro 5).

En relación al aporte de materia seca, por efecto de los niveles de insumo, los tratamientos orgánicos (OI y OM) influyeron en la mayor producción de biomasa en los tres años cuantificados, (anexo 12, 15 y 18) siendo estadísticamente significativos en el 2013 y diferente en relación a la producción de materia seca por los insumos convencionales dados por CI y CM (Cuadro 5).

Con respecto a la producción de materia seca por efecto de la interacción sombra-insumo, en general los tratamientos con manejo orgánico presentaron mayor aporte en relación a los convencionales, (anexo 13, 16 y 19) siendo no significativos estadísticamente en todos los años de estudio. Sin embargo, se muestra que presentó mayor producción de materia seca fue *Samanea saman* + *Inga laurina* con Orgánico Intensivo (SSIL-OI), obteniendo hasta $25,874 \text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca en el año 2013 (Cuadro 5).

En investigación realizado por Gómez (2012), describe que la mayoría de los estudios realizados en el mundo, sobre árboles leguminosos (*Erythrina sp*), se han centrado en la evaluación de este tipo de especies en sistemas agroforestales, por que presentan beneficios como la fijación de N, establecimiento de fácil manejo en el campo, buen comportamiento con otras especies; y aporte de biomasa por caída natural de residuos y frecuencia de podas.

Cuadro 5. Producción de Materia Seca en kg ha⁻¹ por efecto de la interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 y 2013

Factor	Tratamientos	2004	2009	2013	
Sombra	SSIL	6,926.75	18,351.88	20,356.43	a
	SGTR	6,528.95	11,690.65	13,640.99	ab
	PSOL	3,840.95	8,300.65	4,733.51	b
	Prob >F	0.5859	0.0976	0.0263	
Insumos	CI	5,593.31	11,773.33	11,208.17	b
	CM	4,973.01	13,124.11	11,374.81	b
	OI	7,559.68	16,688.31	20,474.16	a
	OM	7,343.19	14,350.86	18,379.72	a
	Prob >F	0.3011	0.7748	0.064	
Interacción	SSIL + CI	7,708.88	16,551.96	17,138.34	
	CM	5,020.88	19,003.00	17,697.96	
	OI	7,531.63	21,525.35	25,874.20	
	OM	7,445.59	16,327.20	20,715.21	
	SGTR+ CI	5,355.89	11,919.53	12,369.14	
	CM	5,931.39	10,616.53	11,076.46	
	OI	7,587.73	11,851.26	15,074.12	
	OM	7,240.80	12,374.52	16,044.23	
	PSOL+ CI	3,715.16	68,48.51	4,117.03	
	CM	3,966.75	97,52.80	5,349.99	
	Prob >F	0.5906	0.8254	0.6799	

Como se observa en el Cuadro 5, los mayores aportes de materia seca es producida por la combinación de árboles leguminosos, la especie *I. laurina* tiene una mayor influencia en producción de materia seca (anexo 11, 14 y 17), en comparación con las demás especies arbóreas, principalmente por su alta demanda de podas aplicados a partir de su amplio desarrollo foliar y rápida capacidad de rebrote.

La condición Pleno sol (Psol) con nivel de insumo convencional presentó aportes de materia seca menores en comparación a los aportes por las combinaciones de árboles de sombra. Además las plantas de café presentan debilitamiento productivo a temprana edad en comparación a plantas de café bajo sombra. Altamirano (2005), indica que las plantaciones de café sin sombra, se caracterizan por una deficiente protección al suelo, bajo en la restitución de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y en una alta movilidad de los mismos.

Velázquez y González (2012), afirman que los árboles ofrecen al café un inmenso abanico de alternativas y ventajas, tales como, la formación de un microclima adecuado para la producción de café, control de la temperatura del suelo y el mantenimiento de la fertilidad, permitiéndole a la planta condiciones favorables para su desarrollo, disminuyendo así los efectos del cambio climático. Montealegre (1954) analizó varias experiencias negativas del cultivo de café a pleno sol en diferentes sectores de Costa Rica, concluyendo que dichos fracasos se debieron a que el café es una especie que se desarrolla bajo la sombra y sólo en esas condiciones es posible obtener una planta sana, de alta producción y buena calidad, por un período más prolongado.

En sí, 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 (Pérez y Soza, 2006).

4.3.- Concentraciones de Nutrientes por Componente, años 2004, 2009 y 2013.

Medina *et al* (1999), afirma que las concentraciones de nutrientes varían no sólo entre las diferentes especies, sino también, en los distintos órganos de una misma planta. Esta variación está afectada por el tipo de planta, la edad fisiológica del tejido, la posición del tejido en la planta, la disponibilidad y concentración de minerales en el sustrato, los factores climáticos y las condiciones del suelo. De particular importancia en el diagnóstico de plantas, es que los distintos órganos responden, de manera diferente a las variaciones en la concentración de nutrientes y en la demanda de estos durante la ontogénesis.

Como se observa en el Cuadro 6 y 7, las concentraciones de nutrientes, varía en los años 2004, 2009 y 2013. Durante los primeros años de desarrollo del café se estableció sombra temporal (gandul e higuera), por lo tanto existe únicamente este tipo de componente en el año 2004. Para año 2009 y 2013, la sombra permanente establecida alcanzó su nivel de desarrollo adecuado para sombra del café. Por tal razón, en el 2004 no se cuantificó la concentración de nutrientes de los componentes raquis, flores y frutos de las especies establecidas como sombra permanente, ya que no habían alcanzado su desarrollo total.

4.3.1. Concentración de Nitrógeno y Fósforo

Con respecto al N la mayor concentración se presentó en las hojas aportada por la sombra permanente, sombra temporal y hojas de café, este último con concentración en el 2004 de 3.69 %, el 2009 con 2.71 % y el 2013 con 2.26 %, manifestando el mismo comportamiento en todas las variables a excepción del material fraccionado que aumenta su concentración de N con 1,64 % en el 2004, 2,13 % en el 2009 y hasta 8,11 % en el 2013, de esta forma se acumula todo el N aportado por el sistema agroforestal.

Según el análisis realizado en los componentes vegetales como se muestra en el Cuadro 6, la concentración de P fue mayor en el año 2004 en comparación al 2009 y 2013, siendo este último el de menor concentración en relación a los demás elementos. Los componentes material fraccionado, pulpa de café y cobertura muerta son los que presentan mayor concentración de P, alcanzando este último hasta un 0,78 %, en el año 2004.

Los niveles óptimos de P son obligatorios para mantener la productividad y promover la eficiente utilización del N en los cultivos, pues si falta esta condición reduce al mínimo el potencial de contribución de nitratos NO_3 (Fixen 1992 citado por Altamirano, 2005).

Según Benzing (2001), citado por Altamirano (2005), afirma que para un crecimiento óptimo las plantas requieren una concentración de 0,3 a 0,5 % de fósforo en la etapa vegetativa de desarrollo. Para el año 2013 las concentración de P en la materia seca disminuyó en comparación al 2004 (Cuadro 6) que presentó concentraciones por arriba del 0.4 % en la mayoría de los componentes, como en el caso de tallos de café, tallos de sombra permanente,

cobertura muerta y pulpa de café, estos dos últimos con mayores concentraciones de P con 0.78 % y 0.71 %, los cuales sobresalen en relación a los demás componentes.

Cuadro 6. Promedios de las concentraciones de N y P encontrados con el análisis de tejidos

Especie vegetal	Componente	Nitrógeno (%)			Fósforo (%)		
		2004	2009	2013	2004	2009	2013
Sombra temporal	Higuera	2.85			0.46		
	Gandul	3.94			0.48		
Malezas	Hoja ancha	2.63	2.15	1.97	0.23	0.13	0.13
	Hoja angosta(fina)	2.71	1.53	1.67	0.42	0.11	0.12
	Cobertura muerta	1.32			0.78		
Cafeto	Hojas	3.69	2.71	2.26	0.32	0.06	0.07
	Tallos	2.75	1.58	2.26	0.51	0.04	0.12
	Pulpa	3.21		2.66	0.71		0.51
	Frutos			1.28			0.08
Guaba	Hojas	2.26	2.45	2.07	0.46	0.04	0.08
	Tallos	2.75	1.28	1.28	0.51	0.07	0.09
	Ráquiz		1.48	1.67		0.05	0.06
	Flores, vaina		2.77	2.07		0.06	0.06
Roble	Hojas	2.04	2.23	1.87	0.45	0.08	0.09
	Tallos	2.75	1.06	0.69	0.51	0.07	0.08
	Ráquiz		0.99	0.69		0.06	0.08
	Flores, vainas		2.48	1.28		0.27	0.15
Acetuno	Hojas	3.33	1.67	0.06	0.38	0.06	0.07
	Tallos	2.75	1.10	1.48	0.51	0.03	0.09
	Ráquiz		1.10	1.28		0.10	0.06
	Flores, frutos		0.98	1.28		0.09	0.11
Genízaro	Hojas		3.04	2.46		0.10	0.07
	Tallos	2.75	1.23	1.48	0.51	0.07	0.08
	Ráquiz		1.73	1.67		0.11	0.08
Material Fraccionado		1.64	2.13	8.11	0.65	0.13	0.53

Fuente: Laboratorio de suelos y agua. 2013. Concentraciones de nutrientes (%) en material vegetal.

4.3.2 Concentración de Potasio, Calcio y Magnesio

En el 2004, los residuos provenientes del componente sombra temporal (gandul e higuera) tienden a mostrar mayor concentración de Ca y Mg en sus residuos (Cuadro 7), en comparación a los demás componentes del sistema arbóreo.

En relación a la concentración K en los componentes vegetales, las malezas de hoja ancha presenta mayor concentración en los tres años, obteniendo hasta un 3,38 % de K en el 2004 (Cuadro 7). El componente cobertura muerta presenta una concentración de 5,16 % de K, el cual únicamente se realizó su cuantificación en el 2004, con respecto a la concentración de K en pulpa de café este presentó su más alta concentración en el 2013 con 5,49 % lo que puede tener influencia en los tratamientos orgánicos.

La concentración de Ca, en el material fraccionado en el año 2013 es de 4,59 % superior en comparación a las demás variables y aun sobre el mismo material fraccionado de los años anteriores debido a que el calcio compone la textura solida de los tejidos vegetales por lo que permite que se descomponga con lentitud y se almacene en el material fraccionado. Además la Pulpa de café, presenta concentraciones 1,30 % (2004) y 2,58 % (2013) lo cual tiene mayor efecto en el aporte de Ca en los tratamientos orgánicos.

Con respecto al Mg, este elemento presenta menor concentración a través de los años, en casi todos los componentes (Cuadro 7). En el 2004 con mayor concentración en la mayoría de los componentes de hasta 2,25 % en higuera, sin embargo para el 2013 presenta una menor concentración de Mg en relación a los años anteriores, con un mínimo de 0.02 % en los tallos, flores y frutos de guaba.

Cuadro 7. Promedios de las concentraciones de Potasio, Calcio y Magnesio encontrados con el análisis de tejidos

Especie vegetal	Componente	Potasio (%)			Calcio (%)			Magnesio (%)		
		2004	2009	2013	2004	2009	2013	2004	2009	2013
Sombra temporal	Higuera	0.58			3.07			2.25		
	Gandul	0.50			0.88			0.60		
Malezas	Hoja ancha	3.38	2.09	3.11	1.15	0.69	2.11	0.52	0.66	0.34
	Hoja angosta(fina)	1.52	1.62	0.96	0.39	0.19	1.27	0.93	0.31	0.22
	Cobertura muerta	5.16			0.58			0.29		
Cafeto	Hojas	0.53	1.44	2.05	1.16	0.48	1.38	0.88	0.88	0.34
	Tallos	0.54	0.45	2.76	0.58	0.24	0.33	0.27	0.13	0.12
	Pulpa	1.60		5.49	1.30		2.58	0.47		0.20
	Frutos			0.49			0.91			0.03
Guaba	Hojas	0.36	0.34	0.61	1.44	0.42	1.58	0.18	0.18	0.06
	Tallos	0.54	0.20	0.53	0.58	0.36	1.69	0.27	0.11	0.02
	Ráquiz		0.47	0.72		0.46	2.45		0.16	0.10
	Flores, frutos		0.16	0.68		0.35	1.10		0.15	0.02
Roble	Hojas	0.66	2.36	0.55	1.11	0.39	1.10	0.73	0.26	0.10
	Tallos	0.54	0.58	0.71	0.58	0.43	1.78	0.27	0.16	0.13
	Ráquiz		1.03	1.40		0.49	2.89		0.50	0.51
	Flores, vainas		1.85	3.90		0.15	1.76		0.23	0.18
Aceituno	Hojas	3.11	0.42	0.31	1.28	0.38	0.87	0.75	0.28	0.02
	Tallos	0.54	0.11	0.30	0.58	0.28	1.00	0.27	0.17	0.03
	Ráquiz		0.58	0.81		0.35	1.25		0.23	0.04
	Flores, frutos		0.78	1.09		0.44	0.52		0.11	0.01
Genízaro	Hojas		0.38	0.98		0.29	1.00		0.11	0.02
	Tallos	0.54	0.27	0.61	0.58	0.18	1.55	0.27	0.14	
	Ráquiz		0.78	0.98		0.56	2.31		0.16	0.07
Material Fraccionado		0.75	0.40	2.21	0.66	0.29	4.59	0.59	0.22	0.97

4.4 Efecto de la interacción de especies de sombra y niveles de insumos sobre la acumulación potencial de Nutrientes en el mantillo

4.4.1 Nitrógeno

El Nitrógeno ocupa habitualmente el cuarto lugar detrás del carbono, oxígeno e hidrógeno como componente estructural de una planta. Juega un papel esencial como constituyente de proteínas, ácido nucleico, clorofilas y hormonas de crecimiento. El N es el macro elemento más importante e indispensable para el crecimiento del café, principalmente para la producción de follaje y de las ramas laterales, así como para el desarrollo de sus frutos, para obtener un buen rendimiento del café (Hernández y Rayo, 2007).

Cuadro 8. Acumulación de Nitrógeno en el mantillo (kg ha^{-1}) por efecto de la interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 y 2013

Factor	Tratamiento	2004	2009	2013
Sombra	SSIL	174.02	362.66	430.12 a
	SGTR	177.51	216.14	272.96 b
	PSOL	114.28	174.60	101.08 b
	Prob >F	0.5374	0.1512	0.0133
Insumos	CI	155.95	227.99	227.77 b
	CM	130.85	258.81	242.25 b
	OI	186.66	329.85	405.35 a
	OM	192.41	271.91	396.85 a
	Prob >F	0.3610	0.6958	0.0521
Interacción	SSIL + CI	200.09	308.26	373.34
	CM	117.18	382.59	377.41
	OI	176.19	435.64	513.60
	OM	202.60	323.73	456.13
	SGTR + CI	153.16	225.16	224.91
	CM	161.42	195.22	232.26
	OI	197.13	224.07	297.10
	OM	182.23	220.10	337.58
	PSOL + CI	114.61	150.55	85.07
	CM	113.95	198.65	117.09
	Prob >F	0.5102	0.8175	0.8391

La cantidad de Nitrógeno acumulado por efecto de sombra, presentó un incremento en todos los años del estudio, por influencia a la cantidad de biomasa producida por el sistema arbóreo en las diferentes combinaciones de sombra (Cuadro 5). El análisis estadístico aplicado mostró diferencias significativas únicamente en el año 2013, presentando dos categorías estadísticas, en el cual la combinación *Samanea saman* + *Inga laurina* (SSIL) aportó $430.12 \text{ kg ha}^{-1}$ de N mayor y diferente la combinación de árboles maderables *Simarouba glauca* + *Tabebuia rosea* (SGTR) y la condición Pleno sol (Psol) (Cuadro 8).

En relación al efecto de insumo sobre la acumulación de N, los niveles de insumos orgánicos (OI y OM) presentaron una influencia mayor favorable en aportar N, presentando diferencias estadísticas significativas con respecto a los convencionales. El nivel de insumo Orgánico Intensivo (OI), presentó mayor influencia en la producción y aporte de N con 405.35 kg ha⁻¹ en el año 2013.

Mogollón (1997), citado por Hernández y Rayo (2007), muestra un estudio sobre café asociado con *Inga villosissima* el cual obtuvo valores de 141 kg ha⁻¹ de N, lo que es más alto que el valor de 85.1 kg ha⁻¹ encontrados bajo café-cítrico. La contribución por parte de las leguminosas es debida probablemente al aporte de nitrógeno por fijación biológica, caída de hojarasca y aporte de raíces.

El aporte de N en los tratamientos no mostró diferencias estadísticas significativas, sin embargo, la mayor acumulación de N se presentó en los tratamientos orgánicos (OI y OM), siendo el de mayor aporte la combinación de árboles leguminosos *Samanea saman* + *Inga laurina* (SSIL) con nivel de insumo Orgánico Intensivo (OI) con 513.6 kg ha⁻¹ en el 2013.

Uno de los rasgos más notables de los árboles leguminosos es la asociación que presentan con algunas bacterias, entre ellas del género *Rhizobium* que viven en asociación simbiótica con este tipo de árboles, que proveen de alimento a cambio de fijar nitrógeno atmosférico, volviéndolo asimilable para las plantas, por tal razón este tipo de plantas presentan gran concentración de este elemento en sus tejidos vegetales pues el nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales que necesitan para su crecimiento.

Para que el cafeto asimile el N que se encuentra acumulado en la hojarasca, requiere de ciertos procesos de biodegradación de los residuos y químicos que ejercen los microorganismos que descomponen y liberan nutrientes, los que estarán obligados a pasar de la forma orgánica a mineral, procesos esenciales para que el elemento sea disponible para el cultivar.

Un estudio realizado por Munguía (2003), sobre la descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca en Turrialba, Costa Rica, muestra que la especie leguminosa *Erythrina poeppigiana* sola, tiene una liberación rápida de N, alcanzando a los 24 días el 65 %, y al finalizar los 213 días se habían liberado el 93 % del total del elemento Nitrógeno, esto produjo una tasa de liberación de $k = -0,68$. Mientras tanto la hojarasca de *Eucalyptus deglupta* (especie maderable), a los 24 días se habían liberado solo el 2 %, llegando a liberarse tan solo el 13 % al final del experimento, su tasa fue de $k = -0,046$. Sin embargo la descomposición de la hojarasca y la liberación de N va a depender en gran medida de la calidad de la especie, concentración de lignina y cantidad de N que se encuentra en los tejidos vegetales, de los cuales sus niveles van a intervenir en la velocidad en que los organismos descomponen los residuos vegetales, y por lo tanto así, la disponibilidad de nutrientes para la planta.

En relación a la extracción o pérdida de N por la cosecha como se muestra en el Anexo 20 y 21, la combinación de árboles de sombra *S. saman* + *I. laurina* con orgánico intensivo (SSIL-OI) presenta un acumulado de 513,6 kg de N en la hojarasca en el año 2013, que equivalen a 17,9 qq de Urea al 46 %, siendo esta una cantidad económicamente significativa para el sistema de producción. El café cosechado en el tratamiento (SSIL-OI) en el periodo 2013-2014 fue de 232.96 kg ha⁻¹ peso en uva, el cual representa una extracción de 7,21 kg ha⁻¹ de N, equivale a 0,3 qq de Urea 46 %, cantidad de N que se pierden al salir la cosecha. Por lo tanto el ciclaje de nutrientes de este sistema agroforestal va proveer cantidades necesarias de N para

el cultivo, sin embargo, algunos productores no toman en consideración la cantidad de nutrientes que se encuentra la hojarasca del suelo, antes de realizar un plan de fertilización.

4.4.2 Fósforo

El Fósforo (P), como el nitrógeno y el potasio, se clasifica como un elemento nutritivo mayor. Sin embargo se encuentra en las plantas en menores cantidades que el nitrógeno y el potasio. Una parte considerable del P del suelo corresponde a P orgánico (20 - 80 % del total) y consiste en fosfolípidos, ácidos nucleicos y fitinas, principalmente. En general, el contenido de P total del suelo está correlacionado con su grado de evolución y contenido de M.O. (García, 2007).

Cuadro 9. Acumulación de Fósforo en el mantillo (kg ha^{-1}) por efecto sombra e interacción sombra-insUMO en los años 2004, 2009 y 2013

Factor	Tratamiento	2004	2009	2013
Sombra	SSIL	32,79	16,43	24,51
	SGTR	30,43	7,51	18,25
	PSOL	18,08	4,93	5,49
	Prob >F	0.6009	0.2147	0.1074
Insumos	CI	26,6	7,78	12,31 b
	CM	23,27	10,66	12,20 b
	OI	36,18	14,08	28,35 a
	OM	33,55	11,05	25,88 a
	Prob >F	0.3050	0.6718	0.0017
Interacción	SSIL + CI	35,30	11,97	18,31
	CM	24,83	18,96	18,36
	OI	36,33	20,36	34,46
	OM	34,69	14,41	26,91
	SGTR + CI	26,75	7,99	13,66
	CM	26,55	6,53	12,25
	OI	36,02	7,81	22,26
	MO	32,41	7,70	24,85
	PSOL + CI	17,75	3,37	4,97
	CM	18,41	6,48	6,00
	Prob >F	0,868	0,7766	0,6094

En el año 2004, la acumulación de P por las diferentes combinaciones de sombra fue mayor en relación a los años 2009 y 2013, de cierta forma la concentración de P en los residuos vegetales de este año fue más alta (Cuadro 6), además del aporte adicional por sombra temporal (higuera y gandul), los cuales presentan una alta concentración de P en comparación a los demás componentes vegetales. Tal como expresa Medina *et al* (1999), la concentración de nutrientes varía no solo entre las diferentes especies, sino también, en los distintos órganos desde una misma planta. Únicamente en el año 2013 se encontraron diferencias significativas entre las combinaciones de sombra (Cuadro 9), obteniendo tres categorías estadísticas, siendo

similar *S. saman* + *I. laurina* (SSIL) a *S. glauca* + *T. rosea* (SGTR) y distinto a la condición Pleno sol (Psol).

El efecto del nivel de insumo sobre la acumulación de P fue mayormente favorable por la influencia de niveles de insumo Orgánicos (OI y OM), produciendo mayor aporte de P y presentando diferencias significativas en el año 2013, en comparación a los Convencionales (CI y CM), obteniendo dos categorías estadísticas, en el cual el nivel de insumo Orgánico Intensivo (OI), aportó hasta 36.18 kg ha⁻¹ de P en el año 2004.

El aporte de P por efecto de la interacción sombra-insumo, las combinaciones de sombra *S. saman* + *I. laurina* (SSIL) y *S. glauca* + *T. rosea* (SSTR) ambas con nivel de insumo Orgánico Intensivo (OI), fueron los tratamientos que aportaron mayor cantidad de P al mantillo con 36.33 y 36.02 kg ha⁻¹ respectivamente, tomando en cuenta que los tratamientos orgánicos son los que sobresalen en comparación con los convencionales, aun siendo estadísticamente no significativos en todos los años de estudio.

El P, es un elemento muy poco móvil, ya sea en los tejidos vegetales como en el suelo, sin embargo la planta los requiere como elemento principal como el N y el K (García, 2007). Para que el P acumulado en la hojarasca pase a la solución del suelo requiere de la ayuda de los microorganismos y algunos agentes patógenos para la descomposición y liberación de este elemento.

Un estudio realizado por Montenegro (2005), sobre el efecto de aporte de nutrientes de un sistema agroforestal con café Turrialba, Costa Rica, muestra que los tratamientos con *Erythrina* (árbol leguminoso) la hojarasca depositada en el suelo posee un mayor porcentaje de Fósforo con respecto a las demás especies en estudio. Además *Erythrina* fue la especie que liberó más rápidamente este elemento en comparación a la especie *Abarema idiopoda* el cual es un árbol maderable.

El P, es uno de los elementos que se encontró en menores concentraciones en el material vegetal depositado en el suelo (Cuadro 8). En el tratamiento *S. saman* + *I. laurina* con manejo orgánico intensivo (SSIL-OI), su acumulación en la materia seca fue de 34,46 kg ha⁻¹ de P que equivalen a 1,6 qq de Superfosfato triple (SFT) al 60 %. Sin embargo, la cosecha del periodo 2013-214 fue de 232,96 kg ha⁻¹ de café en uva, el cual extrajo 0,53 kg ha⁻¹ de P que equivalen a 0,03 qq de SFT al 46 %, que es la cantidad de P que sale del sistema a través del fruto producido (anexo 22).

4.4.3 Potasio

El Potasio es un elemento alcalino que se encuentra naturalmente en la mayoría de las rocas y del suelo. El K es absorbido por las plantas como ion (K⁺) en cantidades mayores que cualquier otro elemento mineral exceptuando el nitrógeno y el calcio. Es uno de los 16 elementos esenciales para las plantas (García, 2007).

Según Medina *et al* (1999), el K se caracteriza por su movilidad y fácil translocación, funciona como estabilizador de pH y como osmoregulador y requerido en la acumulación y translocación de carbohidratos; representa del 1 al 5 % del peso seco del tejido foliar.

Cuadro 10. Acumulación de Potasio el mantillo (kg ha⁻¹) por efecto de interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 y 2013

Factor	Tratamiento	2004	2009	2013	
Sombra	SSIL	61.91	96.65	222.47	
	SGTR	78.51	103.42	192.94	
	PSOL	45.65	85.91	102.92	
	Prob >F	0.3024	0.9307	0.4982	
Insumos	CI	39,61	88,75	124,25 b	
	CM	55,99	92,84	148,31 b	
	OI	96,82	120,28	266,65 a	
	OM	86,26	93,37	257,93 a	
	Prob >F	0.1055	0.4399	0.0133	
Interacción	SSIL + CI	34,39	82,07	135,95	
	CM	36,31	97,98	204,70	
	OI	84,09	123,95	297,61	
	OM	92,85	82,60	251,60	
	SGTR + CI	52,16	110,02	145,59	
	CM	72,65	82,89	126,20	
	OI	109,56	116,61	235,70	
	OM	79,67	104,15	264,26	
	PSOL + CI	32,30	74,15	91,24	
	CM	59,00	97,66	114,60	
		Prob >F	0.8485	0.6602	0.7226

Los aportes totales de K en el mantillo presentaron un aumento general en todas las combinaciones de sombra en todos los años cuantificados, aunque no presentaron diferencias estadísticas entre sí. La mayor cantidad de K acumulado fue aportado por la combinación de árboles leguminosos *S. saman* + *I. laurina* (SSIL) en todos los años con un aporte mayor a 222.47 kg ha⁻¹ en el año 2013.

En base a la cuantificación de K, por efecto de diferentes niveles de insumo, la aplicación de insumos orgánicos (OI y OM), presentaron un aporte mayor de K siendo estos estadísticamente similares entre si y diferentes a la aplicación de insumos convencionales (CI y CM). En el año 2013 el nivel de insumo Orgánico Intensivo (OI) aportó 266.65 kg ha⁻¹ de K, mayor en comparación con todos los años de estudios y los diferentes niveles de insumo.

Con respecto al aporte de K por efecto de los tratamientos, las combinaciones de sombra con manejo orgánico presentaron una mejor influencia en la acumulación de K en el mantillo del suelo. La interacción *S. glauca* + *T. rosea* con manejo Orgánico Intensivo (SGTR-OI) aportó hasta 297.61 kg/ha⁻¹ de K en el año 2013, siendo estadísticamente similar a los demás tratamientos.

El análisis de nutrientes realizado en los residuos vegetales de las diferentes especies mostro que la concentración de K de los diferentes componentes presentaron una mayor concentración en el año 2013 en comparación al 2004 y 2009 (Cuadro 7).

El K, es uno de los elementos más demandado por la planta como el N, el cual se requiere disponible en mayores cantidades en el suelo. Pérez y Soza (2006) realizaron un estudio en Carazo, Nicaragua sobre la producción, descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca en un sistema agroforestal de *Gliricidia sepium* con café, ya sea, solo o en mezcla.

La descomposición de la hojarasca de café sola, obtuvo una tasa de liberación de Potasio: $k=0,0971$ y $0,0303$; mostrando una liberación lenta. La parcela con sombra de *G. sepium* y fertilizado fue de $k=0,0626$ y $0,0536$; con relación a la parcela de café bajo sombra de *G. sepium* y sin fertilización presentó una tasa de liberación de $k=0,0705$ y $0,0587$. En el cual el estudio muestra que la parcela con *G. sepium* y fertilizada fue de mayor liberación de Potasio. Para los tres tratamientos establecidos el K fue el elemento que se liberó rápidamente.

Una de las características importantes de este elemento (K), es que siempre se acumula en los 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 masas protoplasmáticas o compuestos grasos (Pérez y Soza, 2006). En relación de la disponibilidad del K para la planta va a depender en gran medida a las concentraciones de Ca y Mg que se encuentren en el suelo, ya que estos presentan antagonismo entre sí.

Munguía (2003), en un estudio sobre tasas de descomposición y liberación de nutrientes en un sistema agroforestal café, concluyó que el K se liberó muy rápido de la hojarasca en todos los tratamientos de estudio, incluyendo la hojarasca de *E. deglupta* (árbol maderable), debido a que fácilmente es lixiviado con las altas precipitaciones.

En el Anexo 23, se presenta la pérdida de K por medio de la cosecha del café en uva, la combinación de árboles de sombra *S. saman* + *I. laurina* con orgánico intensivo (SsII-OI) es la que presenta un mayor acumulado de K con $297.61 \text{ kg ha}^{-1}$ en la hojarasca en el año 2013, que representa a 10,9 qq de KCL al 60 %, siendo esta una cantidad económica significativa de K que se encuentra en el sistema de producción. El café cosechado en el tratamiento (SSIL-OI) en el periodo 2013- 2014, fue de $232.96 \text{ kg ha}^{-1}$ peso en uva, que equivale a extraer $1,21 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, y a 0,4 qq de KCL al 60%, cantidad de fertilizante requerida para producir esta cosecha.

4.4.4 Calcio

El Calcio, el Magnesio y el Azufre, son considerados dentro de los macro elementos, el grupo que menos demandan los cultivos. Sin embargo, sin el calcio no existe crecimiento radicular (Multiplicación celular, crecimiento celular y neutralización de exudados). El contenido total de calcio en los suelos depende de las características del material parental, del grado de meteorización, y las condiciones ambientales. El contenido de este elemento en el suelo puede variar con la profundidad del suelo y por otro lado depende en gran medida del equilibrio antagónico con el K y Mg (García, 2007).

El análisis realizado sobre el aporte total de Ca (kg ha^{-1}) mostró un aumento en la acumulación de éste elemento en todos los años de estudio. El caso más relevante es la combinación de árboles de sombra leguminosos *S. saman* + *I. laurina* (SSIL) presentó un efecto favorable en la producción de Ca, aportando hasta $312.92 \text{ kg ha}^{-1}$ en el 2013, siendo diferente

estadísticamente a la combinación de árboles maderables *S. glauca* + *T. rosea* (SGTR) y la condición Pleno sol en ese mismo año.

Cuadro 11. Acumulación de Calcio en el mantillo (kg ha^{-1}) por efecto de interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 Y 2013

Factor	Tratamiento	2004	2009	2013
Sombra	SSIL	76.04	66.62	312.92 a
	SGTR	65.28	42.73	163.25 b
	PSOL	34.60	30.91	44.39 b
	Prob >F	0.3450	0.3353	0.0085
Insumos	CI	56,74	41,14	142,22 b
	CM	48,18	47,06	142,42 b
	OI	81,99	65,35	312,28 a
	OM	77,86	51,95	257,47 a
	Prob >F	0.3253	0.55	0.0143
Interacción	SSIL + CI	88,26	52,04	261,91
	CM	44,93	71,44	243,98
	OI	82,16	83,34	426,83
	OM	88,82	59,67	318,96
	SGTR + CI	52,21	43,39	127,17
	CM	60,19	35,92	132,09
	OI	81,82	47,37	197,74
	OM	66,91	44,25	195,99
	PSOL + CI	29,76	28,00	37,59
	CM	39,44	33,82	51,20
	Prob >F	0.3570	0.7722	0.5327

En relación al efecto de insumo sobre la acumulación de Ca, los niveles de insumos orgánicos (OI y OM) presentaron una influencia mayor favorable en aportar Ca, presentando diferencias estadísticas significativas con respecto a los convencionales. El nivel de insumo Orgánico Intensivo (OI), presentó mayor influencia en la producción y acumulación de Ca con $312.28 \text{ kg ha}^{-1}$ en el año 2013.

Con respecto al efecto por la interacción entre *S. saman* + *I. laurina* con Orgánico Intensivo (SSIL-OI) aportó $426.83 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca mayor en relación a los demás tratamientos, tomando en cuenta que los tratamientos con manejo orgánicos son los que sobresalen con mayor aporte de Ca, sin embargo no hay diferencias estadísticas significativas entre ellos y en todos los años de estudio.

El Ca, juega un papel importante el cual estimula la formación de raíces, favorecimiento de la absorción del N, e indispensable en formar parte de las pared celular de las plantas. La disponibilidad y absorción de Ca va a depender en gran medida de las concentraciones de otros iones como el K y Mg que pueden poner de, manifiesto tanto en los mecanismos de absorción, translocación y almacenamiento en la planta. Una de las fuentes que aporta Ca al suelo es la MO, que se forma a partir de la hojarasca depositada en el suelo, la cual es descompuesta y mineralizada.

La liberación de Ca en la biomasa producida en un sistema agroforestal va a depender del tipo de especie forestal utilizada. Un estudio realizado por Munguía (2003) reporta para *E. poeppigiana* se obtuvo una liberación de 67 % de calcio en 213 días con tasa (k) de -0.5 por día, mientras que los tratamientos con *E. deglupta* + *Coffea arabica* + *E. poeppigiana* y la mezcla de *E. deglupta* + *E. poeppigiana* inician la liberación de calcio a partir de los 100 días con tasa de liberación (k) de -0.13 y -0.14 por día respectivamente. Se considera que esta lenta liberación es atribuible al tipo de enlace que forma este elemento con otros elementos de la pared celular.

Sin embargo la liberación de Ca y la disponibilidad de este elemento para la planta puede ser favorecida o afectadas por las condiciones de su entorno (climático y edáfico), así como el tipo de especie de sombra utilizada en el sistema agroforestal que contenga a favorecer el contenido de Ca en la hojarasca del suelo.

4.4.5.- Magnesio

El Mg, es un elemento abundante en la corteza terrestre representado alrededor de 2.3 % en peso. El contenido de Mg de los suelos oscila entre 0.5 % (en los suelos arenosos), 25 % (en los suelos arcillosos), en términos medios: Las principales fuentes de Mg en el suelo están representados por minerales ferromagnesianos y silicatos de aluminio secundarios (arcillas), así como también los de la M.O. Este elemento se le encuentra formando parte de la molécula de clorofila y también formando sales orgánicas como malato, nitrato, pectato y oxalatos principalmente en semillas y hojas. Entre el 15 – 20 % del Mg en la planta se encuentra formando parte de clorofila. Se trata de un nutrimento muy móvil en la planta, siendo redistribuido fácilmente desde las hojas viejas hacia las nuevas (García, 2007).

García (2007), afirma que para las condiciones de los suelo de Nicaragua, en el caso del K no es una limitante en relación a los contenidos, pues nuestros suelos poseen altos contenidos de este elemento, sin embargo la limitante producida por el K es la relación antagonica con el Mg, al bloquear la absorción de este por el exceso de K.

Por otro lado Medina *et al* (1999), señala que pueden existir variaciones en la disponibilidad y concentración de nutrientes, inducida por factores climáticos y condiciones de suelo. En el análisis vegetal realizado para la determinar la concentración de Mg (Cuadro 7), en el año 2013 los residuos vegetales tenían concentraciones menores de este elemento en comparación a las concentraciones de los años 2004 y 2009. Generalmente la acumulación de Mg en el matillo del suelo aumento entre año 2004 al 2009, sin embargo en el año 2013 decreció la acumulación de K.

En relación al aporte de Mg por efecto de las combinaciones de sombra, en el año 2004 los árboles maderables *S. glauca* + *T. rosea* (SGTR) aportan unos 40.06 kg ha⁻¹ de Mg, mayor y estadísticamente diferente a *S. saman* + *I. laurina* (SSIL), pero similar a la Condición Pleno sol. En el año 2009, la acumulación de Mg aumentó para todas las combinaciones de sombra, sin embargo no presentaron diferencias estadísticas en ninguno de los sistemas de sombra. En el 2013, el aporte de Mg, presento diferencias significativas siendo la combinación *S. saman* + *I. laurina* (SSIL) diferente y mayor a la condición Pleno sol, pero similar a *S. glauca* + *T. rosea* (SGTR), estadísticamente.

Cuadro 12. Acumulación de Magnesio el mantillo (kg ha⁻¹) por efecto de interacción sombra-insumo en los años 2004, 2009 y 2013

Factor	Tratamiento	2004	2009	2013
Sombra	SSIL	27.43 B	46.94	26.81 a
	SGTR	40.06 A	41.61	17.66 ab
	PSOL	32.58 AB	33.18	9.02 b
	Prob >F	0.0355	0.7097	0.0377
Insumos	CI	32,44	38,6	14,29
	CM	27,97	38,52	16,20
	OI	39,31	52,08	28,06
	OM	37,61	42,5	24,16
	Prob >F	0.2929	0.5452	0.1394
Interacción	SSIL + CI	31,81	41,63	22,86
	CM	17,65	44,25	21,30
	OI	29,01	60,47	35,90
	OM	31,25	41,41	27,20
	SGTR + CI	33,81	44,49	12,53
	CM	32,83	34,66	16,75
	OI	49,61	43,69	20,23
	OM	43,98	43,59	21,14
	PSOL + CI	31,72	29,71	7,48
	CM	33,43	36,66	10,56
	Prob >F	0.6789	0.6782	0.7778

En base a la acumulación de Mg por efecto de insumo, los niveles de insumos orgánicos (OI y OM) presentaron una influencia mayor favorable en aportar Mg, presentando diferencias estadísticas significativas con respecto a los convencionales. El nivel de insumo Orgánico Intensivo (OI), presentó mayor influencia en la producción y acumulación de Ca con 312.28 kg ha⁻¹ en el año 2013.

El análisis realizado en relación a los tratamientos, la interacción *S. saman* + *I. laurina* con Orgánico Intensivo (SSIL-OI) fue el que presentó mayor aporte de Mg con 60.47 kg ha⁻¹ en el año 2013, en el cual los tratamientos con manejo orgánico presentan mayor efecto en la producción de Mg, por lo tanto la combinación *S. glauca* + *T. rosea* (SGTR) y condición Pleno sol con manejos convencionales presentan un menor aporte de Mg, en comparación con la combinación de árboles leguminosos. Todos los tratamientos no presentaron diferencias significativas según el análisis estadístico realizado.

Las concentraciones de Mg (%) en los tejidos vegetales (Cuadro 7), fueron casi similares en cada uno de los componentes vegetales en el año 2013, pero diferentes entre los años 2009 y 2004, siendo este último año el de mayor concentración de este elemento. El componente con mayor concentración fue la sombra temporal con gandul de 2,25 % de Mg en el 2004, seguido del componente malezas de hoja ancha y gramínea. En el año 2013, la cantidad de material fraccionado tenía una concentración de 0,97 % de Mg, lo cual va a influir en la acumulación de este elemento en el mantillo aportado y acumulado por el sistema agroforestal.

V. CONCLUSIONES

- La población de árboles de las 4 especies por parcela se comenzó a reducir en el año 2005 para disminuir la sombra al café y la competencia por nutrientes. *Inga laurina* a partir del 2005 demanda podas anuales, por su rápida capacidad de rebrotamiento y formación del sistema foliar.
- El tipo de poda realizado en el manejo de tejido de café fue en relación al tipo de agotamiento productivo que presentaba la planta.
- Los árboles *Samanea saman* + *Inga laurina* (SSIL), aportó mayor cantidad de materia seca en las mediciones del 2004, 2009 y llegando a acumular hasta 20,356.43 kg ha⁻¹ en el año 2013, siendo estadísticamente similar a *Simarouba glauca* + *Tabebuia rosea* (SGTR) y diferente a la condición Pleno sol. Las parcelas manejadas con insumos orgánicos (OI y OM) obtuvieron mayor producción de materia seca en los tres años de estudio siendo estadísticamente diferente a los de manejo convencional.
- La combinación *Samanea saman* + *Inga laurina* (SSIL) a través de los años en los residuos vegetales fue la que acumuló mayor cantidad de nutrientes en comparación a la combinación de sombra *Simarouba glauca* + *Tabebuia rosea* y la condición a Pleno sol, presentando diferencias estadísticas en el 2013.
- Los niveles de insumos orgánicos (OI y OM) presentaron una influencia mejor favorable en la acumulación de nutrientes en los años 2004, 2009 y 2013, siendo en este último diferente estadísticamente en comparación a los niveles de insumo convencionales (CI y CM).
- La interacción sombra*insumo *S. saman* + *I. laurina* con Orgánico Intensivo (SSIL-OI), fue la que aportó mayor cantidad de nutrientes en los años 2004, 2009 y 2013, aunque no presentaron diferencias estadísticas entre sí.
- Las combinaciones de árboles de sombra leguminosos y maderables con manejo orgánico presentaron mayor aporte de materia seca y acumulación de nutrientes en los años 2004, 2009 y 2013, en comparación a la condición café a Pleno sol con manejo convencional.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar estudios de tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca acumulada por las especies del ensayo agroforestal, para obtener información precisa de la cantidad de nutrientes que se liberan.
- ✓ Además del análisis de contenido de nutrientes del suelo y extracción de nutrientes por las plantas de café en los planes de manejo de la nutrición del cafetal, se debe de tomar en cuenta los aportes de material vegetal al mantillo por los árboles de sombra.
- ✓ Realizar estudio económico que complemente los resultados de esta investigación tomando en cuenta los rendimientos y costos de producción de los diferentes sistemas de manejos establecidos en el ensayo.
- ✓ Según los resultados de este estudio la combinación de árboles *Samanea saman* + *Inga laurina* (SSIL), es la que favorece en aportar mayor cantidad de materia seca y acumulación de nutrientes, la cual es recomendable establecer este tipo de sombra como una alternativa agroforestal con café.
- ✓ Con respecto al nivel de insumo, los orgánicos (OI y OM), favorecieron en la producción de materia seca y nutriente, en el cual sobresale el Orgánico Intensivo, al usar este tipo de insumo en un sistema agroforestal con café va a crear un sistema productivo más sostenible y amigable con el medio ambiente.
- ✓ Darle seguimiento a esta investigación y a estos resultados para observar la máxima producción de biomasa y nutrientes que puede proporcionar cada combinación de sombra en el sistema agroforestal café.
- ✓ Generar estudios con otras especies de árboles de sombra con fines maderables como: *Cordia alliodora* (Laurel), *Cedrela odorata* (cedro), y también con especies de árboles con aprovechamiento de frutas como *Persea americana* (aguacate) que permita aprovechamiento secundario

VII. LITERATURA CITADA

- Altamirano, JE. 2005. Biomasa y nutrientes de mantillo en diferentes sistema de producción de café (*coffe arabica L.*) en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya, Nicaragua. Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 46 p.
- Benavides, M; Romero, SD. 2004. Efectos de diferentes niveles de insumo y tipo de sombra sobre el comportamiento de las principales plagas del cultivo del café *coffea arabica L*, Masatepe, Nicaragua 2003-2004. Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 54
- CENAGRO (Censo Nacional Agropecuario). 2012. IV Censo Nacional Agropecuario (en línea). Managua, NI. Consultado 5 abr. 2013. Disponible en: <http://www.inide.gob.ni/Cenagro/INFIVCENAGRO/informefinal.html>
- CAFENICA (Asociación de Cooperativas de Pequeños Productores de Café en Nicaragua). 2008. Diagnóstico de la situación y condición socioeconómica de las pequeñas productoras de café en Nicaragua. 1 ed. Managua, NI. CAFENICA. 50 P.
- Cardoza, MF; Jiménez, EO. 2007. Evaluación del rendimiento del grano de café (*Coffea arabica L*) bajo la influencia de diferentes manejos agroforestales en Masatepe, Nicaragua. Tesis Ing. Managua. NI. UNA. 51 p.
- CETREX (Centro de Tramites de las Exportaciones). Exportaciones Autorizadas de Productos: Estadística de café 2011/2012. (en línea). Managua, NI. Consultado 26 de abr. 2013. Disponible en: <http://www.cetrex.gob.ni/website/servicios/cafe/cafe82.jsp>
- _____Exportaciones Autorizadas de Productos 2011-2012. (en línea). Managua, NI. Consultado 23 de abr. 2013. Disponible en: <http://www.cetrex.gob.ni/website/servicios/tproduc12.html>
- _____Exportaciones Autorizadas de Productos. (en línea). Managua, NI. Consultado 23 de abr. 2013. Disponible en: <http://www.cetrex.gob.ni/website/servicios/cafe/cafe.jsp>
- Chavarría, ER; Hernández, JC. 2007. Biomasa y nutrientes de árboles de sombra temporal y permanentes en sistemas agroforestales con *coffea arabica L* de 5 años en el pacifico de Nicaragua. Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 58 p.
- Cordero J. Boshier, H. 2003. Árboles de Centro América .Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE) .Turrialba CR. Pp. 219-922.
- Escobar, MM. 2008. Población de nematodos fioparásitos asociados a diferente sistema de manejo de café en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya (ciclo 2006-2007). Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 59 p.
- Fischersworing, B; RoBrkamp, R. 2001. Guía para la Caficultura Ecológica. 3 ed. Santafé de Bogotá, CO. GTZ. 152 p.
- Fournier, LA. 1988. El cultivo del cafeto (*coffea arabica lK*) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiologico. *in* agronomía Costarricense. 12(1):131-146

- García, L. 2007. Texto Básico: Fertilidad de suelo y Fertilización de Cultivos. Managua, NI.UNA. 2006 p.
- Gómez, A. 2012. Caracterización con marcadores moleculares RAMS (Random Amplified Microsatellites) de algunas especies del género *erythrina* presentes en Colombia. Tesis Maestría. Santafé de Bogotá, CO. UNAL. 133 p
- Hernández, MR; Rayo Granado, BA. 2007. Tasa de mineralización del nitrógeno en el suelo bajo diferentes manejos agroforestales con café (*Coffea arabica* L) realizado 2002 y 2006 en el pacifico sur de Nicaragua. Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 47 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2003. Cadena agroindustrial del café en Nicaragua. (en línea). Managua, NI. Consultado 15 ago. 2013. Disponible en: <http://cedoc.magfor.gob.ni/documentos/cedoc/E21-0157.pdf>
- Medina, G; Amézquita, M; Bolívar, J; Ramírez, P. 1999. Acumulación y Concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en *Gypsophila paniculata* L. ev. Perfecta. (en línea). Santafé de Bogotá, CO. Consultado 10 mar. 2014. Disponible en www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/viewFile/.../25614
- Merino, A. 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. (en línea). Lugo, ES. Consultado 8 mar. 2014. Disponible en: [http://www.inia.es/gcontrec/pub/085-098-\(5602\)-Biomasa_1059569472359.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/085-098-(5602)-Biomasa_1059569472359.pdf)
- Montealegre, M. 1954. Cafetales a pleno sol versus cafetales a la sombra. Suelo Tico. Turrialba. CR. 7:263–275.
- Montenegro, EJ. 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. Tesis Mag. San José, CR. CATIE. 67 p
- Munguía, R. 2003. Tasas de descomposición de y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* solas y en mezclas. Tesis Msc. Turrialba, CR. CATIE. 82 p.
- Munguía, R; Hagggar, J; Ponce, AS. Cambio en la Fertilidad del Suelo Producción de Biomasa y Balance de Nitrógeno en Sistemas Agroforestales con café en Nicaragua. In UNA (Universidad Nacional Agraria). 2010. La Calera.10 (14): 5- 11.
- Munguía, R; Gutiérrez, M. 2012. Sistema Agroforestales (diapositivas). Managua, NI. UNA. 29 diapositivas, color.
- Pérez, D; Soza, Otoniel. 2006. Producción, descomposición y libración de nutrientes de la hojarasca bajo café a pleno sol y sombra de *Gliricida sepium* (Jacq) en Carazo, Nicaragua. Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 53 p.
- Pérez F, DA; Soza A, OJ. 2006. Producción, descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca bajo café a pleno sol y con sombra de *Gliricidia sepium* (Jacq) Carazo, Nicaragua. Tesis ing. Forestal. UNA, Managua. NI. 53 p

- Romero, SA. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistema agroforestales en café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Msc. Turialba, CR. CATIE. 110 p.
- Suárez, AC; Picado, JR. 2009. Comportamiento agronómico, fitosanitario y calidad de grano de tres híbridos y cuatro variedades comerciales de café (*Coffea arabica* L) agroforestal en Masatepe, Nicaragua. Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 68 p.
- Velásquez, SE; González, JI. 2012. Crecimiento de los árboles de sombra y su contribución a una producción agroecológica en sistemas cafetaleros del departamento de Masaya-Nicaragua. Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 73 p.
- Vindell, HE; Pantoja, CJ. 2004. Dinámica de crecimiento y fenología de especies arbórea como sombra en cafetales en el municipio de Masatepe, Masaya (2002-2003). Tesis Ing. Managua, NI. UNA. 7.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Exportaciones de café verde por año periodo del 2000 al 2012

Periodo de cosecha	QQ	Precio Promedio US / QQ	Monto total US
2000-2001	1,855,982.50	58,88	109,278,435.86
2001-2002	1,157,784.22	60,22	69,720,456.72
2002-2003	1,243,401.98	68,93	85,712,018.43
2003-2004	1,619,599.39	71,67	116,072,436.55
2004-2005	1,251,190.60	98,76	123.572.476,19
2005-2006	1,777,156.78	111,25	197,699,916.82
2006-2007	1,156,577.05	117,75	177,628,076.05
2007-2008	2,068,344.62	136,34	281,991,061.75
2008-2009	1,802,715.14	134,48	242,436,317.38
2009-2010	2,144,807.57	149,48	320,607,512.53
2010-2011	1,942,000.83	225,57	438,053,255.08
2011-2012	2,155,120.42	208,98	450,383,446.61

Fuente: CETREX 2013

Anexo 2. Exportaciones de café verde por norma de calidad periodo del 01/10/2011 al 30/09/2012 cierre de cosecha cafetalera 2011/2012

NORMA CALIDAD	KGS	SACOS 69 KGS	SACOS 60 KGS	QQ	PRECIO U\$	MONTO U\$
A	65,854,226.77	954,409.08	1,097,570.45	1,451,835.45	216.40	314,183,590.68
AA	6,038,995.00	87,521.67	100,649.92	133,136.89	228.34	30,400,544.64
AAA	29,325.00	425.00	488.75	646.50	332.12	214,719.24
B	2,037,501.00	29,529.00	33,958.35	44,919.15	208.07	9,346,385.98
BB	17,241,633.00	249,878.74	287,360.55	380,112.49	199.07	75,669,440.82
C	32,415.55	469.79	540.26	714.64	126.67	90,523.16
C-0	861,175.00	12,480.80	14,352.92	18,985.64	167.51	3,180,305.21
C-1	749,820.00	10,866.96	12,497.00	16,530.68	175.05	2,893,632.59
C-2	2,278,227.00	33,017.78	37,970.45	50,226.25	133.25	6,692,898.31
C-3	2,211,065.00	32,044.42	36,851.08	48,745.58	135.79	6,618,958.48
C-4	420,141.00	6,089.00	7,002.35	9,262.51	117.92	1,092,219.00
D	209.76	3.04	3.50	4.62	49.41	228.50
TOTALES	97,754,734.08	1,416,735.28	1,629,245.57	2,155,120.42	208.98	450,383,446.61
:						

Fuente: CETREX 2013

Anexo 3. Exportaciones de café verde por mes periodo del 01/10/2011 al 30/09/2012 cierre de cosecha cafetalera 2011/20012

MES	KILOGRAMOS	SACOS 69 KGS	SACOS 60 KGS	QQ	%	PRECIO U\$	MONTO U\$
OCTUBRE	2,246,607.00	32,559.52	37,443.45	49,529.15	2.30	223.71	11,080,184.95
NOVIEMBRE	1,294,521.00	18,761.17	21,575.35	28,539.27	1.32	251.34	7,172,999.87
DICIEMBRE	3,127,173.00	45,321.35	52,119.55	68,942.28	3.20	222.45	15,336,230.22
ENERO	6,500,501.00	94,210.16	108,341.68	143,311.35	6.65	234.00	33,534,450.48
FEBRERO	7,634,370.00	110,643.04	127,239.50	168,308.85	7.81	228.52	38,461,230.60
MARZO	11,684,653.00	169,342.80	194,744.22	257,602.20	11.95	220.11	56,700,028.06
ABRIL	12,892,667.77	186,850.26	214,877.80	284,234.33	13.19	215.12	61,145,125.38
MAYO	11,781,984.00	170,753.39	196,366.40	259,747.98	12.05	211.06	54,822,809.52
JUNIO	13,023,257.00	188,742.86	217,054.28	287,113.33	13.32	203.10	58,312,242.43
JULIO	8,809,353.00	127,671.78	146,822.55	194,212.76	9.01	196.38	38,139,242.29
AGOSTO	8,826,792.00	127,924.52	147,113.20	194,597.22	9.03	189.76	36,927,068.27
SEPTIEMBRE	9,932,855.31	143,954.42	165,547.59	218,981.71	10.16	176.96	38,751,834.54
TOTALES	97,754,734.08	1,416,735.28	1,629,245.57	2,155,120.42	100.00	208.98	450,383,446.61

Fuente: CETREX 2013

**Anexo 4. Principales Países importadores de café verde por calidad periodo del
01/10/2011 al 30/09/2012 cierre de cosecha cafetalera 2011/2012.**

PAIS DESTINO	QUINTALES	PRECIO U\$	MONTO U\$	%
ESTADOS UNIDOS	845,759.36	205.20	173,552,767.37	39.24
VENEZUELA	400,756.93	211.61	84,802,473.37	18.60
BELGICA	182,743.80	195.44	35,714,707.45	8.48
ALEMANIA	125,667.35	204.05	25,641,942.33	5.83
CANADA	93,685.90	214.43	20,089,198.18	4.35
ITALIA	72,994.33	224.15	16,361,785.79	3.39
FINLANDIA	67,320.17	232.48	15,650,377.19	3.12
ESPAÑA	57,741.44	204.37	11,800,695.80	2.68
JAPON	56,335.29	225.95	12,728,943.46	2.61
INGLATERRA	41,321.57	215.17	8,891,187.44	1.92
OTROS DESTINOS	210,794.28	214.19	45,149,368.23	9.78
TOTAL :	2,155,120.42	208.98	450,383,446.61	100.00

Fuente: CETREX 2013

Anexo 5. Las 10 principales empresas exportadoras de café verde en Nicaragua, periodo del 01/10/2011 al 30/09/2012 cierre de cosecha cafetalera 2011/2012.

EMPRESA EXPORTADORA	Kg	SACOS 69 KGS	SACOS 60 KGS	QQ	PRECIO U\$	MONTO U\$
CISA EXPORTADORA	22,297,344.0 0	323,149.91	371,622.40	491,571.71	206.33	101,428,351.28
EXPORTADORA ATLANTIC, S.A.	20,616,154.0 0	298,784.84	343,602.57	454,507.85	189.99	86,353,841.64
CENTRAL DE COOPERATIVAS CAFETALERAS DEL NORTE, CECOCAFEN R.L	4,561,590.00	66,110.00	76,026.50	100,565.73	223.47	22,473,245.84
ARCOS, S.A	4,421,175.00	64,075.00	73,686.25	97,470.11	198.91	19,387,492.92
CENTRAL DE COOP. DE SERVICIOS MULTIPLES, PRODECOOP, R.L.	4,210,863.00	61,027.00	70,181.05	92,833.53	250.28	23,234,468.27
UNION DE COOP. DE SERV. MULT. DEL NORTE R.L (UCOSEMUN)	3,232,590.00	46,849.13	53,876.50	71,266.33	230.31	16,413,069.46
BENEFICIADORA NORTEÑA DE CAFE, S.A.	3,225,705.00	46,749.35	53,761.75	71,114.54	220.23	15,661,502.62
UCA R L SAN JUAN DE RIO COCO	1,889,565.00	27,385.00	31,492.75	41,657.73	233.06	9,708,627.95
COOPERATIVA DE SERVICIOS MULTIPLES DE JINOTEGA PRODUCTORES DE ALIMENTOS BA	1,793,953.77	25,999.33	29,899.23	39,549.86	204.85	8,101,815.02
JOSE ENRIQUE CASTRO MONTENEGRO/IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES CASTRO	1,638,566.00	23,747.33	27,309.43	36,124.15	230.35	8,321,147.94

Fuente: CETREX 2013

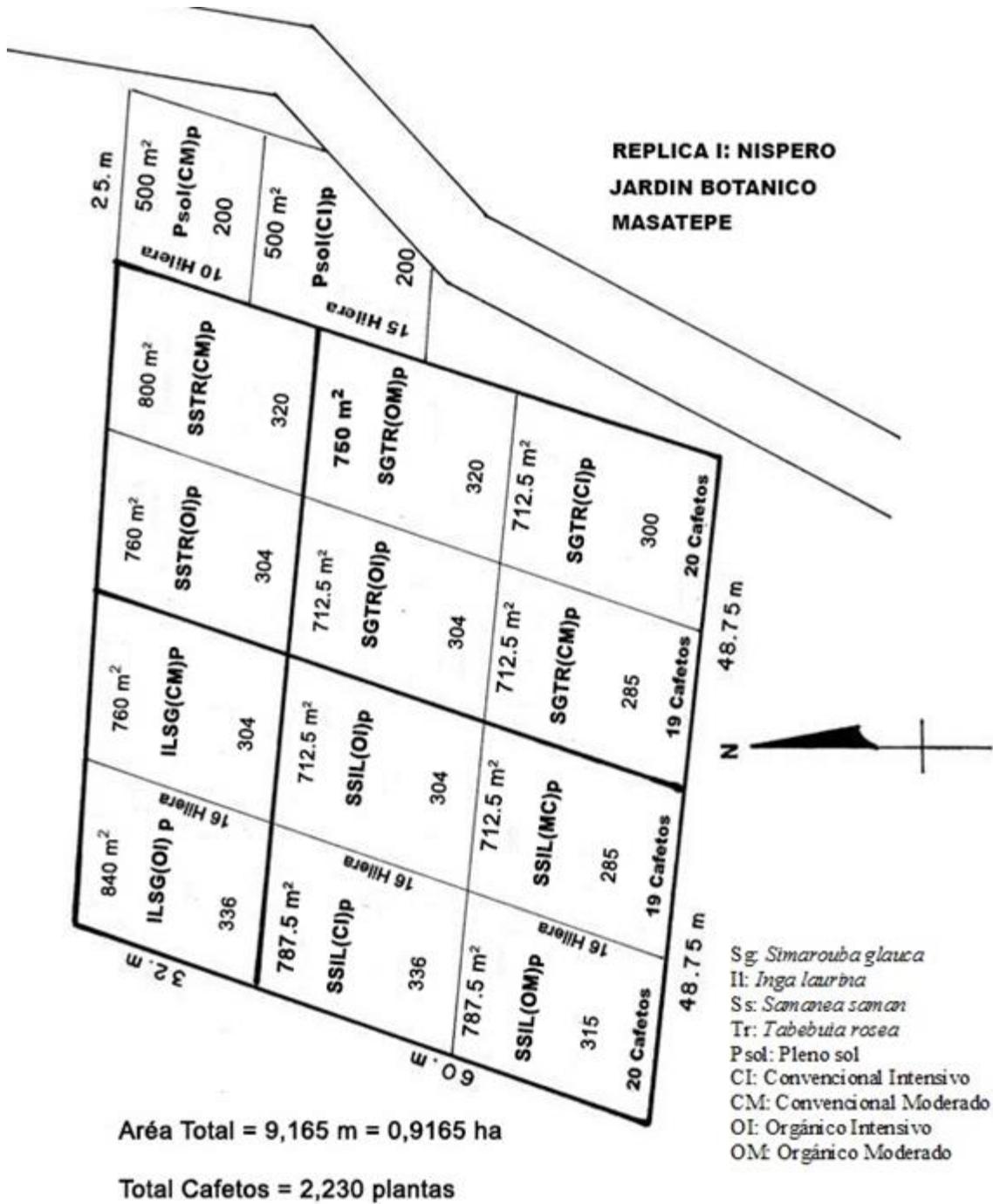


Figura 8.- Ensayo experimental. Réplica 1 Nispero, Jardín botánico, Masatepe

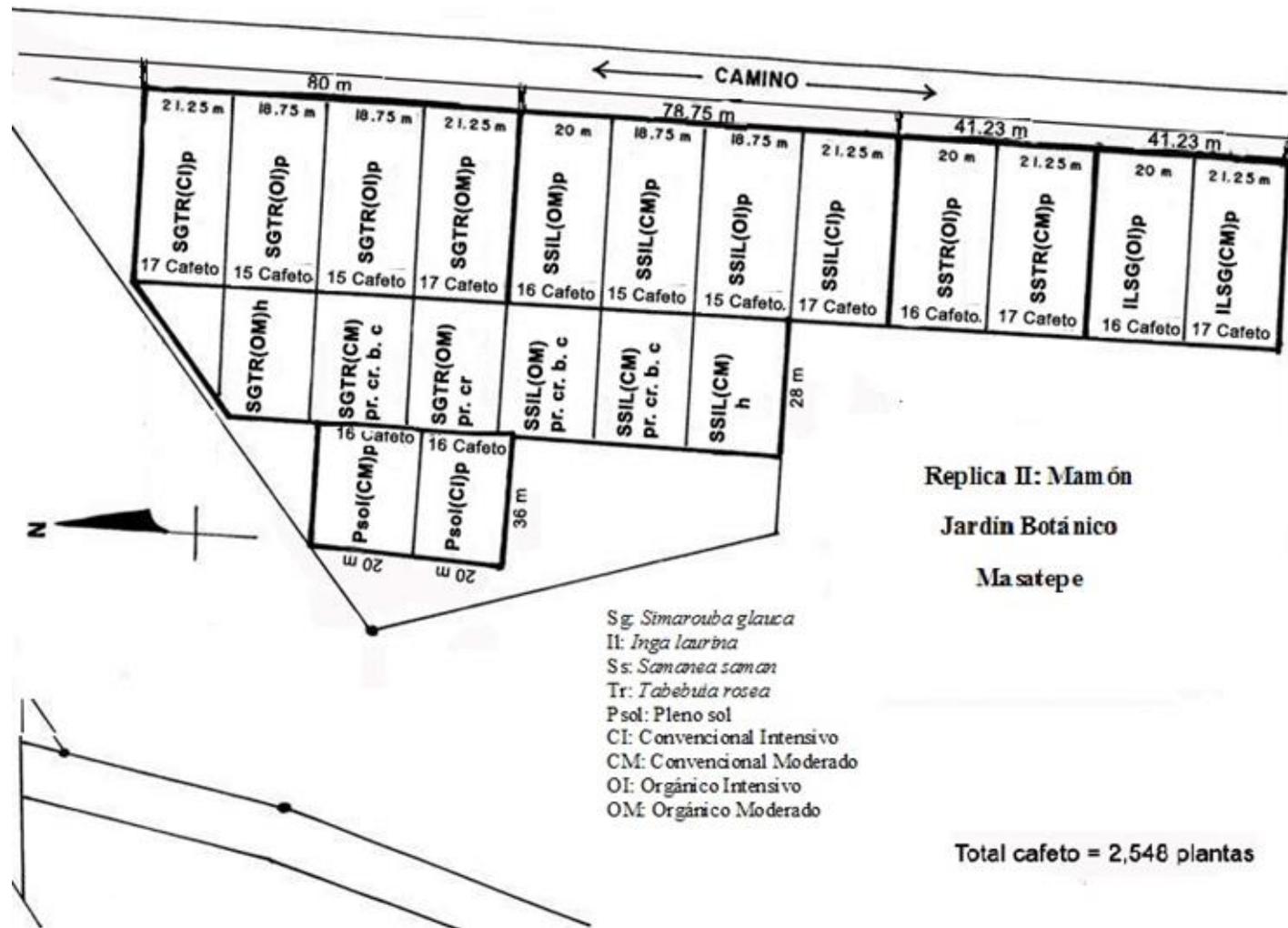
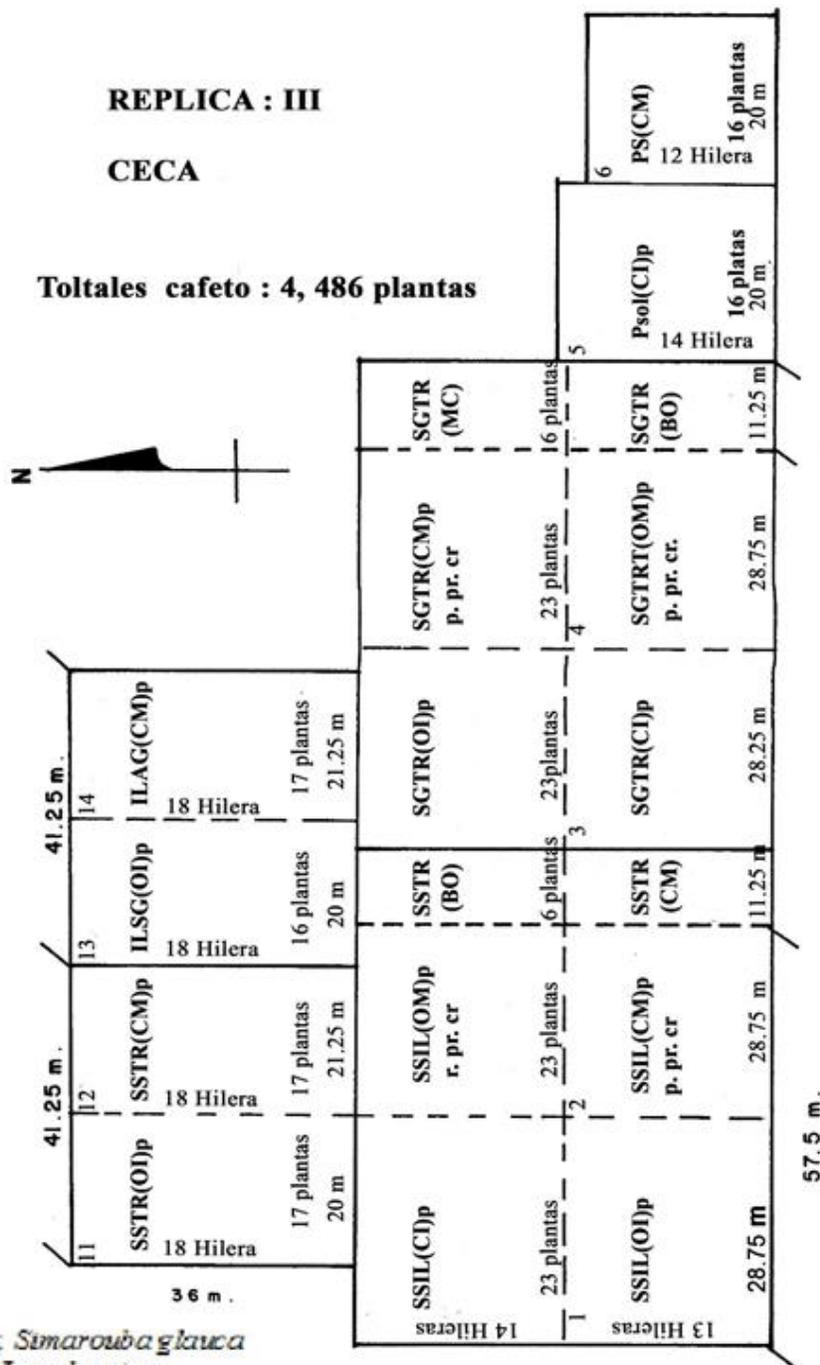


Figura 9.- Ensayo experimental. Réplica 2, El Mamón, Jardín botánico, Masatepe



Sg: *Simarouba glauca*
 Il: *Inga laurina*
 Ss: *Samanea saman*
 Tr: *Tabebuia rosea*
 Psol: Pleno sol
 CI: Convencional Intensivo
 CM: Convencional Moderado
 OI: Orgánico Intensivo
 OM: Orgánico Moderado

Figura 10.- Ensayo experimental. Réplica 3 Campos Azules, Masatepe

Anexo 6. Manejo de fertilidad de suelo en el ensayo de sistema agroforestales con café

Nivel de insumo	2003	2007-2008	2009-2012
Orgánico intensivo	Marzo: 5 lb de pulpa de café fresca por planta		
	Agosto: 6 libras de Gallinaza por planta.	4 libras de Gallinaza por planta.	4 libras compost “Bioperla””
	Una aplicación mensual de Biofermentados 100 cc/litro de agua.		
Orgánico moderado	Marzo: 5 libras de pulpa de café fresca por planta		
Convencional intensivo	Julio: 50 gramos /planta de la fórmula 18-6-12-4-0.2. Septiembre: 70 gramos /planta de la fórmula 12-30-10	Julio: 38 gramos/planta de la fórmula 27-9-18 Agosto: 70 gramos/planta de la fórmula 12-30-10	
	Mediados octubre: 40 gramos de Urea + 10 gramos de Muriato de Potasio.		
	4 aplicaciones foliares: 5.6 gramos de urea + 1.25 gramos de Zinc + 1.5 gramos de Boro/l agua + 1 cc adherente/l agua (Marzo, Junio, Agosto, Oct.)		
Convencional moderado	Agosto: 25 gramos /planta de la fórmula 18-6-12-4-0.2 Septiembre: 35 gramos /planta de 12-30-10	Julio: 19.5 gramos por planta de la fórmula 27-9-18 Agosto: 35 gramos por planta de la fórmula 12-30-10	
	Mediados Octubre: 20 gramos de Urea + 5 gramos de Muriato de Potasio.		
	2 Aplicaciones foliares: 5.6 gramos de urea + 1.25 gramos de Zinc + 1.5 gramos de Boro por litro de agua. + 1 cc adherente/litro de agua invierno (Marzo y Octubre)		

Fuente: Jardín Botánico.

Anexo 7. Manejo de enfermedades en el ensayo de sistema agroforestales con café

Nivel de insumo	2003-2006	2007 - 2012
Orgánico Intensivo	1 aplicación caldo bordelés (Jul) 1 Aplicación caldo sulfocálcico (Sept).	1 aplicación preventiva caldo sulfocálcico Junio (50 cc/l agua) Aplicación según incidencia
	Marchitez lenta: Poda de saneamiento y aplicación de Cal (Jun-Jul) (1 lb cal/hoyo)	
Orgánico Moderado	Marchitez lenta: Saneamiento y aplicación de Cal (1 libra/hoyo) (Junio-Julio).	
Convencional Intensivo	1 aplicación de Mancozeb 3.5 gramos/litro agua (mayo) 2 aplicaciones Anvil 3 cc/litro de agua (Agosto-Sept; Oct-Nov)	1 aplicación preventiva de cobre 2.5 gramos/litro de agua (mayo-junio) 2 aplicaciones Anvil 3 cc/litro de agua (ago-sept; oct-nov)
	Marchitez lenta: Poda de saneamiento	
Convencional moderado	1 aplicación de Mancozeb 3.5 g/l agua (mayo) 1 aplicación Anvil 3cc/l agua (Julio)	1 aplicación preventiva de cobre (mayo-junio) 2.5 g cobre/l agua Aplicación Anvil según criterio (oct- nov) 3 cc/l agua
	Marchitez lenta: Poda de saneamiento y aplicación de Carbendazin 1.3 cc/l agua (Junio- Julio).	No han muerto plantas nuevamente

Fuente: Jardín Botánico

Anexo 8. Manejo de hierbas en el ensayo de sistema agroforestales con café

	2003	2007 -2012
Orgánico intensivo	Chapia en época seca, (Febrero – Marzo y mayo - junio)	
	Machete en carril amplio (1.2 metros) y manejo de la floración de hierbas	Manejo selectivo de hierbas solo con machete (calle y carril)
Orgánico moderado	Chapia en época seca, (Febrero – Marzo y Mayo Junio)	
	Machete en carril angosto (0.6 metros) y manejo de floración	Manejo selectivo de hierbas con machete. Carrileo al momento de hacer la calle.
Convencional intensivo	Chapia en época seca (Febrero – Marzo y Mayo Junio)	
	Control total de hierbas con chapias y 2 aplicaciones de Glifosato (5 cc/litro agua) + Ally (1 gramo/20 litros de agua).	-Control total de hierbas con chapia -2 aplicaciones herbicidas, Primera a Glifosato (5 cc/litro de agua) Segunda glifosato (2.5 cc/litro de agua) + Flex (2.5 cc/litro de agua). -Carrileo al momento de chapiar la calle.
Convencional moderado	Chapia en época seca (Febrero – Marzo y Mayo Junio)	
	Control selectivo de hierbas carril ancho Una aplicación de Glifosato (5 cc/litro de agua)	Manejo selectivo de hierbas con machete y 2 aplicación de glifosato (5 cc/litro de agua)

Fuente: Jardín Botánico

Anexo 9. Manejo técnico de Insectos Plagas en el ensayo de sistema agroforestales con café

Nivel de Insumo	2003	2007 - 2012
Orgánico Intensivo	Broca: Granitéo (agosto, septiembre) Pepena (marzo)	Broca: uso de trampas (marzo-agosto) Uso de Beauveria bassiana Pepena – repela (marzo)
	Gallina ciega: Torta de nim, 10 g/hoyo	
Orgánico Moderado	Broca: Granitéo (agosto - Septiembre - octubre) Repela - Pepena (Febrero)	Broca: uso de trampas (marzo-agosto) Pepena-repela (marzo)
	Gallina ciega: Torta de neem, 10 g/hoyo	
Convencional Intensivo		Broca: Uso de trampas (marzo – agosto) 1 Aplicación de Endosulfán (3.5 cc/litros de agua en 2005 y 2007)
	Gallina ciega: Aplicación de Counter 5 g/hoyo, a la siembra	
Convencional Moderado		Broca: Uso de trampas 1 Aplicación de Endosulfán (3.5 cc/l agua en 2005)
	Gallina ciega: Aplicación de Counter 5 g/hoyo, , a la siembra	

Fuente: Jardín Botánico

Anexo 10. Población de plantas y manejo de tejidos en árboles y cafetos

Especie	Distancias	Población	Manejo								
			2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2009	2010-2012
Árboles de sombra	4 x 3.75 m	Inicial Ha = 666 Mz = 468	Poda de formación		Regulación, elevación y descentrado					Levantado Descentrado	
		Actual 2013 Ha = 212 Mz = 149			Raleo en Guabillo y Acetuno	Raleo roble	Raleo Genizaro	Raleo 10%	Raleo 2012 10% Guabillo Genizaro Acetuno Roble		
Cafetos	2 x 1.25 m	Ha = 4000 Mz = 2810	Resiembra de cafetos								
			Poda sanitaria								
			Poda selectiva según diagnóstico productivo (repepo selectivo, rock and roll y deshije)								

Fuente: Jardín Botánico

Anexo 11. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) sobre el tipo de sombra bajo sistema agroforestal, año 2004

Tipo de Sombra	Maleza	Café	Sombra	Ramas	Material fraccionado	Total biomasa Mantillo
Psol	1408.20	2038.51		226.67	167.56	3840.95
SGTR	924.59	1821.69	1503.06	1384.54	895.08	6528.95
SSIL	533.55	1470.37	3399.49	938.35	584.98	6926.75

Anexo 12. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) en diferentes niveles de insumos bajo sistema agroforestal, año 2004

Tipo de Sombra	Maleza	Café	Sombra	Ramas	Material fraccionado	Total biomasa Mantillo
CI	439.84	1678.47	1944.32	1075.66	455.01	5593.31
MC	1082.99	1326.85	1076.45	924.80	561.91	4973.01
MO	1089.40	1867.69	2727.50	892.87	765.74	7343.19
OI	950.84	2246.95	2546.44	978.88	836.57	7559.68

Anexo 13. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) por cada uno de los tratamientos bajo el sistema agroforestal, año 2004

Sombra* insumo	Maleza	Café	Sombra	Ramas	Material fraccionado	Total biomasa Mantillo
Psol-CI	1232.83	2097.14		226.59	158.60	3715.16
Psol-CM	1583.58	1979.88		226.75	176.54	3966.75
SGTR-CI	51.23	1232.71	1238.14	1962.67	871.15	5355.89
SGTR-CM	1324.89	1476.19	1379.55	1225.60	525.15	5931.39
SGTR-MO	1342.55	1791.83	1664.92	1216.09	1225.41	7240.80
SGTR-IO	979.69	2786.02	1729.63	1133.80	958.60	7587.73
SSIL-CI	35.48	1705.56	4594.83	1037.73	335.28	7708.88
SSIL-CM	340.49	524.49	1849.81	1322.05	984.04	5020.88
SSIL-MO	836.25	1943.54	3790.08	569.65	306.07	7445.59
SSIL-OI	921.99	1707.88	3363.26	823.96	714.54	7531.63

Anexo14. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) sobre el tipo de sombra bajo sistema agroforestal, año 2009

Tipo de sombra	Maleza	Café	SS	IL	SG	TR	Material de Fracción	Total biomasa Mantillo
Psol	1436.87	5642.76					1221.03	8300.65
SGTR	636.18	3470.51			3183.19	2604.82	1795.77	11690.46
SSIL	1358.98	3630.54	700.74	6850.64			5810.97	18351.88

Anexo 15. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) en diferentes niveles de insumos bajo sistema agroforestal, año 2009

Tipo de sombra	Maleza	Café	SS	IL	SG	TR	Material de Fracción	Total biomasa Mantillo
CI	554.59	4274.13	136.88	2677.08	897.10	1043.17	2190.39	11773.33
MC	1308.15	4226.32	175.10	2289.62	988.12	696.61	3440.19	13124.11
MO	1233.43	2985.03	279.18	2949.67	1971.51	1164.62	3767.43	14350.86
OI	1399.63	4109.15	654.34	3301.58	1567.04	1435.35	4221.22	16688.31

Anexo 16. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) por cada uno de los tratamientos bajo el sistema agroforestal, año 2009

Sombra* Insumo	Maleza	Café	SS	IL	SG	TR	Material de Fracción	Total biomasa Mantillo
Psol-CI	1000.77	5000.11					847.63	6848.51
Psol-CM	1872.97	6285.41					1594.42	9752.80
SGTR-CI	147.70	3811.71			2691.30	3129.50	2139.32	11919.53
SGTR-MC	443.02	3566.08			2964.36	2089.84	1553.22	10616.53
SGTR-OI	699.00	3663.28			3134.07	2870.70	1484.22	11851.26
SGTR-OM	1254.99	2840.96			3943.01	2329.23	2006.33	12374.52
SSIL-CI	515.32	4010.57	410.64	8031.23			3584.21	16551.96
SSIL-CM	1608.47	2827.48	525.29	6868.85			7172.93	19003.00
SSIL-OI	2100.25	4555.02	1308.68	6603.16			6958.23	21525.35
SSIL-OM	1211.88	3129.10	558.36	5899.30			5528.53	16327.19

Anexo 17. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) sobre el tipo de sombra bajo sistema agroforestal, año 2013

Sombra* Insumo	Maleza	Café	SS	IL	SG	TR	Material de Fracción	Total biomasa Mantillo
Psol	1471.57	2936.99					324.96 C	4733.51
SGTR	943.69	4039.02			3188.21	2476.76	2993.31	13640.99
SSIL	696.49	3699.29	1715.66	7340.42			6904.58	20356.43

Anexo 18. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) en diferentes niveles de insumos bajo sistema agroforestal, año 2013

Sombra* Insumo	Maleza	Café	SS	IL	SG	TR	Material de Fracción	Total biomasa Mantillo
CI	787	2323.39	266.212	2394.29	1365.8	836.19	3235.3	11208.17
CM	1178.44	3664.63	433.77	1666.71	643.81	735.45	3052.01	11374.81
OI	396.95	4499.4	1317.58	5571.76	1851.56	1664.1	5172.85	20474.16
OM	1406.8	4932.2	1063.76	3017.58	1510.47	931.99	5516.92	18379.72

Anexo 19. Producción de materia seca sobre el suelo (kg ha⁻¹) por cada uno de los tratamientos bajo el sistema agroforestal, año 2013

Sombra* Insumo	Maleza	Café	SS	IL	SG	TR	Material de Fracción	Total biomasa Mantillo
Psol-CI	1693.31	2275.99					147.74	4117.03
Psol-CM	1249.82	3597.99					502.18	5349.99
SGTR-CI	462.80	3087.09			4097.39	2508.57	2213.30	12369.15
SGTR-CM	1179.57	2780.01			1931.42	2206.36	2979.11	11076.46
SGTR-OI	484.69	4852.88			3703.11	3328.14	2705.30	15074.11
SGTR-OM	1647.70	5436.11			3020.93	1863.98	4075.52	16044.24
SSIL-CI	204.89	1607.09	798.64	7182.87			7344.85	17138.34
SSIL-CM	1105.93	4615.89	1301.30	5000.12			5674.74	17697.97
SSIL-OI	309.21	4145.91	2635.16	11143.52			7640.41	25874.20
SSIL-OM	1165.91	4428.28	2127.53	6035.16			6958.33	20715.21

Anexo 20. Cantidad total de macronutrientes extraídos por las partes que componen el fruto del café, equivalente a 1,000 kg de café en uva.

	Cantidad de nutrientes extraídos (kg)					
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre
Parte del fruto	N	P	K	Ca	Mg	S
Café oro	16,79	1,39	12,4	1,61	1,47	0,99
Pulpa	11,5	0,7	22,31	1,76	0,57	0,13
Pergamino	0,96	0,02	0,6	0,42	0,11	0,09
Mucilago	1,7	0,15	1,61	0,47	0,11	0
Total	30,95	2,26	36,92	4,26	2,26	1,21

Fuente: NICACAFE, 2008

Anexo 21. Salida de Nitrógeno del sistema por la extracción de la cosecha en kg ha⁻¹ periodo 2013-2014

Tratamiento	kg ha ⁻¹ N 2013	QQ Urea 46 %	N extraído en 1,000 kg de café en uva	Rendimientos café en uva kg/ha	Extracción de N café en uva kg/ha	QQ Urea 46 % aplicados
SSIL + CI	373,34	17,9	30,95	835,93	25,87	1,2
CM	377,41	18,1	30,95	244,44	7,57	0,4
OI	513,6	24,6	30,95	232,96	7,21	0,3
OM	456,13	21,8	30,95	950,37	29,41	1,4
SGTR+CI	224,91	10,8	30,95	597,78	18,50	0,9
CM	232,26	11,1	30,95	492,96	15,26	0,7
OI	297,1	14,2	30,95	850,49	26,32	1,3
OM	337,58	16,1	30,95	977,41	30,25	1,4
PSOL+CI	85,07	4,1	30,95	260,74	8,07	0,4
CM	117,09	5,6	30,95	234,11	7,25	0,3

Anexo 22. Salida del Fósforo del sistema de por extracción de cosecha periodo 2013 - 2014

Tratamiento	kg ha ⁻¹ N 2013	QQ SFT 46 %	P extraído en 1,000 kg de café en uva	Rendimientos café en uva kg/ha	Extracción de P café en uva kg/ha	QQ SFT 46 % aplicados
SSIL + CI	18,31	0,9	2,26	835,93	1,89	0,09
CM	18,36	0,9	2,26	244,44	0,55	0,03
OI	34,46	1,6	2,26	232,96	0,53	0,03
OM	26,91	1,3	2,26	950,37	2,15	0,10
SGTR+CI	13,66	0,7	2,26	597,78	1,35	0,06
CM	12,25	0,6	2,26	492,96	1,11	0,05
OI	22,26	1,1	2,26	850,49	1,92	0,09
OM	24,85	1,2	2,26	977,41	2,21	0,11
PSOL+CI	4,97	0,2	2,26	260,74	0,59	0,03
CM	6	0,3	2,26	234,11	0,53	0,03

Anexo 23. Salida del Potasio del sistema por extracción de cosecha periodo 2013-2014

Tratamiento	kg ha ⁻¹ N 2013	QQ KCL 60%	K extraído en 1,000 kg de café en uva	Rendimientos café en uva kg/ha	Extracción de K café en uva kg/ha	QQ KCL 60 % aplicados
SSIL + CI	135,95	5,0	5,18	835,93	4,33	0,16
CM	204,7	7,5	5,18	244,44	1,27	0,05
OI	297,61	10,9	5,18	232,96	1,21	0,04
OM	251,6	9,2	5,18	950,37	4,92	0,18
SGTR+CI	145,59	5,3	5,18	597,78	3,10	0,11
CM	126,2	4,6	5,18	492,96	2,55	0,09
OI	235,7	8,6	5,18	850,49	4,41	0,16
OM	264,26	9,7	5,18	977,41	5,06	0,19
PSOL+CI	91,24	3,3	5,18	260,74	1,35	0,05
CM	114,6	4,2	5,18	234,11	1,21	0,04



Anexo 24. Foto 1. Hojarasca aportada por sistema agroforestal con café, Jardín Botánico, Masatepe



Anexo 25. Foto 2. Muestreo de Campo



Anexo 26. Foto 3. Café bajo sombra, CECA



Anexo 27. Foto 4. Café a Pleno sol CECA