



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

*“Por un Desarrollo Agrario,
Integral y Sostenible”*

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Fertilidad del suelo en tres sistemas de manejo
en café (*Coffea arabica* L.) y su efecto en el
rendimiento, Masatepe-Masaya**

AUTORES:

**Br. Fátima del Carmen Luna Rodríguez
Br. Jaqueline Guisselle López Mena**

ASESOR:

Ing. Roberto Larios González

**MANAGUA, NICARAGUA
SEPTIEMBRE, 2012**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

*“Por un Desarrollo Agrario,
Integral y Sostenible”*

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Fertilidad del suelo en tres sistemas de manejo
en café (*Coffea arabica* L.) y su efecto en el
rendimiento, Masatepe-Masaya**

AUTORES:

**Br. Fátima del Carmen Luna Rodríguez
Br. Jaqueline Guisselle López Mena**

ASESOR:

Ing. Roberto Larios González

**Sometido a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito parcial para optar al
título de ingeniero agrónomo**

**MANAGUA, NICARAGUA
SEPTIEMBRE, 2012**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo


Miembros del tribunal examinador:



Dr. Dennis Salazar
Presidente



Dr. Víctor Aguilar B.
Secretario



MSc. Bismarck Mendoza
Vocal

Managua, 27 de septiembre del 2012

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1 Localización y descripción del área de estudio	4
3.2 Descripción de las especies de sombra	6
3.3 Descripción de la variedad de café y su requerimiento nutricional	7
3.4 Densidad poblacional del cultivo y las especies de sombra	7
3.5 Diseño experimental	7
3.6 Área del experimento	7
3.7 Variables evaluadas	8
3.8 Muestreo de suelo	8
3.9 Análisis estadístico	10
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4.1 Fertilidad química del suelo	11

SECCIÓN	PÁGINA	
4.1.1	Materia orgánica del suelo (%)	11
4.1.2	Nitrógeno total (%)	13
4.1.3	Capacidad de intercambio catiónico (cmol (+) kg ⁻¹)	15
4.2	Fertilidad física del suelo	16
4.2.1	Porosidad del suelo (%)	16
4.2.2	Retención de humedad (%)	18
4.3	Fertilidad biológica del suelo	20
4.3.1	Macrofauna del suelo	20
4.4	Rendimiento del café oro (kg ha ⁻¹)	22
4.5	Rendimiento acumulado del café oro (kg ha ⁻¹)	25
V	CONCLUSIONES	27
VI	RECOMENDACIONES	28
VII	LITERATURA CITADA	29
VIII	ANEXOS	34

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por darme sabiduría, fuerzas y haber permitido que llegara a culminar una meta más en mi vida.

A mis amados padres Sixto Luna Sequeira y Nidia Rodríguez Sevilla por su amor, consejos y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida.

A mis Hermanas Rebeca, Maritza, Nidia, Raquel y Lisseth, por su cariño, apoyo moral y espiritual.

A mis sobrinos por irradiar alegría.

Con todo mi amor para ellos.

Fátima del Carmen Luna Rodríguez

DEDICATORIA

A Dios, quien es mi máxima inspiración, fuerza y apoyo incondicional en mi vida.

A mis amados padres Victoria de Jesús Mena Pinell y Francisco Antonio López Montes, quienes con mucho esfuerzo me han brindado un inmenso apoyo a lo largo de mi carrera y por brindarme confianza y fortaleza para alcanzar mis metas, gracias por ser la luz en mi camino.

A mi abuela Olga Cruz Pinell Barrera por ser mi segunda madre y darme las pautas para lograr ser hoy una mujer de bien, por sus constantes oraciones y sabios consejos, por todo el amor, paciencia y comprensión que ha brindado a lo largo de mi vida.

A mis hermanas Mercedes y Olga López por ser mi depósito de confianza y el brazo de apoyo en momentos difíciles.

A mi esposo Enoc Castellón, por el respaldo e impulso como un aliento a lo largo de mis estudios universitarios, por estimularme a alcanzar mis logros y ser cada día mejor.

A mi hijo Diego Alejandro Castellón López por ser la fuente de inspiración para mi superación profesional, como mujer y como ser humano.

Los quiere

Jaqueline Guisselle López Mena

AGRADECIMIENTO

Gracias Señor Jesús por tu gran amor y misericordia hacia nosotros.

Muy especial a nuestro asesor Ing. Roberto Larios González por la colaboración, apoyo incondicional y compartir sus conocimientos para la realización de nuestro trabajo de graduación.

A nuestra Universidad Nacional Agraria, por haber abierto las puertas de la enseñanza a través, de los conocimientos y experiencias de sus maestros.

A todas las personas que me han deseado lo mejor, brindaron su confianza, apoyo y creyeron en mí durante el trascurso de mi formación profesional.

El principio de la sabiduría es el temor a Jehová.

Proverbios 1:7

Fátima del Carmen Luna Rodríguez

AGRADECIMIENTO

A Dios por proveerme de fortaleza y perseverancia en la culminación de mis estudios profesionales como Ingeniera Agrónoma.

En especial agradecer el esmero, dedicación y confianza de mi asesor: Ing. Roberto Larios quien ha transmitido valores éticos y morales y me ha brindado un apoyo incondicional para llegar hoy a culminar con éxito mis estudios universitarios, gracias por la paciencia y comprensión y por inculcar en mi persona un gran espíritu de superación.

Agradecer a la Universidad Nacional Agraria (UNA), mi Alma Mater, por brindarme la educación necesaria para llegar a ser una profesional al servicio de la patria.

A los docentes que a lo largo de la carrera día con día transmitieron conocimientos que hoy son armas para enfrentar las problemáticas en el ámbito laboral.

A todas las personas involucradas en la realización de este trabajo.

Jaqueline Guisselle López Mena

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		PÁGINA
1	Descripción de los tratamientos en función de los sistemas de manejo.	5
2	Requerimiento nutricional del cultivo de café.	7
3	Área (m ²) de las unidades experimentales y parcelas útiles por tratamiento según sistema de manejo.	8
4	Metodología para determinar variable física, química y biológica del suelo.	9
5	Efecto de tres sistemas de manejo sobre la macrofauna del suelo por época y sistema de manejo según el índice de Shannon - Wiener.	21

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PÁGINA
1	Ubicación geográfica del experimento.	5
2	Materia orgánica del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	12
3	Nitrógeno total del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	14
4	Capacidad de intercambio catiónico por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	15
5	Porosidad del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	17
6	Retención de humedad del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	19
7	Rendimiento de café oro por ciclo agrícola y sistema de manejo, Masatepe, Masaya 2002-2011.	23
8	Rendimiento acumulado de café oro ciclo agrícola 2002-2003 a 2010-2011.	25

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N°		PÁGINA
1	Materia orgánica del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	35
2	Nitrógeno total del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	35
3	Capacidad de intercambio catiónico del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	35
4	Porosidad del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	35
5	Retención de humedad del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.	36
6	Orden y especies de macrofauna del suelo identificado en los tres sistemas de manejo.	36
7	Rendimiento de café oro por ciclo agrícola y sistema de manejo, Masatepe, Masaya 2002-2011.	37
8	Contenido de nutrientes promedio de la pulpa de café y gallinaza (%).	37

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comparar la influencia de tres sistemas de manejo en café sobre la fertilidad física, química y biológica del suelo y el rendimiento en café oro en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya, Nicaragua en el período de julio del 2009 a enero del 2010. El tratamiento uno (orgánico intensivo) estuvo conformado por dos especies leguminosas como sombra, *Inga laurina* (Sw.) Willd (guaba) y *Samanea saman* (Jacq.) Merrill (genízaro), más aplicaciones por planta de 2.27 kg de pulpa de café ($9\ 080\ \text{kg ha}^{-1}$) e igual cantidad de gallinaza. El tratamiento dos (orgánico extensivo) involucra 2.27 kg de pulpa de café bajo las mismas especies arbóreas y un tercer tratamiento a plena exposición solar (convencional extensivo) con aplicaciones por planta de 17 gramos ($68\ \text{kg ha}^{-1}$) de fertilizante 27-9-18 en junio, 35 gramos ($140\ \text{kg ha}^{-1}$) de 12-30-10 en septiembre y 20 gramos ($80\ \text{kg ha}^{-1}$) de urea más 5 gramos ($20\ \text{kg ha}^{-1}$) de KCl en octubre. Se utilizó un arreglo unifactorial en diseño de bloques completo al azar, evaluándose las variables materia orgánica, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, porosidad, retención de humedad, y diversidad de la macrofauna del suelo. Se efectuaron un muestreo de suelo en el mes de julio de 2009 y otro en enero de 2010. Los resultados fueron analizados por diferencias mínimas significativas y en el caso de la macrofauna a través del índice de Shannon-Wiener. Los programas estadísticos utilizados fueron InfoStat profesional y Past versión 1.29, éste último para el análisis de la biodiversidad del suelo. No se encontraron diferencias estadísticas en los componentes de la fertilidad física y química del suelo, pero se observa una tendencia a disminuir en el sistema manejado convencionalmente. La mayor diversidad de macrofauna se presentó en los sistemas manejados orgánicamente. El rendimiento de café oro se comportó de forma variada, siendo mejor estadísticamente el sistema convencional extensivo en el primer ciclo agrícola (2002-2003), con un rendimiento de $305\ \text{kg ha}^{-1}$. Posteriormente en el resto de los ciclos no se presentan diferencias significativas pero se observa un comportamiento alterno de mayor rendimiento entre el sistema orgánico intensivo y el convencional extensivo.

Palabras clave: Fertilidad física, química y biológica, sistemas agroforestal, suelo, sostenibilidad.

ABSTRACT

The aim of the study was to compare the influence of three different coffee systems management on physical, chemical and biological soil fertility in Masatepe, Masaya, Nicaragua from July 2009 to January 2010. Treatment one (intensive organic) were two legume shadow species, *Inga lauringa* (Sw.) Willd (guaba) and *Samanea saman* (Jacq.) Merrill (genizaro), plus 2.27 kilograms (9 080 kg ha⁻¹) coffee pulp per plant plus same amount of chicken manure. Treatment two (extensive organic) was 2.27 kilograms coffee pulp per plant and same shadow species and the third treatment (extensive conventional) was full sun exposure with 17 grams per plants (68 kg ha⁻¹) of fertilizer 27-9-18 in June, 35 grams (140 kg ha⁻¹) of fertilizer 12-30-10 in September and 20 grams (80 kg ha⁻¹) of urea + 5 grams (20 kg ha⁻¹) of KCl In October per plant. A unifactorial arrangement with a completely random blocks design was used. Variables were organic matter, total nitrogen, cation exchange capacity, porosity, and water retention and macro fauna diversity. Soil samples were taken in July 2009 and January 2010, result was analyzed for least significant difference (LSD) and data from macro fauna were analyzed through the Shannon-Wiener index. Statistical packages used were Professional InfoStat and Past version 1.29, the last one for soil biodiversity analysis. There were no significant differences for physical and chemical soil fertility but a tendency to reduction was observed in conventionally managed systems. The biggest diversity of macrofauna was observed in organically managed systems. Coffee green bean yield was variable, extensive conventional system was statistically higher in the first agricultural cycle with a yield of 305 kg ha⁻¹. There were no significant differences in the rest of periods, but there was a similar pattern on intensive organic systems compared with extensive conventional system.

Keywords: Physical fertility, chemical and biological, agro forestry system, soil, sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.), es uno de los cultivos de mayor importancia en Nicaragua. Genera importantes recursos económicos a través de sus exportaciones y contribuye con alrededor de 280 000 empleos directos e indirectos (ORGANICOOP, 2007).

En el ciclo agrícola 2010/2011 se produjeron 1,94 millones de quintales de café oro, en una superficie de 163 040 manzanas (114 574.84 hectáreas) con rendimientos promedios de 11 qq mz⁻¹ (15,65 qq ha⁻¹) generando un total de 438 millones de dólares, lo que representó un extraordinario incremento del 65,9% con respecto al ciclo anterior (CETREX, 2011).

En el pacífico de Nicaragua, la mayor parte del área cafetalera está ubicada en la zona llamada meseta cafetalera de los pueblos (Carazo), además se incluyen algunos municipios de Masaya, Granada, El Crucero y parte de Chinandega.

En Carazo, Masaya y Granada se estiman unas 8 540 hectáreas (12 152 manzanas) de café en producción, en Managua 7 000 hectáreas (9 961 manzanas) y en Chinandega alrededor de 560 hectáreas (796 manzanas). Esta región en su conjunto contribuye aproximadamente con el 17,30% de la producción nacional cafetalera (Guharay *et al.*, 2000).

La intensificación de la producción de este cultivo ha traído consecuencias negativas porque en muchas zonas se trabaja como monocultivos intensivos, donde los suelos están totalmente expuestos a los factores erosivos del ambiente. Además, las grandes cantidades de agroquímicos aplicados en estos sistemas, contribuyen a la contaminación de las aguas, disminución de la diversidad biológica del suelo (Muschler, 1999) y favorecen la aparición de plagas secundarias y cepas resistentes a pesticidas (Guharay *et al.*, 1999).

Los altos rendimientos logrados en décadas anteriores no han sido sostenidos en el tiempo debido a la pérdida en la fertilidad de los suelos y al aumento en los precios de los insumos (ICAFE, 2004). Sin embargo, esto mejoraría si se proyectan sistemas de

producción de café bajo manejo sostenible, como aquellos manejados orgánicamente y/o agroforestalmente.

Estos sistemas se caracterizan por tener árboles de usos múltiples asociados al cultivo, y su objetivo es disminuir la dependencia de insumos externos, reduciendo los costos de producción y favoreciendo la conservación de los recursos naturales de la finca; tales como el suelo, agua y la biodiversidad (Altieri, 1999).

Otro aspecto importante de estos sistemas es el mantenimiento de la fertilidad del suelo a través del reciclaje de nutrientes y mantenimiento de la materia orgánica, por medio de la producción y descomposición de la hojarasca y de los residuos de podas (Bolaños, 2001; citado por Gómez y Guerrero, 2007), lo que permite el mantenimiento o el aumento de la macrofauna en el suelo (Porrás, 2006).

Estos sistemas se caracterizan por la asociación de varias especies en un mismo sitio, en diferentes grados de integración espacial y temporal (Imbach *et al.*, 1989), las cuales son especies empleadas como soporte vivo, como sombra, para reducir el desgaste de los suelos y mantener un continuo suministro de nutrientes para el cultivo.

Lo anterior expuesto, permite suponer que el manejo de la fertilidad del suelo y del cultivo en arreglo agroforestal, es una estrategia imprescindible para orientar a los sistemas cafetaleros de una forma sostenible.

Esta investigación se hizo con el fin de determinar si cada sistema de manejo de café ejerce influencia en la fertilidad física, química y biológica del suelo y en el rendimiento del cultivo de café.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Determinar el comportamiento de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y el rendimiento de café bajo tres sistemas de manejo.

2.2 Objetivos específicos:

- 1) Comparar los niveles de materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico por la influencia los sistemas de manejo.
- 2) Determinar el efecto ecológico de los sistemas manejo en la porosidad del suelo y retención de humedad.
- 3) Determinar la diversidad de la macrofauna del suelo en los sistemas.
- 4) Analizar el comportamiento del rendimiento de café oro en función de los sistemas de manejo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y descripción del área de estudio

Este estudio se realizó en el Jardín Botánico y en el Centro Experimental Campos Azules, ubicados en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya.

Este ensayo representa la continuidad de un proyecto de investigación planeado a 20 años, que en sus inicios fue concebido para contribuir al debate de las desventajas de la caficultura convencional versus los beneficios de la caficultura orgánica, utilizando los criterios de sostenibilidad, la calidad y rentabilidad como ejes centrales para el desarrollo de un nuevo modelo de agricultura.

El objetivo principal es estudiar las interacciones entre tipos de sombra y diferentes niveles y tipos de insumos para el manejo de plagas y la nutrición de cafetos; y evaluar el impacto de estos sistemas sobre ciclos de nutrientes, biodiversidad y el efecto sobre la calidad del café, costos e ingresos para el productor.

Este estudio se inició en el año 2000 con el establecimiento de dos parcelas experimentales denominadas Níspero y Mamón, ubicadas en el Centro de Capacitación y Servicios Regional del Pacífico de Nicaragua conocido como Jardín Botánico y perteneciente en ese momento a UNICAFE. Una tercera parcela se estableció al siguiente año (2001), en el Centro Experimental Campos Azules (CECA) del INTA.

Es el resultado del trabajo interinstitucional entre la Universidad Nacional Agraria (UNA), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Unión Nicaragüense de Cafetaleros (UNICAFE).



Figura 1. Ubicación geográfica del experimento.
Fuente: Google earth (2012), Google imágenes 2011.

Las tres parcelas están ubicadas entre las coordenadas $11^{\circ} 54''$ de latitud norte y $86^{\circ} 09''$ de longitud oeste, a una altitud sobre el nivel de mar de 455 metros. La zona está clasificada como baja y seca con suelos fértiles y precipitación promedio de 1 400 mm, temperatura anual promedio de 24°C , con una estación seca de seis meses (Haggar y Staver, 2001).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos en función de los sistemas de manejo

Tratamientos	Descripción	Manejo
T 1	<i>Inga laurina</i> y <i>Samanea saman</i> $9\ 080\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{PC} + 9\ 080\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{G}$	Orgánico Intensivo
T 2	<i>Inga laurina</i> y <i>Samanea saman</i> $9\ 080\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{PC}$	Orgánico Extensivo
T 3	$68\ \text{kg ha}^{-1}\ 27-9-18 + 140\ \text{kg ha}^{-1}$ $12-30-10 + 80\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{urea}$ $+ 20\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{KCl}$	Convencional Extensivo

PC: Pulpa de café, G: Gallinaza, Urea: (46% de N), KCl: Cloruro de potasio (60% de K_2O)

La tabla 1, muestra los tratamientos en función de los sistemas de manejo. En ella se describen las especies de sombra y la denominación según los insumos.

El tratamiento uno (orgánico intensivo) está conformado por las especies de sombra *Inga laurina* y *Samanea saman*, más aplicaciones de 2,27 kg (9 080 kg ha⁻¹) de pulpa de café por planta en la época seca y 2,27 kg de gallinaza por planta en el periodo de canícula (15 de julio-15 de agosto).

El tratamiento dos (orgánico extensivo) el nivel y el tipo de enmienda corresponde a 2,27 kg de pulpa de café por planta aplicados en la época seca y bajo las mismas especies de sombra.

El tratamiento tres es el café a plena exposición solar con aplicaciones en junio de 68 kg ha⁻¹ de fertilizantes mineral 27-09-18, en septiembre con 140 kg ha⁻¹ 12-30-10, en octubre 80 kg ha⁻¹ de urea más 20 kg ha⁻¹ de KCl.

3.2 Descripción de las especies de sombra

Inga laurina (Sw.) Willd (Guaba), pertenece a la familia fabaceae, sub-familia mimosoideae es un árbol de 4 a 22 metros de alto. Es una especie de rápido crecimiento y su madera es usada para poste, leña, carbón y a veces para la elaboración de muebles. Esta especie es ampliamente usadas en finca manejadas agroforestalmente, principalmente como sombra para café debido a la fácil germinación de las semillas, rápido crecimiento, capacidad de fijar nitrógeno, producción de hojarasca, conservación de la humedad del suelo y por su adaptabilidad a una amplia variedad de suelo (Cordero y Boshier, 2003).

Samanea saman (Jacq.) Merrill (Genízaro), Pertenece a la familia fabaceae sub-familia mimosoideae, árbol con altura de hasta 30 metros de copa densa. Es considerada como una madera comercial. Las hojas frescas constituyen un excelente forraje ya que contienen entre 24 y 30 % de proteína, por esta razón es utilizada en sistemas silvopastoriles. Según (Cordero y Boshier, 2003), como árbol de sombra tiene la ventaja de mantener sus hojas durante el verano, además tiene la capacidad de fijar nitrógeno lo cual es favorable para el reciclaje de nutrientes. Es una especie que se adapta a una variada condición de precipitaciones, temperatura y suelo (García, 2003).

3.3 Descripción de la variedad de café y su requerimiento nutricional

La variedad de café establecida fue Pacas, la cual se originó de una mutación del Bourbon, variedad muy similar a la variedad Caturra. Es un árbol de porte pequeño, entrenudos cortos, follaje abundante, producción alta, hojas grandes, anchas y lustrosas, de fructificación precoz, y posee un sistema radicular desarrollado. El tallo tiene gran proliferación de bandolas, lo que le confiere un aspecto más compacto y cerrado; se adapta muy bien a zonas bajas y es resistente al viento y a la sequía (Bolaños, 2005), (Baylon y Pizzi, 1994), (IHCAFE, s.f).

Tabla 2. Requerimiento nutricional del cultivo de café

Año de plantación	Extracción nutrientes kg ha ⁻¹				
	N	P	K	Mg	S
Tres en adelante	257	45	280	32	25

Fuente: (Blanco, 1998).

3.4 Densidad poblacional del cultivo y las especies de sombra

La distancia de siembra de los árboles de café corresponde a dos metros entre surco y 1.25 metros entre planta, lo que determina una densidad poblacional de 4 000 plantas por hectárea, equivalente a 2 810 plantas mz⁻¹

Las especies de sombra fueron establecidas a cuatro metros entre surco y 3,75 metros entre planta, para una densidad poblacional inicial de 666 plantas por hectárea.

3.5 Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) en arreglo unifactorial con tres repeticiones.

3.6 Área del experimento

En la tabla 3 se indican las áreas de cada uno de los tratamientos en función de sus tres réplicas.

Tabla 3. Área (m²) de las unidades experimentales y parcelas útiles por tratamiento según sistema de manejo

TRATAMIENTO	INSUMOS	ÁREA (m ²) POR REPETICIÓN					
		Níspero (I)		Mamón (II)		CECA (III)	
		UE	PU	UE	PU	UE	PU
T1 = II Ss	O I	840	300	800	270	680	247.5
T2 = II Ss	O E	760	300	850	270	680	247.5
T3 = Pleno sol	C E	500	300	720	225	520	225.5

II: *Inga lauringa*, Ss: *Samanea saman*, OI: orgánico intensivo, OE: orgánico extensivo, CE: convencional extensivo, UE: unidad experimental, PU: parcela útil.

3.7 Variables evaluadas

En cada parcela se evaluó la fertilidad física, química y biológica del suelo así como el rendimiento del café, este último consistió en el análisis de los últimos nueve ciclos agrícolas a partir del establecimiento del ensayo, siendo el período del estudio, el ciclo 2009-2010.

Los componentes de la fertilidad física y química del suelo evaluados fueron porosidad, retención de humedad a capacidad de campo, materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico. La diversidad de macrofauna fue la variable a considerar dentro de la fertilidad biológica y se analizó con el índice de Shannon-Wiener; por último, el rendimiento del café expresado en kg ha⁻¹ de café oro.

3.8 Muestreo de suelo

En cada parcela se colectaron muestras de suelo usando un barreno helicoidal de forma que las muestras fueran representativas para cada unidad experimental. El muestreo ocurrió en dos momentos, una en el mes de julio correspondiente a la época lluviosa y otra en el mes de enero en la época seca, cada muestra fue compuesta por seis submuestras, tres bajo el área de goteo de las plantas de café y tres en el centro de los surcos. El rango de la profundidad de muestreo fue de 0 a 0,30 metros.

Del total de submuestras se obtuvo una muestra homogénea de un kilogramo, que fue tamizada y remitida al laboratorio de suelos y agua de la Universidad Nacional Agraria

para el análisis físico (porosidad y retención de humedad) y químico (materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico).

Para determinar la diversidad de la macro fauna del suelo, el muestreo se realizó de manera muy similar al método recomendado por el programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993).

El registro de la información ocurrió en cuatro momentos, para lo cual en cada unidad experimental se excavaron cuatro calicatas de 0,027 m³ (0,30m*0,30m*0,30m), tanto en el área de goteo de las plantas de café, como en el centro de los surcos. Las muestras de suelo se introdujeron en bolsas plásticas y fueron remetidas al laboratorio de entomología para realizar el conteo e identificación de cada organismo lo cual se realizó de forma manual, y fue necesario sumergirlos en alcohol al 75%.

Cada una de las variables físicas y químicas y la cuantificación e identificación de los macro organismos del suelo fueron analizadas a través de los procedimientos establecidos por el laboratorio de suelos y agua y el laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria (tabla 4).

Tabla 4. Metodología para determinar variable física, química y biológica del suelo

INDICADOR	MÉTODO
Materia orgánica (%)	Calorimétrico (Walkey y Black, 1947)
Nitrógeno total (%)	Kjeldhal
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (cmol (+) kg ⁻¹)	Solución extractora de acetato de amonio
Densidad aparente	Método del cilindro (Da = Pss/volumen del suelo)
Densidad real	Método del picnómetro
Porosidad del suelo (%)	Mediante Cálculos Matemáticos (Birecki y Col, 1968) (n=1- (Da/Dr) *100)
Retención de humedad (CC)	Ollas de presión
Cuantificación e identificación de macrofauna	Exploración de suelo conteo e identificación

Fuente: Laboratorio de suelos y agua y laboratorio de entomología de la UNA

3.9 Análisis estadístico

Las variables físicas, químicas y el rendimiento fueron sometidas a un análisis de varianza con separación de medias por diferencias mínimas significativas (DMS), con un margen de error del 5 % ($P \leq 0,05$) mediante el uso del programa estadístico InfoStat profesional.

Para evaluar la diversidad biológica de la macrofauna del suelo, se utilizó el índice de Shannon-Wiener por medio del programa estadístico Past versión 1,29.

Formula Shannon-Wiener

$$H = - \sum_{i=1}^S pi \cdot \log_2(pi)$$

$$pi = \frac{ni}{N}$$

Dónde:

n_i = número de individuos en el sistema de la especie determinada i

N = número total de individuos

S = número total de especies

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fertilidad química del suelo

La fertilidad química es la capacidad de un suelo de proveer un adecuado ambiente químico y nutricional para el crecimiento y producción de los cultivos sin perjuicio de los procesos físicos y biológicos que involucran al reciclaje de nutrientes (Abbott y Murphy, 2007).

4.1.1 Materia orgánica del suelo (%)

La materia orgánica es uno de los principales componentes del suelo, constituye aproximadamente el 5 % de su volumen (Anon, 1999), y ejerce influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, mejorando su estructura, la que influye en la porosidad (Fassbender, 1987), contribuye además, a la formación de agregados disminuyendo la densidad aparente, aumenta la capacidad de retención de agua, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, regula el pH a través del aumento de su capacidad tampón y favorece la disponibilidad de nitrógeno a través de los procesos de mineralización (Fuentes, 1996), (Fassbender, 1984).

La figura 2, muestra el comportamiento de los niveles de materia orgánica en los tres sistemas de manejo y en ambos muestreos (julio y enero). No se establecen diferencias estadísticas (DMS = 4,25 y 3,23), pero sí una tendencia de disminución de los niveles de materia orgánica en el sistema convencional extensivo.

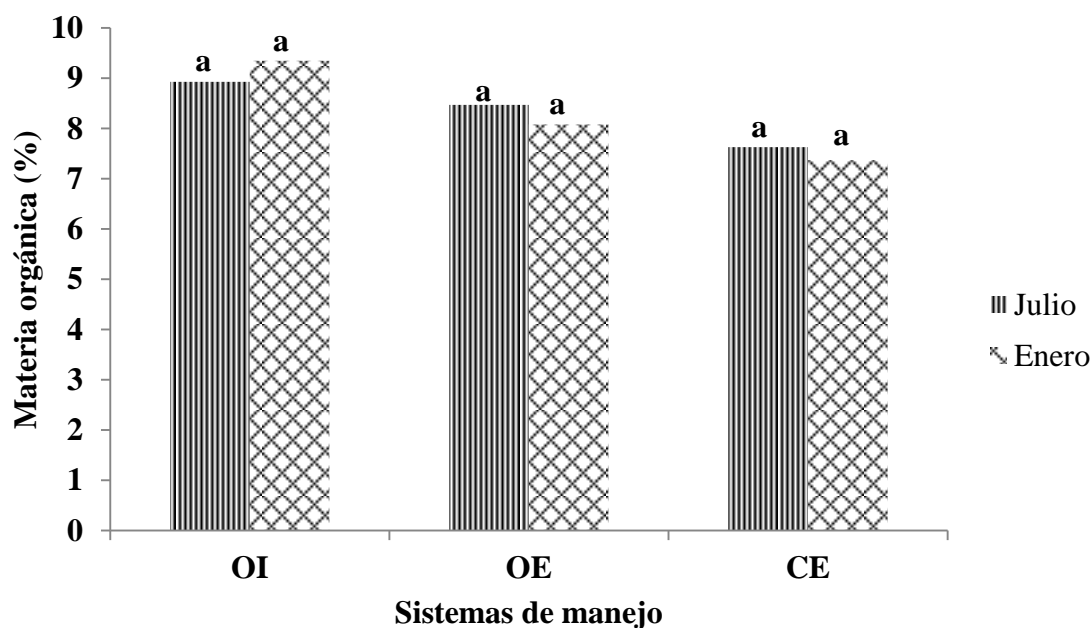


Figura 2. Materia orgánica del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.

Los valores registrados oscilan entre 7,37 y 9,35 % (anexo 1), son clasificados según Fassbender (1987) como altos, quien establece ésta categoría cuando los porcentajes de materia orgánica del suelo sobrepasan el 5% del volumen total del mismo.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Centeno y Herrera (2005), quienes encontraron valores de materia orgánica entre 8 y 9 % en suelos manejados bajo sistema orgánicos y con distintas especies de sombras; igualmente Paz y Sánchez (2007), registraron valores similares en suelos de origen volcánico y bajo diferentes tipos de sombras.

Estos niveles altos de materia orgánica es una condición particular de los suelos Andisoles (Cardona y Sadeghian, 2005), (Arnalds y Stahr, 2004).

La tendencia de disminuir en el sistema convencional extensivo se debe a la menor cantidad de materia orgánica que se incorpora en éste sistema, contrario a lo que ocurre en los sistemas orgánicos intensivo y extensivo, que aportan materia orgánica a través de la hojarasca de los árboles de sombra y del cafeto, más las enmiendas al suelo en forma de pulpa de café y gallinaza.

Este comportamiento es reportado por Núñez (1985); Cairo y Quintero (1980), Gliessman (2002), quienes mencionan que los altos porcentajes de materia orgánica en los suelos se relacionan con la cantidad añadida de residuos frescos aportada por los árboles de sombra, siendo el aporte principal el que corresponde a la parte aérea, en este sentido los árboles leguminosos se caracterizan por su gran aporte de biomasa vegetal en forma de hojarasca (Henin, 1972).

4.1.2 Nitrógeno total (%)

El nitrógeno es el elemento que el cafeto requiere en mayor proporción para lograr su normal desarrollo (Hernández, 1989), forma parte de las moléculas de proteínas y de otros compuestos orgánicos esenciales como las enzimas, coenzimas, vitaminas, ácidos nucleico, es parte de la clorofila y de los citocromos (Carvajal, 1984), (Fuentes, 1996).

El análisis estadístico no indica diferencias significativas entre los tratamientos (DMS julio 0,17 y DMS enero 0,15) sin embargo, la figura 3 indica una tendencia de que los contenidos de nitrógeno total del suelo disminuyan en el sistema convencional extensivo, registrándose el nivel más alto en el orgánico intensivo (0,53 %) y 0,36 % en convencional extensivo (anexo 2).

Porras (2006), encontró la misma tendencia, siendo el mayor valor registrado de 0,57 % en un sistema agroforestales con café orgánico y de 0,29 % bajo un sistema convencional; igualmente George (2006), reportó valores similares en sistemas manejados orgánica y convencionalmente.

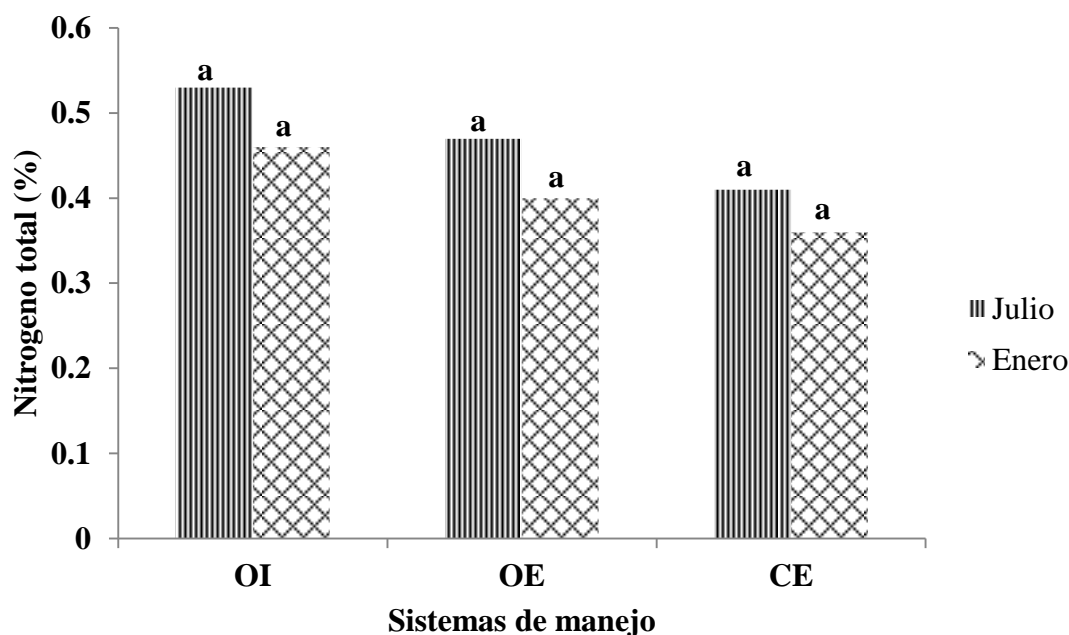


Figura 3. Nitrógeno total del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.

Según los criterios de clasificación de LABSA-UNA (2011), estos valores son considerados como altos (mayores de 0.15 %), y se ubican según Fassbender (1984), dentro del rango de concentraciones para suelos tropicales (0,02% - 2%).

Igual que en la variable materia orgánica del suelo, existe una tendencia de aumento en los contenidos de nitrógeno total en aquellos sistemas en los cuales existe un mayor aporte de biomasa; hecho que ocurre en los dos sistemas manejados orgánicamente.

Esto es debido a los aportes que reciben como parte de las enmiendas, hojas, raíces y tallos provenientes de los árboles de sombra y los cafetos y se constituyen en la mayor parte de los materiales orgánicos aportados al suelo.

Ortega (1987), plantea que la variabilidad del nitrógeno en el suelo depende de la aportación de materia orgánica, y según Hernández y Rayo (2007), los sistemas cafetaleros bajo sombra de especies *Inga laurina* y *Samanea saman* manejados con insumos orgánicos, incrementan los niveles de nitrógeno con respecto a los sistemas a plena exposición solar.

4.1.3 Capacidad de intercambio catiónico [cmol (+) kg⁻¹]

Según los análisis realizados en LABSA-UNA (2011), estos suelos presentan alta capacidad de intercambio catiónico, la que oscila en el rango de 35 a 43 cmol (+) kg⁻¹ de suelo (anexo 3). De acuerdo con el análisis de los datos, no se establecen diferencias estadísticas por influencia de los sistemas de manejo (figura 4).

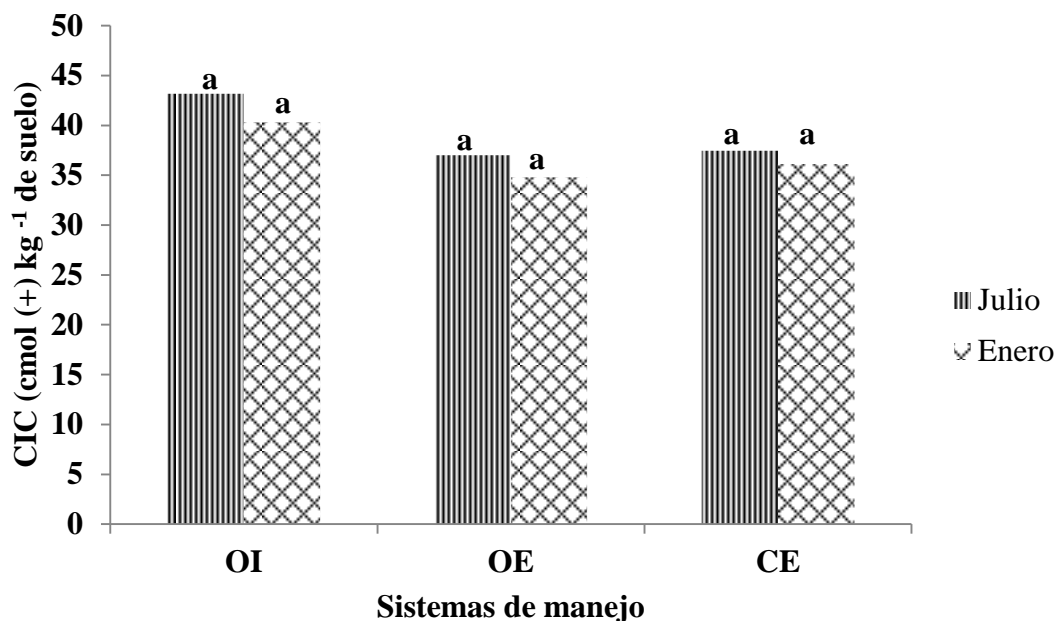


Figura 4. Capacidad de intercambio catiónico por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.

Estos resultados fueron similares a los reportados por Centeno y Herrera 2005, quienes obtuvieron valores entre 34 y 46 meq/100 gramos de suelo [cmol (+) kg⁻¹] evidenciando la influencia del cultivo asociado y el efecto que tienen los residuos que estos generan sobre la fertilidad del suelo.

Kass (1998), expresa que los sistemas manejados bajo sombra, son una fuente de materia orgánica que permite un incremento de la CIC en relación a otros sistemas de manejo. Esta conducta es debido a que la materia orgánica posee cargas negativas que confieren la capacidad de retención de grandes cantidades de cationes (Labrador, 1996).

Si la capacidad de intercambio catiónico se refiere a la capacidad que tiene un suelo de intercambiar sus cationes desde la solución del suelo al complejo de intercambio y

viceversa (Fuentes, 1999) y considerando el aporte de elemento base producto de la mineralización de la materia orgánica, la CIC es considerada como normal bajo estas condiciones químicas de suelo.

La alta CIC que presenta este suelo, es justificada por Bertsch (1987), quien señala que los valores de CIC en los suelos oscilan en el rangos de 5 - 50 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, siendo 50 el valor más alto, generalmente presente en suelos con gran contenidos de arcillas y alta capacidad de retención de agua, condición que según Kass (1998), es normal en suelos Andisoles por la presencia de arcillas alófana que confiere alta capacidad de intercambio de cationes.

4.2 Fertilidad física del suelo

La fertilidad física del suelo es la capacidad de un suelo de proveer las condiciones físicas necesarias para el soporte y productividad de los cultivos sin detrimento de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren (Abbott y Murphy, 2007), y que al interrelacionarse, permiten alcanzar una determinada productividad del suelo y su mantenimiento (Cairo, 1995).

4.2.1 Porosidad del suelo (%)

El espacio poroso de un suelo es la parte del mismo que en su estado natural está ocupado por aire y/o agua. El volumen depende mucho de la disposición de las partículas sólidas, del contenido de materia orgánica, tipo e intensidad de cultivos y del manejo del suelo (Cairo, 1995), (Zamorano, 2002).

Los valores de porosidad registrados se presentan en la figura 5 y son clasificados por Cairo (1995) como muy altos, ya que sobrepasan el 65% del espacio vacío; sin embargo, no se establecen efectos significativos de los sistemas de manejo sobre ésta propiedad (anexo 4).

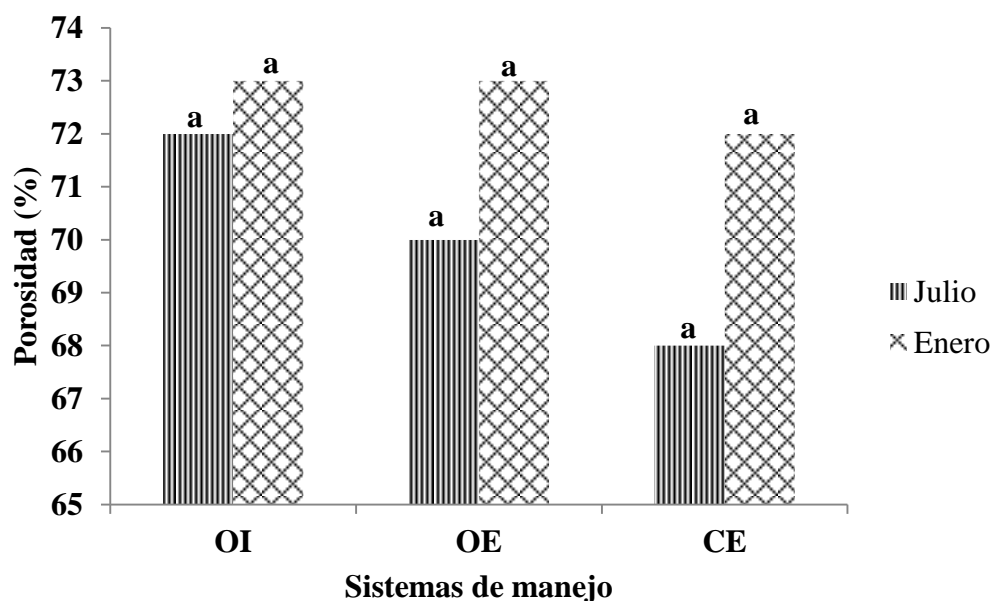


Figura 5. Porosidad del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.

La figura 5 muestra que los valores de porosidad tienen una tendencia de ser mayores en los sistemas manejados orgánicamente, debido a que la materia orgánica y la actividad biológica, (macro y micro) tienen una relación directa con esta propiedad (Labrador, 1996).

Estos resultados concuerdan con los reportados por Cardona y Sadeghian (2005), quienes encontraron mayores valores de porosidad (65 y 67%) en suelos manejados orgánicamente, demostrando que al aumentar el contenido de materia orgánica, el volumen del suelo es mayor debido a un aumento en el número de poros.

La porosidad es determinante para que se manifiesten favorablemente condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, que permiten un buen crecimiento y desarrollo de los cultivos, así lo explican Cairo y Quintero (1980), Painedy Wild (1992), quienes señalan que suelos con altos valores de porosidad, favorecen la aireación, conservación de la humedad, el intercambio entre el cultivo y el suelo, así como el crecimiento de raíces y el buen desarrollo de la vida edáfica.

4.2.2 Retención de humedad (%)

Fuentes (1996), define la retención de humedad como la capacidad que tienen los suelos de poder absorber agua a un ritmo adecuado que permite el crecimiento normal de las plantas.

La retención de agua del suelo depende de la textura, estructura, porosidad y principalmente del contenido de materia orgánica (Labrador, 1996), (Fuentes, 1999), aspecto importante dado que ésta puede retener cerca de 20 veces su peso en agua (FAO, 1994).

Gliessman (2002), indica que cuando se incrementa los contenidos de materia orgánica en el suelo, el agua es atraída con mayor fuerza y que su intensidad está determinada por el tamaño de las partículas y los contenidos de materia orgánica del suelo.

Las variaciones que se produjeron en la retención de humedad se muestran en las figura 6, y al igual que las variables anteriores, la tendencia es a la disminución en el sistema manejado convencionalmente (anexo 5).

De los tres sistemas, aquellos que son manejados orgánicamente presentaron un ligero incremento en la capacidad de retención, aunque sin diferencias estadísticas, comportamiento atribuido a los contenidos de materia orgánica y a la sombra de los árboles.

Este comportamiento es respaldado por Guharay *et al.*, (2000), quien indican que la sombra de los árboles y la hojarasca protegen los suelos de altas temperaturas y cambios bruscos en la humedad del suelo.

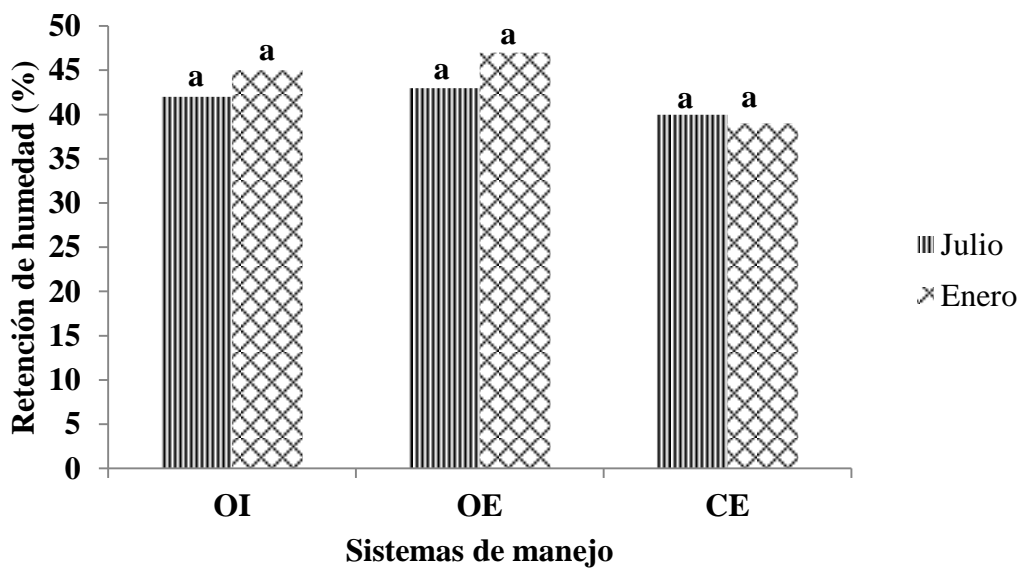


Figura 6. Retención de humedad del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010.

Los registros oscilaron entre 39 y 47 %, valores considerados por Cairo (1995), como de mediana capacidad para el convencional extensivo y de alta capacidad de retención de agua para los sistemas orgánicos.

Esto se atribuye al contenido de materia orgánica existente en estos suelos y a los residuos vegetales aportados por las especies de sombra en los sistemas orgánicos, que permiten regular la temperatura, disminuir las pérdidas de agua por evaporación y aumentar la porosidad del suelo.

Paz y Sánchez (2007) encontraron valores mayores de retención de humedad en suelos manejados orgánicamente y con sombra. Coincidentemente estos resultados son reportados por Cardona y Sadeghian (2005), Hernández y Rayo (2007), quienes encontraron que suelos con altos contenidos de materia orgánica permiten una mayor capacidad de retención de agua, demostrando con esto que la cantidad de agua almacenada en los suelos, es condicionada por los contenidos de materia orgánica.

Los suelos originados a partir de ceniza volcánica dan origen a suelos con alta fertilidad química y gran retención hídrica (Labrador, 1996), lo que se debe a la alta acumulación de materia orgánica en su superficie, debido a que las alófanos presentes adsorben

fuertemente las sustancias orgánicas, limitando su degradación (Unigarro, 2005). La acumulación de hojarasca favorece positivamente la retención de humedad. Quiroga *et al.*, (2005), señalan que la retención de humedad depende principalmente del tipo de suelo, del sistema de manejo y el régimen pluviométrico.

Cardona y Sadeghian (2005), indican que los suelos que albergan cafetales con sombra poseen mejores condiciones de retención de humedad, porosidad, estabilidad y permeabilidad que aquellos suelos con cultivos a libre exposición solar.

4.3 Fertilidad biológica del suelo

La fertilidad biológica del suelo es definida como la capacidad que poseen los organismos que habitan en él de contribuir con los requerimientos nutricionales de los cultivos para su producción, manteniendo los procesos biológicos que contribuyen positivamente en el estado físico y químico del suelo (Abbott y Murphy, 2007).

4.3.1 Macrofauna del suelo

En relación directa con la transformación de las propiedades del suelo, se puede mencionar a la macrofauna como el componente edáfico que actúa como micro transformador del ecosistema y contribuye, de forma eficiente, en el mejoramiento de la aireación, la porosidad, la infiltración del agua y en un mayor aporte de fuentes nutritivas (Labrador, 1996).

La fauna del suelo está integrada principalmente por invertebrados, los que representan aproximadamente el 15% de la biomasa del suelo, siendo los anélidos y artrópodos uno de los grupos más importantes, destacándose arañas, colémbolos, coleópteros, himenópteros, dípteros y quilópodos (Anderson e Ingram 1993).

Según Altieri, (1999), la macrofauna del suelo es una parte integral de cada sistema y su abundancia y diversidad ha sido sugerida como un indicador de estatus funcional, relacionada con el tipo, diversidad, estructura y el manejo del cultivo; en general la biodiversidad animal depende de la diversidad de la vegetación y de la intensidad del manejo.

La tabla 5, muestra los índices de Shannon-Wiener por tratamientos y épocas de muestreo. Se observa que la diversidad de la macrofauna del suelo es mayor en los sistemas que reciben abonos orgánicos y que son manejados agroforestalmente.

Esto coincide con lo reportado por George (2006), quien encontró mayor número de especies, géneros y familias en fincas manejadas orgánicamente, en comparación con las fincas bajo manejo convencional. En un estudio realizado en Cuba Cabrera *et al.*, 2011, registró mayor riqueza y abundancia de macroorganismos en suelos con abundante cobertura que en suelos con poca cobertura.

Estos mismos resultados fueron encontrados en sistemas agroforestales con café por Sánchez *et al.*, (2005), citado por Porras (2006) en un estudio realizado en Costa Rica, quienes encontraron mayores individuos en parcelas orgánicas comparado con sistemas convencionales. Al registrar menor cantidad de individuos Sánchez *et al.*, (2005) concluyeron que las áreas con mayor cobertura de especies vegetales manifiestan mayor diversidad en la macrofauna del suelo.

Tabla 5. Efecto de tres sistemas de manejo sobre la macrofauna del suelo por época y sistema de manejo según el índice de Shannon-Wiener

Tratamiento	Época de muestreo			
	Mayo	Julio	Octubre	Enero
Orgánico intensivo	1,011	1,836	1,943	1,765
Orgánico extensivo	1,055	2,021	1,803	1,333
Convencional extensivo	1,000	1,759	1,748	1,173

En el anexo 6 se muestran los grupos de macrofauna edáfica encontrada en los tres sistemas de manejo en café, incluyendo nombre común, especie y orden. El grupo con mayor número de especies estimadas fueron los escarabajos, del orden coleópteros teniendo el rol funcional en el suelo de rizófagos, depredadores y detritívoros, con su máxima representación en los sistemas que están siendo manejados orgánicamente, seguido del orden Haplotaxida representado por las lombrices geófagos, que ingieren suelo y se alimentan de materia orgánica a diferentes niveles de humificación.

Las poblaciones de la macrofauna en los suelos varían en el espacio y en el tiempo, pudiendo cambiar según sea la disponibilidad de nutrientes, condiciones del ambiente y las especies vegetales involucradas (USDA, 1999).

Además los niveles superiores en los componentes de la fertilidad física y química, principalmente de materia orgánica, permiten este comportamiento. Así lo reporta Abbott y Murphy (2007), indicando que la materia orgánica permite incrementar o disminuir la fauna del suelo en función de las cantidades y la calidad de la misma.

La fauna edáfica forma parte de las cadenas y redes tróficas que varían en complejidad de acuerdo con las condiciones bióticas y abióticas del suelo como el tamaño de agregados de las partículas, la humedad del suelo, concentraciones de oxígeno, variaciones climáticas (Jiménez *et al.*, 2003), estado de desarrollo, grado de alteración del ecosistema y contenidos de materia orgánica (Labrador, 1996).

La mayoría de los organismos del suelo pertenece a la cadena de los detritívoros involucrados en la descomposición de la materia orgánica, desempeñando un importante papel en la fertilidad y estabilidad del suelo; otros grupos son depredadores, omnívoros fitófagos, rizófagos, geófagos, y su principal función es mantener el equilibrio de las poblaciones y del medio edáfico en general (Coleman, 2004).

Las plantas y los desechos orgánicos proveen los hábitats y los alimentos para la macrofauna, y el adecuado contenido de materia orgánica favorece no solo las propiedades físico-químicas, sino también proporciona una fuente energética que estimula la actividad de los invertebrados del suelo.

La cobertura arbórea en el ordenamiento de los ecosistemas, es de suma importancia, pues garantiza la entrada continua y abundante de material orgánico vegetal y un microambiente más favorable para el establecimiento de la macrofauna del suelo (Brown, 2001).

4.4 Rendimiento de café oro (kg ha⁻¹)

El rendimiento es la expresión del potencial genético de la variedad, más la combinación de factores ambientales, edad del cultivo, comportamiento bienal que hace que un año se produzca más y otro menos y el manejo que puede ocurrir en el sistema productivo.

En nuestro país la producción de café no es sostenida en términos de rendimiento; en cada ciclo de producción éstos disminuyen o aumentan debido a los factores antes mencionados.

La figura 7 muestra el comportamiento de la producción en el tiempo y se presenta de manera similar en los tres sistemas, con aumentos y disminuciones en los ciclos agrícolas.

El análisis de varianza muestra que solo en el primer ciclo agrícola existen diferencias significativas, con una probabilidad de 0,047 y una DMS de 200. La mejor categoría la presenta el sistema convencional extensivo con un rendimiento de 305 kg ha⁻¹, seguido en una misma categoría estadística por el sistema orgánico intensivo con 79 kg ha⁻¹ y el orgánico extensivo con 70 kg ha⁻¹ de café oro.

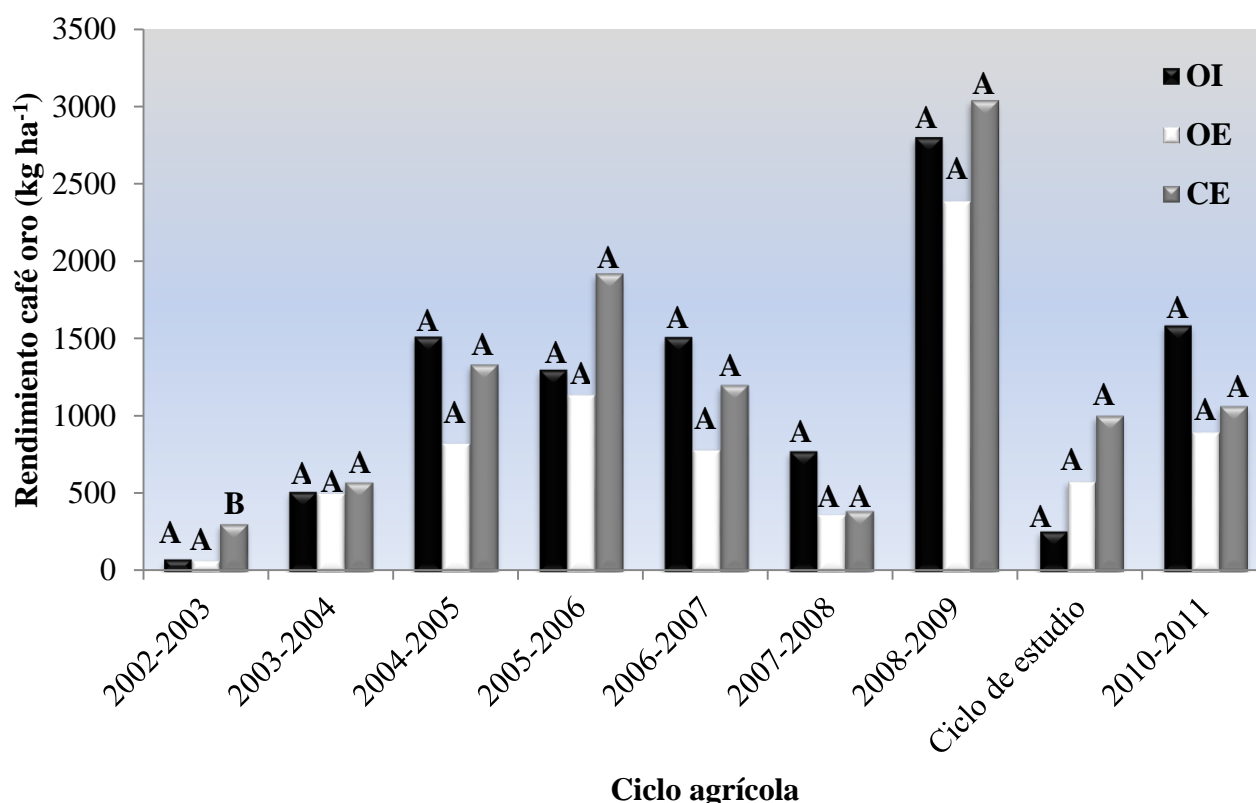


Figura 7. Rendimiento de café oro por ciclo agrícola y sistema de manejo, Masatepe, Masaya 2002-2011.

El comportamiento en el primer ciclo se podría atribuir a la disponibilidad de nutrientes de los portadores sintéticos, los cuales pueden ser absorbidos por las plantas de café de

forma inmediata cuando estos encuentran condiciones de humedad adecuada en el suelo, como lo reporta Fischersworing y RoBKamp (2001).

Durante este ciclo agrícola la cantidad de nutrientes provenientes de la hojarasca de los árboles y las enmiendas al suelo, no proporcionan la cantidad de elementos esenciales suficientes como para igualar los rendimientos del sistema convencional.

El aumento continuo en los primeros ciclos agrícolas se puede atribuir a que las plantas están en pleno crecimiento y las cosechas aumentan en la medida que avanza la edad del cultivo. Para el caso del descenso de los rendimientos, esto es atribuido al comportamiento de las condiciones ambientales cambiantes y fisiológicas del café, principalmente a las precipitaciones y al comportamiento bienal del cultivo.

Los rendimientos en los ciclos agrícolas 2003-2004, 2005-2006, 2008-2009 y 2009-2010 fueron mayores en el sistema convencional extensivo.

Muschler (1999), indica que los cafetales a plena exposición solar tienen mayor producción y rápido crecimiento siempre y cuando tengan buenas condiciones de altitud y temperaturas.

Estas diferencias en la productividad del café entre los sistemas de manejo fueron reportadas por Cardoza y Jiménez (2007), donde la producción convencional fue mayor que en los sistemas orgánicos, igual lo reporta Merlo (2007), en un estudio realizado en Costa Rica registrando mayores rendimientos en fincas manejadas convencionalmente en comparación a fincas con manejo orgánico.

Al analizar los ciclos agrícolas 2004-2005, 2006-2007, 2007-2008, 2010-2011 los rendimientos fueron mayores en el sistema orgánico intensivo, ubicándose en una posición intermedia el sistema orgánico extensivo.

Este comportamiento se debe a las precipitaciones ocurridas y su distribución en cada ciclo agrícola, las cuales condicionan la floración oportuna de las plantas y su fructificación, además propician la mineralización de la materia orgánica y disponibilidad de nutrientes; todo esto sumado a una mayor contribución de biomasa en

forma de hojarasca y del manejo de la poda de las especies de sombra y su aporte como fijadores de nitrógeno.

Los agroecosistemas de café con diversidad vegetal, son por lo general, menos productivos pero ciertamente más estables y sostenibles que los monocultivos, por el rol benéfico de los árboles de sombra para conservar la materia orgánica, pues ésta influye sustancialmente en la fertilidad biológica, química y física del suelo; de allí la importancia de implementar prácticas que favorezcan su conservación y que incrementen la eficiencia de los procesos como la fijación biológica de nitrógeno y la simbiosis micorrítica para reducir el uso de fertilizantes y otros agroquímicos (Vaast y Snoeck 1999; citado por Merlo, 2007), (Muschler, 1999), (Fischersworing y RoBkamp 2001).

4.5 Rendimiento acumulado de café oro (kg ha^{-1})

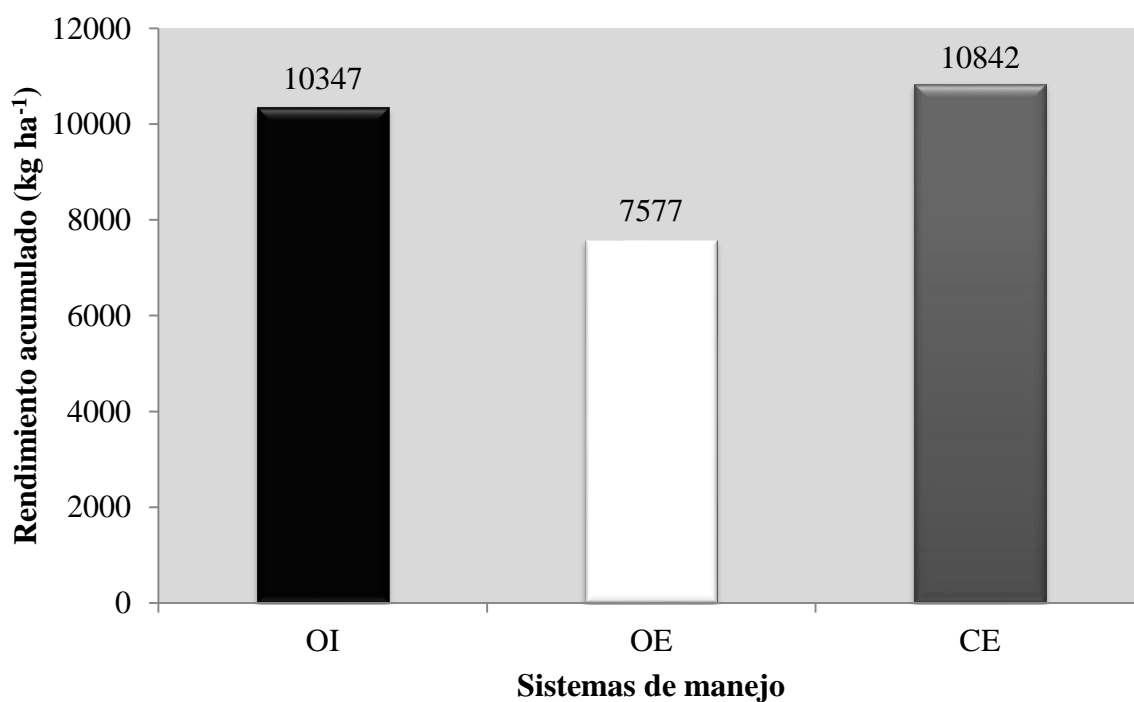


Figura 8. Rendimiento acumulado de café oro ciclo agrícola 2002-2003 a 2010-2011.

La figura 8 muestra el rendimiento acumulado de café expresado en kilogramo oro por hectárea desde el primer ciclo de cosecha 2002-2003, hasta el ciclo agrícola 2010-2011.

Se observa que el sistema convencional extensivo presentó el mayor rendimiento acumulado seguido por el sistema orgánico intensivo. Según Fassbender (1987), en términos generales los rendimientos de los sistemas orgánicos podrían ser entre 10 y 20 % menores que los de un sistema convencional, sin embargo, nuestro análisis refleja que la diferencia entre el sistema manejado convencionalmente y el orgánico intensivo es de 495 kg oro ha⁻¹ equivalente a 4,57 %. Esta mínima diferencia generalmente es aceptada porque la producción es más sostenible y con menos efectos negativos sobre el ambiente (Gliessman, 2002).

Este margen mínimo de diferencia nos permite afirmar que los sistemas manejados con sombra e insumos orgánicos nos permiten proyectar nuestros rendimientos de forma sostenible, lo que se traduce en la conservación de los recursos naturales, aumento de la diversidad y mejora en los ingresos económicos al reducir los costos de fertilizantes sintéticos y la comercialización y uso de los subproductos del sistema como son combustible (leña), postes, estacas y madera.

V. CONCLUSIONES

No se registran cambios significativos en los componentes de la fertilidad física (porosidad y retención de humedad) y química (materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico), pero si una tendencia en el sistema convencional extensivo a manifestar una menor fertilidad del suelo.

Se registró mayor diversidad de macrofauna en los sistemas manejados de forma orgánica por efecto de los mayores niveles de materia orgánica del suelo.

El rendimiento fue estadísticamente diferente únicamente en el primer ciclo agrícola destacándose el sistema convencional extensivo con 305 kg ha^{-1} de café oro.

Se registró un comportamiento alterno de mayor rendimiento entre el sistema orgánico intensivo y el convencional extensivo.

El rendimiento acumulado en el sistema orgánico intensivo en los nueve ciclos agrícola fue superado escasamente en un 4.57 % por el sistema convencional extensivo, lo que demuestra que este tipo de manejo permiten proyectar los rendimientos de manera sostenible.

VI. RECOMENDACIONES

Establecer sistemas cafetaleros con enfoque orgánico intensivo y con especies de árboles fijadores de nitrógeno.

Estudiar el efecto de la aplicación de los abonos orgánicos y sintéticos sobre otros componentes de la fertilidad física (densidad aparente, densidad real, infiltración de agua), químicas (C/N, pH, Carbono orgánico, P, K, Ca, Mg y micronutrientes) y biológica (microorganismos), para conocer su comportamiento y el efecto sobre el suelo y el cultivo.

VII. LITERATURA CITADA

- Abbott, LK; Murphy, DV. 2007. Soil biological fertility a key to sustainable land use in agricultura. Ed. Springer. Dordrecht. The Netherlands. 264 p.
- Altieri, MA. 1999. Agroecology the science of sustainable agriculture. westview Process, Boulder. 257 p.
- Alvarado, M; Rojas, G. 1994. El cultivo y beneficiado del café. San José, CR. 145 p.
- Anderson, JM; Ingram, JS. 1993. Tropical soil biology and fertility. A hand book of methods. 2 ed. CAB International. Wallingford, United Kingdom. 221 p.
- Anon. 1999. Enciclopedia de la agricultura y ganadería. Edición océano/centrun. Barcelona, ES. 1023 p.
- Arnalds, O; Stahr, K. 2004. Volcanic soil resources: occurrence, development, and properties. Catena, CO. 56 p.
- Baylon, M; Pizzi, W. 1994. Variedades de café en Nicaragua. Jardín Botánico. Masatepe, Masaya, NI. 14 p.
- Blanco, NM. 1998. Deficiencias nutricionales en café. Managua, NI. 20 p.
- Bertsch, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad delos suelos. San José, CR. 120 p.
- Bolaños, M. 2005. Ensayos de sistemas de café. La calidad del café durante los primeros años del ensayo ciclo cafetalero 2004/2005. San José, CR. 54 p.
- Brown, G. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Acta Zoológica Mexicana. MX.
- Cabrera, G; Robaina, N; D. Ponce de León. 2011. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. (en línea). Consultado 25 may. 2012. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942011000300007&script=sci_arttext
- Cairo, P. 1995. La fertilidad física de suelo y la agricultura orgánica en el trópico. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 228 p.
- Cairo, PG; Quintero. 1980. Suelos. Ed. Pueblo y educación. 2 reimp. La Habana, CU. 367 p.
- Cardona, AC; Sadeghian KH. 2005. Caracterización de la fertilidad del suelo en monocultivo de café (*Coffea arabica* L) y bajo sombrío de guamo (*Inga sp*). (en línea). Consultado 25 feb. 2012. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3049/4602>

- Cardoza, OM; Jiménez, ME. 2007. Evaluación de rendimiento del grano de café (*Coffea arabica* L.) bajo la influencia de diferentes manejos agroforestales en Masatepe. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 61 p.
- Carvajal, JF. 1984. Cafeto; cultivo y fertilización, Instituto de la potasa. Berna SI. 254 p
- Centeno, RE; Herrera, H. 2005. Caracterización biofísica y suelos de los sistemas cafetaleros en la zona baja húmeda de Matagalpa. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 79 p.
- CETREX (Centro de Trámites de Exportaciones). 2011. Estadísticas de café exportaciones (en línea). Consultado 26 feb. 2012. Disponible en <http://cetrex.gob.ni/website/servicios/cafe/cafe.jsp>
- Coleman, DC. 2004. Fundamentals of Ecology 2nd ed. USA. Elsevier, academic press. 386 p.
- Cordero, J; Boshier, DH. 2003. Árboles de Centro América. Un Manual para el extensionista. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza OFI/CATIE. Turrialba, San José, CR. 1077 p.
- Fassbender, HW. 1987. Modelos edafológicos de sistema agroforestales. 2 ed. San José, CR. 484 p.
- Fassbender, HW. 1984. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura, 4 reimp. San José, CR. 398 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1994. Erosión de suelos en América Latina. (en línea). Consultado 19 may. 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>
- Fischersworing, H; RoBKamp, R. 2001. Guía para la caficultura ecológica. 1 ed. Alemania. 149 p.
- Fuentes, JL. 1999. El suelo y los fertilizantes. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. 5 ed. Mundi-prensa. Madrid, ES. 352 p.
- Fuentes, JL. 1996. El suelo y los fertilizantes. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. 4 ed. Mundi-prensa. Madrid, ES. 327 p.
- García, M. 2003. Producción de semillas forestal de especies forrajeras enfatizados en sistemas silvopastoriles. Dirección Fomento Forestal. INAFOR. Managua NI. 37 p.
- George, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. San José, CR. (en línea). Consultado 25 may. 2012. Disponible en <http://201.207.189.75/repdoc/A0834e/A0834e.pdf>

- Gliessman, SR. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, San José, CR. 359 p.
- Google Earth 2011. Programa informático versión 6.2
- Google imágenes. 2011. Foto mapa físico de Nicaragua. (en línea). Consultado 06 nov. 2011. Disponible en http://www.google.com.ni/imgres?q=mapa+fisico+de+nicaragua&num=10&hl=es&sa=X&biw=1228&bih=581&tbm=isch&tbnid=zBwgAJMiLhFQLM:&imgrefurl=http://www.mundolatino.com/nicaragua/&docid=O81N_7q49zU6vM&imgurl=http://www.mundolatino.com/nicaragua/i/nic-map1800.jpg&w=1800&h=1500&ei=XvQfUPeBBann0QHrvoDYBQ&zoom=1&iact=rc&dur=372&sig=110738031701299579483&page=2&tbnh=122&tbnw=146&start=10&ndsp=28&ved=1t:429,r:8,s:10,i:166&tx=45&ty=55
- Gómez, GR; Guerrero, GW. 2007. Efecto de diferentes niveles de insumos y tipos de sombra sobre el comportamiento de las principales plagas del cultivo del café, ciclo 2006-2007. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 62 p.
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D; Staver, C. 2000. Manejo integrado de plagas del cultivo del café. Managua, NI. 50 p.
- Guharay, F; Monterroso, D; Staver, C. 1999. Designing pest-suppressive multi-strata perennial crop systems. In: Multi-strata agroforestry systems with perennial crops. Proceedings; International symposium on Multi-strata agroforestry systems with perennial crops. CATIE, Turrialba, CR. 84 p.
- Haggar, J; Staver, CH. 2001. Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café. Estudio de interacciones entre plagas, fertilidad del suelo y árboles de sombra. Agroforestería en las Américas. 51 p.
- Henin, S. 1972. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Mundi-prensa. Madrid, ES. 245 p.
- Hernández, GR. 1989. Nutrición mineral. Facultad de ciencias forestales. Mérida. ES. 81 p.
- Hernández, MR; Rayo, 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 pacífico sur de Nicaragua. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 56 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2004. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, CR. 70 p.
- IHCAFE. Instituto Hondureño del Café. (s.f). Variedades y Mejoramiento genético del café. Tegucigalpa, HN. 5 p.

- Imbach, AC; Fassbender, HW; Borel, R; Beer, J; Bonnemann, A. 1989. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao* L) with laurel (*Cordia alliodora*) and cacao with poro (*Erythrina pappiana*) in Costa Rica. IV. Water balances, nutrient inputs and leaching. Agroforestry Systems. 267 p.
- Jiménez, JJ; Decaens, T; Thomas, RJ; Lavelle, P. 2003. La macrofauna del suelo. Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia. Ed, Jiménez. Bogotá, CO. 444 p.
- Kass, CL. 1998. Fertilidad de suelos. San José, CR. 277 p.
- Labrador, MJ. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Mundi-prensa. Madrid, ES. 174 p.
- LABSA-UNA. (Laboratorio de Suelo y Agua), (Universidad Nacional Agraria). 2011. Análisis físico, químico y biológico del suelo. Managua, NI.
- Merlo, CM. 2007. Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* L variedad caturra), el poró (*Erythrina pappiana*) el amarillón (*Terminalia amazónica*) y el Cashá (*Choroleuco neurycydum*) en sistemas agroforestales bajo manejo convencional y orgánicos en Turrialba, Costa Rica. (en línea). Consultado 30 may. 2012. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1306e/A1306e.pdf>
- Muschler, RG. 1999. Sombra o sol para un café sostenible. Un enfoque de una vieja discusión. Boletín PROMECAFE. 81 p.
- Núñez, S. 1985. Fundamentos de la edafología. San José, CR. 2ed. 185 p.
- ORGANICOOP. 2007. Producción cafetalera sigue soportando una fuerte crisis. (en línea). Consultado 04 feb 2012. Disponible en <http://organicop.blogspot.com/2007/09/caf-de-nicaragua.html>
- Ortega, E. 1987. Química de suelos. Patenac AC. Chapingo, MX. 52 p.
- Pained, D; Wild, A. 1992. Estructura del suelo, laboreo y comportamiento mecánico condiciones del suelo y desarrollo de las plantas, según Russell. Madrid, ES. Edición Mundi-prensa. 1045 p.
- Paz, IE; Sánchez PM. 2007. Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades físicas del suelo en la meseta de Popayán. (en línea). Consultado 24 feb. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdf?vid=8&hid=13&sid=2a783d1b-81eb-46f0-a73b-2c7e4b465b77%40sessionmgr107>
- Porras, VC. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelo en el corredor biológico. Turrialba–Jiménez, Costa Rica. (en línea). Consultado 29 mar. 2012. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0831e/A0831e.pdf>

- Quiroga, AR; Funaro, DA; Fernández, R; Noellemeyer, EJ. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. (en línea) consultado 02 jun. 2012. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v23n1/v23n1a09.pdf>
- Salmerón Miranda, F; García Centeno, L. 1994. Fertilidad y fertilización de suelos. Escuela de Suelos y Agua, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Nacional Agraria, Managua, NI. 141 p.
- Unigarro, A. 2005. Evaluación de la calidad de un suelo mediante la determinación de algunas propiedades biológicas, químicas y físicas, en el santuario de flora y fauna galeras, Narino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, CO. 60 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. 82 p.
- Zamorano. 2002. Guía salud de suelos. Manual para el cuidado de la salud de suelos. Universidad de Cornell y Zamorano. Tegucigalpa, HN. 162 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Materia orgánica del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010

Tratamientos	Julio 2009	Enero 2010
	Materia orgánica %	
OI	8,93	9,35
OE	8,47	8,05
CE	7,63	7,37
DMS	4,25	3,23

Anexo 2. Nitrógeno total del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010

Tratamientos	Julio 2009	Enero 2010
	Nitrógeno total %	
OI	0,53	0,46
OE	0,47	0,40
CE	0,41	0,36
DMS	0,17	0,15

Anexo 3. Capacidad de intercambio catiónico del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010

Tratamientos	Julio 2009	Enero 2010
	CIC [cmol (+) kg ⁻¹ suelo]	
OI	43,15	40,32
OE	37,00	34,79
CE	37,44	36,11
DMS	07,11	08,43

Anexo 4. Porosidad del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010

Tratamientos	Julio 2009	Enero 2010
	Porosidad %	
OI	72	73
OE	70	73
CE	68	72
DMS	9,81	4,26

Anexo 5. Retención de humedad del suelo por sistemas de manejo, julio 2009 y enero 2010

Tratamientos	Julio 2009	Enero 2010
Retención de humedad %		
OI	42	45
OE	43	47
CE	40	39
DMS	9	13

Anexo 6. Orden y especies de macrofauna del suelo identificado en los tres sistemas de manejo

Orden	Especies	Nombre común
Coleoptera	<i>Passalus sp</i>	Escarabajo
	<i>Lygirus sp</i>	Escarabajo
	<i>Epitragus sp</i>	Escarabajo
	<i>Branchus sp</i>	Escarabajo
	<i>Pasymachus sp</i>	Escarabajo
	<i>Phyllophaga sp</i>	Gallina ciega
	<i>Conoderus sp</i>	Adulto gusano alambre
Haplotaxida	<i>Lumbricus sp</i>	Lombriz de tierra
Homóptera	<i>Diceroprocta sp</i>	Chicharritas
Isópteras	<i>Termitas sp</i>	Termitas
Gasteropoda	Moluscos	Moluscos
	Caracoles	Caracoles
Chilopoda	Miriápodos	Ciempis
Hemíptera	<i>Euchistus sp</i>	Chinches
hymenoptera	<i>Atta cephalotes</i>	Zompopos
	<i>Solenopsis sp</i>	Hormiga roja
	<i>Lasius niger</i>	Hormigas negras
Blattaria	Blattodae blattidae	Cucarachas
Araneida	Araña sp	Arañas

Anexo 7. Rendimiento de café oro por ciclo agrícola y sistema de manejo, Masatepe, Masaya 2002-2011

Tratamientos	Ciclo agrícola										Rendimiento acumulado
	2002 2003	2003 2004	2004 2005	2005 2006	2006 2007	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2010 2011		
OI	79	514	1515	1301	1513	775	2801	260	1588	10347	
OE	70	507	829	1143	789	367	2387	584	902	7577	
CE	305	574	1334	1922	1203	391	3041	1004	1066	10842	
DMS	200	622	834	752	1598	922	3113	723	1052	4534	

Anexo 8. Contenido de nutrientes promedio de la pulpa de café y gallinaza (%)

Abono orgánico	Humedad	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe
Pulpa de café	80	90-92	1.5	0.4	3.03	0.25	0.05	150 (ppm)
Gallinaza	Ponedora	75	1.42	1.06	0.47			
	Engorde	74	2.09	1.08	0.88			

Fuente: (Salmerón y García, 1994).



*“Por un Desarrollo Agrario,
Integral y Sostenible”*