



*“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”*

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**MAESTRÍA EN AGROECOLOGÍA Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**FERTILIDAD DEL SUELO  
BAJO PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS Y  
MANEJO CONVENCIONAL EN EL CULTIVO  
DE CAFÉ, NICARAGUA 2009 - 2010**

**AUTOR:**

**Ing. ROBERTO CARLOS LARIOS GONZÁLEZ**

**ASESORES:**

**PhD. FRANCISCO SALMERÓN MIRANDA**

**MSc. LEONARDO GARCÍA CENTENO**

**MANAGUA, NICARAGUA**

**JUNIO, 2014**



*“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”*

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**MAESTRÍA EN AGROECOLOGÍA Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**FERTILIDAD DEL SUELO  
BAJO PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS Y  
MANEJO CONVENCIONAL EN EL CULTIVO  
DE CAFÉ, NICARAGUA 2009 - 2010**

**AUTOR:**

**Ing. ROBERTO CARLOS LARIOS GONZÁLEZ**

**ASESORES:**

**PhD. FRANCISCO SALMERÓN MIRANDA**

**MSc. LEONARDO GARCÍA CENTENO**

**Presentado a la consideración del honorable tribunal  
examinador como requisito final para optar al grado  
académico de Maestro en Ciencias**

**MANAGUA, NICARAGUA  
JUNIO, 2014**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
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 los tratamientos.....	6
3.3 Variedad del cultivo y densidad poblacional.....	7
3.4 Especies de sombra y densidad poblacional.....	8
3.5 Diseño experimental.....	9
3.6 Área de parcelas experimentales.....	9
3.7 Variables evaluadas.....	9
3.8 Muestreo de suelo.....	10
3.9 Análisis estadístico.....	13
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
4.1. Variables evaluadas.....	14
4.1.1 Fertilidad física, química y biológica del suelo.....	14
4.1.2 Fertilidad física del suelo.....	15
4.1.2.1 Densidad aparente del suelo $\text{g cm}^3$ .....	15
4.1.2.2 Porosidad del suelo (%).....	16
4.1.2.3 Retención de humedad del suelo (%).....	17

4.1.3 Fertilidad química del suelo.....	18
4.1.3.1 pH del suelo.....	19
4.1.3.2 Carbono orgánico del suelo (%).....	21
4.1.3.3 Materia orgánica del suelo (%).....	22
4.1.3.4 Nitrógeno total (%).....	22
4.1.3.5 Capacidad de intercambio catiónico (cmol (+) kg <sup>-1</sup> ).....	25
4.1.4 Fertilidad biológica del suelo.....	27
4.1.4.1 Cuantificación de bacterias del suelo.....	27
4.1.4.2 Tipo de bacterias presentes en el suelo.....	29
4.1.4.3 Cuantificación de hongos del suelo.....	31
4.1.4.4 Tipo de hongos presentes en el suelo.....	32
4.1.4.5 Macrofauna del suelo.....	34
4.1.5 Rendimiento acumulado de café oro (kg ha <sup>-1</sup> ).....	40
4.2 Análisis de componentes principales para la fertilidad del suelo....	42
<b>V CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>VI RECOMENDACIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>VII LITERATURA CITADA.....</b>	<b>48</b>
<b>VIII ANEXOS.....</b>	<b>58</b>

## **DEDICATORIA**

A mis hijas Gema Inmaculada y Mónica Alejandra Rubí Raxá por todo su amor, tolerancia y comprensión.

A mi madre Gloria Elena Gonzáles Espinoza, a mi padre Roberto José Larios García, a mis abuelos Clotaldo González y Lidia Espinoza, todos instructores permanentes de mí ser.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios todo poderoso, creador del cielo y la tierra.

A mis padres por darme la vida y en especial a mi madre por ser el cimiento de mi formación.

A mis abuelos, formadores de bien y consejeros permanentes.

A mi asesor el Dr. Francisco Salmerón, por su amistad, consejos y recomendaciones.

A mi asesor el MSc. Leonardo García por sus sugerencias y recomendaciones.

A La Universidad Nacional Agraria, en especial a la Facultad de Agronomía por permitirme ser parte del programa de maestría en agroecología y desarrollo sostenible.

Al pueblo de Suecia, por el financiamiento otorgado para la realización de la fase de campo de esta investigación.

A mis compañeros quienes forman parte de la primera generación de estudiantes y agroecólogos formados en la Universidad Nacional Agraria.

A la Técnico de laboratorio Cornelia Palacios Tinoco, por su valioso apoyo en la fase de trabajo en el laboratorio de física de suelo.

Al técnico Alex Cerrato, por su valioso apoyo en la identificación de la macrofauna del suelo.

A la UNA, CATIE, UNICAFÉ, INTA, por el trabajo interinstitucional que hace posible continuar generando conocimiento a través de los procesos de investigación, formación y extensión.

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Descripción de los tratamientos.....	6
2.	Análisis químico de la pulpa de café, gallinaza y biofermentado utilizado.....	7
3.	Área (m <sup>2</sup> ) de unidades experimentales y parcelas útiles según tratamiento y repetición.....	9
4.	Componentes de la fertilidad físicas del suelo de 0 a 0.3 metros de profundidad según tratamiento y época de muestreo.....	15
5.	Componentes de la fertilidad química del suelo de 0 a 0.3 metros de profundidad según tratamiento y épocas de muestreo.....	19
6.	Cuantificación de bacterias totales según tratamiento y época de muestreo.....	27
7.	Géneros de bacterias identificados por tratamiento y época de muestreo.....	30
8.	Poblaciones de hongos por tratamiento y época de muestreo.....	31
9.	Géneros de hongos identificados por tratamiento y época de muestreo .....	33
10.	Macrofauna del suelo por orden, especies, rol funcional e índice de biodiversidad según tratamiento, julio 2009.....	36
11.	Macrofauna del suelo por orden, especies, rol funcional e índice de biodiversidad según tratamiento, enero 2010.....	37
12.	Porcentaje de humedad por tratamiento y época de muestreo....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Ubicación geográfica del área de estudio.....	4
2.	Precipitaciones en la zona del estudio durante el período de enero 2009, enero 2010.....	5
3.	Nitrógeno total del suelo en función de los tratamientos, julio 2009, enero 2010.....	23
4.	Correlación entre la materia orgánica y nitrógeno total del suelo en todos los tratamientos en época seca y lluviosa.....	24
5.	Rendimiento acumulado de café oro ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), ciclos agrícolas del 2002-2003 al 2009-2010.....	41
6.	Análisis de componentes principales de variables físicas, químicas y biológicas del suelo.....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Descripción de los tratamientos según especies de sombra y nivel de insumos.....	59
2.	Plan de fertilización por tratamiento.....	59
3.	Valores de densidad real del suelo por tratamiento y época de muestreo.....	60
4.	Metodología para determinar algunos componentes de la fertilidad física, química y biológica del suelo.....	60
5.	Relación de la materia orgánica y la densidad aparente del suelo, julio 2009.....	61
6.	Relación de la materia orgánica y la densidad aparente del suelo, enero 2010.....	61
7.	Poblaciones bacterianas (UFC g <sup>-1</sup> de suelo) por tratamiento y época de muestreo.....	62
8.	Poblaciones totales de hongos (UFC g <sup>-1</sup> de suelo) por tratamiento y época de muestreo.....	62
9.	Rendimiento de café oro (kg ha <sup>-1</sup> ) por ciclo agrícola en dos sistemas agroecológicos y un sistema convencional.....	63

## RESUMEN

La implementación de prácticas agroecológicas en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.), es vital para el mantenimiento y aumento de la fertilidad de los suelos y el manejo sostenible del sistema. Este estudio se realizó de junio de 2009 a enero de 2010 en el Jardín Botánico y en el Centro Experimental Campos Azules, en Masatepe, Nicaragua, ubicados entre los 11°54' de latitud norte y 86°09' de longitud oeste. El propósito fue evaluar dos prácticas agroecológicas y un manejo convencional en el cultivo de café sobre la fertilidad física, química y biológica del suelo. Se utilizó un arreglo unifactorial en diseño bloques completo al azar (BCA) con tres repeticiones. El tratamiento agroecológico uno consistió en la aplicación de 2.27 kg de pulpa de café más 1.82 kg de gallinaza por planta y aspersiones mensuales de dos litros de biofermentado con manejo mecánico y selectivo de los árboles de sombra y arvenses. En el segundo tratamiento agroecológico, se aplicó 2.27 kilogramos de pulpa de café por planta con igual manejo de árboles de sombra y arvenses que el agroecológico uno. En ambos tratamientos agroecológicos, las especies arbóreas fueron guaba [*Inga laurina* (Sw.) Willd] y genízaro [*Samanea saman* (Jacq) Merr., J. Wash]. El manejo convencional consistió en la aplicación de 318 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante sintético, aplicando 25% en forma de urea al 46% y el restante 75% a través de la fórmula 12-30-10 y 27-09-18 en tres aplicaciones durante la época lluviosa, así como dos aplicaciones foliares de microelementos y herbicidas para el manejo de arvenses. Las variables fueron densidad aparente, porosidad, retención de agua, materia orgánica, nitrógeno total, carbono orgánico, pH, capacidad de intercambio catiónico, diversidad de macrofauna del suelo, cuantificación de bacterias y hongos. No existen diferencias entre los componentes de la fertilidad física y química del suelo, sin embargo, los sistemas con prácticas agroecológicas registran mayor porosidad y retención de humedad, y menor densidad aparente; así como valores más altos de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico, nitrógeno total, pH e índices de diversidad de macrofauna. No se registra diferencia en las poblaciones de bacterias, pero sí de hongos en el período lluvioso. El rendimiento acumulado de café no difiere pero existe una tendencia en el sistema agroecológico uno al incremento e incluso a superar al manejo convencional. Los resultados sugieren que la implementación de prácticas agroecológicas contribuye de manera sustancial con la fertilidad global del suelo.

**Palabras clave:** agroecología, sostenibilidad, fertilidad del suelo, biodiversidad.

## ABSTRACT

The implementation of agroecological practices in coffee plantations (*Coffea arabica* L.), is critical for the maintenance and enhancement of soil fertility and the sustainable management of the system. The study was conducted from June 2009 to January 2010 at two sites, the Jardín Botánico and the Campos Azules Experimental Centre, in Masatepe, Nicaragua. Both places are located between the coordinates 11°54" north latitude and 86°09" west longitude. The purpose was to evaluate the effect of two agroecological practices and a conventional cultivation management practice on the physical, chemical and biological fertility of the soil in coffee plantations. A univariate arrangement was used in a Randomized Complete Blocks (RCB) design with three replicates. The first agroecological treatment was the application of 2.27 kg of coffee pulp per plant, plus 1.82 kg of chicken manure. Monthly foliar sprays of two liters of bioferment and mechanical and selective management of shadow trees and weeds was performed. The second agroecological treatment consisted of application of 2.27 kilograms of coffee pulp per plant along with weeds and shadow trees management. In both agroecological treatments, the tree species used as shadow were guaba [*Inga laurina* (Sw.) Willd] and genízaro [*Samanea saman* (Jacq) Merr., J. Wash]. The conventional treatment consisted in applying 318 kg ha<sup>-1</sup> of synthetic fertilizer, using 25% in the form of urea (46%) and the remaining at 75% through the 12-30-10 formula and 27-09-18 distributed in three applications during the rainy season, two foliar applications of micronutrients and the use of herbicides to manage weeds. The variables were bulk density, porosity, water retention, organic matter, total nitrogen, organic carbon, pH, cation exchange capacity, soil's macrofauna diversity, quantification of bacteria and fungi. There are no differences between the components of physical and chemical soil fertility; however, systems with agroecological practices showed higher porosity and moisture retention, and lower bulk density; and higher values of organic matter, cation exchange capacity, organic carbon, total nitrogen, pH and macrofauna diversity index. No difference was recorded in bacteria populations, but higher populations of fungi in the conventional management in the rainy season. The cumulative yield of coffee did not differ between the systems evaluated, but there is a trend of increasing each agroecological system and even outperform the conventional management. The results suggest that the implementation of agroecological practices substantially contributes to the overall soil fertility.

**Keywords:** Agroecology, sustainability, soil fertility, biodiversity.

## I. INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.), es uno de los principales rubros de exportación para Nicaragua, cuyo aporte en los últimos 10 ciclos agrícolas ha sido entre 23.8 y 32.2 millones de dólares, lo que representa una contribución al producto interno bruto agrícola de 17.7 y 25.8% (BCN, 2011). Además tiene un impacto social relevante al generar un tercio del empleo rural (MAGFOR, 2012), representando alrededor de trecientos mil empleos directos e indirectos (FUNIDES, 2012).

El café es cultivado bajo diversos sistemas de manejo. Estos sistemas difieren en la intensidad de aplicaciones de insumos agrícolas y tecnologías tales como aplicación de fertilizantes, herbicidas, fungicidas y distancia de siembra. El sistema convencional y el manejo con enfoque agroecológico, se destacan como manejos claramente diferenciados a nivel de la producción cafetalera de Nicaragua.

Los sistemas convencionales son considerados como causantes de la pérdida de la biodiversidad. Altieri (1999), reporta que los sistemas convencionales han ocasionado impactos negativos sobre el ambiente.

Por otro lado, los sistemas con enfoque agroecológico permiten mantener o mejorar en términos cuantitativos los componentes de la fertilidad del suelo. Labrador (2001), plantea que se reconoce nuevamente la importancia del aporte de materiales orgánicos para el mantenimiento y perdurabilidad de los sistemas productivos y que el papel de la materia orgánica en los suelos, al trascender la nutrición vegetal, es insustituible.

Los sistemas de manejo convencional en café son aquellos que consideran el cultivo a plena exposición solar, con aplicaciones de fertilizante sintético dirigidos al suelo y de forma foliar, además, incluye el uso de fungicida y herbicidas (Aguilar *et al.*, 2003).

En este estudio se clasifica arbitrariamente al manejo convencional (C), cuando se aplican fertilizantes sintéticos, distribuyendo el 25% a través de la fórmula 27-09-18, 44% de la

fórmula 12-30-10, 25% en forma de urea al 46% y 6% de cloruro de potasio al 60%. Además se realizan dos aplicaciones foliares en marzo y abril de 25 gramos de Zinc + 30 gramos de Boro. El manejo de las arvenses se hace con el uso del herbicida Glifosato 35.6 SL®.

El sistema de producción agroecológico, es generalmente asociado con un equilibrio ambiental, favoreciendo el mantenimiento y aumento de la biodiversidad y mayor flujo de nutrientes, lo que según Rigby y Caceres (2001), es un planteamiento homólogo de agricultura sostenible.

En este estudio se han definido dos prácticas agroecológicas basadas en la utilización combinada de dos especies de árboles de sombra [*Inga laurina* (Sw.) Willd] y [*Samanea saman* (Jacq) Merr., J. Wash], así como niveles y tipos de enmiendas (pulpa de café y gallinaza) aplicadas al suelo.

Este experimento representa una evaluación de medio término de una investigación interinstitucional proyectada a 20 años; concebido inicialmente para contribuir al debate de las desventajas de la caficultura convencional versus los beneficios de la caficultura amigable con el ambiente (prácticas agroecológicas), utilizando los criterios de sostenibilidad, calidad y rentabilidad, con el objetivo de evaluar interacciones entre especies de sombra y niveles y tipos de insumos para el manejo de plagas y la nutrición en sistemas agroforestales con café (Haggar y Staver, 2001), en doce sistemas con prácticas agroecológicas y dos manejados de forma convencional a plena exposición solar (anexo 1).

En este estudio se seleccionaron tres sistemas: el sistema orgánico intensivo considerado como práctica agroecológica uno, el sistema orgánico extensivo como práctica agroecológica dos y el manejo convencional extensivo clasificado como convencional.

El propósito fue evaluar la influencia de estos tres sistemas en el rendimiento acumulado de café oro y algunos componentes de la fertilidad del suelo, considerando que en estas condiciones de suelo y clima, las prácticas agroecológicas conservan o mejoran la fertilidad del suelo, y el rendimiento del cultivo se manifiesta de forma sostenible.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de prácticas agroecológicas y de manejo convencional sobre la fertilidad física, química y biológica del suelo y el rendimiento en el cultivo de café.

### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar el comportamiento de la densidad aparente, porosidad y retención de humedad en el suelo por efecto de prácticas agroecológicas y manejo convencional.

Comparar el efecto de las prácticas agroecológicas y manejo convencional sobre el contenido de materia orgánica, nitrógeno total, carbono orgánico, valores de pH y la capacidad de intercambio catiónico.

Evaluar el efecto de las prácticas agroecológicas y el manejo convencional sobre la diversidad de la macrofauna y las poblaciones de bacterias y hongos del suelo.

Evaluar el efecto de las prácticas agroecológicas y el manejo convencional sobre el rendimiento acumulado de café.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el Jardín Botánico y en el Centro Experimental Campos Azules (CECA) en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya, Nicaragua, sitios ubicados entre las coordenadas geográficas de 11° 54” de latitud norte y 86° 09” de longitud oeste durante el período de julio del 2009 a enero del 2010.

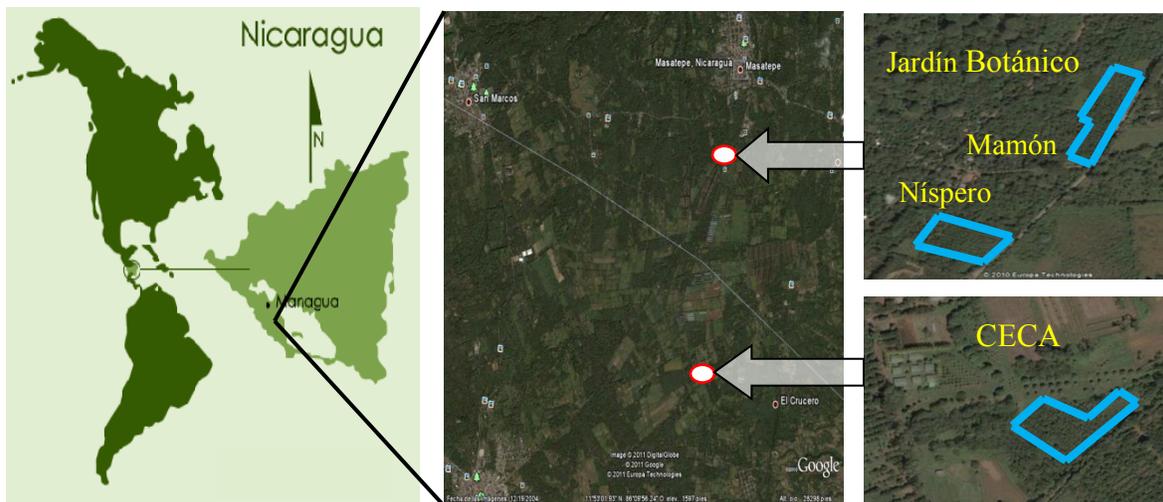


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio  
Fuente: Google Earth (2011)<sup>1</sup>; <http://www.google.com.ni>

La zona está clasificada como baja y seca con un período lluvioso de seis meses, siendo las precipitación promedio de 1 500 mm, temperatura media anual de 24°C y humedad relativa entre 70 y 80% (INETER, 2010). Climáticamente Koppen clasifica la zona como tropical de sabana.

El suelo pertenece a la serie Masatepe y se clasifica taxonómicamente en el orden de los Andisoles, sub orden *Andepts*, gran grupo *Durandeps* y sub grupo *Typic Durandeps* (Catastro, 1971).

<sup>1</sup> Programa informático de Google

Este experimento es parte de un proyecto de investigación proyectado a un plazo de 20 años como parte 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 extinta Unión Nicaragüense de Cafetaleros (UNICAFE) (Haggar y Staver, 2001).

El objetivo principal es estudiar las interacciones entre tipos de sombra, niveles y tipos de insumos para el manejo de plagas y la nutrición de cafetos; así como evaluar el impacto de estos sistemas sobre los ciclos de nutrientes, biodiversidad, calidad del café y la relación beneficio costos.

Este proyecto inició en el año 2000 con el establecimiento de dos parcelas experimentales denominadas Nispero y Mamón, ubicadas en el Centro de Capacitación y Servicios Regional del Pacífico de Nicaragua conocido como Jardín Botánico. Una tercera parcela se estableció al siguiente año (2001), en el Centro Experimental Campos Azules (CECA) del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Luna y López, 2012).

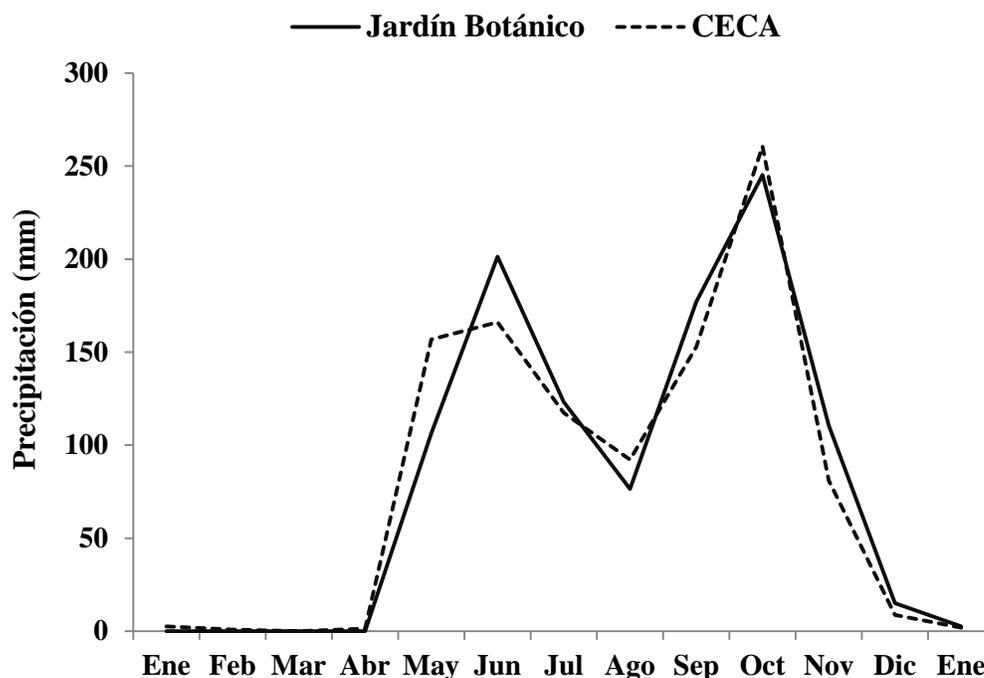


Figura 2. Precipitaciones en la zona del estudio durante el período de enero 2009 a enero 2010  
Fuente: Jardín Botánico (2011), CECA-INTA (2011).

La figura 2 presenta la distribución de las lluvias durante el período de estudio y se registra un acumulado de las precipitaciones de 1 055.3 mm en el Jardín Botánico y 1 087.8 mm en el Centro Experimental Campos Azules.

### 3.2 Descripción de los tratamientos

La tabla 1 describe los tratamientos evaluados basados en tipos de sombra y niveles de enmiendas aplicadas al suelo.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	Clasificación
Orgánico intensivo	<i>Inga laurina</i> + <i>Samanea saman</i> 9 080 kg ha <sup>-1</sup> PC + 7 280 kg ha <sup>-1</sup> G + biofermentado 10 l ha <sup>-1</sup>	Práctica agroecológica uno
Orgánico moderado	<i>Inga laurina</i> + <i>Samanea saman</i> 9 080 kg ha <sup>-1</sup> PC	Práctica agroecológica dos
Convencional moderado	78 kg ha <sup>-1</sup> 27-9-18 + 140 kg ha <sup>-1</sup> 12-30-10 + 80 kg ha <sup>-1</sup> urea+ 20 kg ha <sup>-1</sup> KCl + 25 g de Zn + 30 g B	Convencional

PC: pulpa de café, G: gallinaza, urea: (46 % N), KCl: cloruro de potasio (60% de K<sub>2</sub>O), Zn: zinc, B: boro.

En el tratamiento convencional se maneja al cultivo a plena exposición solar, con aplicaciones en julio de 19.5 gramos por planta (78 kg ha<sup>-1</sup>) de fertilizante mineral 27-09-18 y en septiembre 35 gramos por planta (140 kg ha<sup>-1</sup>) del fertilizante 12-30-10. En octubre se aplicaron 20 gramos por planta de urea al 46% (80 kg ha<sup>-1</sup>) más cinco gramos por planta (20 kg ha<sup>-1</sup>) de KCl. Además se realizan dos aplicaciones foliares en marzo y abril de 25 gramos de Zinc + 30 gramos de Boro (anexo 2). El manejo de las arvenses se hizo mediante el uso del herbicida Glifosato 35.6 SL®.

La práctica agroecológica uno consiste en el uso de las especies de sombra Guaba [*Inga laurina* (Sw.) Willd] y Genízero [*Samanea saman* (Jacq) Merr., J Wash], con aplicaciones de 2.27 kg de pulpa de café por planta (9 080 kg ha<sup>-1</sup>) en el mes de abril más 1.82 kg de gallinaza

por planta (7 280 kg ha<sup>-1</sup>) en agosto y aplicaciones mensuales de dos litro de biofermentado por cada 18 litros de agua (10 l ha<sup>-1</sup>). El biofermentado fue elaborado mezclando en un barril plástico de 200 litros de capacidad, 140 litros de agua, 45.45 kg de estiércol fresco bovino, dos litros de leche, dos litros de melaza más 1.82 kg de ceniza. Las aplicaciones se realizaron a primeras horas de la mañana o por la tarde.

En el caso de la práctica agroecológica dos, el nivel y el tipo de enmienda corresponden a 2.27 kg de pulpa de café por planta aplicada en el mes de abril y se usan las mismas especies de sombra empleadas en la práctica agroecológica uno.

Tabla 2. Análisis químico de la pulpa de café, gallinaza y biofermentado utilizados

Descripción	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	H
	(%)					(ppm)				%
Pulpa de café	3.23	0.68	5.37	1.03	0.75	395.0	74.33	295.0	51.0	14.97
Gallinaza	3.36	2.23	1.89	4.35	2.35	270.0	33.33	410.0	345.0	12.65
Biofermentado	0.04	0.01	0.07	----	----	15.0	----	6.0	5.0	----

Fuente: LABSA-UNA (2009)<sup>2</sup>.

### 3.3 Variedad del cultivo y densidad poblacional

La variedad de café fue Pacas, con una distancia de siembra de dos metros entre surco y 1.25 metros entre planta. Este sistema de siembra define una densidad poblacional igual a 4 000 plantas por hectárea (2 810 plantas mz<sup>-1</sup>).

Ésta variedad se originó de una mutación del Bourbon (PROCAFE, 2012), su fructificación es precoz, presenta un porte bajo de aspecto compacto y cerrado, sus ramas laterales forman ángulos de 45 grados con entrenudos cortos, follaje abundante, sistema radicular bien desarrollado y frutos de color rojo. Se caracteriza por su adaptación a zonas bajas, resistencia a la sequía, viento y radiación solar. Su rendimiento promedio varía de 24 a 55 qq oro por

<sup>2</sup> Análisis químico de enmiendas orgánicas. Proyecto sostenibilidad y sinergismo en café. UNA, INTA, UNICAFE, CATIE.

manzana (1 091 a 2 500 kg oro ha<sup>-1</sup>), y se adapta mejor a altitudes entre 500 y 1 000 metros sobre el nivel del mar, tolerando suelo de baja capacidad de retención de agua (Bolaños, 2005; PROCAFE, 2012).

### **3.4 Especies de sombra y densidad poblacional**

*Inga laurina* (Sw.) Willd (Guaba), pertenece a la familia fabaceae y sub familia mimosoideae, es un árbol de hasta 40 metros de altura (INBio, 2012). Es una especie de rápido crecimiento y su madera es usada para poste, leña, carbón y a veces para la elaboración de muebles. Ésta especie puede ser usada como ornamental pero es ampliamente usada 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, combinación con otras especies y por su adaptabilidad a una amplia variedad de condiciones ecológicas (OFI y CATIE, 2003).

*Samanea saman* (Jacq) Merr., J. Wash (Genízaro), pertenece a la familia fabácea, sub familia mimosaceae. Es un árbol con altura de hasta 30 metros de copa densa, considerado ornamental y como excelente para sombra en cafetales por lo que su regeneración es promovida en sistemas agroforestales, además es considerado como una madera comercial y de uso preferencial en artesanías (Meyrat *et al.*, 2012). Según (OFI y CATIE, 2003), esta especie tiene la ventaja de mantener sus hojas durante el verano, contribuye al reciclaje de nutrientes y su madera es clasificada de alta calidad para varios propósitos así como de proveer leña y carbón. Es una especie que se adapta a variadas condiciones ecológicas.

Las especies de sombra fueron establecidas de manera intercalada en cada hilera con distancia de cuatro metros entre surco y 3.75 metros entre árbol, para una densidad poblacional inicial de 666 plantas por hectáreas. Luego como parte del manejo del cultivo en el año 2005, se realizó un raleo del 50 por ciento de la población total, definiéndose una densidad poblacional final de 333 árboles por hectárea.

### 3.5 Diseño experimental

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

### 3.6 Área de parcelas experimentales

En la tabla 3 se indican las áreas de las unidades experimentales y parcelas útiles de acuerdo a cada réplica.

Tabla 3. Área (m<sup>2</sup>) de unidades experimentales y parcelas útiles según tratamiento y repetición

Tratamiento	Níspero (I)		Mamón (II)		CECA (III)	
	UE	PU	UE	PU	UE	PU
Práctica agroecológica uno	840	300	800	270	680	248
Práctica agroecológica dos	760	300	850	270	680	248
Convencional	500	300	720	225	520	226

UE = Unidad experimental, PU = Parcela útil.

### 3.7 Variables evaluadas

Como componentes de la fertilidad física del suelo, en cada parcela se evaluó la porosidad, densidad aparente y retención de humedad a capacidad de campo (CC).

Los componentes de la fertilidad químicas estudiados fueron, porcentaje de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, valores de pH y capacidad de intercambio catiónico. La diversidad de la macrofauna del suelo, así como la cuantificación de las poblaciones e identificación por géneros de bacterias y hongos, fueron evaluadas como componentes de la fertilidad biológica del suelo.

También se evaluó el rendimiento acumulado de café oro expresado en  $\text{kg ha}^{-1}$ . Este rendimiento corresponde a la sumatoria de los rendimientos obtenidos desde la primera cosecha (2002-2003) hasta la cosecha del ciclo agrícola 2009-2010.

### **3.8 Muestreo de suelo**

Para el análisis de la materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porosidad ( $\eta$ ), retención de humedad (CC) y las poblaciones de bacterias y hongos, en cada parcela se colectaron muestras de suelo usando un barreno helicoidal y de manera que éstas fueran representativas para cada unidad experimental. Éstas fueron colectadas en julio del 2009 como parte de la época lluviosa (mayo – octubre) y en enero 2010 como parte de la época seca (noviembre-abril).

Cada muestra estuvo compuesta por ocho sub muestras, cuatro colectadas bajo el área de goteo de las plantas de café y cuatro en el centro de la calle (surco), a un rango de profundidad entre 0 y 0.30 m.

Del total de sub muestras de suelo por cada parcela, se obtuvo una muestra homogénea de 1.5 kg, la cual fue empacada en bolsa y trasladadas, al finalizar el muestreo total en el campo, al laboratorio para ser tamizada. Dichas muestras se dividieron en tres porciones iguales y fueron ingresadas para su análisis físico, químico y microbiológico en el laboratorio de suelos y agua y en el laboratorio de microbiología, ambos de la Universidad Nacional Agraria en Managua, Nicaragua.

Para la determinación de la densidad aparente se colectaron muestras en julio de 2009 y enero de 2010 y fueron extraídas en un rango de 0 a 0.10 m y 0.10 a 0.20 m de profundidad. Se utilizó el método del cilindro (LBSA-UNA, 2011), usando la columna de suelo como indicador de volumen ( $100 \text{ cm}^3$ ) y el peso del suelo contenido en ese volumen. Este muestreo fue repetido dos veces en cada parcela, realizando dos calicatas bajo el área de goteo de las plantas de café y dos en el centro de las calles.

La determinación de la densidad aparente se realizó considerando la siguiente fórmula:

$$Da = Pss/V$$

Donde:

Da = Densidad aparente

Pss = Peso del suelo seco

V = Volumen del suelo

Este componente permitió obtener la porosidad total del suelo ( $\eta$ ) según la siguiente fórmula.

$$\eta = 1 - \frac{Da}{Dr} \times 100$$

Donde:

$\eta$  = Porosidad

Da = Densidad aparente

Dr = Densidad real

La determinación de la densidad real se realizó a través del método del picnómetro. Los datos se presentan en el anexo 3.

En el caso de la materia orgánica (MO) y el carbono orgánico se determinaron por el método de Walkley-Black. El nitrógeno total (Nt) por el método de Kjeldhal modificado y el pH (H<sub>2</sub>O) por el método potenciométrico. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) según la técnica de solución extractora de acetato de amonio y, a través del método de la Olla de presión, se calculó la retención de humedad a capacidad de campo. Estos métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria (anexo 4).

Las poblaciones de microorganismos (expresadas en notación científica), se cuantificaron por el método de dilución seriada de suelo e inoculación profunda en placas de petri. Para esto se usaron medios de cultivo AN (Agar nutritivo), medio general para bacterias y PDA (Papa Dextrosa Agar), medio general para hongos (Castaño, 1986). Para la identificación de estos microorganismos, se utilizaron criterios morfológicos y bioquímicos utilizados por el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria (anexo 4).

Para el muestreo de la macrofauna del suelo se siguió una metodología similar a la recomendada por Anderson e Ingram (1993), que consiste en la extracción de muestras de suelo con un volumen de  $0.019 \text{ m}^3$  ( $0.25 \text{ m} * 0.25 \text{ m} * 0.30 \text{ m}$ ), con la diferencia que nuestro volumen de suelo fue de  $0.027 \text{ m}^3$  ( $0.3 \text{ m} * 0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m}$ ) considerando la profundidad de muestreo ( $0.30 \text{ m}$ ) para el análisis de los componentes de la fertilidad física y química.

Dos calicatas fueron excavadas bajo el área de goteo de las plantas de café y dos en el centro de las calles, el volumen total de suelo fue empacado en bolsas plásticas debidamente cerradas y trasladadas al laboratorio; luego a través de una exploración minuciosa se aisló de forma manual los organismos encontrados. En esta fase fue necesario el uso de lupas, pinzas y alcohol al 75% para sumergir y preservar la macrofauna encontrada.

Para la identificación de la macrofauna del suelo se utilizó los procedimientos del laboratorio de entomología de la UNA, que consiste en el uso de referencias bibliográficas, fotografías que presentan la estructura morfológica, comparación con especímenes en cajas entomológicas y claves de identificación.

La diversidad de la macrofauna del suelo se analizó por medio del índice de Shannon-Wiener el cual se basa en la teoría de la información (teoría matemática creada por Shannon en el año 1948), y por tanto en la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema (Pla, 2006).

Su cálculo se basa en la fórmula:

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

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Dónde:

$H$  = índice de diversidad de Shannon-Wiener

$n_i$  = número de individuos de la especie determinada  $i$

$N$  = número total de individuos

$S$  = número total de especies (riqueza)

$p_i$  = Proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total (abundancia relativa de la especie  $i$ )

### 3.9 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en las variables MO, Nt, CO, pH, CIC, Da, CC,  $\eta$  y las poblaciones de bacterias y hongos, se analizaron de forma univariada mediante una prueba de comparación a través de diferencias mínimas significativas ( $\alpha=0.05$ ), así como de manera multivariada a través de un análisis de componentes principales.

En el caso de los índices de Shannon-Wiener, se practicó una prueba de t de Student para observar potenciales diferencias de acuerdo a los tratamientos y épocas de muestreo.

Los programas estadísticos utilizados fueron InfoStat profesional (realiza estandarización automática de variables) y Past (PAlaeontologicalSTatistics) versión 1.29 (Hammer *et al.*, 2001a; Hammer *et al.*, 2001b), éste último para el análisis de la biodiversidad de la macrofauna del suelo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Variables evaluadas

#### 4.1.1 Fertilidad física, química y biológica del suelo

Los suelos son sistemas complejos y dinámicos y son el soporte de los sistemas de producción. Desde esta perspectiva en los suelos ocurren procesos claves para el rendimiento de los sistemas productivos agrarios, tales como el movimiento del agua, transformación de la materia orgánica, intercambio catiónico y la actividad biológica (Roberson y Grandy, 2006; citado por De la Rosa, 2008).

Los componentes de la fertilidad del suelo se conservan y mejoran a través de prácticas agroecológicas, las cuales orientan la producción de los sistemas agrarios de manera sostenible. Nicholl *et al.*, (2013), expresan que las estrategias agroecológicas permiten guiar el desarrollo agrícola sostenible, logrando a largo plazo conservar los recursos naturales, mantener niveles continuos de producción, aumentar la biodiversidad, disminuir el uso de insumos externos y permite mitigar los impactos negativos en el ambiente.

El enfoque agroecológico en los sistemas productivos agrarios es una estrategia compatible con los aspectos ambientales, sociales y económicos.

La fertilidad es la expresión de la potencialidad de un suelo de cultivo (Labrador, 1996). Abbott y Murphy (2007), consideran que el término fertilidad de suelo usado con el calificativo biológico, químico y físico provee suficiente información sobre el estado del suelo, ya que éstos permiten la interpretación centrada en los componentes o combinaciones de componentes sobre la fertilidad del suelo por influencia del tipo de manejo.

Con esto entendemos que en el suelo se reconoce la fertilidad física, química y biológica, las cuales están íntimamente relacionadas; por ejemplo, condiciones óptimas en la fertilidad química ocurren por la óptima expresión de la fertilidad física y biológica de un suelo.

#### 4.1.2 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 (Abbott y Murphy, 2007), y que al interrelacionarse, permiten alcanzar una determinada productividad del suelo y su mantenimiento (Cairo, 1995).

##### 4.1.2.1 Densidad aparente del suelo ( $\text{g cm}^3$ )

La densidad aparente no mostró diferencia significativa en los sistemas evaluados, sin embargo, en ambos momentos de muestreo se registran los valores más bajos en los sistemas con prácticas agroecológicas (tabla 4).

Tabla 4. Componentes de la fertilidad física del suelo de 0 a 0.3 metros de profundidad según tratamiento y época de muestreo

Componente / tratamiento	Julio 2009				Enero 2010			
	PAE1	PAE2	C	DMS	PAE1	PAE2	C	DMS
Da ( $\text{g cm}^3$ )	0.64	0.66	0.71	0.20	0.62	0.62	0.67	0.11
$\eta$ (%)	72.00	70.00	68.00	9.81	73.00	73.00	72.00	4.32
CC (%)	42.00	43.00	40.0	9.25	45.00	47.00	39.00	12.71

PAE1: Práctica agroecológica uno, PAE2: Práctica agroecológica dos, C: Convencional, DMS: Diferencia mínima significativa, Da: Densidad aparente,  $\eta$ : Porosidad, CC: Retención de humedad.

Esta relación fue reportada por Paz y Sánchez, (2007) como tendencia de los suelos cuando, niveles altos de materia orgánica aumentan la cantidad de poros en el suelo producto de su bajo peso molecular, hecho que concuerda con lo descrito en este estudio, ya que los sistemas manejados agroecológicamente cuentan con niveles mayores de materia orgánica en comparación con el sistema convencional.

Al analizar las tablas 4 y 5, queda demostrada la relación entre los niveles de materia orgánica del sistema agroecológico uno y agroecológico dos y la densidad aparente (anexo 5 y 6),

concordando con Paz y Sánchez (2007), quienes encontraron una relación directa del contenido de materia orgánica y valores bajos de densidad aparente.

El rango encontrado en los valores de densidad aparente ( $0.62$  y  $0.71 \text{ g cm}^3$ ) concuerdan con lo reportado por Paz y Sánchez (2007), quienes encontraron en suelos Andisoles valores entre  $0.6$  y  $0.7 \text{ g cm}^3$ , considerados como normales en este tipo de suelo, al situarse por debajo de  $0.9 \text{ g cm}^3$ .

Morales *et al.*, (2010), indican que los suelos volcánicos presentan alta fertilidad física, la que es atribuida principalmente a la presencia de alófana, a su buen drenaje, baja densidad aparente y a la profundidad del suelo.

De esta manera se evidencian los beneficios que las prácticas agroecológicas aportan a la fertilidad física del suelo y su contribución con la mejora en la relación suelo-planta-atmósfera.

#### **4.1.2.2 Porosidad del suelo (%)**

De la Rosa (2008), establece que la porosidad del suelo se mide por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total, y que la densidad aparente relaciona el espacio poroso con el peso, de forma que cuando la densidad aparente aumenta, el volumen de poros disminuye y viceversa.

No se presentan diferencias estadísticas por efecto de los tratamientos sobre la porosidad del suelo. Los valores oscilan entre  $68$  y  $73\%$  (tabla 4) y son clasificados por Cairo (1995) como muy altos, quien establece esta categoría cuando los valores sobrepasan el  $65\%$  del volumen del suelo ocupado por espacios vacíos.

Se observa que la porosidad tiende a disminuir en el sistema convencional, comportamiento reportado por Labrador (1996), debido a que menores niveles de materia orgánica ocasionan menor actividad biológica y menor porosidad en el suelo.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Cardona y Sadeghian (2005), quienes encontraron valores de porosidad de hasta 67% en suelos manejados orgánicamente (práctica agroecológica), declarando que a mayor nivel de materia orgánica se incrementa la porosidad.

Este componente de la fertilidad del suelo es fundamental para lograr una mejor expresión en las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de los cultivos, como lo expresan Pained y Wild (1992), al plantear que suelos con mayor porosidad favorecen el desarrollo de organismos edáficos, almacena mayor humedad por más tiempo, mejora la aireación, el intercambio entre el cultivo y el suelo, así como el aumento del volumen de exploración de las raíces.

Esto se traduce como un componente de la fertilidad física del suelo que permitiría contrarrestar los efectos negativos sobre las cosechas causadas por períodos de sequía, debido al aumento de la capacidad de retención de agua que brindan los sistemas con prácticas agroecológicas, así como el aumento en la capacidad de resiliencia ante eventos extremos de precipitación.

#### **4.1.2.3 Retención de humedad del suelo (%)**

No se establecen diferencias estadísticas para este componente. Los mayores valores de retención de agua se observaron en los tratamientos con prácticas agroecológicas, siendo de 42% para el agroecológico uno y 43% en el agroecológico dos durante el período lluvioso, y de 45% y 47% en la época seca (tabla 4). En el caso del sistema convencional los valores corresponden a 40% en julio 2009 y 39% en enero de 2010.

Según Cairo (1995), los valores de retención de humedad del suelo registrados en los sistemas con prácticas agroecológicas se clasifica como altos, ya que sus valores se sitúan en el rango de 41 y 55% del volumen total del suelo, mientras que el suelo del sistema convencional se considera con mediana capacidad de retención de humedad, al estar en el rango entre 20 y 40%.

Esta tendencia podría ser explicada por el hecho que los sistemas con prácticas agroecológicas presentan mayor contenido de materia orgánica (tabla 5) con respecto al sistema convencional. Hecho que respalda la magnitud de retención de humedad al estar ésta asociada a los niveles de materia orgánica (Taboada y Álvarez, 2008).

Esta relación ha sido reportada por Labrador (1996); Fuentes (1996), quienes indican que la materia orgánica influye en aspectos sobre el balance del agua, ya que los parámetros que afectan al movimiento y la retención de agua en el suelo son de carácter físico (textura, estructura y porosidad) y que la hidrofilia de los coloides húmicos aumenta la capacidad de los suelo para retener agua.

La humedad del suelo es clave para la sostenibilidad del agroecosistema, su manejo no se trata de proporcionar adecuadas entradas de agua, sino de mantener suficiente humedad como parte crucial del manejo del agroecosistema (Gliessman, 2002), lo que permitirá una mayor disponibilidad de agua para las plantas, los macro y microorganismos del suelo en un mayor lapso de tiempo.

Estos resultados evidencian que las prácticas agroecológicas son una estrategia que permite mantener y mejorar la fertilidad física del suelo, contribuyendo a contrarrestar los efectos del cambio climático, principalmente, porque mejora la captación y conservación de agua en el suelo, con la posibilidad de permitir que los sistemas agrícolas se adapten a los nuevos patrones de precipitación, temperatura y eventos climatológicos extremos, permitiendo mayor eficiencia en el uso y disponibilidad de agua para los cultivos.

#### **4.1.3 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).

No se registran diferencias significativas para los componentes de la fertilidad química del suelo, sin embargo, existe una tendencia ascendente de sus valores en las parcelas con prácticas agroecológicas (tabla 5).

Tabla 5. Componentes de la fertilidad química del suelo de 0 a 0.3 metros de profundidad según tratamiento y épocas de muestreo

Componente / tratamiento	Julio 2009				Enero 2010			
	PAE1	PAE2	C	DMS	PAE1	PAE2	C	DMS
pH	6.05	5.76	5.63	0.92	6.03	5.84	5.85	0.99
MO (%)	8.93	8.47	7.63	4.25	9.35	8.08	7.37	3.24
CO (%)	5.17	4.93	4.43	2.44	5.42	4.68	4.21	2.01
CIC (cmol kg <sup>-1</sup> )	43.15	37.00	37.44	7.12	40.32	34.79	36.11	8.43
Nt (%)	0.53	0.47	0.41	0.18	0.46	0.40	0.36	0.16

PAE1: Práctica agroecológica uno, PAE2: Práctica agroecológica dos, C: Convencional, DMS: Diferencia mínima significativa, MO: Materia orgánica, CO: Carbono orgánico, CIC: Capacidad de intercambio catiónico, Nt: Nitrógeno total.

#### 4.1.3.1 pH del suelo

En el suelo bajo el sistema agroecológico uno presenta valores superiores de pH (6.05 y 6.03) en comparación con los sistemas de manejo agroecológico dos (5.76 y 5.84) y convencional (5.63 y 5.85).

Los valores de pH más cercanos a la neutralidad observados en el sistema con prácticas agroecológica uno, se corresponden con lo reportado por Ojeda *et al.*, (2007); Young, (1989), quienes indican que en los ecosistemas con presencia de árboles, la materia orgánica se mantiene con niveles satisfactorios, favoreciendo el reciclaje de las bases, permitiendo una reducción de la acidez del suelo.

Este reciclaje inicia con la absorción de los elementos bases lixiviados a zonas profundas del suelo, a través del sistema radicular de los árboles de sombra, el cual se desarrolla más allá de la zona explorada por las raíces de las plantas de café y su posterior deposición y

mineralización en la superficie del suelo, permitiendo valores mayores de pH con respecto al sistema convencional.

Este resultado se confirma al comparar los valores de pH con los contenidos de materia orgánica (tabla 5), el cual es más bajo en la medida que la cantidad de materia orgánica disminuye, coincidiendo con Reyes *et al.*, (2007), quienes reportan que las aportaciones adicionales de abonos orgánicos, más la biomasa de las especies vegetales, incrementan los valores de pH a un nivel mayor con respecto a otros sistemas.

Jordan (2004); Bryan (2000) señalan que la incorporación de árboles en la agricultura permite que éstos y los cultivos se complementen funcional y estructuralmente entre sí, logrando que al menos un componente del sistema sea mejorado.

Un ejemplo es la combinación de café con árboles leguminosos o no, los cuales según Gliessman (2002), tienen la capacidad de permitir la sostenibilidad de los sistemas productivos cuando son usados en sistemas agroforestales; práctica asociada a los principios agroecológicos ya que éstos permiten una captura más eficiente de la energía solar, favorece la absorción, retención y reciclaje de nutrientes, manteniendo al sistema en equilibrio dinámico al aumentar la biodiversidad.

Gliessman (2002), reporta que la influencia de árboles aumenta significativamente los contenidos de carbono y nitrógeno, e incrementan los valores de pH del suelo.

Este efecto del incremento del pH del suelo ocurre porque los árboles tienen un mayor volumen de exploración de suelo, lo que permite absorber los elementos bases (K, Ca y Mg) que se han lixiviado, y depositarlos en la superficie del suelo a través de la hojarasca y su posterior mineralización.

#### **4.1.3.2 Carbono orgánico del suelo (%)**

Los resultados en la tabla 5, muestran que los contenidos de carbono orgánico oscilan entre 4.21 y 5.42 por ciento, no difiriendo estadísticamente, pero sí observándose una tendencia en aumento en los sistemas con prácticas agroecológicas.

Este comportamiento se explica por el mayor aporte de carbono desde la biomasa aérea de los árboles de sombra y la hojarasca proveniente de las plantas del café, en contraste con el sistema manejado convencionalmente, donde retorna menor cantidad de materia orgánica.

Dalal y Carter (1999), establecen que las mayores pérdidas del carbono orgánico en el suelo, ocurre por el uso frecuente de fertilizantes químicos y suelos desprotegidos, como es el caso del sistema manejado convencionalmente. En este sentido, los sistemas con prácticas agroecológicas tienden a fijar carbono en el suelo, lo que contribuye indirectamente a mitigar los efectos del calentamiento global al fijar mayor cantidad de carbono.

En sistemas de cultivos perennes, donde se aporta continuamente biomasa al suelo proveniente de la sección aérea y radical, con el tiempo tiende a incrementarse la cantidad de carbono (Ares *et al.*, 2001; Boniche *et al.*, 2008), el cual puede ser un buen indicador de la fertilidad del suelo, de su estabilidad frente a procesos de degradación (Fassbender, 1984), por lo que el conocimiento de la dinámica de la materia orgánica del suelo es esencial para entender el flujo del carbono en el mismo (Matus y Maire, 2000).

El carbono como elemento principal de la materia orgánica, resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida del carbono en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Martínez *et al.*, 2008). Este carbono procede fundamentalmente de la descomposición de la biomasa formada por la transformación fotosintética del CO<sub>2</sub> atmosférico, e interviene en la fertilidad del suelo (De la Rosa, 2008).

#### **4.1.3.3 Materia orgánica del suelo (%)**

El contenido de materia orgánica no difirió estadísticamente en los tratamientos, observándose valores altos en todos ellos, sin embargo, existe una tendencia a la disminución en el sistema convencional.

Una explicación de los altos contenidos de materia orgánica en los tres sistemas es por el hecho de que el suelo es volcánico, lo cual implica una riqueza en arcillas tipo alófanas Labrador, (2001). Henríquez *et al.*, (2010), explican que esta característica es debido a que la alófana, arcilla muy reactiva y presente en suelos volcánicos, busca mayor estabilidad, por lo que se hidrata, se liga a la materia orgánica y forma complejos organominerales difíciles de descomponer.

Cremona y López (2004), señalan que este tipo de suelo se caracteriza, entre otras propiedades químicas, por poseer importante acumulación de materia orgánica, lo que favorece su acumulación con enlaces muy estables, atribuidos a la alta superficie específica del material volcánico y carga variable, así como retrasan la biodegradación y permiten una mayor conservación de la materia orgánica en los suelos (Morales *et al.*, 2010; Wada, 1985, Mussini *et al.*, 1984).

Si consideramos algunas prácticas agroecológicas como el uso de enmiendas orgánicas y la combinación de especies vegetales en un sistema productivo, es normal que en éstos sistemas los contenidos de materia orgánica sean mayores, como ocurre en los tratamientos uno y dos, y se esperaría que con el tiempo, estos niveles se mantengan o incrementen por el suministro continuo de las enmiendas y por el aporte de materia orgánica que hace el cultivo y los árboles de sombra.

#### **4.1.3.4 Nitrógeno total (%)**

La tabla 5 no indica diferencias significativas en cuanto a los valores de nitrógeno total del suelo, pero se observa una tendencia de que los contenidos sean mayores en los sistemas con

prácticas agroecológicas, y más marcadamente en el sistema agroecológico uno que registra valores de 0.53% en la época lluviosa y 0.46% en la época seca.

Según los criterios de clasificación de LABSA-UNA (2011), estos valores son considerados como altos, y se ubican según Fassbender (1984), dentro del rango de concentraciones para suelos tropicales (0.02% – 2%).

Los suelos volcánicos suelen presentar altos contenidos de materia orgánica y por consiguiente, los valores de nitrógeno orgánico también lo son (Morales *et al.*, 2010).

De acuerdo con lo planteado anteriormente y para este tipo de suelo, no se detectaron valores bajos de nitrógeno total en los tres sistemas, pero se observa en las figuras 3 una tendencia a disminuir en el sistema convencional.

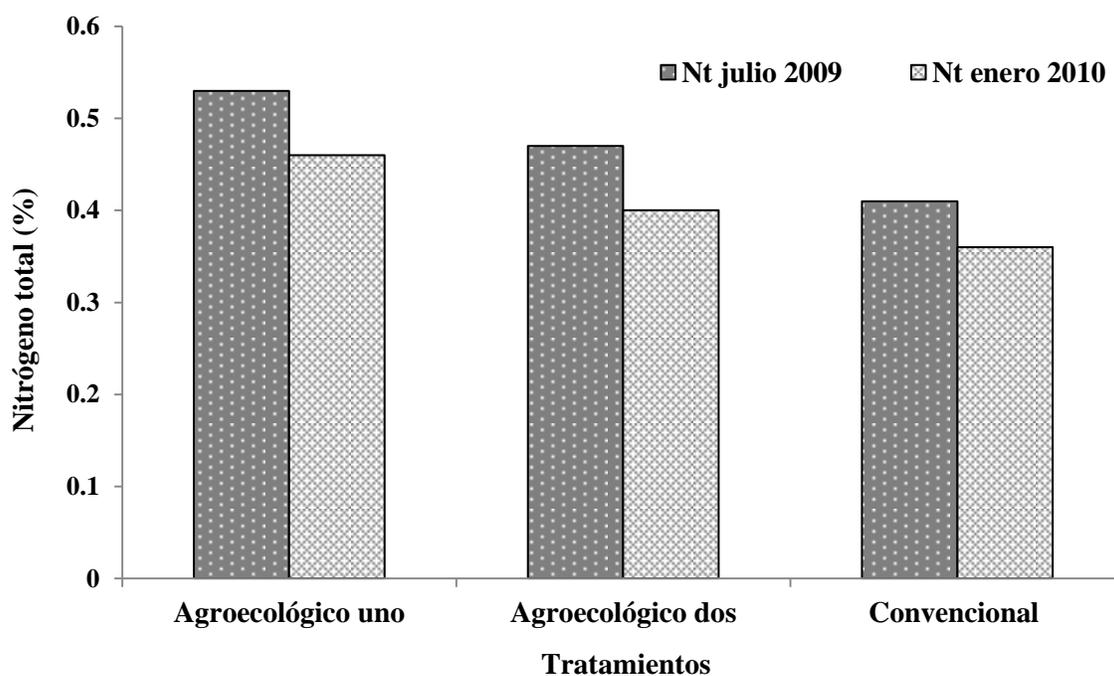


Figura 3. Nitrógeno total del suelo en función de los tratamientos, julio 2009, enero 2010.

Los mayores valores de nitrógeno total en el suelo en los sistemas con prácticas agroecológicas, es producto del continuo aporte de materiales orgánicos provenientes de las

enmiendas aplicadas, hojarasca del cultivo y del aporte que los árboles de sombra hacen a través de hojas, ramas y raíces.

Los valores altos de nitrógeno están en correspondencia con los niveles de materia orgánica del suelo, y esto es posible ya que del 97 al 99% del nitrógeno del suelo se encuentra en la materia orgánica (Plaster, 2000).

La figura 4 indica la relación entre los niveles de materia orgánica y nitrógeno total durante el período lluvioso (figura 4a) y la época seca (figura 4b). En ella se observa que en la medida que incrementan los valores de materia orgánica, aumentan los niveles de nitrógeno total.

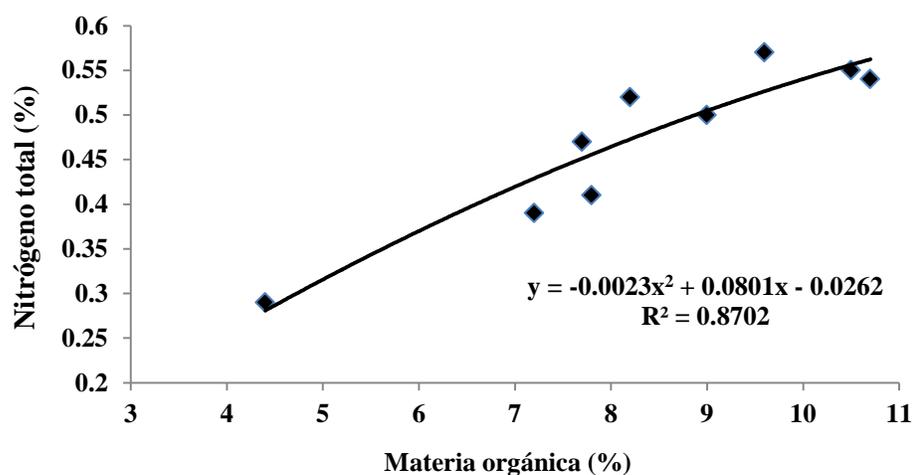


Figura 4a  
Julio 2009

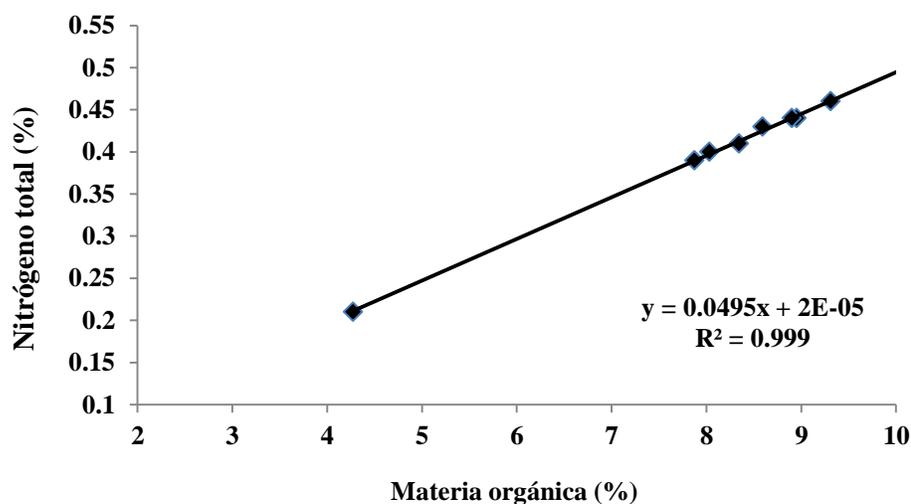


Figura 4b  
Enero 2010

Figura 4. Correlación entre la materia orgánica y nitrógeno total del suelo en todos los tratamientos en época seca y lluviosa.

La correlación entre los contenidos de nitrógeno y la materia orgánica corroboran que ésta última se puede considerar como un indicador de la disponibilidad de nitrógeno (Cardona-Calle y Sadeghian-Khalajabadi, 2005).

Gliessman (2002), plantea que la materia orgánica tiene funciones importantes en la agricultura, ya que además de ser fuente de nutrientes, construye, promueve, protege y mantiene el ecosistema del suelo; al ser un componente vital de la buena estructura del suelo, del incremento de la capacidad de retención de agua, como fuente alimenticia de microorganismos y como protección mecánica de la superficie del suelo; por lo que a la materia orgánica se le reconoce como fundamental en la producción sostenible al asociarla a suelos saludables.

Nicholls (2013), considera que la diversificación y el manejo del suelo con prácticas agroecológicas, como el uso de árboles y abonos orgánicos, contribuyen con la dinámica del suelo y el agua, y a su vez, mejoran la resiliencia de los agroecosistemas al proporcionar mayor resistencia y menor vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos; y mayor sostenibilidad a largo plazo.

#### **4.1.3.5 Capacidad de intercambio catiónico ( $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ )**

Los resultados en la tabla 5 muestran que no se presentan diferencias estadísticas en los sistemas, sin embargo, según los criterios de clasificación del LABSA-UNA (2011), estos suelos presentan alta capacidad de intercambio catiónico, la cual oscila en el rango de 34.79 a 43.15  $\text{cmol (+) kg}^{-1}$  de suelo. Al analizar los valores altos de materia orgánica y CIC, se deduce que estos suelos poseen buena fertilidad química.

Morales *et al.*, (2010); Amberger (2006), plantean que esta condición es normal en suelos andisoles por su presencia de alófana, arcilla amorfa que confiere alta capacidad de intercambio catiónico, y gran capacidad de retención hídrica debido a su alta porosidad y su baja densidad aparente, como ya fue mencionado.

Amberger (2006), refiere que la capacidad de intercambio catiónico es un factor importante en la fertilidad del suelo. Entre más alta es la CIC, más capacidad tiene el suelo en retener cationes y proveer una adecuada nutrición a los cultivos (Gliessman, 2002).

Nicholls (2013), plantea que sistemas agrícolas manejados agroecológicamente o con prácticas asociadas a ella (agroforestería, uso de abonos orgánicos, biofermentados, manejo selectivo de arvenses), como las definidas en el sistema agroecológicos uno y agroecológico dos, permiten mejorar la fertilidad del suelo al incrementar la materia orgánica y mejorar otros componentes como la capacidad de intercambio catiónico (Sylvia *et al.*, 2005), así como el reciclaje de nutrientes, mayor cobertura del suelo, mayor retención de humedad, mayor infiltración, uso eficiente del agua y aumento de la actividad microbiana (Nicholls, 2013).

Los valores de carbono orgánico se asocian con los de materia orgánica al igual que la capacidad que poseen los suelos de intercambiar sus elementos catiónicos. Esto último interpretándose como el porcentaje de los espacios del complejo coloidal ocupados por elementos con carga electrostática positiva.

Ojeda *et al.*, (2007), confirma que la materia orgánica puede influir proporcionalmente en la fertilidad física y química de los suelos, y plantea que por lo menos la mitad de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos es responsable de la estabilidad de sus agregados. Así Labrador (1996), lo confirma, señalando que la materia orgánica del suelo favorece la estabilidad de sus agregados.

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 1996), y considerando el aporte de la materia orgánica en elementos bases y su relación con el pH, la CIC es considerada como normal bajo estas condiciones químicas del suelo. La que es determinada por el tipo y cantidad de arcilla y materia orgánica del suelo (Sylvia *et al.*, 2005), lo que queda manifestado en los sistemas con prácticas agroecológicas.

#### 4.1.4 Fertilidad biológica del suelo

La fertilidad biológica del suelo es la capacidad que poseen los organismos que habitan en él para 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).

##### 4.1.4.1 Cuantificación de bacterias del suelo

Las poblaciones de bacterias presentes en el suelo se registraron en dos épocas. En el mes de julio correspondiente a la época lluviosa, se encontraron en un rango de 5E+6 y 24.6E6 UFC g<sup>-1</sup> de suelo (unidades formadoras de colonia por gramo de suelo), mientras que en enero, época seca, entre 11.9E6 y 26.6E6 UFC g<sup>-1</sup> de suelo (tabla 6).

Los resultados indican que no existen diferencias estadísticas en cuanto a las poblaciones de bacterias por efecto de los sistemas de manejo en ambos períodos de muestreo, sin embargo, en el mes de enero se presenta una tendencia de que las poblaciones sean mayores en los sistemas con prácticas agroecológicas.

Tabla 6. Cuantificación de bacterias totales según tratamiento y época de muestreo

TRATAMIENTO	UFC por gramo de suelo	
	JULIO 2009	ENERO 2010
Práctica agroecológica uno	11.6E6	26.6E6
Práctica agroecológica dos	5E6	18E6
Convencional	24.6E6	11.9E6
DMS	33.5E6	16.2E6

UFC: Unidades formadoras de colonia, DMS: Diferencia mínima significativa.

Las poblaciones de bacterias registradas están en correspondencia con los rangos reportados por Calvo *et al.*, (2008), Sylvia *et al.*, (2005), quienes indican que las poblaciones bacterianas en el suelo oscilan entre 1E6 y 1E8 de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo.

En los sistemas con prácticas agroecológicas, las adiciones de pulpa de café y gallinaza han contribuido al aumento del sustrato orgánico del suelo y por lo tanto al aumento de la humedad, favoreciendo una mayor cantidad de poblaciones bacterianas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Cupull *et al.*, (2007), quienes encontraron que las aplicaciones de materia orgánica aumentaron las poblaciones de bacterias en el suelo, ya que gran cantidad de ellas están adheridas al complejo arcilloso-húmico por atracción mutua (Alexander, 1980), y favoreciéndose por la mayor disponibilidad de agua que implican los niveles altos de materia orgánica en estos sistemas.

El sistema de manejo convencional presentó mayores poblaciones de bacterias (24.6E6 UFC) en julio, comparado con los sistemas agroecológicos uno y dos. Estos resultados son inesperados debido a que el manejo convencional solo consistió en aplicaciones de fertilizante mineral (N, P y K). Sin embargo, una posible explicación es que el suelo del área experimental de origen volcánico (Andisol), por sus altos contenidos de materia orgánica (8.08 y 9.35%) combinado con las aplicaciones de fertilizante mineral, pudieron haber disminuido la relación C:N, facilitando las condiciones para el aumento de la población bacteriana.

La literatura reporta que adiciones de nitrógeno mineral al suelo son una fuente alimenticia para los microorganismos y que el carbono del suelo es utilizado como fuente de energía para reproducirse (Sylvia *et al.*, 2005), (Fuentes, 1996), (Fassbender, 1984). En nuestro experimento, las altas condiciones de carbono orgánico en combinación con las aplicaciones de nitrógeno mineral pudieron influenciar el aumento de las poblaciones de microorganismos.

Por otro lado, el efecto positivo de los fertilizantes minerales sobre el aumento de la población de bacterias ha sido reportado por Mahajan *et al.*, (2007), quienes atribuyeron este efecto a la combinación de NPK en presencia de importantes cantidades de materia orgánica.

Otra causa probable del aumento en las poblaciones bacterias, es por el aporte de fósforo del fertilizante mineral. Así lo reporta Calvo *et al.*, (2008), quienes encontraron mayores poblaciones bacterianas por influencia de las aplicaciones de fósforo; elemento que favorece el

crecimiento microbiano por su rol estructural y por su participación en la acumulación y liberación de energía en el metabolismo celular (Madigan *et al.*, 1997).

Agrios (2007), reportó que las bacterias se reproducen rápidamente si encuentran un medio favorable para su multiplicación considerando el suministro alimenticio u otros factores limitantes como la humedad del suelo, así como la aireación, temperatura y materia orgánica (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007).

#### **4.1.4.2 Tipo de bacterias presentes en el suelo**

Los géneros de bacterias identificados en los tres sistemas se observan en la tabla 7, destacándose *Pseudomona* y *Bacillus* en los sistemas con prácticas agroecológicas, y *Bacillus* y *Micrococcus* en el sistema convencional.

Numéricamente en julio el género que se destaca es *Micrococcus* con  $56E6$  UFC  $g^{-1}$  de suelo en el sistema convencional y *Bacillus* ( $20E6$  UFC) y *Pseudomonas* ( $19E6$  UFC) en el mes de enero en los sistemas con prácticas agroecológicas (anexo 7).

En el caso de las poblaciones de *Pseudomonas* registradas en este estudio, los valores están por encima de lo reportado por Morell *et al.*, (2006), quienes registraron una población promedio de  $8E6$  de bacterias en suelos cultivados con especies forestales y frutales.

Igualmente Calvo *et al.*, (2008), reporta poblaciones inferiores de *Bacillus* ( $34.8E3 - 76E3$  UFC  $g^{-1}$  de suelo) en un estudio sobre poblaciones de microorganismos del suelo, pero reportando poblaciones totales de bacterias entre  $13.5E6$  y  $71.4E6$  UFC  $g^{-1}$  de suelos en la rizósfera de dos variedades de papa, por lo que podemos decir que las poblaciones de bacterias del suelo varían en función del tipo de suelo, manejo, condiciones ambientales y de las especies vegetales presentes.

Estos géneros son reportados por Lara *et al.*, (2011); Fernández *et al.*, (2005), como organismos que solubilizan activamente el fósforo, lo que representa un rol agroecológico favorable para el cultivo del café, las especies de sombra y la biología del suelo.

Tabla 7. Géneros de bacterias identificados por tratamiento y época de muestreo

Tratamiento	Géneros identificados	
	Julio 2009	Enero 2010
Práctica Agroecológica uno	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus sp</i>
	<i>Pseudomona sp</i>	<i>Pseudomona sp</i>
	<i>Serratia sp</i>	
Práctica Agroecológica dos	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus sp</i>
	<i>Micrococcus sp</i>	<i>Pseudomona sp</i>
		<i>Sarcina sp</i>
		<i>Micrococcus sp</i>
Convencional	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus sp</i>
	<i>Micrococcus sp</i>	<i>Micrococcus sp</i>
		<i>Sarcina sp</i>

Los conteos de bacterias indican un comportamiento variado por época y tratamiento, sin embargo, la tabla 7 indica que el género *Bacillus* prevalece en los tres sistemas. Esto es debido a que *Bacillus* es un género con alta presencia en suelos cultivados ya que cuenta con mecanismos (formación de endosporas altamente resistentes) que aseguran su supervivencia (Calvo y Zúñiga, 2010).

El género *Pseudomona* fue encontrado solamente en los sistemas con prácticas agroecológicas en ambas épocas de muestreo. A pesar de que *Pseudomona* es una bacteria fitopatógena (Agrios, 2007), no está asociada a enfermedades en el cultivo de café, por lo que su comportamiento en los sistemas agroecológicos uno y dos, está dirigido a la descomposición de la materia orgánica, y actuando en el sistema convencional como degradante de compuestos tóxicos, como lo reportan (Quinchía *et al.*, 2006; Madigan *et al.*, 2000). Además es una especie de bacteria clasificada como promotora del crecimiento de las plantas (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007).

Santillana (2006); Pan *et al.*, (1999), indican que *Pseudomona* otorga beneficios a las plantas, ya que producen y segregan reguladores del crecimiento (auxinas, giberelinas y citoquininas), mejoran los procesos de absorción mineral, desarrollo de raíces y el uso del agua; aspectos favorecidos por los sistemas con prácticas agroecológicas permitiendo una mejor interacción de la planta con el suelo.

Las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas poseen la característica de producir un efecto fisiológico favorable en el crecimiento y productividad, principalmente por la producción de fitohormonas, vitaminas, protección contra patógenos, liberación de nutrientes a partir de minerales insolubles, y su participación en el mejoramiento de características físicas y químicas del suelo (Hernández *et al.*, 2001; Bashan *et al.*, 1992).

En general, los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Serratia* presentan características activas como agentes de control biológico y constituyen uno de los microorganismos más utilizados con este propósito, debido a su efecto inhibitorio frente a hongos y bacterias fitopatógenas (Reinoso *et al.*, 2006; Bernal *et al.*, 2006) y su contribución en la nutrición fosfórica (Hernández *et al.*, 2001).

#### 4.1.4.3 Cuantificación de hongos del suelo

La tabla 8 muestra los conteos de hongos por sistema y época de muestreo. Se observan diferencias significativas en julio pero no en el mes de enero.

Tabla 8. Poblaciones de hongos por tratamiento y época de muestreo

Tratamiento	UFC por gramo de suelo	
	Julio 2009	Enero 2010
Práctica agroecológica uno	8.4E5	8.3E4
Práctica agroecológica dos	1.7E6	1.5E5
Convencional	6.2E5	8.3E4
DMS	9.9E5	7.4E4

UFC: Unidades formadoras de colonia, DMS: Diferencia mínima significativa

Los rangos registrados en las poblaciones son muy similares a los reportados por Sylvia *et al.*, 2005, quienes plantean que las poblaciones fúngicas oscilan entre 1E4 y 1E6 por gramo de suelo.

En ambas épocas de muestreo se registran mayores poblaciones en el sistema con prácticas agroecológica dos, y es claro que las poblaciones en los tres sistemas decrecen en el mes de enero.

Este comportamiento está asociado a una mayor cantidad de agua en el suelo en el mes de julio, debido a las precipitaciones ocurridas como parte del período lluvioso, lo que permitió la proliferación de las poblaciones fúngicas por efecto de la descomposición de las enmiendas orgánicas aplicadas en el período seco, más la descomposición del material vegetal proveniente de las especies vegetales.

Al analizar las precipitaciones en la figura 1, observamos que existen condiciones de humedad para que se produzca la mineralización de la materia orgánica, siendo esto un estímulo para el crecimiento de las poblaciones de hongos; así lo establece Alejandro (1980), quien explica que las poblaciones fúngicas aumentan bajo condiciones de adecuada humedad e inmediatamente después de adicionar materia orgánica al suelo, disminuyendo luego de este incremento.

#### **4.1.4.4 Tipo de hongos presentes en el suelo**

Se identificaron nueve géneros de hongos, predominando *Aspergillus* y *Paecilomyces* en los tres sistemas y en ambas épocas de muestreo, seguido de *Gliocladium* y *Fusarium* en el mes de julio y *Penicillium* en enero (tabla 9).

Ferrera-Cerrato y Alarcon (2007), indican que los hongos desempeñan un rol vital en la descomposición de la materia orgánica.

Tabla 9. Géneros de hongos identificados por tratamiento y época de muestreo

Tratamiento	Géneros identificados	
	Julio 2009	Enero 2010
Práctica Agroecológica uno	<i>Aspergillus sp</i>	<i>Aspergillus sp</i>
	<i>Paecilomyces sp</i>	<i>Paecilomyces sp</i>
	<i>Gliocladium sp</i>	<i>Penicillium sp</i>
	<i>Fusarium sp</i>	<i>Cladosporium sp</i>
	<i>Penicillium sp</i>	<i>Gloeosporium sp</i>
Práctica Agroecológica dos	<i>Aspergillus sp</i>	<i>Aspergillus sp</i>
	<i>Paecilomyces sp</i>	<i>Paecilomyces sp</i>
	<i>Gliocladium sp</i>	<i>Penicillium sp</i>
	<i>Fusarium sp</i>	<i>Trichoderma sp</i>
	<i>Auerobasidium sp</i>	
Convencional	<i>Aspergillus sp</i>	<i>Aspergillus sp</i>
	<i>Paecilomyces sp</i>	<i>Paecilomyces sp</i>
	<i>Gliocladium sp</i>	<i>Penicillium sp</i>
	<i>Fusarium sp</i>	<i>Cladosporium sp</i>
	<i>Auerobasidium sp</i>	

Los hongos desempeñan un rol vital en los sistemas agroecológicos. En el suelo una de sus actividades es descomponer la materia orgánica, garantizando la mineralización y por lo tanto la nutrición óptima de las plantas (Heredia y Arias, 2008; Morell *et al.*, 2006).

*Paecilomyces* es uno de los géneros de hongos junto con *Fusarium* que más comúnmente es aislado en los suelos minerales (Ferrera-Cerrato y Alarcon, 2007), al igual que *Aspergillus*, *Penicillium* y *Trichoderma* (Alejandro, 1980), todos ellos junto a *Gliocladium*, *Cladosporium* y *Auerobasidium* participando en el ciclaje de nutrientes a través de la descomposición de la materia orgánica del suelo y en otras actividades específicas como agentes de control biológico (Gallegos-Morales *et al.*, 2009; Ferrera-Cerrato y Alarcon, 2007; Alejandro, 1980).

Según Mayea *et al.*, (2004), citado por Castellanos *et al.*, (2006) *Aspergillus* es un tipo de microorganismo que desempeña un papel importante en el ciclo del carbono, fósforo y nitrógeno, y por consiguiente en la nutrición vegetal; determinantes en el nivel de fertilidad de los suelos (Ferrera-Cerrato y Alarcon, 2007; Pelczar *et al.*, 1982).

Las poblaciones fúngicas totales fueron mayores en el sistema práctica agroecológica dos, registrándose en el mes de julio  $1.7E6$  UFC y en enero  $1.5E5$  UFC por  $g^{-1}$  de suelo (anexo 8).

Estas poblaciones son mayores a las reportadas por Fernández *et al.*, (2005), quienes registraron en promedio  $3.3E4$  UFC por  $g^{-1}$  de suelo, en cambio, Calvo *et al.*, (2008) reportó poblaciones entre  $5E4$  y  $9.6E4$  UFC por  $g^{-1}$  de suelo en la zona de la rizósfera de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), indicando valores menores en el primer caso y mayores en el segundo, superando únicamente al sistema agroecológico uno y convencional en el mes de enero.

La mayor cantidad de bacterias del suelo en relación a los hongos se puede relacionar a que estos microorganismos presentan rápido crecimiento y mayor habilidad en el uso de un amplio rango de sustratos como fuentes de carbono o nitrógeno, así como la época, la vegetación, el tipo de suelo, el contenido de humedad y la fertilización (Calvo *et al.*, 2008; Glick 1995).

En general los microorganismos son abundantes en suelos con buena capacidad de almacenamiento de agua, pH cercano a la neutralidad y rico en nutrientes (Ferrera-Cerrato y Alarcon, 2007), variando grandemente en población y diversidad (Amberger, 2006), las cuales son influenciadas por el tipo de manejo que se practica, particularmente por el manejo de la materia orgánica (Abbott y Morphy, 2007), así como de la concentración de nutrientes (Cupull *et al.*, 2007).

Morell *et al.*, 2006, señalan que la sostenibilidad de los sistemas de producción está en dependencia de la productividad de los suelos en función de las condiciones físicas, químicas y biológicas, todas reguladas por la capacidad del reciclaje de la materia orgánica y la actividad de los microorganismos favorecida por el manejo del suelo.

#### **4.1.4.5 Macrofauna del suelo**

La macrofauna del suelo desempeña funciones claves en los sistemas agroecológicos. Flores *et al.*, (2008), plantean que forman parte de las cadenas tróficas, actuando en parte como

forrajeros, en la descomposición de la materia orgánica, en la regulación de la actividad microbiana y parcialmente en los ciclos de nutrientes.

La macrofauna del suelo está integrada principalmente por anélidos y artrópodos, destacándose los ácaros, arañas, colémbolos, coleópteros, heminópteros, dípteros, quilópodos, diplópodos, e isópodos (Flores *et al.*, 2008; Eisenbeis y Wichard, 1987), coincidiendo en parte con los órdenes registrados en este estudio.

El índice de diversidad de la macrofauna del suelo fue calculada en términos del índice de Shannon-Wiener, el cual considera que el valor cero representa ausencia de diversidad (Gliessman, 2002), y cuyo rango en la mayoría de los ecosistemas varía entre uno y cinco, donde el valor más alto representa mayor diversidad y una distribución más equitativa de las especies e individuos, llegando a alcanzar valores en ecosistemas naturales relativamente diversos, entre tres y cuatro (Salmón *et al.*, 2012).

La tabla 10 y 11 muestran los índices de Shannon–Wiener ( $H$ ) por tratamiento y época de muestreo, y se observa que la biodiversidad fue mayor en los sistemas con prácticas agroecológicas en relación al sistema convencional. Esto coincide con lo reportado por Raw (1971); citado por Labrador (2001), al afirmar que en sistemas de cultivos convencionales con aplicaciones de fertilizantes minerales, la diversidad de artrópodos del suelo se ve disminuida.

Tabla 10. Macrofauna del suelo por orden, especies, rol funcional e índice de biodiversidad según tratamiento, julio 2009

Tra	Orden	Especie	Nombre común	Rol funcional	A	R	H	P≤0.005*
PAE 1	Hymenoptera	<i>Atta cephalotes</i>	Zompopo	Cultivadores de hongos, fitófagos, depredadores, detritívoros	1	9	<b>1.84</b>	PAE1 Vs. PAE2 = 0.976
	Pulmonata	ND	Molusco	Fitófagos, detritívoros	2			
	Coleoptera	<i>Epitragus sp</i>	Escarabajo	Rizófagos, depredadores, detritívoros,	2			
		<i>Passalus sp</i>	Escarabajo	fitófagos	4			
		<i>Phyllophaga sp</i>	Gallinas ciega	Fitófago	3			
	Haplotaxida	<i>Lumbricus sp</i>	Lombriz de tierra	Geófagos, detritívoros	8			
		<i>Miriápodos</i>	Cien pies	Depredadores, detritívoros	6			
	Araneae	ND	Araña	Depredadores	2			
Pulmonata	ND	Caracol	Fitófagos, detritívoros	2				
PAE 2	Haplotaxida	<i>Lumbricus sp</i>	Lombriz de tierra	Geófagos, detritívoros	4	8	<b>2.02</b>	PAE2 Vs. C = 0.986
	Coleoptera	<i>Passalus sp</i>	Escarabajo	Rizófagos, depredadores, detritívoros,	2			
		<i>Phyllophaga sp</i>	Gallinas ciega	fitófagos				
		<i>Epitragus sp</i>	Escarabajo	2				
	Isópteras	<i>Termitas sp</i>	Termitas	Detritívoros, rizófagos y fitófagos	4			
	Hymenoptera	<i>Atta cephalotes</i>	Zompopo	Cultivadores de hongos, fitófagos, depredadores, detritívoros	2			
	Hemíptera	<i>Euchistus sp</i>	Chinche	Rizófagos, fitófagos, depredadores	3			
		<i>Miriápodos</i>	Mil pies	Depredadores, detritívoros.	4			
C	Coleoptera	<i>Phyllophaga sp</i>	Gallinas ciega	Rizófagos, depredadores, detritívoros,	2	6	1.76	PAE1 Vs. C = 0.998
		<i>Epitragus sp</i>	Escarabajo	fitófagos	3			
		<i>Passalus sp</i>	Escarabajo	2				
	Isópteras	<i>Termitas sp</i>	Termitas	Detritívoros, rizófagos y fitófagos	4			
	Hymenoptera	<i>Atta cephalotes</i>	Zompopo	Cultivadores de hongos, fitófagos, depredadores, detritívoros.	3			
	Haplotaxida	<i>Lumbricus sp</i>	Lombriz de tierra	Geófagos, detritívoros	3			

Tra = Tratamiento, PAE 1: Práctica agroecológica uno, PAE 2: Práctica agroecológica dos, C: Convencional, ND: No determinado, A = Abundancia, R = Riqueza, H = Índice de Shannon-Wiener, \* = t Student.

Tabla 11. Macrofauna del suelo por orden, especies, rol funcional e índice de biodiversidad según tratamiento, enero 2010

TRA	ORDEN	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	ROL FUNCIONAL	A	R	H	P≤0.05*
PAE 1	Hymenoptera	<i>Atta cephalotes</i>	Zompopo	Cultivadores de hongos, fitófagos, depredadores, detritívoros	8	8	1.77	PAE1 Vs. PAE2 = 0.053
	Homóptera	<i>Diceroprocta sp</i>	Chicharrita	Rizófagos, fitófagos, detritívoros	1			
	Coleoptera	<i>Epitragus sp</i>	Escarabajo	Rizófagos, depredadores, detritívoros, fitófagos	1			
		<i>Passalus sp</i>	Escarabajo		8			
		<i>Pasymachus sp</i>	Escarabajo		1			
		<i>Phyllophaga sp</i>	Gallinas ciega	Fitófago	2			
	Haplotaxida	<i>Lumbricus sp</i>	Lombriz de tierra	Geófagos, detritívoros	11			
Julida	<i>Miriápodos</i>	Mil pies	Depredadores, detritívoros	1				
PAE 2	Homóptera	<i>Diceroprocta sp</i>	Chicharrita	Rizófagos, fitófagos, detritívoros	2	6	1.33	PAE 2 Vs. C = 0.051
	Haplotaxida	<i>Lumbricus sp</i>	Lombriz de tierra	Geófagos, detritívoros	6			
	Coleoptera	<i>Passalus sp</i>	Escarabajo	Rizófagos, depredadores, detritívoros, fitófagos	5			
		<i>Phyllophaga sp</i>	Gallinas ciega		3			
		<i>Epitragus sp</i>	Escarabajo		1			
	Isópteras	<i>Termitas sp</i>	Termitas	Detritívoros, rizófagos y fitófagos	11			
C	Coleoptera	<i>Conoderus sp</i>	Gusano alambre	Rizófagos, depredadores, detritívoros, fitófagos	1	7	1.17	PAE 1 Vs. C = 0.145
		<i>Epitragus sp</i>	Escarabajo		1			
		<i>Passalus sp</i>	Escarabajo		5			
	Isópteras	<i>Termitas sp</i>	Termitas	Detritívoros, rizófagos y fitófagos	11			
	Hymenoptera	<i>Atta cephalotes</i>	Zompopo	Cultivadores de hongos, fitófagos, depredadores, detritívoros	1			
	Julida	<i>Miriapodos</i>	Mil pies	Depredadores, detritívoros	1			
Pulmonata	ND	Molusco	Fitófagos, detritívoros	2				

Tra = Tratamiento, PAE 1: Práctica agroecológica uno, PAE 2: Práctica agroecológica dos, C: Convencional, ND: No determinado, A = Abundancia, R = Riqueza, H = Índice de Shannon-Wiener, \* = t Student.

Así lo demostró Edwards y Lofty (1982), al expresar que las aplicaciones de fertilizantes químicos no causa una mejora sustancial en las condiciones del hábitat y en la disponibilidad de recursos para la macrofauna en general.

La mayor diversidad en los sistemas con prácticas agroecológicas es posible porque las especies de sombra permiten crear condiciones favorables para el desarrollo de la macrofauna del suelo. Así lo afirma Zaldivar *et al.*, (2007), quienes expresan que estos sistemas proveen protección, fuente de alimento, humedad constante y mayor aporte de materia orgánica; lo que asegura la existencia de diferentes organismos, condición que estimula la actividad microbiana, la dinámica de la materia orgánica y el intercambio de agua en el suelo.

Por su parte Infante (2013), registró mayor índice de diversidad asociada a mayores contenidos de materia orgánica, suelos con mayor cobertura y mejor conservados y mayor biomasa microbiana en sistemas manejados agroecológicamente en comparación a un sistema convencional.

Labrador (2001), señala que una mayor diversidad de artrópodos en el suelo se logra en situaciones en las que la vegetación y el suministro de alimentos son adecuados y, que su respuesta está en función de las prácticas de manejo del suelo, de la distribución de residuos y de las comunidades de plantas presentes (Zerbino, 2010, Lavelle y Spain, 2001, Wardle, 1995), todas ellas como estrategias agroecológicas que aseguran la sostenibilidad del sistema productivo.

La presencia de otras especies vegetales en estos sistemas amplían el espectro alimentario y de micro hábitats para la comunidad, favorecido por el depósito de hojarasca que actúa como aislante y conserva la temperatura y la humedad (Ruiz-Cobo *et al.*, 2010).

El análisis sobre los índices de Shannon–Wiener no indica diferencias estadísticas en los sistemas tanto en la época seca como en la lluviosa.

Esto es probable debido a que el cambio en la humedad del suelo, el cual es no significativo y/o no es lo suficientemente marcado como para provocar grandes fluctuaciones sobre la diversidad de la macrofauna del suelo (tabla 12).

Tabla 12. Porcentaje de humedad por tratamiento y época de muestreo

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>JULIO</b>	<b>ENERO</b>
Práctica agroecológica uno	64.00	39.00
Práctica agroecológica dos	64.00	40.00
Convencional	62.00	37.00
DMS	10.57	3.40

DMS: Diferencia mínima significativa

Otra causa probable es la cercanía de los sistemas y las dimensiones de las unidades experimentales, lo cual podría permitir una fácil movilidad de la fauna del suelo de un sistema a otro.

Las comunidades de invertebrados del suelo se destacan por que directa o indirectamente afectan la fertilidad del suelo, como consecuencia de las prácticas de manejo del mismo (Zerbino, 2010). Parámetro que puede ser utilizado como un indicador de la calidad del suelo, dado que influyen en la dinámica de los procesos que ocurren en él (Zaldivar *et al.*, 2007).

La descomposición de la materia orgánica es un proceso sinérgico entre la microflora y la fauna del suelo, particularmente la micro y mesofauna. En general puede decirse que la fauna del suelo realiza una labor previa de fragmentación mecánica, aumentando con ello la superficie de los restos orgánicos y favoreciendo de ésta manera el ataque microbiano (Fuentes, 1996).

Al existir mayor diversidad de la macrofauna del suelo en los sistemas con prácticas agroecológicas, la fertilidad química se manifieste de manera ascendente en el tiempo, no así en los sistemas convencionales (Zerbino, 2010), ya que existe un efecto negativo en la diversidad de la macrofauna del suelo debido al menor contenido de materia orgánica (Brown *et al.*, 2001).

Además, la reducción de la cantidad y diversidad bioquímica de los exudados radiculares y hojarasca que ingresan al sistema, influye en la composición de las comunidades subterráneas, provocando posiblemente una disminución en la tasa de descomposición de los restos vegetales presentes (Joshi *et al.*, 2004), lo que ocasiona una disminución en la fertilidad del suelo.

#### **4.1.5 Rendimiento acumulado de café oro (kg ha<sup>-1</sup>)**

El análisis del rendimiento acumulado corresponde a la sumatoria de las cosechas desde el ciclo 2002-2003 (primera cosecha) hasta el ciclo 2009-2010.

No se registran diferencias significativas (DMS = 3 899;  $p = 0.2203$ ) por efecto de los sistemas, sin embargo, el manejo convencional registra el mayor rendimiento acumulado (9 776 kg oro ha<sup>-1</sup>) seguido de la práctica agroecológica uno (8 759 kg oro ha<sup>-1</sup>), como se indica en la figura 5.

La diferencia en el rendimiento acumulado entre el sistema convencional y la práctica agroecológica uno es de 10.4% (en promedio 127.13 kg oro ha<sup>-1</sup> = 2.8 qq oro ha<sup>-1</sup> por ciclo) diferencia considerada por Gliessman (2002), como aceptable en sistemas agroecológicos, ya que la producción en estos sistemas se manifiesta de manera sostenible y sin detrimento del ambiente, y podrían ser entre 10 y 20% menores que los de un sistema convencional Fassbender (1993).

Además los sistemas agroecológicos brindan servicios ecosistémicos como la captura de CO<sub>2</sub>, conservación del suelo al reducir el proceso erosivo, captación y retención de agua, reciclaje de nutrientes a través de la incorporación y descomposición de la materia orgánica, conservación y aumento de la biodiversidad, belleza escénica y en general, contribuyen con la salud del agroecosistema.

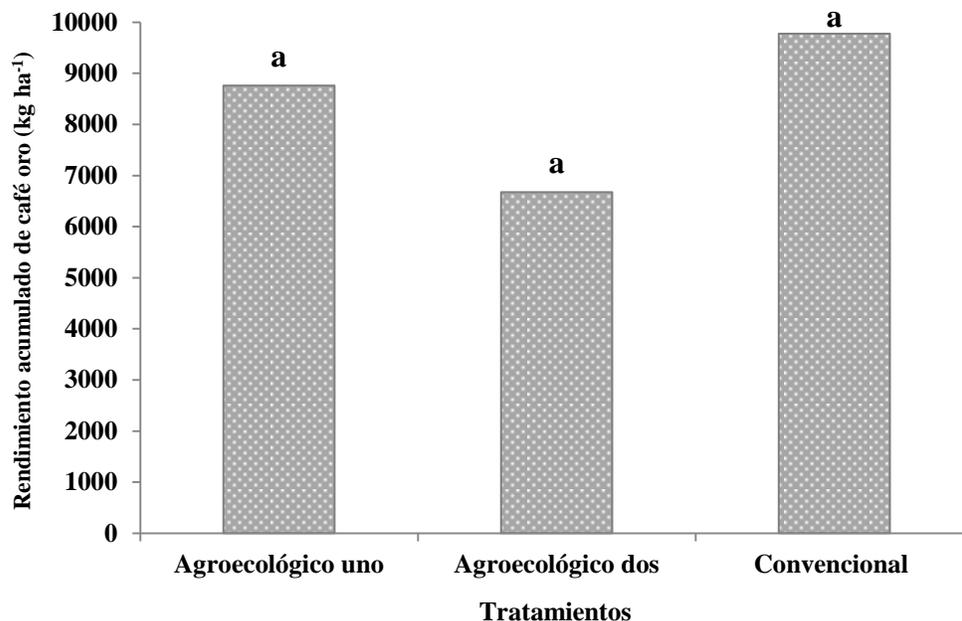


Figura 5. Rendimiento acumulado de café oro (kg ha<sup>-1</sup>), ciclos agrícolas del 2002-2003 al 2009-2010.

Aunque los rendimientos acumulados del sistema agroecológico uno se sitúan por debajo del convencional, éste muestra una clara tendencia al incremento a través del tiempo e incluso a superar los rendimientos del sistema convencional de acuerdo a datos presentados en el anexo 9.

En un estudio sobre el análisis financiero de estos sistemas, Barrios *et al.*, (2012), registraron menor costo de manejo con las practicas agroecológicas y una rentabilidad financiera similar al sistema convencional. Tales sistemas probablemente incrementen los ingresos económicos al reducir los gastos por la compra de fertilizantes sintéticos y el uso de subproductos del sistema como combustible (leña), postes, estacas y madera (Luna y López, 2012).

Según Altieri *et al.*, (1998) existen muchos casos de experiencias exitosas en el campo de la agroecología, que con el tiempo muestran niveles de producción estables, con rendimientos económicamente favorables que permiten alcanzar un nivel de vida aceptable, garantizando la protección y conservación del suelo e intensificación de la diversidad agrobiológica.

## 4.2 Análisis de componentes principales para la fertilidad del suelo

En la figura 6 se observa la relación entre los componentes de la fertilidad física, química y biológica del suelo. Cuando la magnitud de los vectores es semejante y el ángulo formado entre ellos es menor, significa que existe mayor relación entre los componentes de la fertilidad del suelo.

Podemos decir que existe una asociación entre los componentes de la fertilidad física [retención de agua (CC) y porosidad ( $\eta$ )] y su relación con la fertilidad biológica (poblaciones microbianas). También se evidencian la relación entre los componentes de la fertilidad química del suelo (MO, CO, Nt, CIC y pH); todos ellos como variables dependientes de los ambientes evaluados.

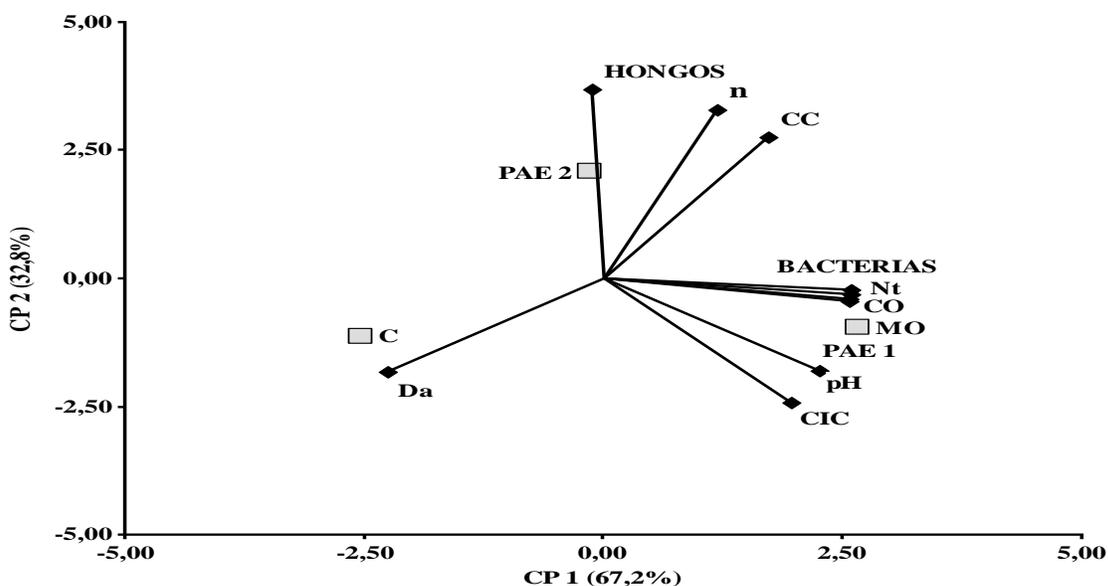


Figura 6. Análisis de componentes principales de variables físicas, químicas y biológicas del suelo.

Se establece que las variables están más asociadas principalmente al sistema agroecológico uno y agroecológico dos, lo que demuestra una tendencia en estos sistemas de presentar una mejor fertilidad física, química y biológica.

Lo anterior se fundamenta porque en estos sistemas existen mayores contenidos de materia orgánica con respecto al sistema convencional, hecho que fundamentan Ojeda *et al.*, (2007), al expresar que la materia orgánica influye proporcionalmente en los componentes de la fertilidad física, química y biológica del suelo de acuerdo a las cantidades presentes en él.

Lo expuesto anteriormente coincide con Reyes *et al.*, (2007); Rivero de Trinca (1999), al plantear que la conservación del factor suelo está indefectiblemente asociada al mantenimiento del contenido de su materia orgánica.

Entre los principales beneficios atribuidos al manejo orgánico del suelo se mencionan aumento en la capacidad de almacenamiento de agua (Narro, 2004), estabilización del pH, mayor capacidad de intercambio catiónico, incremento de la materia orgánica, disminución de la densidad aparente (Comese *et al.*, 2009; Dimas *et al.*, 2001; Sasal *et al.*, 2000), lo que permite un aumento en la porosidad del suelo. Además es una fuente alternativa de nutrientes.

Ruiz-Cobo *et al.*, 2010; Lavelle y Spain, 2001, explican que es clara la relación que existe entre los macroorganismos y microorganismos del suelo y su vínculo con la fertilidad del suelo, al estar involucrados en la descomposición de la materia orgánica, en la regulación de la actividad microbiana y parcialmente en los ciclos nutritivos Coleman *et al.*, (2004), citado por Flores *et al.*, (2008), lo que tiene relación directa con el tipo, edad, diversidad, estructura y manejo del cultivo (Altieri, 1999).

Las especies de sombra *Inga laurina* y *Samanea saman*, ambas leguminosas, contribuyen con el aporte de nitrógeno al fijarlo de la atmósfera a través de mecanismos naturales de simbiosis (Ojeda *et al.*, 2007; Febles y Riverol, 1995).

Murray *et al.*, (2011); Alonso *et al.*, (2007), expresan que un sistema agroforestal genera cambios en los componentes químicos del suelo, mejorando la fertilidad mediante un comportamiento favorable del contenido de materia orgánica.

Este cambio en el contenido de la materia orgánica en los suelos, modifican la fertilidad física favoreciendo a la densidad aparente, porosidad y la retención de humedad (Murray *et al.*, 2011).

Otros beneficios del manejo orgánico del suelo es proveer de energía a los organismos edáficos, aumentando su actividad y diversidad debido a las mejoras en la fertilidad física, química y biológica del mismo (Comese *et al.*, 2009; Tognetti *et al.*, 2008; Labrador, 2001; Dimas *et al.*, 2001).

Esto supone que en la medida que un componente es mejorado en el suelo, otros se manifiestan más favorablemente, y en la medida que aumenta la materia orgánica y el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico se incrementa; componente que puede alterar positivamente la fertilidad del suelo física y químicamente (Sylvia *et al.*, 2005).

La relación de la densidad aparente y la porosidad es normal si consideramos que estos componentes manifiestan un comportamiento inverso, ya descrito en el punto 4.1.2.1.

Esta relación inversa con la materia orgánica, el carbono orgánico y la porosidad del suelo, es un comportamiento reportado por Murray *et al.*, (2011), quienes plantean que la densidad aparente es un componente de la fertilidad física que está en relación directa con el contenido de carbono y de materia orgánica del suelo, ya que al incrementar el contenido de materia orgánica, la densidad aparente disminuye y en consecuencia aumenta la porosidad y la retención de humedad.

El comportamiento de las poblaciones de hongos y bacterias, está relacionado con los componentes hidrofísicos del suelo, principalmente en los sistemas con prácticas agroecológicas, ya que éstos presentan mayor disponibilidad de agua.

Gliessman (2002), señala que en los sistemas donde se efectúan prácticas agroecológicas como la adición de materia orgánica, el agua es atraída con mayor fuerza y su intensidad está determinada por el tamaño de las partículas y los contenidos de materia orgánica del suelo;

ejerciendo una acción positiva sobre la porosidad, la hidrofilia de los coloides húmicos y sobre la estructura, permitiendo mayor retención de agua en el suelo (Fuentes, 1996) y una relación directa con las poblaciones de microorganismos del suelo (Salmón *et al.*, 2012; Calvo *et al.*, 2008; Alexander, 1980).

La biodiversidad fue mayor en las parcelas con prácticas agroecológica, lo que según Nicholls (2013), incrementa la función del agroecosistema dado que las especies tienen funciones diferentes y permiten que ante cambios climáticos extremos, el agroecosistema continúe brindando servicios ambientales.

Es de suponer que todos los componentes de la fertilidad física y química registrados en los sistemas con prácticas agroecológicas actúan favorablemente sobre la fertilidad del suelo dado su mayor índice de biodiversidad.

## V. CONCLUSIONES

Los sistemas con prácticas agroecológicas registran mayor porosidad, retención de humedad y menor densidad aparente, lo que permite mejor conservación de agua en el suelo.

En los sistemas agroecológicos los mayores contenidos de materia orgánica contribuyen a una mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor contenido de carbono orgánico y nitrógeno total y pH cercano a la neutralidad, lo que se traduce en una mayor disponibilidad e intercambio de nutrientes.

La fertilidad física y química del suelo registrada en los sistemas agroecológicos aumentan la diversidad de la macrofauna del suelo y favorecen a las poblaciones de bacterias y hongos, contribuyendo con un mayor reciclaje de nutrientes.

El rendimiento acumulado de café no difiere entre los sistemas evaluados; el sistema agroecológico uno muestra una tendencia al incremento a través del tiempo, a la vez que contribuye a la conservación de los recursos naturales y el aumento de la biodiversidad.

Se establece una relación entre los sistemas agroecológicos con los componentes físico-químicos del suelo, definiéndose asociaciones entre la fertilidad química del suelo y las poblaciones de bacterias; además se especifica una relación entre las poblaciones de hongos, la retención de humedad y la porosidad del suelo, ésta última relacionada inversamente con la densidad aparente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Considerar otros componentes de la fertilidad física y química del suelo que permitan inferir sobre el efecto de las prácticas agroecológicas y el manejo convencional en la fertilidad global del suelo.

Considerar el estudio de la fertilidad del suelo en fincas cafetaleras de productores de la región Norte y Pacífico de Nicaragua que emplean prácticas agroecológicas y manejo convencional para evaluar la replicabilidad de los resultados en condiciones ambientales contrastantes.

## VII. LITERATURA CITADA

- Abbott, LK; Murphy, DV. 2007. Soil biological fertility a key to sustainable land use in agricultura. Springer. Dordrecht. The Netherlands. 264 p.
- Agrios, GN. 2007. Fitopatología. 2 ed. Limusa. MX. 838 p.
- Aguilar, A; Mendoza, R; Hagggar, J; Staver, Ch. 2003. Eficiencia ecológica en café agroforestal manejado con diversos niveles de luz e insumos sintéticos u orgánicos, en la región del pacífico de Nicaragua. IHCAFE-PROMECAFE, San Pedro Sula. HN. p 6 – p12.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología de suelo. Trad. JJ Peña Cabriales. DF. MX. 491 p.
- Alonso, J; Sampaio, R; Febles, G; Achang, G. 2007. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. Revista Ciencias Agrícolas. 41:189-192.
- Altieri, MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agriculture Ecosystems and Environments. (en línea). Consultado 15 sep. 2008. Disponible en <http://www.rrualberta.ca/People/renr450/docs/ecolrolebiodiv.pdf>
- Altieri, MA; Rosset, P; Thrupp, LA. 1998. El potencial de la agroecología para combatir el hambre en el mundo en desarrollo. (en línea). Consultado 15 mar. 2014. Disponible en <http://www.edualter.org/material/sobirania/potencial%20agroecologia.pdf>
- Amberger, A. 2006. Soil fertility and plant nutrition in the tropics and subtropics. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Potash Institute (IPI), Paris, FR. 96 p.
- Anderson, JM; Ingram, JSI. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods 2 ed. Wallingford, Oxfordshire: CAB International 221 p.
- Ares A., Boniche J., Molina E., Yost R. 2001. *Bactris gasipaes* agroecosystems for heart of palm production in Costa Rica: changes in biomass, nutrient and carbon pools with stand age and plant density. Field Crops Research 74(2002):13-22.
- Barrios, M; Navarrete, E; Navarrete, L. 2012. Análisis financiero del manejo de diferentes sistemas agroforestales con café. In sostenibilidad y sinergismo en café agroforestal: un estudio de las interacciones entre el café, las plagas, la fertilidad del suelo y los árboles. Masatepe, Masaya, NI. p. 22-32.
- Bashan, Y; Holguin, G; Puente, E. 1992. Alternativa agrícola regional por fertilizantes bacterianos. In Uso y Manejo de los Recursos en la Sierra de la Laguna Baja California Sur. Ed. A. Ortega. (en línea). Consultado 21 sep. 2013. Disponible en <http://www.bashanfoundation.org/gmaweb/pdfs/biofertilizers.pdf>

- BCN (Banco Central de Nicaragua). 2011. Estadísticas macroeconómicas: 50 años de estadísticas macroeconómicas 1960–2009. (en línea). Consultado 15 oct. 2011. Disponible en [http://www.bcn.gob.ni/estadisticas/economicas\\_anuales/index.html?&val=4](http://www.bcn.gob.ni/estadisticas/economicas_anuales/index.html?&val=4)
- Bernal, A; Gato Martínez, I; Díaz Castellanos, M; Herrera Isla, L; Martínez, B. 2006. Empleo de cepas de bacterias antagonistas en el control de *Stemphylium solani* Webber en tomate bajo cultivo protegido. (en línea). Consultado 18 mar. 2012. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=16&hid=24&sid=5d4624bb-45e1-4f62-9644-e29f6f06155f%40sessionmgr10>
- Bolaños, M. 2005. Ensayos de sistemas de café. La calidad del café durante los primeros años del ciclo cafetalero 2004/2005. San José CR. 54 p.
- Boniche, J; Alvarado, A; Molina, E; Smyth, TJ. 2008. Descomposición y liberación de carbono y nutrientes de los residuos de cosecha en plantaciones de pejibaye para palmito en Costa Rica. (en línea). Consultado 01 oct. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&hid=122&sid=8c1a403a-0891-4e39-8762-10ab45e1c351%40sessionmgr14>
- Brown, GG; Fragoso, C; Barois, I; Rojas, P; Patrón, C; Bueno, J; Moreno, AG; Lavelle, P; Ordaz, V; Rodríguez, C. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. (en línea). Consultado 08 oct. 2011. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57500006>
- Bryan, JA. 2000. Nitrogen fixation of leguminous trees in traditional and modern agroforestry systems. p. 161–182. In: The Silvicultural Basis for Agroforestry Systems. CRC Press, Florida, US. 278 p.
- Cairo, P. 1995. La fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica en el trópico. Curso de posgrado. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Escuela de Suelos y Agua. Managua, NI. 231 p.
- Calvo Vélez, P; Meneses, LR; Zúñiga Dávila, D. 2008. Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. (en línea). Consultado 19 de nov. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&hid=123&sid=904ab4e1-ed26-45c5-9cc4-d61d07dc53b1%40sessionmgr113>
- Calvo, P; Zúñiga, D. 2010. Caracterización fisiológica de cepas de *Bacillus* spp. Aisladas de la rizósfera de papa (*Solanum tuberosum*). (en línea). Consultado 19 nov. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&hid=123&sid=904ab4e1-ed26-45c5-9cc4-d61d07dc53b1%40sessionmgr113>
- Cardona C, DA; Sadeghian KH, S. 2005. Caracterización de la fertilidad del suelo en monocultivo de café (*Coffea arabica* L) y bajo sombrío de guamo (*Inga sp*). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (en línea). Consultado 25 feb. 2012. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3049/4602>

- Cardona Calle, DA; Sadeghian-Khalajabadi, S. 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. (en línea). Consultado el 15 mar. 2014. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/197/1/arc056%2804%29348-364.pdf>
- Castaño Z, J. 1986. Prácticas de laboratorio de fitopatología. Departamento de protección Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, HN. 45 p.
- Castellanos González, L; Lorenzo Nicao, ME; López Mesa, MO. 2006. Especies del género *Aspergillus* asociadas con suelos agrícolas de la provincia de Cienfuegos. Centro Agrícola. año 33, no. 4, oct.-dic, 2006 89. (en línea). Consultado 03 mar. 2012. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&hid=10&sid=d03ba627-646a-4903-80b6-54164c02a4d7%40sessionmgr13>
- Catastro e inventario de recursos naturales de Nicaragua. 1971. Levantamiento de suelos de la región del pacífico de Nicaragua. Parte 2. Descripción de suelos. Managua. NI. 2 v. 591 p.
- CECA (Centro Experimental Campos Azules, NI); INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2011. Registro meteorológico. Masatepe, Masaya, NI.
- Comese, RV; González MG; Conti ME. 2009. Cambios en las propiedades de suelo de huerta y rendimiento de *Beta vulgaris* var. Cicla (L) por el uso de enmiendas orgánicas. (en línea). Consultado 19 nov. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&hid=110&sid=0d1cf703-1e90-4dfc-af5e-206c5aa27318%40sessionmgr104>
- Cremona, MV; López, SG. 2004. Niveles de fósforo en Andosoles del valle de El Bolsón. área Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Patagonia Norte Estación Experimental Agropecuaria Bariloche, AR. 5 p. (Comunicación técnica N° 48)
- Cupull Santana, R; Ortiz Arbolaez, A; Sánchez Esmori, C; Andreu Rodríguez, CM; Cupull Santana; M del C. 2007. Incidencia de *Trichoderma viride* en las poblaciones de microorganismos en el suelo en injertos hipocotiledonares de café. (en línea). Consultado 01 oct. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&hid=110&sid=0d1cf703-1e90-4dfc-af5e-206c5aa27318%40sessionmgr104>
- Dalal, RC; Carter, JO. 1999. Soil organic matter dynamic and carbon sequestration in Australian tropical soil. In: Global climate change and tropical ecosystems. Eds. R Lal; JM Kimble; BA Stewart. US. p. 283-316.
- De la Rosa, D. 2008. Evaluación agroecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. Mundi-Prensa. Madrid. EP. 404 p.
- Dimas López, J; Díaz EA; Martínez RE, Valdez, RD. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra. 19: 293-299.

- Edwards, CA; Lofty, JR. 1982. The effects of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. *Journal of Applied Ecology* 19: 723-734.
- Eisenbeis, G; Wichard, W. 1987. Atlas on the biology of soil arthropods. Berlin, Springer Verlag. p 1-20.
- Fassbender, HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. (en línea). Consultado 19 abr. 2014. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0813E/A0813E.PDF>
- Fassbender, HW. 1984. Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina. IICA, San José, CR. 398 p.
- Febles, JM; Riverol, M. 1995. Manejo agroecológico de la fertilidad de los suelos en el trópico. La Habana, CU. 11 p.
- Fernández, LA; Zalba, P; Gómez, MA; Sagardoy, MA. 2005. Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelo de la región sojera. (en línea). Consultado 20 dic. 2012. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/results?sid=e76a4434-c1cf-432a-bc56-8447175082cf%40sessionmgr13&vid=15&hid=124&bquery=bacterias+solubilizadoras+%22de%22+fosfato&bdata=JmRiPXpiaCZsYW5nPWVzJnR5cGU9MCZzaXRIPWVob3N0LWxpdmU%3d>
- Ferrera Cerrato, R; Alarcón, A. 2007. Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. Trillas. México, MX. 568 p.
- Flores Pardavé1, L; Escoto Rocha, J; Flores Tena, FJ; Hernández S, AJ. 2008. Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicaciones de biosólidos. (en línea). Consultado 01 oct. 2011. Disponible en <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista40/Articulo%202.pdf>
- Fuentes Yagüe, JL. 1996. El suelo y los fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Mundi-Prensa. Madrid. EP. 242 p.
- FUNIDES (Fondo Nicaragüense para el Desarrollo Social). 2012. Programa de mejoramiento de la caficultura de los pequeños y medianos productores. (en línea). Consultado 01 sep. 2012. Consultado en [http://www.funides.com/documentos/estudios\\_especiales/mejoramiento\\_productivo\\_de\\_la\\_caficultura/mejoramiento\\_productivo\\_de\\_la\\_caficultura.pdf](http://www.funides.com/documentos/estudios_especiales/mejoramiento_productivo_de_la_caficultura/mejoramiento_productivo_de_la_caficultura.pdf)
- Gallegos-Morales, G; Cepeda-Siller, Melchor; Hernández-Castillo, FD; Acosta-Zamarripa, AM; Velásquez-Valle, R; González-Gaona, E; Sánchez-Yáñez, JM. 2009. Microorganismos benéficos asociados a *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en Guayabo (*Psidium guajava* L.) de Calvillo, Aguascalientes, México. (en línea). *Revista mexicana de fitopatología* 27 (2). Consultado 17 mar. 2012. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092009000200003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092009000200003&script=sci_arttext)

- Glick, BR. 1995. The enhancement of plant growth by free- living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* 41: 109-117.
- Gliessman, SR. 2002. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Turrialba, CR. CATIE. 359 p.
- Haggar, J; Staver, C. 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*. 8(29):49-51.
- Hammer, Ø; Harper, DAT; Ryan, PD. 2001a. Past-PAlaeontologicalStatistics (en línea). Consultado el 24 sep. 2011. Disponible en [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/pastprog/past.pdf](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/pastprog/past.pdf)
- \_\_\_\_\_ 2001b. Past-paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología electrónica* (en línea). Consultado el 24 sep. 2011. Disponible en [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf)
- Henríquez, C; Cabalceta, G; Bertsch, F; Alvarado, A. 2010. Principales suelos de Costa Rica. (en línea). Consultado 18 sep. 2010. Disponible en [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html)
- Heredia Abarca, G; Arias Mota, RM. 2008. Hongos saprobios y endomicorrizógenos en suelos. In *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. Eds. Manson, RH; Hernández Ortiz, V; Gallina, S; Mehlreter, K. MX. p 193 – 212. (en línea). Consultado 18 dic. 2012. Disponible en <http://books.google.com.ni/books?id=XtAQvs4oZEAC&pg=PA199-IA3&dq=macrofauna+del+suelo+y+su+papel+clave+en+el+suelo&hl=es&sa=X&ei=pAX7UNTYHfCB0QHcgIHgBQ&ved=0CEkQ6AEwBQ#v=onepage&q=macrofauna%20del%20suelo%20y%20su%20papel%20clave%20en%20el%20suelo&f=false>
- Hernández, Y; García, OA; Ramón, M. 2001. Utilización de algunos microorganismos del suelo en cultivos de interés para la ganadería. 2001. (en línea). Consultado 18 mar. 2012. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=28&hid=24&sid=5d4624bb-45e1-4f62-9644-e29f6f06155f%40sessionmgr10>
- INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica). 2012. (en línea). Consultado 08 sep. 2012. Disponible en <http://darnis.inbio.ac.cr/FMPro?-DB=ubipub.fp3&-lay=WebAll&-Format=/ubi/detail.html&-Op=bw&id=516&-Find>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2010. Departamento de estadística de meteorología. Managua, Nicaragua.

- Infante L, A. 2013. Agroecología y programas de desarrollo sustentables en el secano de Chile. In Agroecología y resiliencia socioecológicas: adaptándose al cambio climático. REDAGRE, CYTED, SOCLA. Eds. Nicholls Estrada, CI; Ríos Osorio, LA; Altieri, MA. Medellín, CO. P 1-17.
- Jardín Botánico. 2011. Registro meteorológico. UNICAFE. Masatepe, Masaya, NI.
- Jordan, CF. 2004. Organic farming and agroforestry: Alleycropping for mulch production for organic farms of southeastern United States. (en línea). Agroforestry Systems no 61. Consultado 11 mar. 2009. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/p8550w817310q636/fulltext.pdf>
- Joshi, J; Otway, SJ; Koricheva, J, Pfisterer, AB, Alpehi, J, Roy, BA, Scherer-Lorenzen, M; Schmid, B; Spehn, E, Hector, A. 2004. Bottom-up effects and feedbacks in simple and diverse experimental grassland communities. Ecological Studies. 173:115-134.
- Labrador M, J. 2001. La Materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones. 2 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 293 p.
- \_\_\_\_\_ 1996. La Materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, ES. 174 p.
- LABSA-UNA (Laboratorio de suelos y aguas Universidad Nacional Agraria, NI). 2011. Criterios de clasificación según resultados de laboratorio. Managua, NI. 2 p.
- Lara, C; Esquivel Avila, LM; Negrete Peñalta, JL. 2011. Bacterias nativas solubilizadores de fosfatos para incrementar los cultivos en el departamento de Córdoba-Colombia. (en línea). Consultado 20 dic. 2012. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=17&sid=e76a4434-c1cf-432a-bc56-8447175082cf%40sessionmgr13&hid=124>
- Lavelle, P; Spain A. 2001. Soil ecology. Kluwer Academic Publishers. New york, Boston, Dordrecht, London, Moscow. 616 p.
- Luna R, FC; López M, JG. 2012. Fertilidad del suelo en tres sistemas de manejo en café (*Coffea arabica* L.) y su efecto en el rendimiento, Masatepe-Masaya. (en línea). Consultado 29 mar. 2014. Disponible en <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp351961.pdf>
- Madigan, M; Martinko, JM; Parker, JB. 2000. Biología de los microorganismos. 9 ed. Prentice Hall, US. p. 699.
- Madigan, M; Martinko, J; Parker, J. 1997. Biología de los microorganismos. 8 ed. Prentice Hall. US. 1064 p.

- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2012. Dos millones 200 mil quintales es la proyección de la cosecha de café para el 2011-2012. Divulgación y Prensa MAGFOR AAU - 30/11/2011. (en línea). Consultado 04 ago. 2012. Disponible en <http://magfor.gob.ni/noticias/2011/noviembre/conacafe.html>
- Mahajan, S; Kanwar, SS; Kumari, P; Sharma, SP. 2007. Long-term effect of mineral fertilizers and amendments on microbial dynamics in an alfi sol of Western Himalayas. *Indian Journal of Microbiology* 47:86-89.
- Martínez H, E; Fuentes E, JP; Acevedo H, E. 2008. Carbono orgánico del suelo. (en línea). Consultado 21 sep. 2013. Disponible en [http://www.captura.uchile.cl/bitstream/handle/2250/7438/Martinez\\_Eduardo.pdf?sequence=1](http://www.captura.uchile.cl/bitstream/handle/2250/7438/Martinez_Eduardo.pdf?sequence=1)
- Matus, FJ; Maire G, CR. 2000. Relación entre la material orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. (en línea). Consultado 08 mar. 2014. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072000000200003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000200003&lng=es&nrm=iso)
- Meyrat, AK; Quesada Bonilla, JB; Garmendia Zapata, M. 2012. Árboles y arbustos predominantes de Nicaragua. Managua, NI. 300 p.
- Morales, D; La Manna, L; Buduba, C. 2010. Propiedades químicas de suelos desarrollados sobre distintos materiales originales bajo bosques de *Austrocedrus chilensis*. (en línea). Consultado 14 may. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&hid=110&sid=a5712001-e48b-4108-82fc-5b0eceb0bd93%40sessionmgr110>
- Morell, F; Hernández, A; Fernández, F; Toledo, Y. 2006. Caracterización agrobiológica de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la región de San José de Las Lajas, en relación con el cambio en el manejo agrícola. (en línea). Consultado 17 dic. 2012. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=364137a2-7aae-4edf-a627-64f1a2428f7b%40sessionmgr112&hid=127>
- Murray Núñez, RM; Bojórquez Serrano JL; Hernández Jiménez, A; Orozco Benítez, MG; García Paredes, JD; Gómez Aguilar R; Ontiveros Guerra HM; Aguirre Ortega, J. 2011. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Biociencia*, (en línea). Consultado 31 mar. 2012. Disponible en <http://biociencias.uan.edu.mx/publicaciones/02-03/biociencias3-3.pdf>
- Mussini, E.; Crespo, G.; Bianco, H. 1984. Evolución de la materia orgánica de la Provincia del Neuquén. *Ciencia del Suelo* 2: 53-60.
- Narro Farías, E. 2004. Física de suelo con enfoque agrícola. 4ta reimpresión. Ed. Trillas. MX. 195 p.

- Nicholls, CI. 2013. Enfoque agroecológico para incrementar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático. In Agroecología y resiliencia socioecológicas: adaptándose al cambio climático. REDAGRE, CYTED, SOCLA. Eds. Nicholls Estrada, CI; Ríos Osorio, LA; Altieri, MA. Medellín, CO. p 18-29.
- OFI (Oxford Forestry Institute, UK; CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Eds. Cordero, J; Boshier, DH. Turrialba, CR. 1080 p.
- Ojeda Quintana LJ; Oropesa, AD; Castañeda, I; Eupierre, H; Chirino, V. 2007. Geomorfología, propiedades físicas y principales componentes de la fertilidad del suelo en un bosque semideciduomesófilo natural y en zonas de colecciones de plantas del Jardín Botánico de Cienfuegos. (en línea). Consultado 20 ene. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=15&hid=21&sid=8c1a403a-0891-4e39-8762-10ab45e1c351%40sessionmgr14>
- Pained, D; Wild, A. 1992. Estructura del suelo, laboreo y comportamiento mecánico condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Madrid, ES. Mundi-prensa. 1045 p.
- Pan, B; Bai, Y; Leibovitch, S; Smith, D. 1999. Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promote corn growth and yield in a short growing season area. European Journal of Agronomy. 11: 179-186.
- Paz, IV; Sánchez, MDP. 2007. Relación entre dos sistemas de sombra de café y algunas propiedades físicas del suelo en la meseta de Popayán. (en línea). Consultado 22 dic. 2012. Disponible en <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=19&sid=f0a4d3ac-b0da-4f11-945a-d6df8075f2d3%40sessionmgr114&hid=122>
- Pelczar, MJ; Reid, RD; Chan, ECS. 1982. Microbiología. 2 ed. McGraw-Hill. Trad. A Capella Busto; J TayZaval. 824 p.
- Pla L. 2006. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. (en línea). Consultado 21 ene. 2012. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>
- Plaster, EJ. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. 2da reimpresión. Madriz, ES. p. 191-209.
- PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones en Café). 2012. Especies y variedades de café cultivadas en El Salvador. (en línea). Consultado 22 dic. 2012. Disponible en [http://www.procafe.com.sv/menu/Investigacion/Variedades\\_de\\_Cafeto.htm](http://www.procafe.com.sv/menu/Investigacion/Variedades_de_Cafeto.htm)
- Quinchía, AM; Gómez, FA; Palencia Penagos, K; Giraldo Lopera, CE. 2006. Evaluación de la resistencia de un aislado bacteriano nativo compatible con *Pseudomonas* sp. al insecticida lorsban 4 EC. (en línea). Consultado 19 nov. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&hid=110&sid=0d1cf703-1e90-4dfc-af5e-206c5aa27318%40sessionmgr104>

- Reinoso, Y; Casadesús, L; Garcías, A; Gutiérrez, J; Pazos, V. 2006. Antagonismo in vitro de *Bacillus* spp. frente a bacterias fitopatógenas del cultivo de la papa. (en línea). Consultado 23 nov. 2013. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&hid=110&sid=0d1cf703-1e90-4dfc-af5e-206c5aa27318%40sessionmgr104>
- Reyes Hernández A.; PI, Cairo Cairo; J, Machado de Armas; O, Fundora Herrera; CR, Albuerne; AB, Manes Suárez; JR, Hernández; JE, Quesada Iznaga; G, Lino Fleites; L, Domínguez León. 2007. Efecto de los diferentes sistemas agroforestales sobre algunos indicadores de la fertilidad de un suelo ferralítico rojo amarillento lixiviado de Topes de Collantes. (en línea). Consultado 09 feb. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?hid=15&sid=ebd34578-0ef1-40db-a16c-6dccb5296e80%40sessionmgr11&vid=6>
- Rigby, D; Cáceres, D. 2001. Organic farming and the sustainability of agricultural systems. (en línea). Consultado 25 may. 2012. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X00000603>
- Rivero de Trinca, C. 1999. Materia orgánica del suelo. Revista Alcance. 57:85-98.
- Ruiz-Cobo, DH; Feijoo, A; Rodríguez, C. 2010. Comunidades de macro invertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso del terreno en la cuenca del Río Otún, Colombia. Acta Zoológica Mexicana, número especial 2:165-178. (en línea). Consultado 03 mar. 2012. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=16&hid=21&sid=8c1a403a-0891-4e39-8762-10ab45e1c351%40sessionmgr14>
- Salmón, Y; Funes-Monzote, FR; Martí, OM. 2012. Evaluación de los componentes de la biodiversidad en la finca agroecológica “Las Palmitas” del municipio Las Tuna. 2012. (en línea). Consultado 13 mar. 2013. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=c636714e-dbb1-4aeb-8e25-0326ba10b2bf%40sessionmgr113&hid=125>
- Santillana Villanueva, N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomona* ssp. (en línea). Consultado 19 nov. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&hid=110&sid=0d1cf703-1e90-4dfc-af5e-206c5aa27318%40sessionmgr104>
- Sasal, C; Andriulo, A; Ullé, J; Abrego, F; Bueno M. 2000. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas, en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana. Ciencia del Suelo. 18:95-104
- Sylvia, DM; Hartel, PG; Fuhrmann, JJ; Zuberer, DA. 2005. Principle and applications of soil microbiology. 2 ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey. US. 640 p.
- Taboada, MA; Álvarez, CR. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2 ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. AR. 237 p.

- Tognetti, C; Mazzarino, MJ; Laos, F. 2008 Compost of municipal organic waste: Effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity. *Soil Biology and Biochemistry*. 40(9): 2290-2296.
- Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andosols. *Advances in Soil Science* 2: 173-229.
- Wardle, DA. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Advances in Ecological Research*. 26: 105-185.
- Young, A. 1989. Ten hypothesis for soil agroforestry research. *Agroforestry Today*. 1(1):3
- Zaldivar, N; Pérez, BE; Fernández, Y; Licea, L. 2007. Macrofauna edáfica en tres sistemas ganaderos. *Centro agrícola* 34 (2):75-79. (en línea). Consultado el 08 oct. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&hid=12&sid=8c1a403a-0891-4e39-8762-10ab45e1c351%40sessionmgr14>
- Zerbino, MS. 2010. Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivos-pasturas con laboreo convencional. *Acta Zoológica Mexicana número especial* 2:189-202. (en línea). Consultado 27 jul. 2011. Disponible en <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=10&hid=15&sid=2e365a43-98c9-423e-a6ef-001653dad30a%40sessionmgr14>

## **VIII. ANEXOS**

Anexo 1. Descripción de los tratamientos según especies de sombra y nivel de insumos

<b>Trat</b>	<b>Especies de sombra</b>	<b>Nivel de insumo</b>	<b>Descripción</b>
1		Alto convencional	Convencional intensivo
2	<i>Tabebuia rosea</i>	Moderado orgánico	Orgánico intensivo
3	<i>Simarouba glauca</i>	Moderado convencional	Convencional extensivo
4		Bajo orgánico	Orgánico extensivo
5		Bajo orgánico	Orgánico extensivo
6	<i>Samanea saman</i>	Moderado convencional	Convencional extensivo
7	<i>Inga laurina</i>	Moderado orgánico	Orgánico extensivo
8		Alto convencional	Convencional intensivo
9	<i>Samanea saman</i>	Moderado orgánico	Orgánico extensivo
10	<i>Tabebuia rosea</i>	Moderado convencional	Convencional extensivo
11	<i>Inga laurina</i>	Moderado orgánico	Orgánico extensivo
12	<i>Simarouba glauca</i>	Moderado convencional	Convencional extensivo
13	Pleno sol	Moderado convencional	Convencional extensivo
14		Alto convencional	Convencional intensivo

Trat: Tratamiento.

Anexo 2. Plan de fertilización por tratamiento

<b>Tratamiento</b>	<b>Momento y dosis de insumos</b>
Práctica agroecológica uno	Abril: 2.27 kg de pulpa de café por planta Agosto: 1.82 kg de gallinaza por planta Mensual: Biofermentado (2 litros de soluto porcada 18 litros de agua)
Práctica agroecológico dos	Abril: 2.27 kg de pulpa de café por planta
Convencional	Julio: 19.5 g de 27-09-18 Septiembre: 35 g de 12-30-10 Octubre: 20 g de urea y 5 g de KCl Marzo y abril: 25 g de zinc + 30 g de boro vía foliar

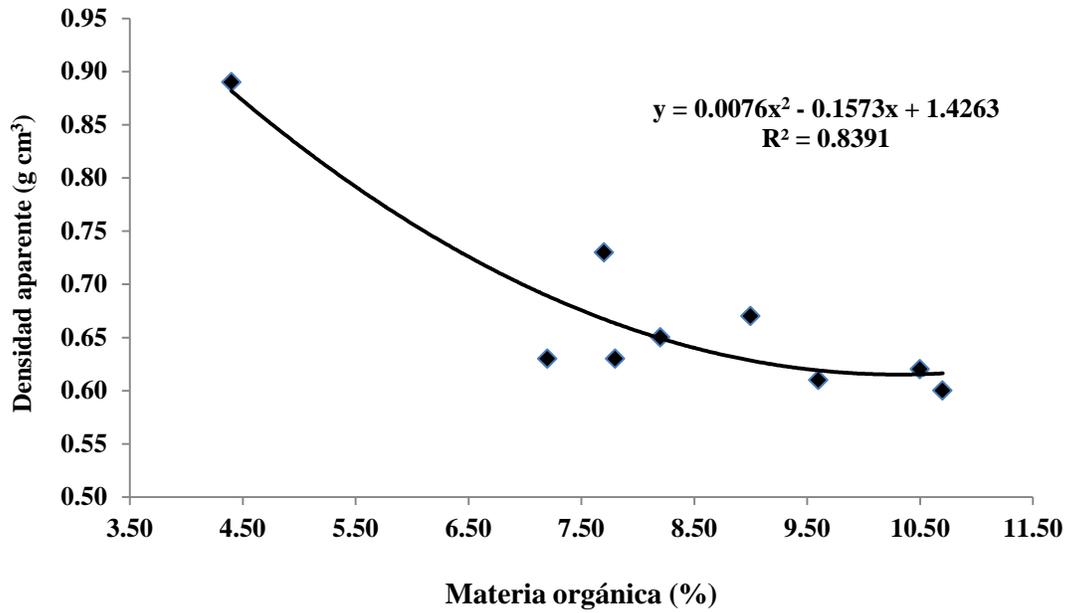
Anexo 3. Valores de densidad real del suelo por tratamiento y época de muestreo

<b>Tratamiento</b>	<b>Julio 2009</b>	<b>Enero 2010</b>
Práctica agroecológica uno	2.31	2.27
Práctica agroecológica dos	2.19	2.34
Convencional	2.24	2.40

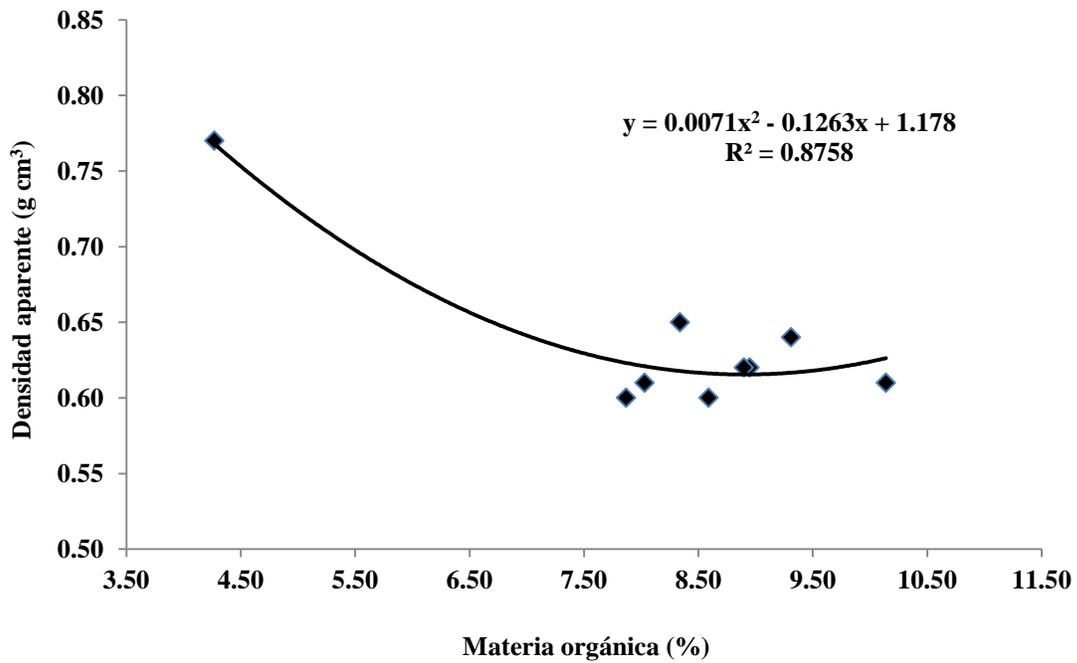
Anexo 4. Metodología para determinar algunos componentes de la fertilidad física, química y biológica del suelo

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>
Reacción del suelo (pH)	pH en agua, método del potenciómetro
Materia orgánica (%)	Calorimétrico (Walkey y Black, 1947)
Carbono orgánico (%)	Walkey y Black (1934)
Capacidad de cambio catiónico (CIC)	Solución extractora de acetato de amonio
Capacidad de campo (CC)	Ollas de presión
Densidad aparente (Da)	Método del cilindro (Klimes, 1964)
Porosidad (n)	Mediante Cálculos Matemáticos (Birecki y Col, 1968)
Identificación y cuantificación de bacterias y hongos	Dilución seriada de suelo (Castaño, 1986)
Diversidad de macrofauna del suelo	Exploración de suelo e identificación

Fuente: Laboratorio de suelos y agua y laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria.



Anexo 5. Relación de la materia orgánica y la densidad aparente del suelo, julio 2009



Anexo 6. Relación de la materia orgánica y la densidad aparente del suelo, enero 2010

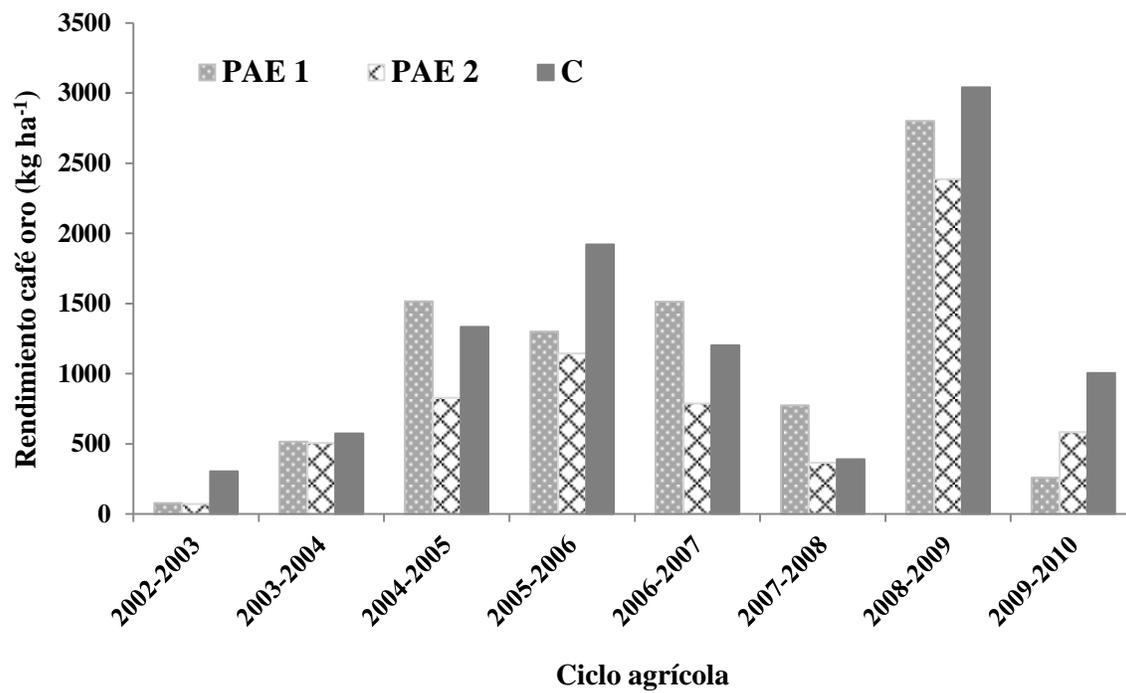
Anexo 7. Poblaciones bacterianas (UFC g<sup>-1</sup> de suelo) por tratamiento y épocas de muestreo

<b>Tratamiento</b>	<b>Genero</b>	<b>Julio 2009</b>	<b>Enero 2010</b>
Práctica agroecológica uno	<i>Bacillus sp</i>	7E6	20E6
	<i>Pseudomona sp</i>	6E6	9E6
	<i>Serratina sp</i>	8E6	---
Práctica agroecológica dos	<i>Bacillus sp</i>	4.5E6	11.5E6
	<i>Pseudomona sp</i>	---	19E6
	<i>Micrococus sp</i>	6E6	1.5E6
	<i>Sarcina sp</i>	---	4.5E6
Convencional	<i>Bacillus sp</i>	9E6	18.5E6
	<i>Pseudomona sp</i>	---	11E6
	<i>Micrococcus sp</i>	56E6	2.E6
	<i>Sarcina sp</i>	---	1E6

Anexo 8. Poblaciones totales de hongos (UFC g<sup>-1</sup> de suelo) por tratamiento y épocas de muestreo

<b>Tratamiento</b>	<b>Género</b>	<b>Julio 2009</b>	<b>Genero</b>	<b>Enero2010</b>
Práctica agroecológica uno	<i>Aspergillus sp</i>	8.46E5	<i>Paecilomyces sp</i>	8.3E4
	<i>Paecilomyces sp</i>		<i>Aspergillus sp</i>	
	<i>Gliocladium sp</i>		<i>Cladosporium sp</i>	
	<i>Penicillium sp</i>		<i>Penicillium sp</i>	
	<i>Fusarium sp</i>		<i>Gleosporium sp</i>	
Práctica agroecológica dos	<i>Aspergillus sp</i>	1.7E6	<i>Trichoderma sp</i>	1.5E5
	<i>Auerobasidium sp</i>		<i>Aspergillus sp</i>	
	<i>Fusarium sp</i>		<i>Penicillium sp</i>	
	<i>Gliocladium sp</i>		<i>Paecilomyces sp</i>	
Convencional	<i>Auerobasidium sp</i>	6.23E5	<i>Aspergillus sp</i>	8.3E4
	<i>Paecilomyces sp</i>		<i>Cladosporium sp</i>	
	<i>Aspergillus sp</i>		<i>Paecilomyces sp</i>	
	<i>Fusarium sp</i>		<i>Penicillium sp</i>	
	<i>Gliocladium sp</i>			

Anexo 9. Rendimiento de café oro ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) por ciclo agrícola en dos sistemas agroecológicos y un sistema convencional





*“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”*