

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POST GRADO
DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**



**“DINÁMICA DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO
EN EL MANEJO DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON
CACAO”**

**Presentado por
ENRIQUE AREVALO GARDINI**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
*DOCTORIS PHILOSOPHIAE***

Lima – Perú

2014

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POST GRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN AGRICULTURA
SUSTENTABLE**

**ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO EN
MANEJO DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
*Doctoris Philosophiae***

Presentado por:

ENRIQUE AREVALO GARDINI

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Dr. Oscar Loli Figueroa
PRESIDENTE**

**Dr. Manuel Canto Sáenz
PATROCINADOR**

**Dr. Julio Alegre Orihuela
MIEMBRO**

**Dr. Alberto Julca Otiniano
MIEMBRO**

**Dr. Virupax Baligar
MIEMBRO EXTERNO**

DEDICATORIA

A Dios por ser el guía de mis actos

A mi esposa Karenina, por su amor, comprensión y apoyo constante en los esfuerzos de superación profesional

A mis hijos César Oswaldo, Karenina del Carmen y Fátima Susana por ser la motivación constante de superación

A la memoria de mis padres Hilda Georgina y Juan Bernardino, quienes con su amor y esfuerzo me formaron para un futuro mejor y me acompañaron en mi superación profesional.

A la memoria de un excelente amigo y colega Fredy Arana Sánchez por su agradable compañerismo y alegría que siempre recordaré.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Manuel Canto Sáenz, patrocinador de la presente tesis y coordinador del doctorado en Agricultura Sustentable, por su amistad, confianza y profesionalismo en la consecución de mi doctorado

Al Dr. Virupax Baligar, co patrocinador de la tesis, por su confianza, amistad y constante apoyo para la culminación exitosa de mis estudios de Doctorado.

A cada uno de los miembros del Comité consejero, Dr. Julio Alegre Orihuela, Dr. Alberto Julca Otiniano, Dr. Oscar Loli Figueroa, por su tiempo dedicado a la tesis en las revisiones, correcciones y sugerencias que enriquecieron el presente documento.

A Todos mis profesores que me formaron en esta noble carrera del Doctorado en Agricultura Sustentable

Al Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) por las facilidades brindadas para la culminación de mis estudios de doctorado y la tesis.

Al Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA/ARS) por el soporte constante en el desarrollo de la tesis.

A la Sección Antinarcóticos de la Embajada de Norteamérica en Lima (NAS), por el soporte constante durante el desarrollo de mis estudios de Doctorado y la Tesis

A mis compañeros del Doctorado, Pablo Huerta, Vicente Pocomucha, Luz Espinoza, Santiago Sáenz, Wilder Martínez, Jorge Llontop por los momentos compartidos durante el desarrollo de los estudios de Doctorado, una especial deferencia a Fernando Puertas por su amistad y apoyo en la culminación de la presente tesis.

A mis hermanos y colegas Juan, Luis Zúñiga y Felipe Serapio, por su apoyo constante

A mis amigos y compañeros de trabajo en el ICT, Ángel Luis, Lucinda, Juan, Carlos Enrique, Cássia Bahía, Betsabe, Berning, Raquel, Sylvia, por su apoyo.

INDICE GENERAL

	Página
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	3
CAPITULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Situación de la Amazonia Peruana	4
2.2. Agricultura migratoria	6
2.3. Sistemas Agroforestales (INAS)	8
2.4. El cultivo de cacao	13
2.5. Calidad de los suelos	16
2.6. Importancia biológica del suelo	19
2.6.1. Hongos en el suelo	25
2.6.2. Nematodos en el suelo	27
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Descripción del área de estudio	30
3.2. Componentes en Estudio	30
3.2.1. Sistemas de Producción de cacao (S)	30
a. Sistema agroforestal natural mejorado (INAS)	30
b. Sistema agroforestal tradicional o convencional mejorado (ITAS)	30
3.2.2. Descripción de los sistemas de producción de cacao	31
a. Sistema agroforestal natural mejorado (INAS)	31
b. Sistema agroforestal Tradicional o Convencional mejorado (ITAS)	33
3.2.3. Genotipos de cacao (G)	36
3.3. Tratamientos en estudio	36
3.4. Diseño Estadístico	37

3.5. Disposición Experimental	37
3.7. Muestreo de suelos	39
3.7.1. Análisis de suelos	40
3.8. Características físico-químicas de las cuadrículas del campo experimental	41
3.9. Metodología de laboratorio para los indicadores biológicos	42
3.9.1. Análisis micológico	42
3.9.1.1 Extracción de hongos del suelo	42
3.9.2.2. Identificación de hongos del suelo	42
3.9.2.3 Análisis de la estructura de la comunidad de hongos del suelo	43
3.9.2. Análisis nematológico: extracción, identificación y análisis de la estructura de la comunidad de nematodos del suelo	44
3.9.2.1 Extracción de nematodos	44
3.9.2.2. Identificación de nematodos	44
3.9.2.3. Análisis de la estructura de la comunidad de nematodos	45
3.10. Índice de calidad de suelo aditivo (ICSA)	46
3.12. Datos registrados	46
3.13. Análisis de datos	47
CAPITULO IV : RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1. Características de la biodiversidad florística en el área de establecimiento de los sistemas productivos de cacao	48
4.2 Cambios en las características físicas y químicas del suelo bajo dos sistemas de producción de cacao	49
4.3. Propiedades Físicas	50
4.4. Propiedades Químicas	58
4.5 Dinámica poblacional de hongos y nematodos asociados a la rizosfera de genotipos de cacao en dos sistemas de producción a tres profundidades	70
4.5.1 Población de Hongos	70
4.5.2 Población de Nematodos	83
4.6. Índice de calidad de suelos	104
4.7. Productividad de los genotipos de cacao	110
CAPITULO V. CONCLUSIONES	111

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES	113
CAPITULO VI. LITERATURA CITADA	114
ANEXOS	132

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Relación de genotipos y tratamientos considerados en el presente estudio.	36
Cuadro 2. Metodología de análisis para las determinaciones físicas y químicas del suelo. E.E. “El Choclino”, San Martín-Perú.	40
Cuadro 3. Caracterización física y química de los suelos al 2004 en los bosques secundarios de la Estación Experimental “El Choclino” San Martín – Perú.	49
Cuadro 4. Fuente de variabilidad de los indicadores físicos del suelo asociados a la rizósfera de genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010 a tres profundidades. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	51
Cuadro 5. Propiedades físicas en los sistemas INAS e ITAS evaluados, comparados con SF. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	52
Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo de los sistemas de producción de cacao durante los años evaluados. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	54
Cuadro 7. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de producción de cacao a tres profundidades. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	56
Cuadro 8. Propiedades físicas del suelo bajo el bosque secundario, genotipos de cacao evaluados en los dos sistemas de producción. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	57
Cuadro 9. Fuente de variabilidad de los indicadores químicos del suelo asociados a la rizósfera de genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010 a tres profundidades. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú. (Parte 1 y 2).	59

Cuadro 10.	Propiedades químicas de suelos en los sistemas INAS e ITAS evaluados, comparados con SF. E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	61
Cuadro 11.	Promedios y valor-p de las propiedades químicas del suelo en los sistemas de producción de cacao durante los años evaluados. E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	63
Cuadro 12.	Promedios y valor-p de las propiedades químicas del suelo en los sistemas de producción de cacao a tres profundidades. E. E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	68
Cuadro 13.	Promedios y valor-p de las propiedades químicas del suelo bajo el bosque secundario, 10 genotipos e híbrido de cacao evaluados en los dos sistemas de producción. E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	69
Cuadro 14.	Fuente de variabilidad de la abundancia de hongos (ufc. g ⁻¹ suelo) asociados a la rizosfera de genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010. E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	70
Cuadro 15.	Frecuencia absoluta [\log_{10} (ufc.gs ⁻¹)] y relativa (%) de géneros de hongos del suelo encontrados a través de los años de evaluación (2004-2010) en los sistemas de cacao Agroforestal (INAS) y Tradicional (ITAS) comparado con el Bosque secundario (SF) E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	73
Cuadro 16.	Abundancia de hongos (ufc. g ⁻¹ suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizosfera del cacao en los sistemas de producción (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010. E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	75
Cuadro 17.	Abundancia de hongos (ufc. g ⁻¹ suelo), riqueza e índices de diversidad, en el bosque secundario (SF), y asociados a genotipos de cacao bajo los sistemas de producción (INAS e ITAS) . E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	76
Cuadro 18.	Abundancia de hongos (ufc. g ⁻¹ suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizosfera del cacao en los sistemas de producción en tres profundidades del suelo E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	77
Cuadro 19.	Abundancia de hongos (ufc. g ⁻¹ suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizosfera del cacao en los sistemas de producción durante los años de evaluación (2004-2010). E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	79
Cuadro 20.	Abundancia de hongos (ufc. g ⁻¹ suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción de los sistemas de producción de cacao durante los años de evaluación (2004-2010). E.E. “El Choclorino”, San Martín – Perú.	80

Cuadro 21.	Abundancia de hongos (ufc. g ⁻¹ suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción sistemas de producción y genotipos de cacao. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	82
Cuadro 22.	Valor F del análisis de variancia para los indicadores de diversidad de la abundancia de nematodos del suelo en sistemas de producción de cacao.	84
Cuadro 23.	Abundancia absoluta (individuos/100cc suelo) y relativa (%) de géneros de nematodos encontrados a través de los años de evaluación (2004-2010) en los sistemas de cacao Agroforestal (INAS) y Tradicional (ITAS) comparado con el Bosque secundario (SF) en la E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	86
Cuadro 24.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizosfera del cacao en los sistemas de producción (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	88
Cuadro 25.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en el bosque secundario (SF), y asociados a genotipos de cacao bajo los sistemas de producción (INAS e ITAS) E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	89
Cuadro 26.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizosfera del cacao en los sistemas de producción en tres profundidades del suelo, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	90
Cuadro 27.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizosfera del cacao en los sistemas de producción durante los años de evaluación (2004-2010), E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	91
Cuadro 28.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción de los sistemas de producción de cacao durante los años de evaluación (2004-2010). E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	93
Cuadro 29	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción de los sistemas de producción de cacao en tres profundidades del suelo, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	94
Cuadro 30.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en los sistemas de producción de cacao y la interacción entre los años evaluados y tres profundidades del suelo, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	95
Cuadro 31.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción sistemas de producción y genotipos e híbrido de cacao. E.E. “El Choclino”, San Martín	96

– Perú.

Cuadro 32.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en los sistemas de producción de cacao y la interacción entre años evaluados y genotipos e híbrido de cacao, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	98
Cuadro 33.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo) en la interacción sistemas de producción de cacao, años evaluados y tres profundidades del suelo, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	100
Cuadro 34.	Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad en la interacción sistemas de producción de cacao, años evaluados y genotipos e híbrido de cacao, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	101
Cuadro 35.	Índices de calidad de suelos en los sistemas de producción de cacao evaluados. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	104
Cuadro 36.	Índices de calidad de suelos en los sistemas de producción de cacao en los años evaluados, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	105
Cuadro 37.	Índices de calidad de suelos en los sistemas de producción de cacao evaluados a tres profundidades del suelo, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	106
Cuadro 38.	Índices de calidad de suelos en los sistemas de producción con los genotipos e híbrido de cacao, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	107
Cuadro 39.	Índices de calidad de suelos en la interacción años y sistemas de producción de cacao, E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.	108

INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Principales zonas de producción de cacao en el Perú, 2010. (Elaboración propia).	15
Figura 2.	Sistema de plantaciones de cacao bajo sombra espontánea, en este sistema solo se rozó la vegetación debajo de los árboles para luego sembrar cacao, en los casos de poca sombra se sembró plátano como sombra temporal.	32
Figura 3.	Etapas del establecimiento de una plantación convencional de cacao: rozo, tumba y quema, muestreo de suelos (antes de la	34

quema), quema, muestreo de suelos y ceniza, aprovechamiento de leña, hijuelos de plátano para la sombra temporal, siembra de maíz, siembra del plátano, siembra de frijol y cultivo instalado bajo sombra de plátano y a los costados se sembró frijol.

Figura 4.	Croquis de la Estación Experimental El Choclino del Instituto de Cultivos Tropicales, mostrando los diferentes sistemas de cacao instalados.	37
Figura 5.	Vista satelital de la Estación Experimental El Choclino del Instituto de Cultivos Tropicales, mostrando los diferentes sistemas de cacao instalados, tomado del Google Earth (Agosto 2005).	38
Figura 6.	Distribución de los genotipos para los Sistemas de Manejo Agroforestal y Tradicional, seleccionados para el presente experimento en cada uno de los blocks y parcelas.	38
Figura 7.	Distribución de las cuadrículas para la caracterización del terreno experimental.	39
Figura 8.	Frecuencia de especies forestales en los sistemas INAS e ITAS al inicio del experimento.	48
Figura 9	Dinámica de los indicadores físicos del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. E.E. “El Choclino”- San Martin, Perú.	55
Figura 10a	Dinámica de los indicadores químicos del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. E.E. “El Choclino”- San Martin, Perú.	65
Figura 10b	Dinámica de los indicadores químicos del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. E.E. “El Choclino”- San Martin, Perú.	66
Figura 11.	Diversidad de la abundancia fungosa aislada a diferentes profundidades (0-60cm) E.E. “El Choclino”- San Martin, Perú.	78
Figura 12.	Dinámica de los indicadores biológicos (abundancia de hongos (ufc g^{-1} suelo), riqueza, índice de Shannon-Weaver e índice de Simpson), en los sistemas INAS e ITAS durante los años de evaluación (2004 - 2010) E.E. “El Choclino”- San Martin, Perú.	79
Figura 13.	Abundancia total de nematodos en los sistemas de producción de cacao en las tres profundidades evaluadas y su relación con la riqueza, índice de Shannon-Weaver y Simpson.	90
Figura 14.	Dinámica de los indicadores biológicos (abundancia de nematodos (individuos/100ccsuelo), riqueza, índice de Shannon-Weaver e índice de Simpson), en los sistemas INAS e ITAS durante los años de evaluación (2004 - 2010) E.E. “El	92

Choclino”- San Martin, Perú.

- Figura 15. Índice de calidad de suelos, logrados por cada genotipo e híbrido de cacao en los sistemas INAS e ITAS evaluados en este estudio. E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú. 107
- Figura 16. Índices de calidad de suelos logrados en los sistemas sostenibles de producción de cacao durante los años evaluados. E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú. 109
- Figura 17. Productividad de los genotipos de cacao evaluados en los dos sistemas de manejo al cuarto año de su instalación (2010). E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú. 110

DINÁMICA DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO EN EL MANEJO DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO

RESUMEN

La comunidad de microorganismos juega un rol crucial para mantener la calidad y fertilidad del suelo. Por lo tanto, es importante conocer la comunidad microbiana y su interrelación con el cultivo de cacao manejado bajo dos sistemas de producción. Para lograr este objetivo, se instaló un ensayo en la estación experimental “El Choclino”, del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), Tarapoto, San Martín, Perú. Se diseñaron dos sistemas de producción de cacao, uno bajo la forma tradicional (ITAS) y el otro, agroforestal (INAS), en ambos sistemas se trasplantaron diez genotipos de cacao y fueron comparados con un híbrido local. Los muestreos de suelos para los análisis físicos, químicos y comunidad microbiana del suelo, se realizaron en ambos sistemas, por genotipos, por tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) durante los años (2004, 2006, 2008 y 2010). Se evaluaron los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo y como van variando las poblaciones microbianas (hongos y nematodos) en cada sistema, genotipo, profundidad y año. En base a estas mediciones se calculó el Índice de Calidad de Suelos (ICS) para los sistemas evaluados. Dentro de las propiedades físicas la densidad aparente (g/cm^3) y porosidad (%) son los indicadores cuyas medias resultaron estadísticamente diferentes en la mayoría de evaluaciones, del mismo modo, el pH, contenido de materia orgánica, NPK y micro elementos son los indicadores químicos cuyas medias resultaron estadísticamente diferentes en los sistemas evaluados. La abundancia total de hongos (ufc/g) y nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson fueron influenciados por los sistemas a través de los años. Se concluye que la alteración del ambiente natural produce una serie de cambios físicos, químicos y biológicos del suelo y por consiguiente también influyeron en la calidad de los suelos para una agricultura sustentable.

Palabras claves: Calidad de suelos, comunidad microbiana, índices biológicos, producción de cacao, sistemas sostenibles.

DINAMICS OF SOIL QUALITY INDICATORS IN CACAO AGROFORESTRY MANAGEMENT SYSTEM

ABSTRACT

The microorganism's community plays essential role to maintain soil quality and fertility. Therefore, it is important to evaluate the microbial community and its relationship with the cocoa, under two management production systems. To achieve this objective, a research was conducted out at the experimental station of Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) "El Chocllino", located in Tarapoto, San Martin, Peru. Two production systems of cacao were designed; one under the traditional management or conventional system (ITAS) and the other an agroforestry system (INAS), in both systems ten cacao genotypes were transplanted and compared with a local hybrid. Physical, chemical and microbiological analysis of soils, were made in both systems, on genotypes, for three depths (0-20, 20-40 and 40-60 cm) in 2004, 2006, 2008 and 2010. Changes in physical-chemical properties of soil were assessed and how microbial populations (fungi and nematodes) varied per system, genotype, depth and year. Based on these assessments Soil Quality Index (ICS) was calculated for the systems evaluated. Among the physical properties, the bulk density (g/cm^3) and porosity (%) were statistically different in most evaluations, similarly, the pH, organic matter content, NPK and micro elements are chemical indicators were statistically different in the systems evaluated. The total population of fungi (cfu/g) and nematodes (individuos/100cc soil), richness and diversity index of Shannon-Weaver and Simpson were disturbed by the systems through the years. The alteration of the natural environment produce physical, chemical and biological changes in the soil and soil quality for sustainable agriculture is also influenced.

Keyword: Soil quality, microbial community, biological index, cacao production, sustainable system

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El principal uso de la tierra en los suelos ácidos de la Amazonía para cultivos está precedido por el corte y la eliminación de los árboles de importancia económica y la quema de la biomasa aérea restante. Este tipo de agricultura migratoria está alterando los factores climáticos y los patrones ecológicos, debido a la eliminación de los bosques naturales (Watson *et al.*, 2000). Estos métodos de intervención de la tierra a menudo conducen a una reducción de los niveles de nutrientes en los suelos y, en consecuencia, afectan los patrones dinámicos de los ciclos biogeoquímicos.

Las consecuencias de la deforestación en la región amazónica, se manifiestan en el deterioro de los recursos naturales con pérdida de la biodiversidad y de la capacidad productiva de los suelos y su consecuente abandono a la regeneración natural de la vegetación (Flores, 1998). Una de las formas prácticas de mitigar esta deforestación en la selva del Perú es proporcionar alternativas viables a los agricultores que practican el sistema de tumba y quema ayudando a disminuir la deforestación, el agotamiento de las tierras y la pobreza rural mediante el uso de sistemas agroforestales (Alegre *et al.*, 2006).

La agroforestería es un sistema dinámico fundamentado en el manejo ecológico de los recursos naturales, que deliberadamente integra el árbol, en el tiempo y en el espacio, con cultivos y ganado. Tiene el atributo de conferir sostenibilidad productiva al uso de la tierra, con beneficios múltiples al medio ambiente y al pequeño productor. Entonces la agroforestería presenta un potencial realista para facilitar el desarrollo sostenible de la selva amazónica ya que su aprovechamiento consiste en la producción temporal de cultivos no leñosos con uso intensivo de mano de obra, y la cosecha de los componentes semiperennes y perennes leñosos con el manejo de limpiezas temporales y parciales de la vegetación sucesional, finalmente tiene el propósito de favorecer la fenología reproductiva de las especies cultivadas y el crecimiento de las especies útiles de la regeneración natural.

Existe una necesidad urgente para diseñar y desarrollar sistemas de producción agrícola, para asegurar el uso sostenible de los suelos y particularmente de suelos más frágiles en las áreas del trópico húmedo, debido a que el agricultor de la selva peruana normalmente realiza el manejo de su tierra bajo el sistema de rozo, tumba y quema para luego sembrar maíz, frijoles, luego de unos tres años, abandona el lugar dejando atrás zonas deforestadas y migrar a otro lugares a continuar con el proceso. Una de las formas de poder frenar este sistema de manejo tradicional es proponerle un sistema ordenado que le enseñe a reemplazar el bosque natural por otro basado en árboles leguminosos, medicinales, frutales, maderables y un cultivo permanente como el cacao, evitando así la migración continua. Es por ello que actualmente en la Amazonía Peruana se promueve la producción de cacao como eje motor de la diversificación productiva de los agricultores, como alternativa sostenible.

El uso de estos sistemas alternativos sostenibles en la que se corta la vegetación bajo los árboles del bosque dejando a estos como sombra y que posteriormente serán reemplazados por especies de mayor rentabilidad (Arévalo, 2005), es una forma de frenar el impacto negativo de la tala y quema de árboles, puesto que este sistema busca mantener el equilibrio similar al de un bosque primario, contribuyendo a la conservación de las propiedades físico-químicas y biológicas de suelo, la flora y fauna que habitan estos sistemas (Oke, 2008).

Por ello, la factibilidad de poder cultivar cacao bajo sistemas mixtos de árboles maderables y otras especies de manera económicamente viable y ambientalmente sostenible es oportuna, sin embargo poco se conoce acerca de los factores involucrados en estos sistemas, sobre todo a aquellos referidos a la caracterización físico-química y a la dinámica poblacional o biodiversidad de los suelos bajo estos sistemas y como estos interactúan para una mejor producción del cacao.

El conocimiento de las interacciones entre los microorganismos del suelo ayudará a optimizar su manejo e incrementar sus rendimientos, así como mejorar la producción sostenible (Somarriba y Harvey, 2003). Por eso es importante evaluar los cambios en las poblaciones microbianas en cada tipo de uso del suelo con el fin de promover el manejo sostenible de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. En un cambio de perspectivas mundiales de uso del suelo estos aspectos son muy importantes porque influyen en el sistema terrestre global, tales como la diversidad biótica, el clima y la degradación del suelo (Smyth y Cassel, 1995).

Es así que el presente trabajo de investigación, detalla los resultados de los cambios ocurridos en las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos en un bosque secundario (SF) luego de seis años de instalación del sistema agroforestal (INAS) y sistema de manejo tradicional o convencional (ITAS) de producción con diez genotipos de cacao, cuyos objetivos fueron:

1.1. Objetivos

- Determinar los cambios en las características físicas y químicas del suelo bajo dos sistemas de producción de cacao (agroforestal y tradicional o convencional).
- Determinar la dinámica poblacional de hongos y nematodos asociados a la rizosfera de genotipos de cacao en dos sistemas de producción (agroforestal y tradicional o convencional).
- Determinar Índices de calidad del suelo en función a sus indicadores físicos, químicos y biológicos.

1.2. Hipótesis

- Los sistemas de producción de cacao (agroforestal y tradicional o convencional) generan cambios en las características físicas y químicas del suelo
- Los sistemas de producción de cacao (agroforestal y tradicional o convencional) determinan la dinámica de hongos y nematodos del suelo asociadas a los genotipos de cacao a diferentes profundidades.
- Los valores de los indicadores físicos, químicos y biológicos, determinan la calidad de los suelos en los sistemas de producción de cacao (agroforestal y tradicional o convencional).

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Situación de la Amazonía Peruana

La industria amazónica es esencialmente alimentaria (café, cacao, aceites, jugos, cerveza, conservas de frutas) y madera. A eso debe sumarse, obviamente la producción de estupefacientes que no por ilegal deja de ser un motor en la economía, aunque con impactos inesperados cuando usa otras actividades para “lavar” dinero mal habido. La principal actividad económica productiva, después de la explotación de hidrocarburos, es evidente la agropecuaria que ocupa una enorme extensión de la selva y que se caracteriza, en términos generales, por su carácter extensivo y su bajísima productividad y que, por eso, utiliza una superficie enorme que, en su mayor parte esta semi-abandonada o bajo barbecho. La ocupación económica de la selva se caracteriza contradictoriamente por sobre-explotación y sub-utilización, resultando en un enorme desperdicio de recursos que, si fueran bien usados, podrían catapultar el desarrollo regional con mucho menos impacto ambiental y social negativo. Apenas recuperar y poner en producción los millones de hectáreas de tierras deforestadas y sin uso de la selva permitiría al Perú multiplicar su producción forestal, mediante plantaciones que además de producir divisas mejorarían el entorno, garantizarían la generación de energía eléctrica y la seguridad de los habitantes de la selva (Dourojeanni *et al.*, 2010).

La región amazónica Nor oriental del Perú, es una de las más deforestadas, se estima que 15 hectáreas de bosque son destruidos cada día y en los últimos 36 años, más de 1.3 millones de hectáreas de bosque fueron destruidos. Gran parte de estos bosques se han ido regenerando creando bosques secundarios que pueden utilizarse con acierto en la instalación de otras alternativas sostenibles de producción (Chokkalingan y Jong, 2001). Las malas prácticas agrícolas y el manejo inadecuado de los agroecosistemas con fines de producir alimentos y productos para la sociedad ha originado en mayor o menor medida cambios y deterioro en los ecosistemas, principalmente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Oke, 2008; Lal, 2000).

Los sistemas de producción sostenibles en las zonas tropicales, basan su éxito en el manejo adecuado de las propiedades fisicoquímicas de estos suelos (Sánchez, 1976; Lal, 1979)

La transición desde un sistema de cultivo tradicional a un sistema sostenible de baja dependencia externa, está acompañada por cambios en un conjunto de propiedades químicas del suelo y procesos que afectan la fertilidad del mismo (Oke, 2008). Los sistemas agrícolas han conducido a un deterioro continuo del recurso suelo, en especial, desde el punto de vista químico, lo que se traduce en una pérdida de la productividad agrícola reflejada en menores rendimientos y mayores problemas ambientales (Lal, 1998).

La adopción de algunas prácticas agrícolas propias de un sistema sostenible como la de evitar el rozo y la quema, el aprovechamiento de los árboles del bosque secundario como sombra temporal y permanente, el uso de cultivos de coberturas y la reducción en el uso de fertilizantes sintéticos y pesticidas provocan diferencias fundamentales de tipo cuantitativo y cualitativo en el flujo de nutrientes del suelo. Estos cambios afectan la disponibilidad de nutrientes para el cultivo ya sea directamente contribuyendo a la disponibilidad de nutrientes o indirectamente influyendo en el medioambiente físico y químico del suelo (Clark *et al.*, 1998).

Estudios comparativos de suelos manejados en sistemas sostenibles y convencionales han documentado altos contenidos de materia orgánica (MO) y nitrógeno total con el uso de prácticas orgánicas (Alvarez *et al.*, 1993; Reganold, 1998). El incremento de MO en el suelo después de implementar un sistema de cultivo sostenible, ocurre lentamente y generalmente detectar estas diferencias toma varios años (Drinkwater *et al.*, 1995). Los cambios en otras propiedades del suelo son más variables, quizá debido a las diferencias en clima, tipo de suelo, cultivos sembrados, tiempo de duración del sistema de cultivo implementado (Werner, 1997). Debido a que estas propiedades del suelo son críticas en determinar la fertilidad de los suelos agrícolas, la habilidad para predecir y manejar su dinámica e intensidad en el tiempo y espacio facilitará la transición a un sistema sostenible de baja dependencia en insumos externos.

Desde que el cacao se descubrió en el bosque húmedo tropical de América Central y Sur, su cultivo ha evolucionado a través de las prácticas de manejo diferentes; sin embargo, esto difiere entre países y más aún entre las regiones productoras de cada país.

Actualmente en la Amazonía Peruana se promueve la producción de cacao como eje motor de la diversificación productiva de los agricultores, sobre todo en aquellas zonas de influencia de la economía cocalera como alternativa sostenible.

El agricultor de la selva normalmente realiza el manejo de su tierra bajo el sistema de rozo, tumba y quema para luego sembrar maíz, frijoles, luego de unos tres años, abandona el lugar dejando atrás deforestación y migra a otros lugares a continuar con el proceso. Una de las formas de poder frenar esta posibilidad es poner entre sus manos un sistema ordenado que le enseñe a cultivar cacao de tal manera que reemplace el bosque natural por otro basado en árboles de cacao con sombras permanentes de árboles de leguminosas, evitando la migración continua. Situación que se debe en gran parte al limitado o nulo acceso que tienen los agricultores a las tecnologías existentes para la producción óptima de cacao, en las que se contempla sistemas de producción acordes con el equilibrio de la naturaleza, con la menor dependencia a insumos externos que encarezcan los costos de producción; que permitan el incremento y conservación de la biodiversidad y que realmente sea una alternativa para el pequeño productor de la Selva Peruana.

Poco se conoce de la dinámica poblacional o biodiversidad de los sistemas de producción de cacao y como estos interactúan para una mejor producción del cacao.

2.2. Agricultura migratoria

El sistema de corte y quema o agricultura migratoria es el sistema predominante en el trópico húmedo del Perú y otros países de la Amazonía. Este sistema consiste en la tumba de un bosque ya sea primario o secundario para la siembra de cultivos y posterior abandono en barbecho por un tiempo variable para volver nuevamente con cultivos. Este sistema tradicional de la tierra pierde muy rápido su productividad debido al deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además es el sistema que causa mayor deforestación (Alegre *et al.*, 2006).

La práctica de la agricultura migratoria tradicional y no tradicional, así como la agricultura comercial de monocultivos de ciclo corto y la ganadería extensiva, han resultado en la pérdida de la capacidad productiva de los suelos. Según la presión poblacional, la re-utilización de esta vegetación ocurrirá entre 30 y 70 años en los sistemas indígenas, hasta dos años en los sistemas de colonos recientes y con escasa tierra, hasta más de 200 años en ganadería extensiva de gran densidad poblacional ganadera y siglos en ganadería intensiva (Flores, 1998).

El sistema de agricultura migratoria tradicional de rozo-tumba-quema, es compatible con los sistemas agroforestales sucesionales como el multiestratos de barbechos mejorados. El sistema consiste en la asociación diversificada de cultivos de ciclo corto no leñosos, con especies leñosas semiperennes y perennes y el manejo de la regeneración natural sucesional.

El sistema tradicional de rozo, tumba y quema es parte del sistema de cultivo migratorio empleado por los agricultores amazónicos. La práctica es controvertida y la presión está aumentando para buscar alternativas a la quema. En la agricultura migratoria, una función importante de la vegetación secundaria es la acumulación de nutrientes en las partes aéreas de las plantas y la liberación rápida de estos nutrientes por la quema como medio para mejorar la fertilidad del suelo. La quema también establece lo siguiente:(i) incremento en el pH del suelo debido a la alcalinidad de la ceniza, (ii) mejora el acceso a la siembra, y (iii) la reducción de las malas hierbas, así como las plagas y enfermedades. La mejora de la fertilidad del suelo depende de la biomasa quemada y la edad de la vegetación secundaria. Los intentos para eliminar la quema de la vegetación leñosa están limitados por las dificultades en el manejo de grandes cantidades de biomasa sin el uso de maquinaria pesada. Las desventajas de la quema son las pérdidas debidas a la volatilización de nitrógeno y azufre, así como pequeñas cantidades de fósforo y potasio. Holscher *et al.* (1997) estimó que las pérdidas ascienden a 96%, 76%,47%y 48%, respectivamente, de estos nutrientes en el suelo. Los nutrientes liberados por la quema también puede ser rápidamente lixiviados, y como consecuencia, múltiples deficiencias de nutrientes se presentan rápidamente en la rotación de cultivos anuales. Los nutrientes liberados después de la quema de bosques desarrollados por lo general permanecen de 2 a 3 años con cultivos anuales sin insumos antes que los campos sean abandonados en barbecho.

McGrath *et al.* (2001) demostraron que estos cambios en el suelo resultantes de la conversión de la tala y quema de bosques a sistemas agroforestales pueden persistir por lo menos 6 años después del inicio del sistema agroforestal. Sin embargo, debido a las preocupaciones recientes relacionadas con el cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero en los sistemas agrícolas, las alternativas al uso del rozo, tumba y quema, son cada vez más investigados.

2.3. Sistemas Agroforestales (INAS)

La creciente presión sobre el suelo debida a la explosión demográfica registrada en muchos lugares del trópico, puede conducir a la degradación del mismo, disminuir el rendimiento de los cultivos y a la invasión de hierbas difíciles de controlar, una de las alternativas para frenar este proceso es la explotación de la tierra a través de sistemas agroforestales o agroforestería (López, 2007).

Las técnicas agroforestales son utilizadas en regiones de diversas condiciones ecológicas, económicas y sociales, en regiones con suelos fértiles los sistemas agroforestales pueden ser muy productivos y sostenibles; igualmente, estas prácticas tiene un alto potencial para mantener y mejorar la productividad en áreas que presenten problemas de baja fertilidad y exceso o escasez de humedad de los suelos (Musálem, 2001).

La agroforestería representa, probablemente, el reto científico más complejo del sistema de investigación agrícola: ¿Cómo integrar cultivos anuales con árboles y pastizales en sistemas de producción, de modo que la inevitable competencia por luz, agua y nutrientes, tengan como resultado una producción sostenible, sin degradación del medio ambiente? Contribuir al aumento sostenible de la producción de los sistemas agroforestales, mediante el conocimiento de los procesos biofísicos y sus interacciones, de tal manera que se puedan integrar en un manejo adecuado que evite la competencia por luz, agua y nutrientes, haya un reciclaje de nutrientes, acumulación de materia orgánica, reducción de los procesos erosivos y control integral de plagas.

Es bien conocido que con solo unos pocos años de cultivos, después del desmonte del bosque, los suelos de los trópicos se degradan y pierden su productividad. Las causas pueden ser el deterioro de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo. ¿Cuánto tiempo se puede mantener sostenible un sistema? Dependerá del tipo de sistema de cultivo practicado y del uso de insumos. Si deseamos desarrollar sistemas alternativos a la agricultura tradicional de corte y quema, se deben estudiar los cambios del suelo en periodos largos de tiempo, con el mismo tipo de suelo, en los mismos periodos climáticos, partiendo de los bosques secundarios o vírgenes de la misma edad, para evitar los efectos confundidos y reducir la variabilidad.

El manejo racional de los suelos tropicales requiere de un cabal entendimiento de las condiciones y factores que influyen en los niveles de fertilidad y en el grado de erosión resultante del medio ambiente circundante. Asimismo, los sistemas agroforestales constituyen opciones recomendables de carácter conservacionista, capaces de controlar los procesos erosivos y lograr un uso sostenido de la tierra, manteniendo aceptables niveles de productividad. Para el manejo de los suelos con fines de conservación se requiere, inicialmente, de un entendimiento de los factores y procesos que influyen en los niveles de fertilidad y el grado de erosión de los suelos. Después de este entendimiento se tiene que conocer que alternativas tecnológicas existen para contrarrestar estos factores o disminuir al mínimo de tal forma que se pueda tener un sistema productivo y sostenible.

Altieri y Nicholls (2011), presentaron un documento en la cual mencionan que la agroforestería en el trópico húmedo debe cumplir la función de producir cultivos múltiples, combinando cultivos anuales, permanentes y forestales. En el manejo de este sistema, denominado multiestrato, debe primar la técnica de bajos insumos, cuya filosofía es adaptar las plantas a las limitaciones del suelo y no modificar el suelo a las necesidades de la planta.

El objetivo de la mayoría de los sistemas agroforestales es el de optimizar los efectos benéficos de las interacciones de los componentes boscosos con el componente animal o cultivo para obtener un patrón productivo que se compara con lo que generalmente se obtiene de los mismos recursos disponibles en el monocultivo, dadas las condiciones económicas, ecológicas, y sociales predominantes.

La agricultura en América Latina pasa por una crisis sin precedentes caracterizada por altos niveles de pobreza rural, inseguridad alimentaria, migración, degradación ambiental intensificada por los cambios climáticos y las crisis energética y financiera. El modelo agrícola industrial exportador y la expansión de monocultivos transgénicos y de agrocombustibles, así como el uso intensivo de agrotóxicos están directamente ligados a esta crisis. Es urgente impulsar un nuevo paradigma agrícola que permita asegurar suficientes alimentos sanos y accesibles para la creciente población mundial, aunque la nueva agricultura tendrá que hacerse sobre la misma base de tierra arable, con menos petróleo, menos agua, nitrógeno y otros recursos, y dentro de un escenario de cambio climático, e incertidumbre económica y social.

El desafío inmediato para nuestra generación es transformar la agricultura industrial e iniciar una transición hacia sistemas alimentarios que no dependan del petróleo, que sean biodiversos y resilientes al cambio climático y que a la vez fortalezcan la producción doméstica.

Ante los escenarios energéticos, climáticos y financieros que se expresan en la región, la agroecología se perfila como la opción más viable para generar sistemas agrícolas capaces de producir conservando la biodiversidad y la base de recursos naturales, a la vez de proveer servicios ambientales, sin depender del petróleo, ni de insumos caros. Una de las fuentes importantes de conocimiento de la cual se nutre la agroecología es la agricultura campesina-indígena prevalente en América Latina donde miles de agricultores aún cultivan millones de hectáreas agrícolas con sistemas diversificados y tecnología tradicional ancestral, documentando una estrategia agrícola indígena exitosa que constituye un tributo a la 'creatividad' de los agricultores tradicionales. Una expresión de este legado agrícola es la agroforestería que constituye un modelo ecológico prometedor ya que promueve la biodiversidad, prospera sin agroquímicos y con poca energía fósil, y sostiene producciones de cultivos, árboles y animales todo el año (Koohafkan y Altieri, 2010).

En América Latina hay una plétora de sistemas agroforestales y silvopastoriles, pero quizás los ejemplos más conocidos los constituyen los sistemas agroforestales de cacao y café diversificados con árboles de sombra multiestratificada que permiten una producción estable de frutas, leña, forraje, etc., en el medio de fluctuaciones climáticas, sin ser dependientes de insumos externos, con bajos costos de producción y, a la vez, conservando

los recursos naturales de la finca, como el suelo, agua y biodiversidad. No se puede desconocer la prevalencia de los sistemas silvopastoriles y sus servicios ecológicos que existen en millones de hectáreas de pastizales, diversificadas con árboles leguminosos.

Casi todos los sistemas agrícolas, los cuales incluyen los sistemas ganaderos, tienen árboles intercalados con cultivos o manejados en una forma zonal alternando árboles y cultivos y/o pastos; es decir, son sistemas agroforestales, aún con la modernización de la agricultura de la región, los paisajes agrícolas todavía contienen un alto número de árboles, estos árboles cumplen con muchos propósitos como producción (madera, leña, forraje, frutas, medicinas, etc.) además de servicios (sombra para cultivos y/o animales, protección como en el caso de cortinas rompevientos, etc.), además, los árboles aumentan la diversidad biológica del agroecosistema creando en sus ramas, en sus raíces y en la hojarasca, hogares para otros organismos (Beer *et al.*, 2004).

La preparación de los campos agroforestales sin el uso del fuego, ofrece la esperanza del ciclo de nutrientes más eficiente y mejorar la sostenibilidad. Sin embargo, una limpieza mecanizada eliminaría la vegetación con una parte superficial del suelo.

El estudio formal y la promoción de los sistemas agroforestales, un sistema de uso de la tierra practicado desde tiempos inmemorables, comenzó a finales de los años 70. Inicialmente el enfoque fue sobre la descripción, posibles ventajas/desventajas biológicas y socioeconómicas y el inventario de sistemas agroforestales tradicionales, generalmente en el trópico. Esto fue seguido por evaluaciones de la productividad de los sistemas agroforestales ya existentes, y más recientemente, de novedosos estudios sobre las interacciones entre las especies componentes, con miras a mejorar el manejo y la rentabilidad (o reducir el riesgo) (Schroth y Sinclair, 2003).

A finales de los años 90, la creciente preocupación internacional sobre los temas ambientales conllevó a nuevos tratados con énfasis en servicios ambientales de usos de tierra alternativos. Rápidamente se reconoció que los sistemas agroforestales poseen muchas ventajas sobre los monocultivos para responder a la demanda de una agricultura multifuncional y que proveen servicios medioambientales importantes, valores estéticos y podrían utilizarse para turismo agroecológico (Beer *et al.*, 2003).

El mejoramiento del suelo en los sistemas agroforestales está vinculado al crecimiento de los árboles fijadores de N o de árboles/arbustos de raíces profundas que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a través de la fijación biológica, reciclaje de nutrientes desde capas profundas hacia la superficie del suelo (especialmente en zonas secas) y acumulación de materia orgánica en el suelo (Beer *et al.*, 2003).

Los árboles de sombra en cultivos perennes (café y cacao) aportan hojarasca y residuos de podas que cubren el suelo, reduce el impacto de las gotas de lluvia, la velocidad de escorrentía y la erosión, mejoran la estructura, el contenido de N y la retención de nutrientes en el suelo (Fassbender *et al.*, 1991; Beer *et al.*, 1998 citados por Beer *et al.*, 2003).

En áreas donde se practica la tumba y quema con ciclos cortos, los barbechos de árboles plantados pueden evitar la pérdida de la fertilidad del suelo. La disponibilidad del N, determinada por el contenido de N inorgánico del suelo, la mineralización aeróbica de N entre 0 – 20 cm de profundidad y el N fijado de la biomasa, puede ser significativamente más alta después de barbechos con otras especies de árboles y/o pastos (Harmand y Balle, 2001). En barbechos herbáceos (leguminosas o no leguminosas), la mayor acumulación de material orgánico, el almacenamiento de nutrientes en la biomasa, la mayor densidad y distribución vertical de las raíces ayudan a mantener las reservas de nutrientes hacia la superficie del suelo de las capas más profundas. Szott y Palm (1996) reportaron que, en comparación con barbechos de árboles leguminosos incrementaron la cantidad del mantillo, los cationes intercambiables y el P disponible en el suelo (0-45 cm); y el total de las reservas de P, K, Ca y Mg en la biomasa. Estos autores sugirieron que los árboles leguminosos de rápido crecimiento pueden acelerar la restauración de las reservas de N, P y K en la capa superior del suelo donde pueden ser aprovechados por el cultivo, pero no reponen completamente las reservas de Ca y Mg.

2.4. El cultivo de cacao

El árbol de cacao pertenece al género *Theobroma*, que, en griego, significa “alimento de los dioses”. Este género contiene varias especies, pero solamente una, *Theobroma cacao*, se cultiva comercialmente y es un cultivo de importancia económica para muchos agricultores que se dedican a este cultivo a tal punto de convertirse en el eje del sistema productivo. La vasta mayoría (70% a 90%), la cultivan los pequeños agricultores cuyas plantaciones son menores de tres hectáreas, y el resto se cultiva en áreas mayores. El cacao es una planta de bosque, y ha evolucionado para crecer bajo condiciones de sombra (Arévalo, 2012).

El cacao se originó como un árbol del sotobosque en los bosques de la Cuenca Amazónica. Hoy en día, es un cultivo diseminado en todo el trópico en el oeste de África, Sudamérica y el sureste de Asia. Los países productores de cacao generaron grandes divisas económicas por exportaciones de cacao en grano y sus derivados. Recientemente, el cacao ha sido nombrado como un “cultivo sostenible” con implicaciones económicas sociales y ecológicas. Las características de este cultivo perenne y los diferentes niveles de sombra en los doseles sobre el cacao y su manejo dan los ingredientes claves para convertir el cacao de un cultivo simple a una herramienta de conservación tropical. Las investigaciones han demostrado que el cacao cultivado bajo el dosel de diversos árboles mantiene la diversidad de especies de aves semejante a bosques intactos adyacentes. Sin embargo, los estudios de biodiversidad son escasos y no existen estudios sobre la relación entre la biodiversidad y la productividad de ecosistemas forestales tropicales con cacao manejado (Young y Vaughan, 2003).

En los últimos años el cultivo de cacao ha tenido una creciente aceptación como un cultivo alternativo de mayor rentabilidad en la selva peruana, esto ha originado procesos de conversión forestal con sus impactos involucrados, tal como sucede en otras partes del mundo (Oke, 2008); la mayoría de las plantaciones actuales de cacao dependen del uso de áreas limpias mediante el rozo, tumba y quema del bosque para aprovechar la fertilidad natural en una rotación de cultivos como maíz, frijoles, plátano y finalmente el cacao, bajo un sistema tradicional (Arévalo *et al.*, 2004).

El sistema tradicional de rozo, tumba y quema o la agricultura migratoria predomina en los trópicos húmedos (White *et al.*, 2005, Alegre 1996). La estabilización del agricultor en un sitio productivo, puede lograrse a través del cultivo de cacao. Sin embargo, todavía existe la necesidad de investigar algunos de los problemas que afectan la productividad de este sistema tales como: mejor germoplasma, resistencia a enfermedades y genotipos más productivos y de buena calidad en sabor y aroma.

La búsqueda de alternativas para la agricultura sustentable en los trópicos húmedos es la mayor prioridad de los científicos del mundo. El cacao (*Theobroma cacao*) que crece en un amplio rango de suelos en los países tropicales y puede ser la solución al mejoramiento de la economía de los pequeños productores ya que se cultiva en diferentes tipos de sistemas de cultivo en el que se incluyen aquellos a pleno sol o en forma tradicional bajo sombra.

Las plantaciones de cacao o cacaotales cumplen importantes funciones económicas y ecológicas en muchas fincas y en el paisaje. El cacao es una fuente importante de efectivo para los agricultores que se dedican a este cultivo. Aunque la permanencia del cacao en estos paisajes se encuentran amenazados por los bajos rendimientos de los cacaotales y los precios fluctuantes de este cultivo (Somarriba y Harvey, 2003).

Los cacaotales son valiosos para la conservación de la biodiversidad, ya que debido a su alta diversidad vegetal proveen de hábitats, nichos y alimentos para otras especies de plantas y animales, y sirven de conexión entre los ecosistemas intactos y manejados del paisaje (Suatunce *et al.*, 2003).

El cacao es uno de los cultivos perennes más importantes para algunos países en vías de desarrollo del trópico húmedo. El cacao y otros cultivos perennes bien conocidos como el café y otros, se producen generalmente debajo de los árboles de sombra. La diversificación de las plantaciones de cacao (por ejemplo, conservando y manejando árboles maderables) aumenta la estabilidad del ingreso de la finca y baja el riesgo financiero y puede ayudar a conservar la biodiversidad (Rice y Greenberg, 2000).

La gran parte se cultiva aún bajo árboles que dan sombra: árboles del bosque que se dejan en pie tras la tala inicial; cultivos alimenticios como el plátano; plantas herbáceas y arbustos; y árboles de sombra especialmente plantados con este objeto. Algunos árboles de cacao, se cultivan directamente bajo la luz del sol. Con este sistema, los árboles son más productivos en el corto plazo. No obstante, el manejo requiere insumos mucho más altos,

en parte porque algunas plagas de insectos y malezas (malas hierbas) son mucho más problemáticas que en las condiciones de sombra y a la larga la producción es menor.

Al 2010, la superficie sembrada de cacao en el Perú es de 92, 460 ha; con producción de 44,338 TM, con rendimiento promedio de 480 kg/ha (Figura 1); cifras que nos indican que existe una brecha de 58% de adopción de las tecnologías que no permitan llegar a rendimientos óptimos mínimos de al menos una (1) tonelada/ha.

Situación que se debe en gran parte al limitado o nulo acceso que tienen los agricultores a las tecnologías existentes para la producción optima de cacao, en las que se contempla sistemas de producción acordes con el equilibrio de la naturaleza, con la menor dependencia a insumos externos que encarezcan los costos de producción; que permitan el incremento y conservación de la biodiversidad y que realmente sea una alternativa para el pequeño productor de la Selva Peruana.



Figura 1. Principales zonas de producción de cacao en el Perú, 2010 (Elaboración propia).

A pesar de esta problemática en los últimos años, el Perú se ha convertido en el segundo productor mundial de cacao orgánico, después de República Dominicana, logrando así que se exporte en su mayoría a Europa (Holanda y Francia) y Estados Unidos, generando un impacto económico altamente significativo en sus zonas de producción y en el país (MINAG, 2012).

2.5. Calidad de los suelos

En terrenos con suelos por naturaleza diversificados, frágiles, ácidos y desprovistos de nutrientes y bajo condiciones climáticas adversas de elevadas temperaturas y abundantes precipitaciones que aceleran los procesos de lixiviación, erosión y deterioro del recurso suelo. Estos limitarían tecnologías convencionales de mecanización, fertilización y encalados.

La mayoría de los suelos ácidos son característicamente bajos en fertilidad. Tienen pobres propiedades físicas, químicas y biológicas y son bajos en disponibilidad de nutrientes. Estos suelos tienen diversas limitaciones para la producción de cultivos y son degradadas fácilmente cuando se someten a la erosión, la lixiviación o la contaminación. Por lo tanto, el manejo adecuado de los suelos ácidos es de importancia tanto socio-económico y ecológico en las regiones tropicales y subtropicales.

Un sistema de índices eficiente con un mínimo de parámetros físicos, químicos y biológicos es necesario para evaluar y monitorear la dinámica de la calidad de los suelos y para mejorar las prácticas agrícolas y la productividad. Muchas propiedades físicas, químicas y biológicas se pueden utilizar para caracterizar la calidad del suelo. El número, la actividad, y la diversidad de los organismos del suelo y los que están relacionadas con los procesos bioquímicos, son probablemente los componentes más importantes de la calidad del suelo para el monitoreo de la degradación de los suelos ácidos, donde la sostenibilidad de la producción, la calidad del medio ambiente, la sanidad vegetal y animal están estrechamente relacionados con el ciclo biológico (He *et al.*, 2003).

La calidad del suelo se define como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas para sostener la productividad biológica, mantener la calidad del medio ambiente, y promover la sanidad vegetal y animal. La calidad del suelo es una medida de la condición del suelo en relación con el requerimiento de una o más especies y/o para cualquier necesidad humana o propósito. La calidad del suelo consiste en

componentes físicos, químicos y biológicos. Textura, profundidad de la capa superior del suelo, la zona de enraizamiento, densidad aparente, la infiltración y la capacidad de retención de agua, son todos los atributos físicos importantes de la calidad del suelo. Los componentes químicos de la calidad del suelo son el carbono orgánico total, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica, el nitrógeno, fósforo y potasio extraíble (He *et al.*, 2003).

El contenido de materia orgánica varía mucho en los suelos ácidos de las regiones tropicales y subtropicales, está en función de la vegetación, la historia de cultivo, uso de abonos orgánicos y el grado de erosión del suelo. Los suelos bajo bosques naturales o artificiales, por lo general tienen un contenido de materia orgánica relativamente alto (3-5%). Cambio en el uso del suelo de aptitud forestal a aptitud agrícola reduce el contenido de materia orgánica debido a la mineralización acelerada. La pérdida de la superficie del suelo causada por la erosión intensiva del suelo a menudo causa una disminución drástica de la materia orgánica.

Las deficiencias de N, P y K son comunes en los suelos ácidos, debido al bajo contenido de materia orgánica, la reducción de los minerales portadores de nutrientes y la fijación de fosfato peróxidos de Fe y Al. Los fertilizantes y los ciclos biológicos son probablemente las principales fuentes de N, P y K para estos suelos (He *et al.*, 2003).

Mejorar y mantener la fertilidad de los suelos son prioridades para los sistemas agroecológicos. Junto a la preservación de la agrobiodiversidad, el uso eficiente del agua, la energía y otros recursos disponibles, un adecuado balance de nutrientes y vida en el suelo son condiciones importantes para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, en la práctica no existe un entendimiento integral de cómo funcionan las interacciones a nivel del sistema que las favorece.

Debido a la baja fertilidad química de los suelos, es necesario corregir la acidez, la deficiencia de nutrientes, así como la reposición de nutrientes extraídos en la biomasa cosechada, para el buen funcionamiento de los sistemas agrícolas permanentes. A continuación, un monitoreo continuo sobre la disponibilidad de nutrientes puede ser utilizado como una guía para establecer de manera adecuada los programas de fertilización para una productividad sostenible (Smyth, 1996).

El mismo autor menciona que la mayoría de las definiciones sobre sostenibilidad incluye la idea de aumentar o mantener la calidad de los recursos naturales. En cuanto a la fertilidad del suelo se sugiere un manejo que evite el desbalance de nutrientes por la cosecha de los cultivos, la erosión, la lixiviación y la volatilización.

La calidad del suelo se define como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema en una manera que contribuye a la productividad de plantas y animales, mantiene o mejora la calidad del agua y el aire y apoya el desarrollo de la población humana. Por lo tanto, la calidad del suelo es necesaria para el desarrollo de un sistema de producción sostenible (Smyth, 1996).

Smyth (2006) sugiere que el conocimiento de la dinámica de nutrientes en el suelo (por ejemplo, el fósforo, el nitrógeno) es útil para indicar la sostenibilidad de un sistema de producción.

Smyth y Cassel (1995) asocian el encalado y los requerimientos nutricionales para la sostenibilidad de los cultivos en diferentes tipos de suelo, con diferentes niveles en la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, el uso sostenible de los diferentes tipos de suelo en la Amazonía, no se puede lograr sólo por conocer el entorno físico-químico del suelo y las consiguientes intervenciones de los agricultores.

Para determinar la calidad de suelos es necesario usar tres tipos de indicadores: físicos, químicos y biológicos; todos son importantes para analizar en forma conjunta las características y funciones de un suelo. Los indicadores físicos y químicos se consideran relativamente estables, ya que los cambios en un sistema tardan en modificar apreciablemente ese tipo de propiedades y por tal razón no justifica medirlos en intervalos cortos; en cambio, los indicadores biológicos son más sensibles y por eso se consideran los primeros y mejores para detectar cambios rápidos en un suelo (García y Hernández, 2003).

Para comparar la calidad de suelos entre agroecosistemas se utilizan índices de calidad de suelos, que combinan los diferentes tipos de indicadores. Uno de los índices que puede ser usado para comparar calidad de suelos es el “Índice de Calidad de Suelos Aditivo” (ICSA) que es básicamente una sumatoria de todos los índices (con valores entre 0-1) obtenidos de todos los indicadores medidos en un suelo. Se considera que a mayor valor del ICSA, mejor es la calidad de un suelo (Andrews *et al.* 2002).

2.6. Importancia biológica del suelo

La destrucción de hábitats naturales en los trópicos debido a la expansión de la agricultura y la explotación descoordinada de los recursos naturales como la madera va en aumento. El uso más razonable de las tierras agrícolas y la regeneración de áreas degradadas representa uno de los retos más imperativos para la protección de los recursos naturales, incluyendo la diversidad de microorganismos, sus relaciones y procesos ecológicos que intervienen.

Las plantas ejercen una fuerte influencia en la composición de las comunidades microbiales (hongos, nematodos, bacterias, etc.) en el suelo a través de la descomposición de materia orgánica y raíces. La unión entre las especies de plantas y comunidades microbianas en la rizósfera del suelo es estricta, como resultado de su co-evolución (Brimecombe *et al.*, 2001).

La estimación de la respiración del suelo da una idea de la dinámica de su biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan; tales procesos varían en función de factores biofísicos y climáticos del suelo y del uso de la tierra, por lo cual su medición es un indicador de la biomasa microbiana presente. La actividad microbiana se desarrolla en función de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema suelo, por lo cual constituye un indicador de la dinámica del suelo y de la salud del recurso, pues una buena actividad microbiana puede ser el reflejo de óptimas condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetos y de su acción sobre los substratos orgánicos (Mora, 2006).

La dimensión biológica del suelo está regulada por condiciones edáficas fundamentales para la vida (temperatura, humedad, salinidad, oxígeno, coloides orgánicos, exudados y otros), que resultan de la interacción entre las condiciones propias del suelo con las características climáticas estacionales y la vida vegetal y animal presente en el ecosistema (Primavesi, 1984).

Varias investigaciones demuestran que la capacidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de insectos plaga y enfermedades está ligada a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo. Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección (Altieri y Nichols, 2008).

La mayor parte de los organismos del suelo utilizan a los compuestos orgánicos complejos como fuente de energía y carbono a los que se clasifica como heterótrofos; mientras que hay un pequeño grupo de microorganismos que usan al bióxido de carbono como única fuente de carbono denominados autótrofos. Los hongos son los principales agentes de descomposición de la materia orgánica en todos los ambientes ácidos; poseen una red de filamentos o hifas en el suelo y su micelio puede subdividirse en células individuales por medio de paredes transversales o septos, observándose fácilmente en el humus, compost, etc. Una de las principales actividades de los hongos es la descomposición de la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidón, grasas y compuestos de lignina; participan en la formación del humus y contribuyen al reciclaje de nutrientes y a la estabilidad de agregados mediante la degradación de residuos vegetales y animales (Ulacio *et al.*, 2002).

Las plantas funcionan en un ambiente complejo multitrófico, donde generalmente la flora y fauna del suelo y los organismos de arriba del suelo (cultivos, insectos, etc.) interactúan en redes tróficas complejas, con una serie de interacciones que pueden favorecer o desfavorecer la menor incidencia de plagas. Las comunidades arriba del suelo se ven afectadas directa e indirectamente por interacciones con los organismos de la red trófica del suelo (Wardle *et al.*, 2004). Las actividades de alimentación de los descomponedores o detritívoros (básicamente bacterias y hongos) en la red trófica estimulan el movimiento de nutrientes, la adición de nutrientes por las plantas, y el funcionamiento de las plantas, y es así como indirectamente influyen sobre los insectos que se alimentan de cultivos.

La comunidad de organismos (fauna y microorganismos) en el suelo juegan un rol crucial en mantener la calidad y fertilidad del suelo, debido a su participación en el ciclo de nutrientes a través de la descomposición de la materia orgánica, mejorando los procesos físicos del suelo y almacenamiento de nutrientes (Tian y Badejo, 2001).

Hay una gran variación en la diversidad de la comunidad de organismos en los suelos tropicales y subtropicales. Las temperaturas y precipitaciones en estas regiones favorecen el desarrollo de los micro y macro-organismos y aceleran el ciclo del C orgánico, del N, P y S. La reducción de nutrientes y C orgánico causada por la erosión del suelo, la deforestación, los cultivos intensivos, así como las condiciones de estrés, tales como: la acidez del suelo y la toxicidad del aluminio, reducen la biodiversidad en los suelos (He *et al.*, 2003).

La acidificación del suelo, en general, reduce el número y las actividades de los microorganismos y macrofauna, especialmente de las bacterias. Los hongos se vuelven dominantes en las comunidades microbianas en la mayoría de los suelos ácidos, y las bacterias sensibles a la acidez del suelo o al aluminio ceden el paso a especies bacterianas tolerantes a estas condiciones. Estas bacterias tolerantes a la acidez o al aluminio exhiben períodos más latentes (He *et al.*, 2003).

Las propiedades biológicas del suelo incluyen la cantidad, actividad y diversidad de la fauna del suelo, microflora y enzimas. Estos componentes regulan los procesos microbiológicos y bioquímicos del suelo, los ciclos de carbono y de los nutrientes, la degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos que afectan las propiedades físicas y químicas del suelo, influenciando la dirección del cambio de la calidad del suelo (He *et al.*, 2003). Según el mismo autor, la comunidad microbiana del suelo es un factor importante de su calidad y recientemente parámetros de diversidad microbiana han sido identificados como importantes indicadores de la calidad del suelo, y pueden ser medidos por diferentes técnicas fisiológicas, bioquímicas y moleculares. Es importante conocer cómo van variando las poblaciones microbianas en el suelo sobre todo cuando se tiene tanta variabilidad como son los suelos del trópico y también con respecto a los diferentes manejos que se dan en estos sistemas (He *et al.*, 2003).

El componente microbiano del suelo es un indicador muy importante de la calidad del suelo (He *et al.*, 2003) y este término ha sido definido como la capacidad del suelo de producir cultivos sanos y nutritivos, que son resistentes a la erosión y reducen el impacto del estrés ambiental de las plantas (Papendick y Parr 1992, Elliot *et al.*, 1994). Estos autores a su vez, revisaron la literatura y concluyen de que los ecosistemas (procesos) – niveles de estudio pueden ser el mejor enfoque para la evaluación rápida de los cambios en la calidad del suelo. Los estudios de los ecosistemas podrían incluir el ciclo del carbono, la respiración del suelo, el carbono de la biomasa microbiana, el ciclo de nitrógeno y la lixiviación de nutrientes.

Los microorganismos difieren en su sensibilidad a los cambios nutricionales y ambientales. Algunas poblaciones, más tolerantes al estrés, pueden sobrevivir mientras que las poblaciones más sensibles pueden desaparecer en condiciones cambiantes. Por lo tanto, los parámetros de la estructura de la comunidad microbiana, puede ser evaluada por diferentes técnicas fisiológicas, bioquímicas o moleculares, recomendándose como un indicador biológico de la calidad del suelo o la sostenibilidad (He *et al.*, 2003).

La estructura de la comunidad microbiana puede proporcionar un indicador sensible de la calidad del suelo bajo diferentes usos del suelo, del manejo o de las condiciones ambientales (He *et al.*, 2003). Por ejemplo, la conversión de un bosque tropical a la agricultura de plantaciones de piña, aumentó la cantidad relativa de hongos y actinomicetos y disminuyó la cantidad relativa de bacterias Gram positivas (Waldrop *et al.*, 2000). Plantaciones de cacao bajo sombra de árboles en los bosques secundarios no es bien conocida y la productividad puede ser reducida significativamente debido a las interacciones negativas de la biodiversidad del suelo y las plantas.

La diversidad biológica del suelo, es parte importante de la salud y estabilidad del agroecosistema. Una amplia mezcla de organismos crea un sistema en el cual la competencia por las fuentes alimenticias, nichos y dinámicas depredador-presa, ayudan a limitar las poblaciones de bacterias y hongos que causan enfermedades, nematodos parásitos de las plantas y problemas insectiles (Magdoff, 1999).

Las plantas y los microorganismos interactúan de muchas maneras. La más simple es la que tiene lugar cuando hongos y bacterias se dan a la tarea de descomponer el material vegetal. Los hongos, en particular, cumplen un papel muy importante en la descomposición de los vegetales: mediante la producción de enzimas extracelulares, estos organismos desdoblan moléculas orgánicas complejas (como lignina y celulosa) y las convierten en moléculas más simples. De esa forma, los hongos transforman en nutrientes material estructuralmente complejo y lo ponen a disposición de las plantas (Gilbert, 2002).

La rizósfera es el área del suelo inmediata a las raíces y donde tiene lugar una intensa actividad biológica. La diversidad de la actividad microbiana en esta rizósfera puede ser beneficiosa o dañina. La actividad de los microorganismos es muy importante para la transformación y la vida de los suelos. Las bacterias y los hongos participan en los ciclos de carbono, nitrógeno, azufre, fósforo y la incorporación del potasio y el magnesio, entre otros, para su asimilación por los vegetales. Los procesos biológicos más importantes que se desarrollan en el suelo son: humificación (descomposición de la materia orgánica por hongos, bacterias, actinomicetos, etc.), transformaciones del nitrógeno (amonificación, nitrificación, fijación) y mezcla-desplazamiento (lombrices y termitas principalmente) (Arévalo, 2005).

Es cierto que en los suelos hay enfermedades que causan la aparición de bacterias y hongos como también de insectos y nematodos parásitos. Sin embargo, la enorme cantidad de grupos de organismos del suelo se alimentan de los cultivos, de residuos orgánicos o de otros organismos del suelo y no causan problemas a las plantas. De hecho, sus actividades que ayudan a reciclar los nutrientes, a mantener baja las poblaciones de plagas, a producir sustancias que ayudan a la formación de agregados del suelo y a producir sustancias húmicas, hacen que una gran mayoría de estos organismos sean importantes para la calidad del suelo (Magdoff, 1999).

La cobertura vegetativa sobre la superficie del suelo crea condiciones favorables de humedad y temperatura para los organismos del suelo. Las coberturas también pueden ejercer efectos significativos sobre los hongos micorríticos, raíces de cacao y de las coberturas forman simbiosis con estos hongos, en esta simbiosis las micorrizas pueden facilitar la absorción agua y nutrientes por las plantas y las plantas abastecen de carbono a los hongos. La simbiosis incrementa la habilidad de las plantas para absorber los nutrientes menos móviles como el P y los micronutrientes (Baligar *et al.*, 2007).

La materia orgánica cumple una función valiosa en la conservación de la humedad (retención de agua). Juntas –materia orgánica y humedad– propician que millones de organismos vivan en el suelo: un indicador de que está vivo. La interacción entre la vida del suelo y nuestros cultivos es aún poco comprendida, pero conocemos lo suficiente para saber que es sumamente complicada e importante (Bunch, 2008).

La mayoría de los agrónomos ya hemos oído que cada cucharadita de suelo fértil contiene millones de microorganismos. También sabemos que el impacto de esta vida subterránea sobre nuestra productividad agrícola es asombroso. Casi no tendríamos ni bosques ni pastizales naturales si no fuera por esta vida del suelo, porque prácticamente todo el nitrógeno de nuestros suelos naturales viene de la descomposición de la materia orgánica o de la fijación del nitrógeno, pues los dos son procesos que dependen totalmente de los microorganismos (Bunch, 2008).

La mayor parte de los organismos del suelo utilizan a los compuestos orgánicos complejos como fuente de energía y carbono a los que se clasifica como heterótrofos; mientras que hay un pequeño grupo de microorganismos que usan al bióxido de carbono como única fuente de carbono denominadas autótrofos. Los hongos son los principales agentes de descomposición de la materia orgánica en todos los ambientes ácidos; poseen una red de filamentos o hifas en el suelo y su micelio puede subdividirse en células individuales por medio de paredes transversales o septos, observándose fácilmente en el humus, compost, etc. Una de las principales actividades de los hongos es la descomposición de la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidón, grasas y compuestos de lignina; participan en la formación del humus y contribuyen al reciclaje de nutrientes y a la estabilidad de agregados mediante la degradación de residuos vegetales y animales (Dilcia *et al.*, 2002).

Swift (1999) reportó que la integración del componente biológico es un componente importante dentro de las prácticas de manejo del suelo. Por lo tanto, los beneficios de las plantas fijadoras de nitrógeno en rotación o en combinación con los principales cultivos, el manejo de cultivos de cobertura para aumentar el secuestro de carbono y diversos organismos vivos deben ser incluidos en las estrategias de los sistemas de producción sostenibles de los diferentes suelos de la Amazonia.

Una alternativa sostenible es el mulching o la incorporación de vegetación del sistema. Este material orgánico sirve como un substrato rico en carbono que se descompone por la acción de los microorganismos del suelo, inicialmente se inmoviliza una gran fracción de nutrientes disponibles en el suelo. Cuando cae sobre la superficie, esta hojarasca está sujeta a un secado rápido y a descomponerse lentamente, dando lugar a bajas tasas de movilización. La hojarasca mezclada con el suelo a menudo permanecen húmedos y los microorganismos tienen acceso a los nutrientes del suelo de manera que la descomposición es mucho más rápida que para la hojarasca que se queda en la superficie del suelo (Smyth, 1996).

2.6.1 Hongos en el suelo

Información sobre la estructura y composición de la población de hongos, tales como la identidad y frecuencia de los hongos fitopatógenos y sus antagonistas pueden dar una idea de la estabilidad de la comunidad del suelo o el nivel de interferencia de la biota del suelo en el bosque original y las zonas de alteración.

Como las colecciones de recursos genéticos proporcionan acceso a las cepas necesarias a efectos de enseñanza, investigación y procesos industriales, la falta de un germoplasma microbiano se identifica como uno de los principales obstáculos para el desarrollo científico y tecnológico de la micología tropical.

Cada vez es más claro que en el futuro uno debe confiar en los enfoques metodológicos de acoplamiento de técnicas basadas en el cultivo y ensayos moleculares taxonómicos para estudiar los principales procesos biogeoquímicos que ocurren en los ecosistemas con el fin de obtener una mejor comprensión de las comunidades de hongos en diferentes suelos.

La información sobre la interacción microbiana en el suelo y la rizósfera en los ecosistemas tropicales es todavía muy escasa, a pesar de su importancia para el equilibrio ecológico. Entre los componentes microbianos generales de los ecosistemas podemos encontrar una comunidad muy diversa de los diferentes grupos de hongos, incluyendo los hongos llamados microscópicos.

Los hongos del suelo representan los principales grupos funcionales responsables de las enfermedades de las plantas, la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. La relevancia de las listas de especies obtenidas de sitios bajo diferentes tipos de vegetación y diferentes usos del suelo se debatió a fondo durante los años 1960 y 1970. Si se basan en la identificación confiable de las especies y proporcionan información sobre la frecuencia, puede llegar a ser una herramienta valiosa para la caracterización y seguimiento de las comunidades de hongos y su influencia en los principales procesos biogeoquímicos.

Los hongos representan una de las especies más ricas de todos los grupos de organismos, con excepción de los insectos. La cifra de trabajo de 1,5 millones de especies de hongos se basa en varias evidencias. La diversidad de hongos en los hábitats tropicales es generalmente poco explorada. La mayoría de los estudios son un trabajo pionero, por lo general a nivel regional y orientado temáticamente. Por lo tanto, las evaluaciones de la diversidad de los hongos microscópicos en suelos tropicales e investigaciones sobre su importancia para la agricultura sostenible es probable que recibirá mucha atención durante la próxima década (Mueller *et al.*, 2004).

Los hongos también son buscados para la producción de nuevos metabolitos bioactivos y genes para el desarrollo biotecnológico. En los programas de bioprospección, el suelo representa una de las fuentes más importantes de la diversidad genética, un hecho de extraordinaria importancia para los estudios ecológicos y los aspectos tecnológicos. Por otra parte, hay muchos aspectos científicos básicos del descubrimiento de la biodiversidad y de nuevas especies de hongos, especialmente en ecosistemas poco estudiados. Los estudios realizados con tal énfasis sirven para añadir información valiosa a la filogenia sistemática en el reino de los hongos (Hennebert, 1995).

El suelo debe ser definido como un hábitat o un ecosistema en lugar de un sustrato. Este hecho trae consigo problemas con la definición y la metodología, ya que el suelo representa una mezcla compleja de la fracción inorgánica y orgánica, agua, aire y organismos vivos. Las fracciones orgánicas se componen de material vegetal fresco y en diferentes etapas de descomposición, raíces vivas, exudados, microorganismos y pequeños invertebrados. Por esta razón, el suelo alberga una parte considerable de la diversidad de hongos y una estimación del número de especies de hongos es muy importante (Hawksworth y Rossman, 1997).

Los hongos del suelo juegan un papel clave en los procesos de descomposición, mineralización y reciclaje de los nutrientes. En el suelo, los hongos interactúan con una compleja comunidad microbiana, incluidas las bacterias, actinomicetos y pequeños invertebrados. Los saprófitos que tienen una especificidad limitada para los sustratos, por ejemplo, zygomycetos que utilizan los hidratos de carbono simples o ascomicetos que pueden descomponer la celulosa y hemicelulosa (Lodge, 1997).

En los agroecosistemas, es importante conocer los agentes patógenos de plantas y sus antagonistas. Los fitopatógenos actúan en el suelo, la rizósfera y en la planta, causando pérdidas en el rendimiento de los cultivos. Ellos pueden ser específicos, pero la mayoría de ellos ataca una amplia gama de plantas huésped. La supresividad de los suelos a los agentes patógenos de las plantas puede ser intrínseca, pero también puede ser modificada por prácticas agrícolas específicas como la incorporación de materia orgánica, plantas de cobertura y diversidad de los cultivos (Mazzola, 2004).

Considerando el papel de descomposición de los hongos, es importante mencionar que estos microorganismos son responsables de la degradación de xenobióticos y contaminantes orgánicos incorporados en el suelo. Los hongos también son importantes en la cadena alimenticia en el suelo, principalmente porque el suelo alberga una gran mesofauna. El mantenimiento de la diversidad del suelo, por tanto, beneficia directamente a la producción agrícola sostenible, proporcionando los nutrientes disponibles, mejora la estructura física del suelo y el control biológico natural de los patógenos de las plantas transmitidas por el suelo (Da Silva *et al.*, 2003). Los hongos son los principales agentes de descomposición de la materia orgánica en todos los ambientes ácidos; poseen una red de filamentos o hifas en el suelo y su micelio puede subdividirse en células individuales por medio de paredes transversales o septos, observándose fácilmente en el humus, compost, etc. una de las principales actividades de los hongos es la descomposición de la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidón, grasas y compuestos de lignina; participan en la formación del humus y contribuyen al reciclaje de nutrientes y a la estabilidad de agregados mediante la degradación de residuos vegetales y animales (Ulacio *et al.*, 1998).

2.6.2. Nematodos en el suelo

Los nematodos son animales pequeños invertebrados y ubicuos. La comunidad de nematodos se caracteriza por presentar cinco grandes grupos funcionales: parásitos de las plantas, bacteriófagos, micófagos, predadores y omnívoros. Los nematodos parásitos de plantas pueden causar enormes pérdidas de rendimiento en los cultivos anuales. Nematodos bacteriófagos pueden regular la cantidad disponible de nitrógeno y fósforo para las plantas, influyen en la nodulación de *Rhizobium*, consumen y diseminan bacterias beneficiosas y patógenas de plantas. Algunos bacteriófagos, son capaces de reproducirse e incrementarse en gran número dentro de un corto período de tiempo en un suelo enriquecido, considerándose un indicador de la fertilidad del suelo (Ferris *et al.*, 2001).

Los mismos autores mencionan que algunos nematodos micófagos, además de alimentarse de saprofitos, patógenos, hongos benéficos y micorrizas, también son considerados como parásitos facultativos de plantas. Por otro lado, la mayoría de los nematodos predadores son polívoros, se alimentan de otros nematodos, protozoos, rotíferos, tardígrados, bacterias y esporas de hongos. Los omnívoros pueden alimentarse de todos los recursos alimenticios, incluyendo hongos, bacterias, raíces de plantas, algas y otros nematodos.

Además, una de las principales funciones de los nematodos del suelo en los ecosistemas es la liberación de nutrientes en el suelo para la absorción por las raíces de las plantas. Debido a su corta vida (en su mayoría alrededor de 1 mes por ciclo de vida) y las diferentes funciones de alimentación, los nematodos del suelo reflejan los cambios ambientales en su comunidad tanto en estructura y composición.

Complementando que algunos nematodos se presentan en una amplia gama de hábitats, mientras que otros son más restringidos. El grado y diversidad de cobertura vegetal del suelo se considera como el factor más importante en la determinación de la estructura de las comunidades de nematodos. La composición de la comunidad de nematodos en el suelo refleja las prácticas de manejo agrícola. Aunque la densidad de la población de nematodos no se ha relacionado con su diversidad, se encontró una menor diversidad de nematodos y mayor abundancia en los agroecosistemas de manejo intensivo que en los ecosistemas nativos.

Debido a la complicada taxonomía a nivel de especies, el análisis de la estructura de la comunidad se ha centrado en la composición trófica. Muchos investigadores han detectado diferencias en las estructuras tróficas en ecosistemas diferentes o tratamientos y confirmaron los grupos funcionales como buenos indicadores de manejo de los agroecosistemas. Los grupos funcionales, parásitos, bacteriófagos y micófagos, constituyen la mayor población de nematodos en la mayoría de los ecosistemas (Ferris *et al.*, 2001).

La microfauna (cuerpo menor a 0.2 mm) del suelo comprende varios grupos taxonómicos. Sin embargo, el único grupo que está recibiendo mayor atención son los nematodos. Los diferentes modos de alimentación (que puede ser relativamente fácil de deducir según la morfología de sus piezas bucales) y las diferentes estrategias de historia de vida hacen que los nematodos del suelo sean adecuados para reflejar los cambios ambientales en su estructura y composición de la comunidad (Moreira *et al.*, 2006).

Al estudiar tanto la selva tropical, hábitats naturales y agrícolas, Huang y Cares, (2006), fueron capaces de mostrar que la diversidad de nematodos está estrechamente relacionada con la diversidad vegetal (tanto en forma natural y en los sistemas agrícolas), los nematodos parásitos de plantas, es el grupo funcional más importante de la vegetación nativa versus los bacteriófagos en los sistemas agrícolas. La abundancia de los nematodos es generalmente mayor en los sistemas agrícolas. El tipo de suelo también tiene una clara influencia en esta abundancia, pero la naturaleza de este fenómeno aun es poco entendida (Moreira *et al.*, 2006).

Microbiología del Suelo y la ecología microbiana han sido un área mucho más común de la ciencia que la zoología del suelo y ecología animal del suelo, probablemente debido a la importancia reconocida de los microorganismos en los procesos bioquímicos en el suelo. El reciente aumento en el uso de técnicas moleculares ha sido un gran impulso a la taxonomía de los microorganismos, lo que en sí misma está motivada por la búsqueda de los organismos y, en este caso, los genes de importancia económica en las industrias alimentarias y medicinales. Afortunadamente, ha sido comúnmente aceptada en los últimos 20 años que la fauna del suelo comprende "un ingeniero de ecosistemas", es decir, los organismos que afectan la disponibilidad de recursos a otras especies a través de cambios físicos en su hábitat. Las lombrices, las termitas y las hormigas se mueven en torno a enormes cantidades de suelo y crear estructuras por encima y por debajo de la tierra que puede durar décadas. Así, mientras que los microorganismos del suelo son fundamentales para las transformaciones bioquímicas, la fauna del suelo son pertinentes a las transformaciones biofísicas (Moreira *et al.*, 2006).

Desafortunadamente, esta realidad hasta ahora no ha dado lugar a los esfuerzos taxonómicos igualmente intensificado con los microorganismos. Sin embargo, si añadimos la gran biodiversidad y abundancia de estos "ingenieros", es evidente que la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas es imposible sin un conocimiento profundo de la taxonomía de estos grupos (Moreira *et al.*, 2006).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

El presente ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental “El Choclino” en un área de 8.34 hectáreas ubicada a 06° 28’ 37.3” de latitud sur y 76° 19’ 54.6” de longitud oeste y en los laboratorios de fitopatología y suelos del Instituto de Cultivos Tropicales, ubicado en el Distrito de la Banda del Shilcayo, Provincia y Departamento de San Martín. Presenta un rango altitudinal de 500 a 530 msnm, se encuentra dentro de la zona de vida de Bosque Seco Pre-Montano Tropical (bs-PT), la precipitación promedio anual es de 1250 mm y la temperatura oscila entre 24-27°C, humedad relativa promedio de 87% (Fuente: Estación Meteorológica Vantage Pro2-ICT, 2010).

3.2. Componentes en Estudio

3.2.1. Sistemas de Producción de cacao (S)

- a. **Sistema agroforestal natural mejorado (INAS):** En este sistema solo se considera el rozo y la tumba selectiva de árboles que producen exceso de sombra, en áreas demasiado expuestas se siembra plátano como sombra temporal, reemplazo del bosque espontáneo por otro de árboles maderables como la caoba (*Swietenia macrophylla*), tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), pali perro (*Vitex psedolea*), cacapana (*Simarouba amara*), shaina (*Colubrina glandulosa*), bolaina (*Guazuma crinita*).
- b. **Sistema agroforestal tradicional o convencional mejorado (ITAS):** Sistema comúnmente usado por los agricultores de la selva peruana en el que se considera el rozo, tumba, quema, siembras de maíz, plátano, árboles de sombra (*Inga* spp), cacao. Las prácticas culturales en ambos casos son similares y consideran deshierbos periódicos, uso de enmiendas orgánicas y podas de formación y mantenimiento.

3.2.2. Descripción de los sistemas de producción de cacao

a. Sistema agroforestal natural mejorado (INAS)

Este sistema se instaló dentro de un bosque secundario de 30 años (purma) de 1.65 ha (Figura 2). Los trabajos iniciales comprenden una serie de actividades dentro de ellas el corte selectivo de malezas, arbustos y árboles espontáneos, hasta obtener 50% de sombra necesaria para el cacao. Este tipo de sistema contempla además, la delimitación para adicionar plátanos a un distanciamiento de 6x3m y cacao a 2x3m. Al momento de la plantación del cacao se adicionó 250 g de guano de islas por planta. 60 genotipos de cacao son considerados para este sistema. Al igual que en el sistema anterior se han considerado los mismos genotipos descritos en el Cuadro 1.

El control de malezas en este sistema es manual y constante en las interlineas para crear las mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de agentes de biocontrol de plagas de los cultivos del sistema.

En este sistema no existe un cambio brusco de la biodiversidad ya que se trata de conservar en lo posible el paisaje del bosque por lo tanto es un sistema agroforestal ecológico y técnicamente correcto. Este sistema resulta de un método de instalación recopilado de nuestros antiguos colonizadores, también puede decirse que este sistema es ecológico, que se basa en la sustitución de estratos forestales por un cultivo de interés económico, este cultivo es instalado debajo de la purma o bosque secundario de forma discontinua y circundada por vegetación natural, no perjudicando las relaciones mesológicas con los sistemas remanentes.

Es evidente que en cualquier sistema hay una pérdida de la biodiversidad, en general toda la intervención del hombre en la naturaleza provoca alguna pérdida. En el caso de siembras bajo los bosques esta pérdida está compensada por qué no se realiza la quema del bosque, posibilitando la regeneración de las plantas y la interacción de las especies selectivas, que son importantes para el equilibrio del propio sistema.



Figura 2. Sistema de plantaciones de cacao bajo sombra espontánea, en este sistema solo se rozó la vegetación debajo de los árboles para luego sembrar cacao, en los casos de poca sombra se sembró plátano como sombra temporal.

b. Sistema agroforestal tradicional o convencional mejorado (ITAS)

En este sistema se consideró el rozo, la tumba y quema de la vegetación existente. Posteriormente se hizo la limpieza del área experimental, facilitando el trabajo de alineamiento y estaqueado, cuyos distanciamientos de los componentes del sistema como cacao y plátano fueron de 2 x 3 m (1666 plantas/ha) y 4 x 3 m (833 plantas/ha) respectivamente, distribuidos bajo una misma hilera de siembra. Se consideran 60 genotipos de cacao para este sistema, seleccionándose 10 genotipos como indicadores del efecto.

Con la finalidad de determinar las posibles variaciones de la fertilidad del suelo, así como el aporte de nutrientes mediante la quema, se realizó el muestreo de suelo antes y después de la quema en 10 puntos determinados del área experimental; recolectándose las cenizas en bandejas de aluminio de 50 x 50 cm. Los resultados del análisis físico – químico de las muestras de suelo y de las cenizas, el aporte de cenizas y de nutrientes a través de estos se muestran más adelante.

Luego del rozo, tumba y quema de la purma, el relieve del terreno queda cubierto con un manto de árboles quemados y semiquemados distribuidos de modo irregular, sobre la superficie del suelo que apenas es visible.

A diferencia de las empresas agroindustriales que limpian el terreno, el agricultor de la zona no está interesado en que esta palizada se saque del suelo. Al contrario, la considera parte de la chacra, el "alimento" de la chacra. Así la topografía del terreno mantiene una forma que no llega a ser modificada con la siembra, porque el cultivo de entrada que es el maíz será sembrado en este suelo en unos hoyos pequeños hechos con una herramienta llamada tacarpo.

Cuando se presentan las lluvias, éstas no caen de modo directo en toda la superficie de la chacra, sino en el entramado de troncos, y de ahí discurren de modo lento en la superficie de suelo humedeciéndolo y sin provocar procesos de escorrentía que finalicen en proceso erosivo. La humedad llega por este mecanismo regulador de modo adecuado a las simientes. De igual forma, la radiación solar intensa en las áreas cubiertas no llega directamente a la superficie del suelo; se impide de este modo la formación de lateritas y la esterilización del suelo.

El rozo y la tumba practicados en el monte alto o la purma (Figura 2) son realizados de tal suerte que las raíces y parte de la base del tronco quedan en el suelo. Se trata de un raleado selectivo, pues no todas las plantas son cortadas ni quemadas. Así la estructura del suelo que es sostenida por los árboles y arbustos queda intacta y no sufre remoción alguna ni en la preparación del terreno ni en la labranza. Estos tocones sirven además como sostén para los cultivos.



Figura 3. Etapas del establecimiento de una plantación convencional de cacao: rozo, tumba y quema, muestreo de suelos (antes de la quema), quema, muestreo de suelos y ceniza, aprovechamiento de leña, hijuelos de plátano para la sombra temporal, siembra de maíz, siembra del plátano, siembra de fríjol y cultivo instalado bajo sombra de plátano y a los costados se sembró fríjol.

El primer muestreo se realizó en el 2004, en 10 calicatas de tal manera que se pudieron coleccionar muestras de tres profundidades diferentes: 0-20cm, 20-40cm, 40-60cm. De cada una de las calicatas se tomó una muestra de 200g. Las 10 muestras de los diferentes puntos de la cuadrícula, se llevaron al laboratorio donde se homogenizaron para obtener una muestra representativa de la profundidad por bloque con un peso de 2kg.

La labranza cero que es practicada con el tacarpo no remueve el suelo, y como el estrato del suelo de mayor fertilidad casi siempre es sub-superficial, la profundidad del hoyo realizado con esta herramienta llega justamente hasta este horizonte en el que la semilla encuentra condiciones óptimas que garantizan su normal desarrollo.

De otro lado la ceniza tiene la facultad de frenar y evitar que la fauna de insectos se desarrolle a tal velocidad que terminen por comer a las plantas en emergencia. Un rol no menos importante en los procesos de limpieza y sanidad de la chacra lo tiene el mismo proceso de quema y el humo que se produce.

Por otro lado existen ventajas y desventajas del uso de esta metodología para la instalación de cacao, con la quema se puede aumentar el pH y reducir el aluminio disponible; se liberan cationes de calcio, potasio y magnesio, se mineraliza el nitrógeno, fósforo y azufre; el suelo se vuelve más friable. Sin embargo existen más problemas que ventajas como la volatilización del nitrógeno y azufre así como la reducción de la materia orgánica; la quema intensiva reduce la producción de biomasa vegetal, existe una lenta recuperación de la vegetación, muchas de las cuales son erradicadas totalmente por este efecto especialmente las especies típicamente nativas; existe una reducción drástica de especies arbóreas y arbustivas; disminuye la biodiversidad; efectos desastrosos sobre la fauna, después de un tiempo en estas condiciones la biomasa microbiana del suelo se reduce drásticamente, además que contribuye al efecto invernadero (Benzing, 2001).

Una de las formas de revertir el efecto negativo de estas prácticas es justamente regenerar el paisaje del bosque con una especie originaria del mismo, como es el cacao y dentro de él una gama grande de genotipos (60) procedentes de diferentes localidades, los mismos que han sido seleccionados por su capacidad productiva y su tolerancia a plagas y enfermedades.

3.2.3. Genotipos de cacao (G)

Este componente fue seleccionado al azar de 60 genotipos instalados en ambos sistemas como variables independientes. Los genotipos provienen de colecciones nacionales de cacao (5) y de la colección internacional (5), más un testigo híbrido espontáneo, que se muestran en el cuadro de tratamientos (Cuadro1).

3.3. Tratamientos en estudio

Cuadro 1. Relación de genotipos y tratamientos considerados en el presente estudio

Clave	Sistema	Genotipo	Descripción	Origen	Características
S1G1 S2G1	Tradicional Agroforestal	ICS 95	Imperial College Selection	Trinitario	AC, MoR,
S1G2 S2G2	Tradicional Agroforestal	UF 613	United Fruit Series	Trinitario	AC,
S1G3 S2G3	Tradicional Agroforestal	CCN 51	Colección Castro Naranjal	Ecuador	AC, EsR, AP
S1G4 S2G4	Tradicional Agroforestal	ICT 1112	Instituto de Cultivos Tropicales – I	Juanjui - Perú	AC
S1G5 S2G5	Tradicional Agroforestal	ICT 1026	Instituto de Cultivos Tropicales – I	Juanjui - Peru	AC
S1G6 S2G6	Tradicional Agroforestal	ICT 2162	Instituto de Cultivos Tropicales – II	Tocache - Perú	AC
S1G7 S2G7	Tradicional Agroforestal	ICT 2171	Instituto de Cultivos Tropicales – II	Tocache - Perú	AC, EsR,
S1G8 S2G8	Tradicional Agroforestal	ICT 2142	Instituto de Cultivos Tropicales – II	Tocache - Perú	AC, EsR
S1G9 S2G9	Tradicional Agroforestal	H35	Colección Huallaga	Huallaga - Perú	AC
S1G10 S2G10	Tradicional Agroforestal	U30	Colección Ucayali	Ucayali - Perú	AC
S1G11 S2G11	Tradicional Agroforestal	Hibrido espontáneo	Hibrido (Control)	Perú	AI

S1: Sistema de Manejo Tradicional; S2: Sistema Agroforestal; G1...11 = Genotipo de cacao. AC=Autocompatible, EsR=Resistente a Escoba de Bruja, AP=Alta productividad, MoR=Resistencia a Moniliasis,

3.4. Diseño Estadístico

El diseño estadístico usado en el presente experimento es el de Bloques Completamente al Azar con arreglo factorial 2 x 3 x 11 con tres repeticiones.

Referente al diseño de cada block, este se distribuye en número de tres en cada sistema de manejo, tal como se observa en la Figura 3 y el detalle se observa en la Figura 4.

Cada block tiene una área de 5,400 m² y el área de la unidad experimental es decir de los genotipos tiene una área de 60 m² con un total de 10 plantas de cacao por cada parcela o repetición sembradas a un distanciamiento de 3 metros entre hileras y 2 metros entre plantas, lo que representa una densidad de 1,667 plantas por hectárea.

3.5. Disposición Experimental

El presente experimento se dispone en el campo experimental de acuerdo a la Figura 4 y 5, en la que podemos observar el área destinada a los sistemas de manejo bajo bosque o agroforestal (INAS) y tradicional del cacao (ITAS). Los genotipos están distribuidos al azar bajo el Diseño de Bloques Completo al Azar con tres repeticiones (Figura 6)

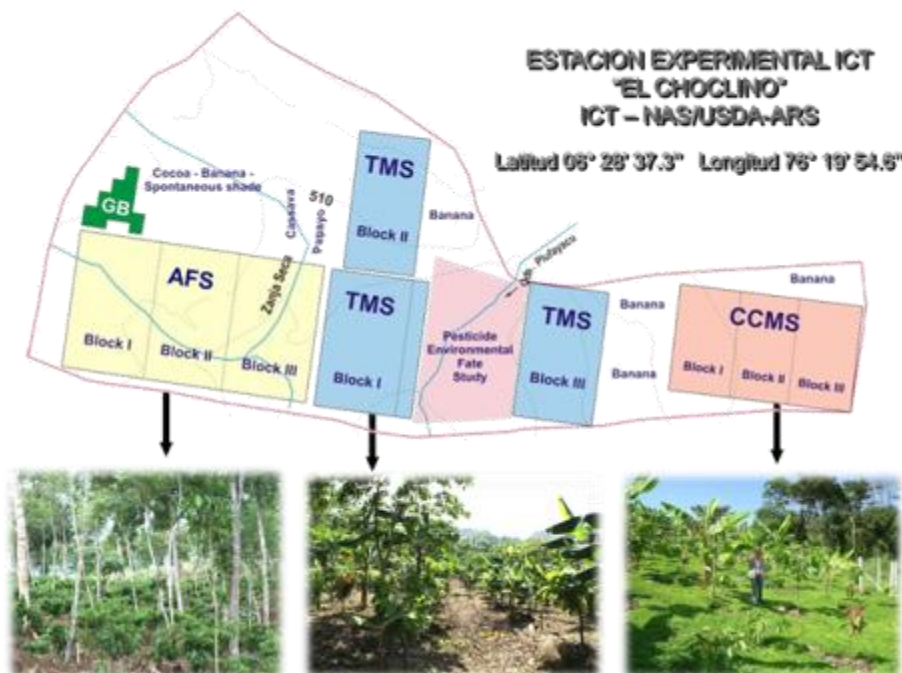


Figura 4. Croquis de la Estación Experimental "El Choclino" del Instituto de Cultivos Tropicales, mostrando los diferentes sistemas de cacao instalados.

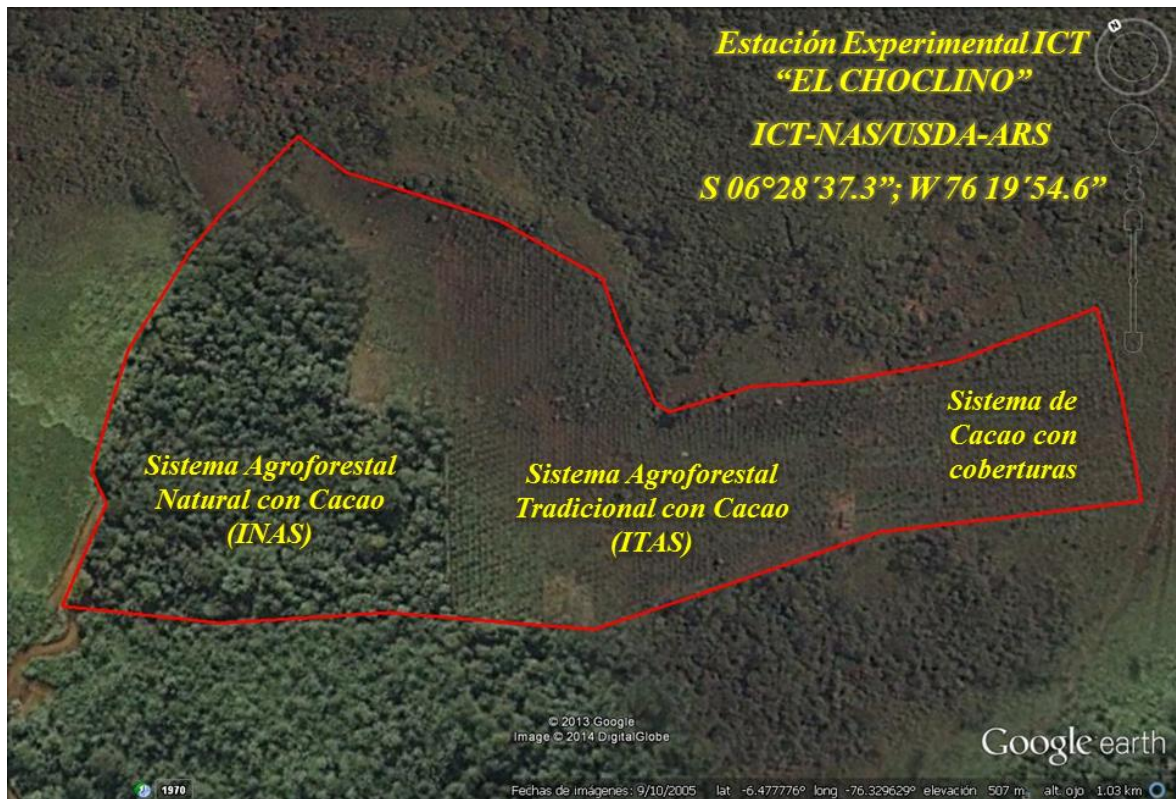


Figura 5. Vista satelital de la Estación Experimental “El Choclino” del Instituto de Cultivos Tropicales, mostrando los diferentes sistemas de cacao instalados, tomado del Google Earth (Agosto 2005).

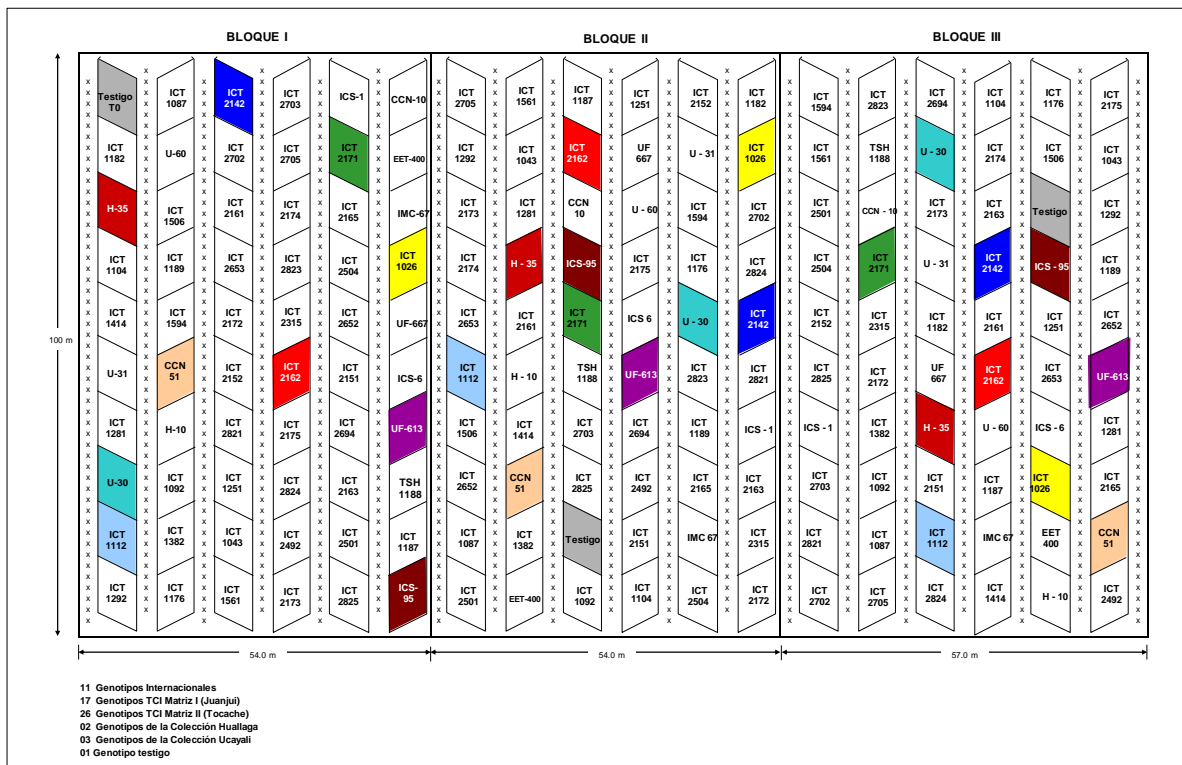


Figura 6. Distribución de los genotipos para los Sistemas de Manejo Agroforestal y Tradicional, seleccionados para el presente experimento en cada uno de los bloques y parcelas.

3.7. Muestreo de suelos

Las evaluaciones han sido programadas para los años 0 (2004), 1 (2006), 2 (2008), 3 (2010).

El primer muestreo se realizó 0 (2004) en 10 calicatas de tal manera que se pudieron coleccionar muestras de tres profundidades: 0-20cm, 20-40cm y 40-60cm. De cada una de las calicatas se tomó una muestra de 200g. Las 10 muestras de los diferentes puntos de la cuadrícula (Figura 7), se llevaron al laboratorio donde se homogenizaron para obtener una muestra representativa de la profundidad por bloque con un peso de 2kg.

Las cuadrículas 1, 4, 5 y 6 donde se instalaron los sistemas de producción de cacao está formada de un bosque secundario o purma de 30 años de edad aproximadamente (SF) y en la cuadrícula 7 predominó la especie *Pteridium aquilinum* “shapumba”. En las cuadrículas 5, 6 y 8 está instalada una plantación de cacao bajo el sistema de manejo tradicional, mientras que en las cuadrículas 1 y 4 la plantación de cacao bajo sombra espontánea o sistema agroforestal y en la cuadrícula 7 una plantación de cacao de manejo tradicional con cultivo de coberturas.



Figura 7. Distribución de las cuadrículas para la caracterización del terreno experimental antes de la instalación de los sistemas de cacao.

3.7.1. Análisis de suelos

El análisis de las muestras de suelos se realizaron en el laboratorio de suelos de la UNA-La Molina para el año 2004 y para los años posteriores en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Cultivos Tropicales, siguiendo la metodología estandarizada que se indican en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Metodología de análisis para las determinaciones físicas y químicas del suelo. E.E. “El Choclino”, San Martín-Perú.

Parámetros	Método
Físicas	
Textura del suelo	% de arena, limo y arcilla - Hidrómetro
Densidad aparente (g/cm ³)	Extracción de suelo no disturbado con cilindros de volumen conocido. Secado en estufa a 105°C x 24 horas.
Porosidad %	$(1 - D_a/2.65)*100$
Saturación cm ³ agua/ cm ³ suelo	Soil Triangle Hydraulic Properties Calculator :: U.S. Texture Triangle (Saxton <i>et al.</i> , 1986)
Capacidad de campo (%)	Soil Triangle Hydraulic Properties Calculator :: U.S. Texture Triangle (Saxton <i>et al.</i> , 1986)
Punto de marchitez (%)	Soil Triangle Hydraulic Properties Calculator :: U.S. Texture Triangle (Saxton <i>et al.</i> , 1986)
Agua disponible para la planta (%)	Soil Triangle Hydraulic Properties Calculator :: U.S. Texture Triangle (Saxton <i>et al.</i> , 1986)
Químicas	
CIC (meq/100 g de suelo)	Saturación con (CH ₃ -COONH ₄)N
Materia orgánica (MO) %	Método Walkley and Black
Nitrógeno (N) %	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible (P), ppm	Olsen modificado, extracción con NaHCO ₃ =0.5M, pH 8.5 Espectrometría absorción atómica.
Potasio disponible (K), ppm	Olsen modificado, extracción con NaHCO ₃ =0.5M, pH 8.5 Espectrometría absorción atómica.
Conductividad eléctrica (CE) mmhos/cm	Conductímetro suspensión suelo-agua relación 1:1
Ph	Potenciometro suspensión suelo-agua relación 1:1
Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ y K ⁺ cambiables cmol/kg	Espectrometría absorción atómica

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos Instituto de Cultivos Tropicales (ICT).

3.8. Características físico-químicas de las cuadrículas del campo experimental

Reacción: Suelo de reacción ácida.

Los datos de otras variables como conductividad eléctrica, textura, carbono, relación carbono: nitrógeno, pH del suelo por muestreo extensivo, se obtendrán por un análisis de caracterización físico-química.

Características meteorológicas:

- Temperatura: Media anual 26° C, Máxima 38°C, y Mínima de 11°C.
- Precipitación : 1000-1500mm
- Humedad relativa: 87%

Topografía:

- Áreas de diferente pendiente que varían entre 5 y 45%, están distribuidas en el área total. Con pendiente pronunciada las cuadrículas 1, 2, 3, 4 y 8; pendiente intermedia las cuadrículas 5 y 6; y menor pendiente la cuadrícula 7.

Hidrografía:

- Entre las cuadrículas 4 y 5 discurre una pequeña quebrada afluente del río Choclino. A través de la cuadrícula 7 pasa una tubería de la red de distribución de agua potable hacia el centro poblado de Sananguillo.

Factores bióticos

- La purma, de aproximadamente 30 años de edad, es un rebrote del bosque que presenta cierta variedad de especies forestales (e.g. anacaspi, *Apuleia leiocarpa*; cético, *Cecropia latifolia*; shimbillo colorado, *Inga sp.*; tangarana, *Triplaris peruviana*; renaco, *Ficus schuttesin*), palmeras (e.g. bombonaje, *Cardulovica palmera*; shapaja, *Scheelea cephalotes*), herbáceas y arbustivas (e.g. corona de Cristo, *Thunbergia grandiflora*; sapo huasca, *Dalechampia dioscoreifolia*).
- El shapumbal es un área donde la cobertura vegetal está casi exclusivamente compuesta por shapumba (*Pteridium aquilinum*), una especie de helecho, indicadora de suelos ácidos.

3.9. Metodología de laboratorio para los indicadores biológicos

3.9.1. Análisis micológico

3.9.1.1 Extracción de hongos del suelo

Para la extracción de hongos del suelo se utilizó la metodología de diluciones en placa (Davet & Rouxel 2000). Las diluciones fueron preparadas adicionando 10g en 90 ml de agua estéril (solución patrón 10^{-1}) y luego fueron agitadas por un periodo de 30 minutos. Se toma un mililitro de esta solución patrón y se agrega a nueve mililitros de agua estéril (10^{-2}) y así sucesivamente hasta la dilución adecuada. Alicuotas de 0.5ml de las diluciones entre 10^{-2} a 10^{-5} (Dhingra 1985) fueron esparcidas en la superficie de agar papa dextrosa (PDA) con sulfato de streptomycina (100 ug ml^{-1}), contenida en placas petri de 6 cm de diámetro; se utilizaron 4 placas por muestra. Las placas inoculadas se incubaron a temperatura ambiente (24°C) por siete días.

3.9.1.2. Identificación de hongos del suelo

Los hongos aislados fueron identificados a nivel de género en base a sus características morfológicas, utilizando para ello las claves de Barron, 1968, Barnett y Hunter, 1998, Ellis, 1971 and Watanabe, 2002. Se registró el número de colonias por placa. Cada género fue asignado a uno de los cuatro grupos tróficos 1) hongos saprofitos (HS), 2) hongos facultativos: patógenos-saprofitos (HPS), 3) hongos potenciales biocontroladores (HBC) y 4) hongos patógenos de plantas (HPP) en base a sus características de acción.

3.9.1.3 Análisis de la estructura de la comunidad de hongos del suelo

La población fungosa o abundancia por muestra fue calculada en base al promedio de colonias contabilizadas en las placas registrando el valor recíproco de la dilución en evaluación como unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (ufc gs^{-1}). Los valores registrados fueron transformados a $[\text{Log} (\text{ufc } gs^{-1})]$ antes de los análisis estadísticos. La frecuencia relativa fue calculada como el número de colonias que ocurren en relación al total de colonias contabilizadas. La riqueza de géneros fue determinada por el número de géneros presentes en las muestras (Elmholt, 1996).

Para estimar la diversidad de las comunidades fungosas como indicadores de calidad del suelo en los sistemas y genotipos del estudio, se calculó la riqueza que es el número de géneros presentes en la muestra; el índice de diversidad de **Shannon –Weaver's (H')**, se basa en la teoría de la información y por tanto en la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema; es obtenido mediante la siguiente ecuación (Krebs, 1985):

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left[\frac{n_i}{N} \right] \left[\log \frac{n_i}{N} \right]$$

Dónde:

n_i = Número de ufc gs^{-1} por genero

N = Número total de cfu gs^{-1} por muestra.

Se calculó además el índice de diversidad de **Simpson (Ds)**, también llamado índice de dominancia, que se obtiene mediante la siguiente ecuación (Elliot, 1990):

$$Ds = 1 - \sum_{i=1}^s (Pi)^2$$

Dónde:

P_i = Abundancia relativa del genero ufc gs^{-1}

El índice de Simpson representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie.

3.9.2. Análisis nematológico: extracción, identificación y análisis de la estructura de la comunidad de nematodos del suelo

3.9.2.1 Extracción de nematodos

En el laboratorio se realizó la extracción de nematodos activos presentes en el suelo, mediante el método del Tamizado y Decantación de Cobb Modificado para nematodos grandes. Se homogenizó cada muestra de suelo y se pesó 100 gramos, colocándose por separado en un balde con 3 litros de agua; estos se agitaron fuertemente con una espátula para inducir la separación de los nematodos de las partículas de suelo dejándose en reposo por un minuto hasta que las partículas grandes de suelo sedimenten.

La solución sobrenadante se filtró a otro balde haciendo uso de un primer tamiz (45 mesh), con la finalidad de retener las partículas grandes y rastrojos del suelo. La solución filtrada fue agitada y dejada en reposo, posteriormente se pasó por otro tamiz (325 mesh) y lo retenido se colocó en bandejas preparadas para facilitar la separación de los nematodos y las partículas de suelo (Canto, 2005).

Esto se dejó en reposo por 24 horas a fin de que los nematodos se remuevan por gravedad y queden suspendidos en el agua de la bandeja; después se vertió la suspensión de la bandeja al segundo tamiz (325 mesh) y el contenido de este tamiz se vertió a una placa de Syracuse para realizar la cuantificación e identificación de los nematodos. Por cada muestra de suelo se realizaron tres repeticiones.

Para la obtención de nematodos ornamentados se utilizó la centrifugación en azúcar. Los nematodos quistes se extrajeron por el método modificado de Fenwick (Canto, 2005).

3.9.2.2. Identificación de nematodos

Los nematodos extraídos fueron identificados a nivel de género y en algunos casos a familia mediante el uso de claves taxonómicas (Mai *et al.*, 1975, Jacob and Middelplats 1986, Canto, 2005). Cada uno de ellos fueron asignados a uno de los cuatro grupos tróficos 1) bacteriófagos (BF), 2) fungívoros (FF), 3) fitófagos o parásitos de plantas (PP) y 4) omnívoros-predadores (OM-PR) de acuerdo a Yeates *et al.* (1993).

3.9.2.3. Análisis de la estructura de la comunidad de nematodos

La comunidad de nematodos fue descrita en cada muestra de suelo a partir de diversos parámetros e índices.

- Abundancia total de nematodos (individuos.100⁻¹ cc de suelo) y la abundancia de cada grupo trófico.
- Relación nematodos fungívoros/bacteriófagos (FF/BF) y la relación fungívoros + bacteriófagos/Parásitos de plantas (FF+BF)/PP; estas relaciones son usadas para indicar la ruta de descomposición de la materia orgánica del suelo (Wasilewska, 1994).
- El índice de Madurez (IM) fue calculado por la ecuación

$$IM = \sum_{i=1}^s Vi * fi$$

Dónde:

fi, es la frecuencia de la familia o genero i en la muestra y

vi, es el valor c-p asignada a la familia i (Bongers, 1990; Bongers y Bongers, 1998).

Los valores c-p describen las estrategias de vida de los nematodos y el rango se extiende desde 1 (para colonizadores, tolerantes a disturbios) a 5 (para persistentes, sensibles a disturbios).

- El índice de Parásitos de Plantas (PPI) basado solo en nematodos fitoparásitos (Bongers, 1990) y la relación PPI/IM (índice de fitoparásitos sobre el índice de madurez) fue analizada como indicador del estado nutricional del suelo (Bongers *et al.*, 1997).
- Además como en el caso del análisis de los hongos del suelo, se calculó el índice de Shannon y de Simpson como indicadores de la diversidad de nematodos.

3.10. Índice de calidad de suelo aditivo (ICSA)

El índice de calidad de suelo aditivo (ICSA), se calculó siguiendo la metodología propuesta por Andrews *et al.* (2002). Los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo se clasificaron en dos grupos. El primer grupo conformado por los indicadores cuyos valores altos se consideran como “buenos” es decir “**mayor es mejor**” y el otro grupo cuyos valores menores se consideran como “buenos” es decir “**menor es mejor**”. Para cada indicador de cada tratamiento en estudio se calculó un índice de calidad de suelo (ICS):

- Para los indicadores del grupo “**mayor es mejor**”:

$$\text{ICS} = \frac{\text{valor de cada indicador}}{\text{valor más alto del indicador alcanzado en todos los tratamientos}}$$

- Para los indicadores de “**menor es mejor**”:

$$\text{ICS} = \frac{\text{valor más bajo del indicador alcanzado en todos los tratamientos}}{\text{valor de cada indicador}}$$

Mediante estas fórmulas se obtienen valores entre 0 y 1; finalmente mediante la sumatoria de todos ICS para cada tratamiento se obtiene el ICSA, cuyo valor más alto indica mejor calidad de suelos.

3.12. Datos registrados

- Características físicas y químicas del suelo
- Cuantificación de la abundancia fungosa en condiciones de laboratorio
- Frecuencia de géneros y/o especies de hongos asociadas al cacao en los dos sistemas.
- Cuantificación de la abundancia de nematodos en condiciones de laboratorio
- Frecuencia de géneros y/o especies de nematodos asociadas al cacao en los dos sistemas.
- Índices de diversidad

3.13. Análisis de datos

Se realizaron los análisis de varianza para cada uno de los indicadores considerados en el presente estudio, según el diseño Block Completo al Azar con arreglo factorial Años (3) x Sistema (2) x Genotipo (11) x Profundidad (3) en comparación con el Bosque secundario (1), con tres repeticiones, para evaluar sus diferencias estadísticas. Previo al análisis de varianza los datos de abundancia de nematodos se transformaron a raíz cuadrada y la abundancia fungosa a Log_{10} . Cuando la prueba F del análisis de varianza fueron significativos ($p \leq 0.05$) se llevaron a cabo comparaciones de medias por medio de la prueba de Scott & Knott Alfa=0.05 para los indicadores físico-químicos y la prueba de SNK ($p \leq 0.05$) para los indicadores biológicos e índices de calidad. Para el proceso de datos se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características de la biodiversidad florística en el área de establecimiento de los sistemas productivos de cacao.

Para evaluar la composición florística, el área en estudio fue dividido en cuadrantes de 100 x 100 metros (1ha), cada uno de estos cuadrantes a su vez fue dividido en 5 unidades de muestreo con 100 metros de largo espaciados cada 20 metros. El inventario se realizó al 100% de la biodiversidad existente en cada unidad de muestreo, considerando para ello el nombre común y nombre científico de la especie, tipo de planta, arquetipo y fase fenológica. En base a ello se han determinado 86 especies forestales, 58 arbustos y herbáceas y 4 palmeras, la relación de las especies identificadas se presentan en el anexo 1.

En la Figura 8, se presenta el número de individuos por especie forestal identificada al establecimiento del Sistema Agroforestal (INAS) y Sistema de Manejo Tradicional (ITAS). E.E. “El Choclino” San Martín – Perú.

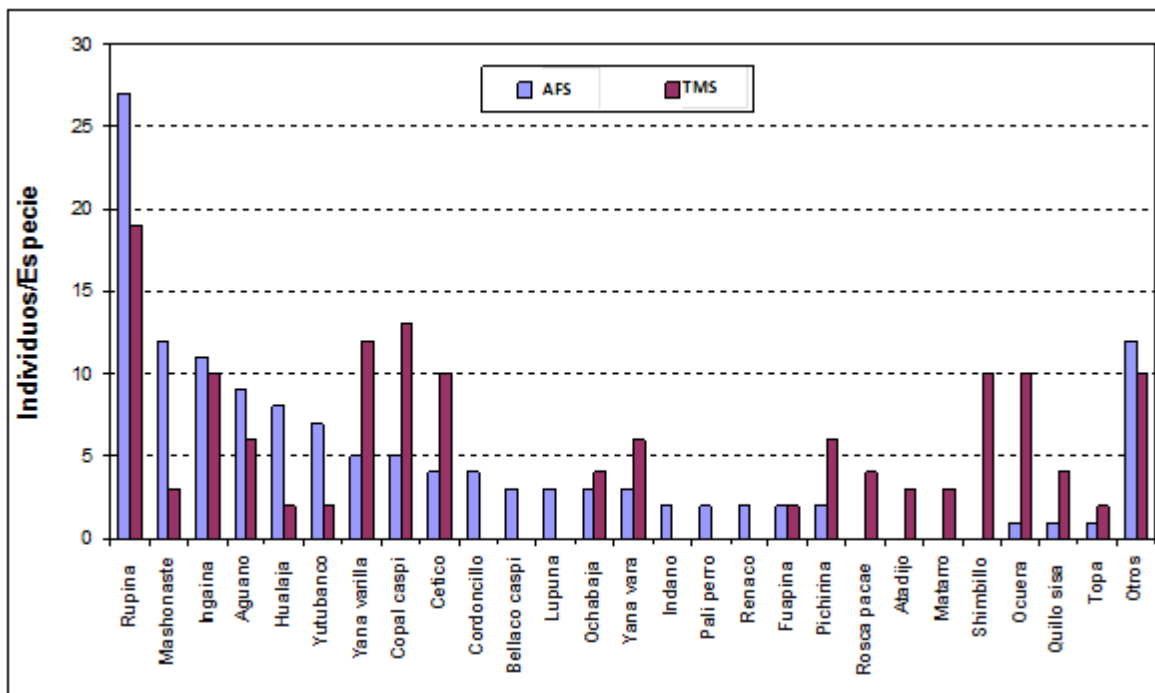


Figura 8. Frecuencia de especies forestales en los sistemas INAS e ITAS al inicio del experimento.

4.2 Cambios en las características físicas y químicas del suelo bajo dos sistemas de producción de cacao.

Las características observadas en los suelos en estudio, nos indican una gran variabilidad taxonómica de las áreas destinadas a los experimentos para ambos sistemas de manejo INAS e ITAS.

En el Cuadro 3, se detalla las características físicas y químicas de los suelos en las áreas experimentales de la Estación Experimental “El Choclino” del bosque secundario, antes del establecimiento de los sistemas de producción de cacao INAS e ITAS. En términos generales, se trata de un suelo franco arcilloso, fuertemente ácido, nivel bajo en materia orgánica, bajo en fósforo disponible, bajo en potasio disponible, media capacidad de retención de cationes, 1.57 de acidez cambiante y 90.22% de saturación de bases.

Cuadro 3. Caracterización física y química de los suelos el 2004 en los bosques secundarios de la Estación Experimental “El Choclino” San Martín – Perú.

Análisis de suelos	2004
Clase textural	Fco. Ar.
Arena (%)	32,22
Arcilla (%)	48,00
Limo (%)	19,78
pH	5,26
C.E. dS/m	0,75
M.O. (%)	1,42
N (%)	0,07
P (ppm)	4,54
K (ppm)	75,22
CIC (cmol/kg suelo)	16,06
Ca ⁺²	13,33
Mg ⁺²	1,02
K ⁺	0,14
Al ⁺³ + H ⁺	1,57
Suma de bases	14,49
% Sat. Bases	90,22
Fe (ppm)	319,39
Cu (ppm)	1,30
Zn (ppm)	1,81
Mn (ppm)	6,77

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos. UNA-La Molina

Baligar y Ahlrichs (1998), afirman que en este tipo de suelo los contenidos de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes son bajos, originando comúnmente deficiencia de P, Ca, Mg, Mo, N, K y otros micronutrientes. Asimismo, la producción de cultivos en este tipo de suelos, es frecuente observar toxicidad de Al, Mn y Fe. Los niveles medios a altos de CIC pueden atribuirse a la continua acumulación de materia orgánica aportada durante muchos años por la hojarasca de los árboles.

4.3. Propiedades Físicas

En el Cuadro 4, se muestra los valores de la prueba de F para las fuentes de variabilidad de los indicadores de las propiedades físicas de los suelos asociados a genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010 y tres profundidades, donde se observa que no existen diferencias significativas para el factor año (A) en la cantidad de limo y saturación del suelo. Para el factor sistema (S) los indicadores limo, saturación y capacidad de campo no mostraron significancia estadística ($p < 0.05$) y para el factor genotipo (G) solo los componentes de la textura fueron significativamente diferentes estadísticamente ($p < 0.05$) y para profundidad (P) no alcanza diferencia significativa en los indicadores de arena, densidad aparente y porosidad. Todos los indicadores fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) para interacción (A x S).

Cuadro 4. Fuente de variabilidad de los indicadores físicos del suelo asociados a la rizósfera de genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS y ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010 a tres profundidades. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Fuente de Variabilidad	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Densidad aparente (g/cm³)	Porosidad %	Saturación (g Agua/cm³ suelo)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchitez (%)	Agua disponible (%)
Bloque	51.23*	38.33*	19.5*	37.62*	38.64*	14.24*	30.60*	26.06*	2.64
Año (A)	7.21*	1.49	9.6*	7.78*	7.95*	0.23	3.04*	4.98*	9.83*
Sistema (S)	7.07*	0.32	6.09*	9.24*	8.81*	0.05	2.45	4.06*	6.02*
Genotipo (G)	4.77*	2.45*	6.35*	0.57	0.54	1.64	1.14	1.08	0.80
Profundidad (P)	0.99	36.48*	15.4*	0.23	0.34	34.59*	16.19*	9.92*	13.51*
(A x S)	34.89*	12.51*	19.47*	30.14*	30.55*	10.42*	24.58*	22.32*	5.33*
(A x G)	0.17	0.7	0.29	2.31*	2.33*	1.52	1.90*	2.21*	2.86*
(A x P)	0.13	0.07	0.09	0.31	0.31	0.67	0.39	0.30	1.56
(S x G)	0.63	0.85	1.13	0.84	0.87	1.93*	1.41	1.40	1.28
(S x P)	0.05	0.4	0.16	0.18	0.15	1.21	0.53	0.80	2.42
(G x P)	0.13	0.69	0.37	0.16	0.15	0.19	0.15	0.15	0.14
(A x S x G)	1.75*	1.3	2.03*	0.69	0.67	1.9*	1.06	0.87	1.48
(A x S x P)	0.54	0.89	1.01	1.11	1.08	3.31*	1.55	1.86	1.82
(A x G x P)	0.07	0.23	0.06	0.13	0.14	0.29	0.14	0.13	0.83
(S x G x P)	0.05	0.41	0.09	0.14	0.15	0.37	0.10	0.13	0.49
(A x S x G x P)	0.08	0.27	0.14	0.10	0.1	0.37	0.16	0.16	0.36

* Significancia estadística ($p < 0.05$)

En el Cuadro 5, se detalla los resultados de las propiedades físicas promedios de las cuatro evaluaciones (2004 hasta 2010) en los sistemas INAS e ITAS en comparación con SF, en la cual se muestran diferencias significativas entre ellos para todos los indicadores evaluados.

Cuadro 5. Propiedades físicas en los sistemas INAS e ITAS evaluados, comparados con SF. E.E. “El Chocllino”, San Martín – Perú.

Propiedades físicas	Sistema			pv
	SF	INAS	ITAS	
Arena (%)	32.22 ^a	20.82 ^b	29.11 ^a	0.0082
Arcilla (%)	48.00 ^b	56.58 ^a	50.35 ^b	0.0140
Limo (%)	19.78 ^b	22.59 ^a	20.55 ^b	0.5702
Densidad aparente (g/cm ³)	1.37 ^a	1.31 ^b	1.33 ^a	0.0025
Porosidad (%)	48.14 ^b	50.63 ^a	49.80 ^b	0.0032
Saturación (g agua/cm ³ suelo)	1.42	1.77	1.73	0.8201
Capacidad de campo (g agua/cm ³ suelo)	41.16	42.35	41.73	0.1180
Punto de marchitez (g agua/cm ³ suelo)	28.76	30.87	30.03	0.0447
Agua disponible (l agua/cm ³ suelo)	12.40 ^a	11.48 ^b	11.70 ^a	0.0146

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) Scott & Knott Alfa=0.05

Los resultados del análisis textural del bosque secundario (SF) y los sistemas tradicional (ITAS) y agroforestal (INAS), indican que el suelo bajo estos diversos tipos de vegetación predomina la textura arcillosa, habiéndose encontrado diferencias estadísticamente significativas para el porcentaje de arena, limo y arcilla por la variabilidad natural del suelo dado por las diferencias espaciales y topográficas del terreno más que a cambios dados por la instalación de ITAS y INAS. Esto porque el muestreo inicial en SF fue generalizado y es el promedio de los resultados del muestreo de toda el área experimental; esto implica que la textura es una característica física estática y no cambia durante un corto periodo de tiempo o aún en muchas décadas (Cassel, 2006).

La textura, a diferencia de los demás indicadores, no está influenciada por el manejo, ya que es una propiedad inherente del suelo y por tanto, puede ser considerada como una ventaja natural que afecta la calidad de un suelo. Sin embargo, la textura es muy importante porque afecta las variables físicas (porosidad, agregación, retención de agua), químicas (intercambio catiónico) y biológicas consecuentemente. En general, una textura franco arcillosa puede ser buena para cultivos en ambientes secos, y franco arenosa es mejor en ambientes húmedos (Gliessman, 2002).

El análisis de varianza (Cuadro 6) también muestra que la densidad aparente del suelo fue significativamente influenciada por el INAS, observándose el valor más bajo de $1,31 \text{ g/cm}^3$ en comparación con el SF e ITAS. Esto nos indica que esta característica puede ser alterada por las prácticas de manejo empleadas en los sistemas agroforestales, lo que coincide con trabajos anteriores tal como mencionan Amusan *et al.* (2006), que encontraron diferencias significativas entre los valores de densidad aparente para diferentes usos del suelo entre ellos plantaciones de cacao que fue menor (1.32 g/cm^3) a los de un bosque secundario (1.49 g/cm^3).

El espacio poroso del suelo, también fue influenciado significativamente por los sistemas en estudio, en la cual se muestra el valor de 50.6% para el INAS, esta mayor porosidad en este sistema, probablemente se vean influenciados por el desarrollo de las especies y los cultivos, haciendo que los espacios porosos se incrementen por el desarrollo de diferentes tipos de raíces.

Los cambios de las propiedades físicas del suelo desde el inicio en SF para cada uno de los sistemas comparados (INAS e ITAS) para las evaluaciones tomadas cada dos años hasta el año 2010 no se han dado en forma significativa y por eso se han sacado promedios de los sistemas por cada periodo de evaluación y se expresan estos para cada profundidad y para cada año de evaluación y son mostrados en el Cuadro 5. Se observaron valores significativos para la densidad aparente, porosidad, saturación, capacidad de campo y punto de marchitez. Existe una variación significativa entre los años de evaluación, presentándose diferencias entre los años 2004, 2008 y 2010 con respecto al 2006, esta variación puede deberse principalmente a la acumulación de materia orgánica en estos últimos años, ya que la materia orgánica es un factor fundamental que influencia la estructura del suelo al mejorar la estabilidad de los agregados y favorece una mejor distribución de poros de diferentes tamaños variando la densidad aparente porque sus componentes son menos densos que los componentes minerales (Kirby y Powlson, 2004).

Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo de los sistemas de producción de cacao durante los años evaluados. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Propiedades físicas	Año				p ^v
	2004	2006	2008	2010	
Arena (%)	32.22 ^a	22.03 ^b	26.47 ^a	26.24 ^a	0.0001
Arcilla (%)	48.00 ^b	56.86 ^a	51.90 ^b	51.63 ^b	<0.0001
Limo (%)	19.78	21.11	21.64	22.12	0.2179
Densidad aparente (g/cm ³)	1.37 ^a	1.34 ^a	1.31 ^b	1.30 ^b	<0.0001
Porosidad (%)	48.14 ^b	49.38 ^b	50.38 ^a	50.89 ^a	<0.0001
Saturación (g agua/cm ³ suelo)	1.42	1.83	1.67	1.74	0.8733
Capacidad de campo (g agua/cm ³ suelo)	41.16 ^b	41.26 ^b	42.15 ^a	42.69 ^a	0.0289
Punto de marchitez (g agua/cm ³ suelo)	28.76 ^b	29.47 ^b	30.53 ^a	31.36 ^a	0.0021
Agua disponible (l agua/cm ³ suelo)	12.40 ^a	11.79 ^a	11.62 ^b	11.33 ^c	<0.0001

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) Scott & Knott Alfa=0.05

Con respecto a la porosidad (%), el valor más alto se presenta en el año 2008 y 2010, diferenciándose del año 2006, valores que son superiores con respecto al año 2004, estas variaciones significativas guardan una relación con la densidad aparente. Esto nos indica que ambas propiedades pueden ser alteradas en el tiempo, por el cultivo y por las prácticas de manejo empleadas, lo que coincide con trabajos anteriores realizados por Mohammad, *et al.*, (2008), en la cual se obtuvieron mayores valores para densidad aparente y su consecuente disminución de la porosidad y viceversa en diversos sistemas de cultivo.

La saturación, la capacidad de campo y el punto de marchitez que resultaron significativos, están relacionados al contenido de humedad del suelo al igual que el contenido de arcilla, de manera tal que a mayor contenido de materia orgánica y arcilla se incrementa el valor de capacidad de campo, el punto de marchitez se refiere al contenido de humedad del suelo en una cantidad que resulta menor a la capacidad de absorción del agua por la raíz para satisfacer la demanda de la planta, una mayor cantidad de materia orgánica reduce el valor de punto de marchitez mientras que la predominancia de arcilla lo incrementa. La diferencia de humedad entre ambas propiedades da lugar al porcentaje de humedad aprovechable para las plantas (HA), que se obtiene de la expresión $HA = (CC-PM)$, donde la humedad aprovechable en capacidad de campo (CC) equivale a 100% y en punto de marchitez (PM) es a 0% (Medina *et al.*, 2005).

En las Figuras 9, se muestran la dinámica de los indicadores físicos del suelo en el manejo de los sistemas agroforestales con cacao, en base a los años de evaluación, donde se observan las variaciones que sufrieron cada uno de estos indicadores al transcurrir el tiempo.

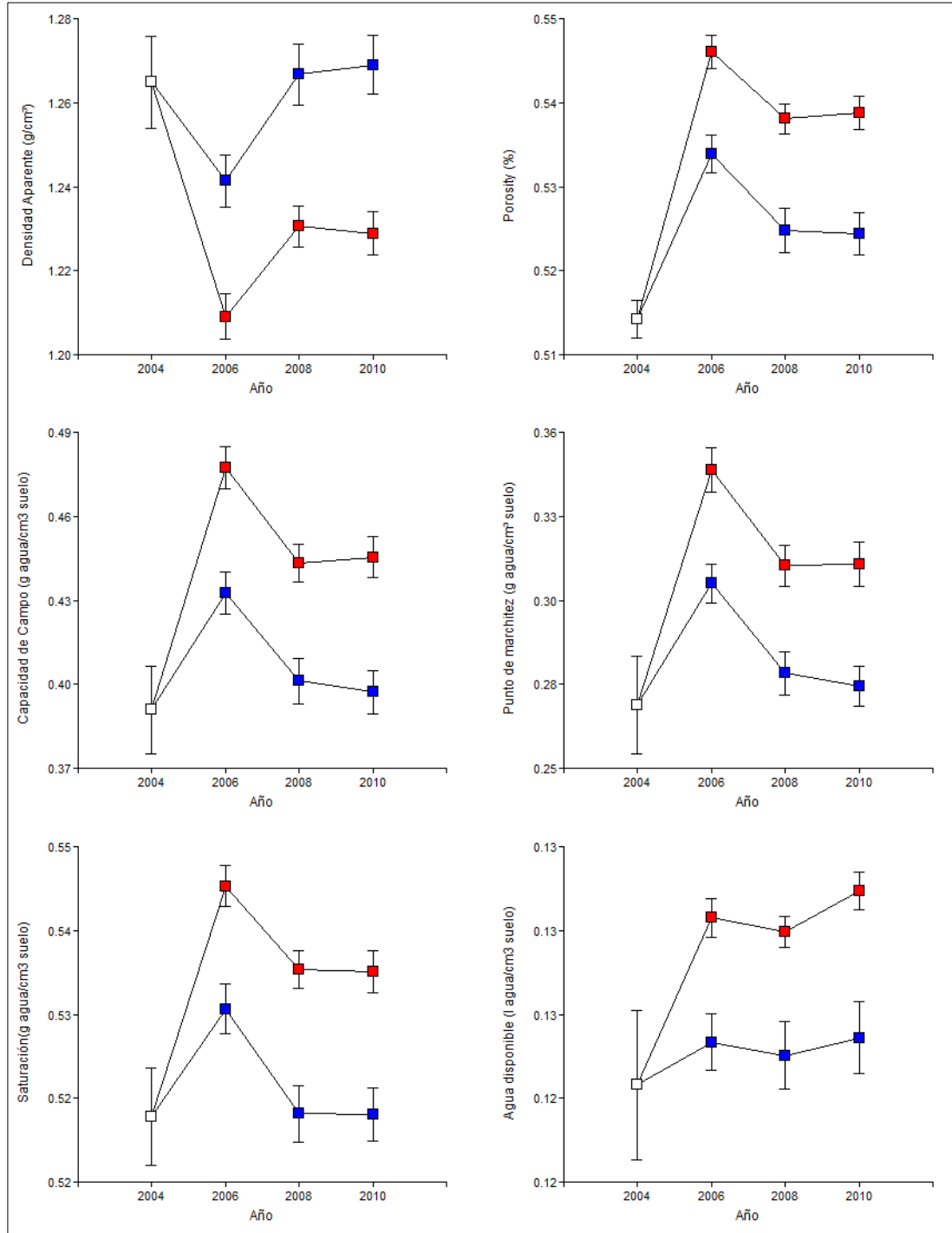


Figura 9: Dinámica de los indicadores físicos del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú.

□ SF, ■ INAS, ■ ITAS

En el Cuadro 7, se muestran los resultados de los indicadores físicos del suelo a tres profundidades, no hay diferencias significativas para la densidad aparente, porosidad, mientras que la diferenciación de medias para la saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible fueron significativos. La variación significativa de las características hidráulicas del suelo se deben a que el horizonte A es dinámico y puede ser fácilmente alterado por fuerzas externas (Cassel, 2006), por esta razón la capa superior del suelo (0-20 cm) es significativamente menor a las demás profundidades.

Cuadro 7. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de producción de cacao a tres profundidades. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Propiedades físicas	Profundidad			pv
	0-20cm	20-40cm	40-60cm	
Arena (%)	25.89	24.91	24.26	0.3712
Arcilla (%)	49.96 ^b	54.06 ^a	56.13 ^a	<0.0001
Limo (%)	24.14 ^a	21.04 ^b	19.61 ^c	<0.0001
Densidad aparente (g/cm ³)	1.32	1.32	1.32	0.7968
Porosidad (%)	50.28	50.02	50.24	0.7146
Saturación (g agua/cm ³ suelo)	2.78 ^a	1.35 ^b	1.10 ^b	<0.0001
Capacidad de campo (g agua/cm ³ suelo)	40.52 ^b	42.34 ^a	43.21 ^a	<0.0001
Punto de marchitez (g agua/cm ³ suelo)	29.19 ^b	30.72 ^a	31.38 ^a	0.0001
Agua disponible (l agua/cm ³ suelo)	11.33 ^c	11.62 ^b	11.83 ^a	<0.0001

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) Scott & Knott Alfa=0.05

En el Cuadro 8, se muestra los resultados de los indicadores físicos del suelo bajo el bosque secundario, de 10 genotipos clonales y un híbrido de cacao en dos sistemas de producción no existiendo diferencias significativas para todas las propiedades físicas excepto para los componentes de la textura como la arcilla y el limo.

Cuadro 8. Promedios y valor-p de las propiedades físicas del suelo en el bosque secundario y 10 genotipos de cacao evaluados en los sistemas de producción agroforestal. E. E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Propiedades físicas	Genotipo												pv
	SF	ICS-95	UF-613	CCN-51	ICT-1112	ICT-1026	ICT-2162	ICT-2171	ICT-2142	H-35	U-30	Hibrido	
Arena (%)	32.22 ^a	28.33 ^a	24.24 ^b	28.72 ^a	31.14 ^a	26.90 ^a	23.94 ^b	20.82 ^b	20.08 ^b	24.07 ^b	22.15 ^b	23.63 ^b	<0.0001
Arcilla (%)	48.00 ^b	51.36 ^b	55.07 ^a	48.76 ^b	45.75 ^b	50.12 ^b	55.81 ^a	57.12 ^a	56.98 ^a	55.01 ^a	57.51 ^a	54.63 ^a	<0.0001
Limo (%)	19.78 ^b	20.31 ^b	20.69 ^b	22.52 ^a	23.11 ^a	22.98 ^a	20.25 ^b	22.07 ^a	22.95 ^a	20.92 ^b	20.34 ^b	21.74 ^a	0.0077
Densidad aparente (g/cm ³)	1.37	1.33	1.33	1.32	1.33	1.31	1.3	1.31	1.31	1.31	1.33	1.32	0.8371
Porosidad (%)	48.14	49.7	50.00	50.02	49.81	50.62	50.75	50.42	50.41	50.43	49.98	50.22	0.8626
Saturación (g agua/cm ³ suelo)	1.42	1.91	1.42	1.97	1.65	1.20	1.33	1.46	1.99	1.68	2.35	2.28	0.0944
Capacidad de campo (%)	41.16	41.38	42.06	41.40	41.66	43.24	43.06	42.73	41.84	42.23	41.21	41.59	0.3328
Punto de marchitez (%)	28.76	29.62	30.47	29.87	30.00	31.69	31.47	31.27	30.25	30.46	29.75	30.11	0.3764
Agua disponible (%)	12.40	11.76	11.59	11.53	11.66	11.55	11.59	11.46	11.59	11.77	11.46	11.48	0.6290

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) Scott & Knott Alfa=0.05

4.4. Propiedades químicas

En el Cuadro 9, se muestra los valores de la prueba de F para las fuentes de variabilidad de los indicadores de las propiedades químicas de los suelos asociados a la rizósfera de genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010 y tres profundidades, excepto para el pH, K^+ y $Al^{+3}+H^+$, los demás indicadores fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) para los años (A) de evaluación. A nivel de sistemas (S) a excepción de la CE, MO, N, P, CIC, $Al^{+3}+H^+$ y suma de bases, los demás indicadores fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Para los genotipos (G) los indicadores MO, P, K^+ , $Al^{+3}+H^+$ y saturación de bases, no alcanzaron diferencia significativa, mientras que los demás si fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). A nivel de profundidad (P) solo la suma de bases no alcanzó diferencia estadísticas mientras que los demás indicadores fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$).

La interacción (A x S) fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) a nivel de pH, CE, saturación de bases, y los microelementos Fe, Cu y Zn. En la interacción (A x P) encontramos diferencias significativas para CE, P, K, Mg^{+2} , K^+ , Cu, Zn y Mn; para la interacción (S x G) solo encontramos diferencias para el Zn mientras que para el Fe fue significativamente diferente ($p < 0.05$) en la interacción (A x S x P) y para K, K^+ y todos los microelementos evaluados fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) en la interacción (A x S x G). Finalmente el P y el Cu fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) en la interacción (A x S x P).

Cuadro 9. Valores *F* por fuente de variabilidad de los indicadores químicos del suelo asociados a la rizósfera de genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010 a tres profundidades. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú (Parte 1 y 2).

Parte 1.....

Fuente de Variabilidad	pH (1:1)	C.E.(1:1) dSm ⁻¹	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	CIC (cmol/kg suelo)	Ca ⁺²
Bloque	2.49	9.65*	10.71*	13.43*	0.34	0.10	9.85*	8.81*
Año (A)	1.19	130.81*	2.74*	3.33*	80.56*	5.78*	33.17*	45.82*
Sistema (S)	16.14*	2.68	1.45	0.02	0.10	5.31*	2.44	7.18*
Genotipo (G)	3.99*	2.91*	1.77	1.97*	1.40	1.93*	3.31*	4.83*
Profundidad (P)	3.48*	31.31*	792.51*	645.91*	59.5*	58.7*	3.5*	0.24
(A x S)	12.37*	20.87*	1.85	0.63	25.12*	0.34	1.49	2.36
(A x G)	0.34	0.99	0.25	0.30	0.74	0.45	1.4	1.55
(A x P)	0.19	2.22*	0.57	0.41	18.66*	11.06*	1.49	0.09
(S x G)	1.02	0.35	0.57	0.87	0.62	0.90	1.21	1.47
(S x P)	0.96	0.08	1.14	0.46	2.41	0.28	0.81	0.66
(G x P)	0.39	0.34	0.82	1.22	0.80	0.90	0.54	0.13
(A x S x G)	0.75	0.89	0.57	0.52	1.26	2.29*	1.22	1.5
(A x S x P)	0.31	0.31	1.35	1.65	3.25*	0.58	0.75	0.5
(A x G x P)	0.21	0.29	0.47	0.45	0.83	0.38	0.5	0.13
(S x G x P)	0.12	0.21	0.62	0.58	0.86	0.40	0.45	0.13
(A x S x G x P)	0.11	0.28	0.54	0.63	0.87	0.81	0.48	0.2

* Significancia estadística ($p < 0.05$)

Parte 2.....

Fuente de Variabilidad	Mg ⁺²	K ⁺	Al+ H ⁺	Suma de Bases	Saturación de Bases (%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)
Bloque	3.42*	1.07	4.91*	7.78*	2.76	10.26*	1.34	0.42	3.85*
Año (A)	24.93*	2.48	0.12	29.28*	2.66*	13.86*	16.84*	62.99*	73.68*
Sistema (S)	5.63*	5.4*	0.66	1.6	4.21*	7.34*	14.48*	6.2*	10.78*
Genotipo (G)	4.06*	1.7	1.18	3.5*	0.87	2.24*	3.53*	2.04*	3.08*
Profundidad (P)	38.68*	71.08*	19.16*	0.72	5.87*	3.68*	3.69*	102.52*	7.77*
(A x S)	2.58	2.52	0.10	0.44	5.75*	38.88*	68.48*	22.22*	0.34
(A x G)	1.32	0.37	0.37	1.12	0.48	0.87	1.27	2.3*	1.04
(A x P)	2.22*	13.06*	0.05	1.23	0.81	1.18	2.62*	14.4*	4.52*
(S x G)	1.57	1.15	0.54	1.18	0.73	0.19	1.8	2.26*	0.79
(S x P)	0.49	0.8	0.35	0.53	1.1	0.75	2.63	0.09	1.24
(G x P)	0.7	0.79	0.36	0.4	1.37	0.44	0.86	0.94	0.46
(A x S x G)	1.11	2.4*	0.74	1.1	0.91	1.76*	2.71*	3.05*	1.7*
(A x S x P)	1.53	0.77	0.49	0.39	1.07	0.83	3.07*	1.44	0.81
(A x G x P)	0.35	0.6	0.38	0.42	0.66	0.27	0.79	1.07	0.43
(S x G x P)	0.48	0.47	0.36	0.35	0.76	0.23	0.50	1.01	0.46
(A x S x G x P)	0.48	0.69	0.26	0.37	0.59	0.33	0.60	0.65	0.6

* Significancia estadística ($p < 0.05$)

En el Cuadro 10, se detallan los resultados de los indicadores químicos en los sistemas evaluados INAS e ITAS en comparación con SF, en la cual se muestran diferencias significativas en pH, conductividad eléctrica, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, acidez cambiante, suma de bases, % de saturación de bases, hierro y manganeso.

Los valores de pH oscilan en un rango de 5,31 (ITAS) a 5,60 (INAS), este indicador químico es uno de los más importantes que determinan el crecimiento de las plantas, determina la absorción de nutrientes, deficiencias o toxicidad de elementos y la necesidad de reducir las condiciones de acidez (encalado). La solubilidad y concentración de formas iónicas en la solución suelo y la disponibilidad de micronutrientes para la absorción por las raíces de las plantas son fuertemente afectados por el pH del suelo (Fageria *et al.*, 2006). Los suelos que tienen poca capacidad para amortiguar estos procesos tenderán a incrementar su acidez (Gliessman, 2002). Es debido a esta razón que el sistema agroforestal en estudio parece tener mayor capacidad de amortiguar estos procesos al presentar una reducción en el pH, al contar con plantas perennes con follaje abundante que proporciona una cubierta permanente de protección del suelo. Además, las plantas leñosas con sistemas radiculares densos y profundos son un mecanismo eficiente para la captura de nutrientes, lo que compensa las pérdidas por lixiviación (Altieri y Nicholls, 2004).

El bosque secundario registró el valor significativo más alto de conductividad eléctrica, esto se debe a que el funcionamiento de un bosque secundario tiende a asemejarse a un agroecosistema ecológico u orgánico, guardando relación con lo que menciona Drinkwater *et al.*, (1995), que las fincas orgánicas suelen presentar mayores valores de conductividad eléctrica (Porras, 2006).

El porcentaje de materia orgánica no presentó diferencias significativas en los sistemas evaluados, pero se observó un incremento importante en los sistemas INAS (1,96 %) e ITAS (2,02%) comparados con SF (1,42%), este incremento se explica por la constante reincorporación al suelo de la vegetación espontánea que cae y se deja en el mismo lugar donde crecieron. Un mayor contenido de materia orgánica en el suelo, maximiza la producción y biodiversidad de la biomasa a través de la asociación de cultivos evitando el monocultivo y manteniendo cubierto el suelo, para no dejar que el sol degrade la materia orgánica y con la cobertura muerta alimentar a las plantas y al suelo (Domínguez *et al.*, 1994 y Bunch, 2008), estimulando las funciones benéficas de sus organismos (Pulleman *et al.*, 2008).

Cuadro 10. Propiedades químicas de suelos en los sistemas INAS e ITAS evaluados, comparados con SF. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Propiedades químicas	Sistema			pv
	SF	INAS	ITAS	
pH (1:1)	5.26b	5.6a	5.31b	0.0001
C.E. dS/m	0.73	0.22	0.2	0.1024
M.O. (%)	1.42	1.96	2.02	0.2292
N (%)	0.07	0.09	0.09	0.2445
P (ppm)	4.54	3.41	3.33	0.7503
K (ppm)	75.22a	47.49c	51.56b	0.0217
CIC	16.05	20.86	19.64	0.1193
Ca ⁺²	13.33b	19.6a	17.7b	0.0077
Mg ⁺²	1.02b	1.31a	1.2b	0.0181
K ⁺	0.14a	0.12b	0.13a	0.0207
Al ⁺³ + H ⁺	1.57	1.41	1.53	0.4180
Sum. Bases	14.49	19.82	18.77	0.2062
% Sat. Bases	81.56	91.28	94.18	0.0408
Fe (ppm)	114.89a	57.13b	69.96c	0.0070
Cu (ppm)	1.30b	1.72b	1.93a	0.0002
Zn (ppm)	1.81a	1.04c	1.16b	0.0132
Mn (ppm)	12.89b	37.09a	28.64b	0.0011

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) Scott & Knott Alfa=0.05

Con respecto a la CIC, Ca, Mg, acidez cambiante y suma de bases, varios estudios respaldan que un suelo bajo condiciones de manejo acorde al equilibrio del ecosistema posee mejores características que uno bajo manejo convencional, en un estudio realizado por Theodoro *et al.* (2003) citado por Porras (2006), encontraron que bajo manejo orgánico los suelos tienen un pH mayor, los valores de Ca, Mg, K, P y Zn son mayores, lo mismo que la CIC y la suma de bases, así como una disminución del aluminio intercambiable.

En el Cuadro 11, se detallan las propiedades químicas del suelo en los sistemas de producción de cacao, durante los años evaluados, donde se observa diferencias significativas en conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo disponible, potasio disponible, CIC, Ca, Mg, suma y saturación de bases, y microelementos como Fe, Cu, Zn y Mn.

La materia orgánica presentó un incremento significativo en los años 2006, 2008 y 2010, con 1,99%, 2,01% y 1,97%, respectivamente, en comparación al 2004 (1,42%), esta diferencia significativa se debe a la constante incorporación al suelo de la vegetación espontánea que se genera dentro de los sistemas en estudio. Esta materia orgánica influye en casi todas las propiedades importantes que contribuyen a la calidad del suelo. De esta forma, resulta decisivo comprender y acentuar la importancia clave del manejo de los cultivos y los suelos para mantener e incrementar los contenidos de materia orgánica, con el propósito de desarrollar suelos de buena calidad (Magdoff, 1999).

Bunch (2008), por su parte menciona que la utilización de diversas especies vegetales constituye una de las diferentes prácticas de manejo de suelos que pueden ser usadas para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de suelos tropicales en proceso de degradación, permitiendo el mantenimiento o conservación de los niveles de materia orgánica y nutrientes. La materia orgánica cumple una función valiosa en la conservación de la humedad (retención de agua). Juntas –materia orgánica y humedad– propician que millones de organismos vivan en el suelo: un indicador de que está vivo. Coincidiendo con Blanchart *et al.* (2006) que indican que muchos estudios han detallado las ventajas de las leguminosas para asegurar la productividad sostenible de las plantas incrementando la materia orgánica del suelo.

Por otro lado, cuando se aporta materiales orgánicos al suelo, se provee a éste de materia orgánica que libera macro y microelementos tras la mineralización de la misma, quedando en forma asimilable para la planta y los organismos edáficos. Estos harán posteriormente que los nutrientes pasen a lo largo del tiempo por los distintos compartimentos orgánicos y minerales que integran el sistema suelo, siguiendo su ciclo natural –ciclo biogeoquímico– que los dirige desde su absorción por las raíces o su inmovilización durante un cierto periodo en la biomasa microbiana del suelo (Labrador, 2001). Estas razones posiblemente guardan relación con las diferencias significativas del N, debido a que existe un incremento

en los años 2006 al 2010 en comparación con el 2004, de la misma manera el P tiende a ser mayor en el año 2006, con 6.10 ppm, registrando una baja considerable al año 2008 (1,48 ppm) y nuevamente se recupera al año 2010, estas fluctuaciones se pueden explicar con lo que mencionan Baligar *et al.* (2007), que en suelos donde hay mayor fijación de P, los compuestos orgánicos formados durante el proceso de descomposición puede incrementar la disponibilidad de P bloqueando los sitios de adsorción y los complejos de aluminio en suelos ácidos.

Cuadro 11. Promedios y valor-p de las propiedades químicas del suelo en los sistemas de producción de cacao durante los años evaluados. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Propiedades químicas	Año				pv
	2004	2006	2008	2010	
pH (1:1)	5.26	5.39	5.43	5.53	0.3139
C.E. dS/m	0.73 ^a	0.35 ^b	0.15 ^c	0.14 ^c	<0.0001
M.O. (%)	1.42 ^b	1.99 ^a	2.01 ^a	1.97 ^a	0.0432
N (%)	0.07	0.09	0.09	0.09	0.2181
P (ppm)	4.54 ^a	5.14 ^a	1.48 ^c	3.47 ^b	<0.0001
K (ppm)	75.22 ^a	51.67 ^b	49.84 ^b	47.08 ^b	0.0007
CIC	16.05 ^b	14.94 ^b	22.01 ^a	23.8 ^a	<0.0001
Ca ⁺²	13.33 ^c	12.88 ^c	20.27 ^a	23.13 ^a	<0.0001
Mg ⁺²	1.02 ^c	1 ^c	1.3 ^a	1.48 ^a	<0.0001
K ⁺	0.14 ^a	0.13 ^a	0.12 ^b	0.12 ^b	0.0611
Al ⁺³ +H ⁺	1.57	1.4	1.44	1.55	0.9055
Suma de bases	14.49 ^b	14 ^b	21.03 ^a	22.85 ^a	<0.0001
% Sat. Bases	81.56 ^a	94.09 ^a	90.86 ^a	93.32 ^a	0.0481
Fe (ppm)	114.89 ^a	66.42 ^b	78.97 ^c	45.23 ^c	<0.0001
Cu (ppm)	1.3 ^b	1.87 ^a	2.02 ^b	1.61 ^b	<0.0001
Zn (ppm)	1.81 ^a	1.45 ^a	1.19 ^c	0.68 ^c	<0.0001
Mn (ppm)	12.89 ^c	56.44 ^a	28.22 ^c	14.14 ^c	<0.0001

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) Scott & Knott Alfa=0.05

El Potasio por su parte tiende a ser menor conforme pasan los años, al año 2004 se registró 75,22 ppm y se reduce significativamente a 47,08 ppm en el 2010, esta variación se puede deber a que el potasio es rápidamente absorbido por las plantas y existe una continua pero lenta transferencia de potasio de los minerales primarios a formas intercambiables y disponibles para la plantas (Havlin *et al.*, 2005). También el K^+ es un ion bastante móvil y se pierde muy fácil por escorrentía y lixiviación y también puede quedar retenido en la hojarasca y se desprende muy lento conforme se descompone la materia orgánica. Como el cacao tiene hojas de alta relación C/N este proceso de descomposición es lento.

La CIC del suelo presentó diferencias significativas en los años 2004 (16,05), 2006 (14,94), 2008 (22,09) y 2010 (23,80), las variaciones de estos últimos años con respecto al 2004, se deben a la mayor acumulación de materia orgánica en mayor grado en los sistemas de producción de cacao que promueven una mayor biodegradación y mineralización gradual de los aportes de biomasa en los sistemas evaluados. En general, la mayor acumulación de materia orgánica induce a cambios en la dinámica de macro y microelementos, disminuye la acidez del suelo, mantiene el predominio de la capacidad de intercambio catiónico y mejora la actividad microbiana (Hernández *et al.* 2004).

En las Figuras 10a y 10b, se muestran la dinámica de los indicadores químicos del suelo en el manejo de los sistemas agroforestales con cacao, en base a los años de evaluación, donde se observan las variaciones significativas que sufrieron cada uno de estos indicadores al transcurrir el tiempo.

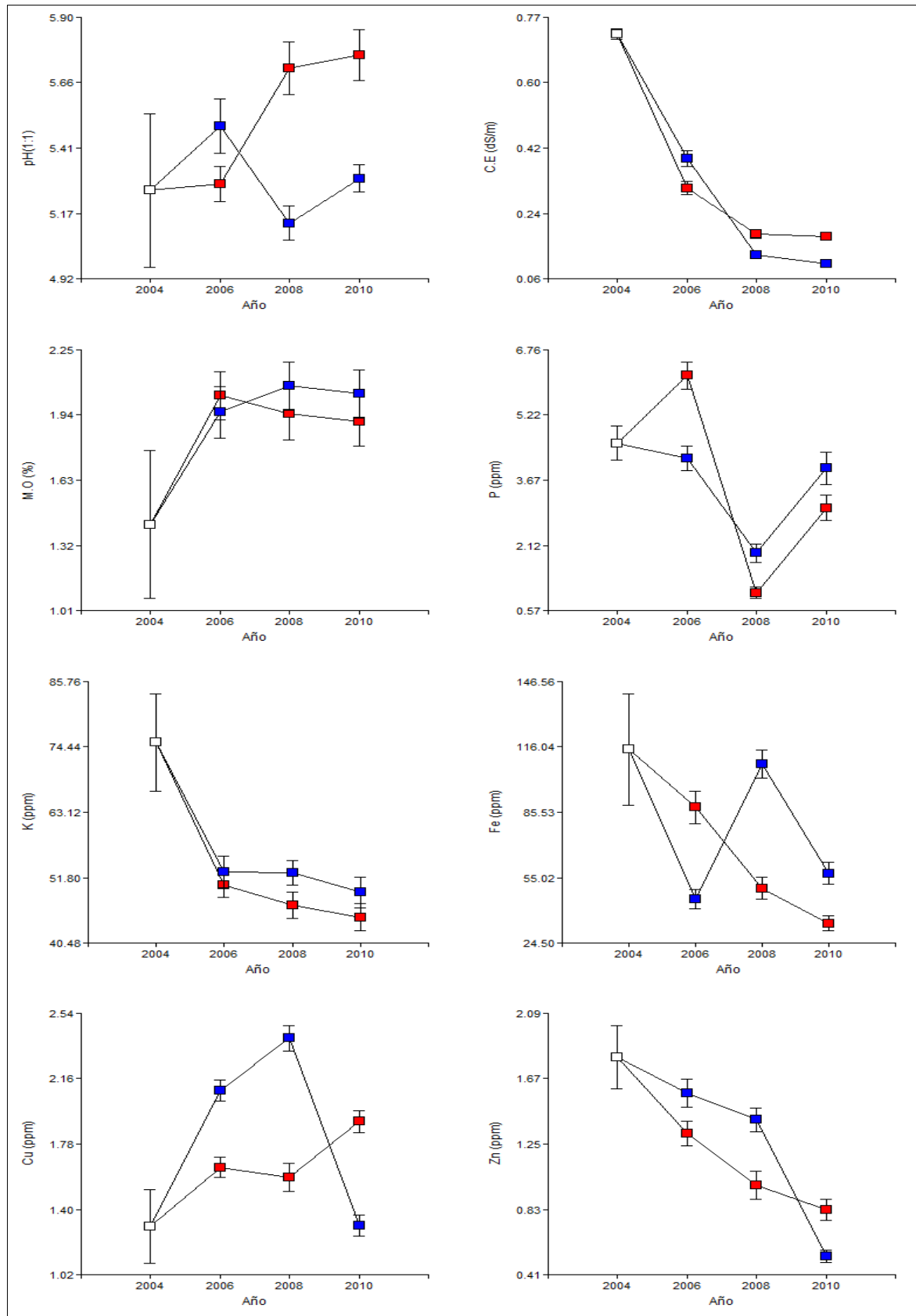


Figura 10a. Dinámica de los indicadores químicos del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú.

□ SF, ■ INAS, ■ ITAS

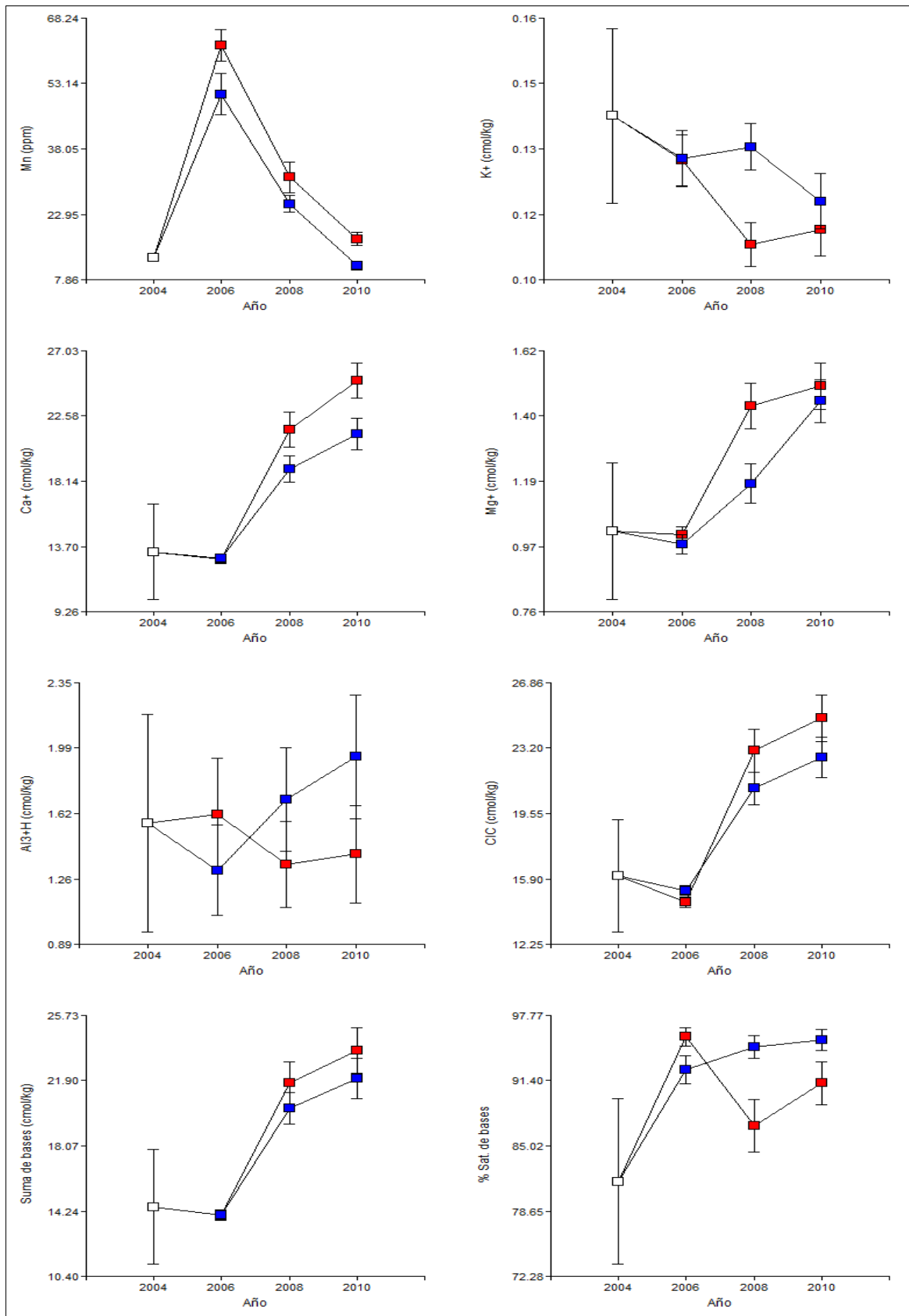


Figura 10b. Dinámica de los indicadores químicos del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú.

□ SF, ■ INAS, ■ ITAS

En el Cuadro 12 se muestran los resultados de los indicadores químicos del suelo en los sistemas de producción de cacao en tres profundidades, resultando diferencias significativas para conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo disponible, potasio disponible, Mg, K, acidez cambiante, % saturación de bases y microelementos como Cu, Zn y Mn.

El porcentaje de materia orgánica en los primeros 20 cm del suelo (3,37%), es significativamente superior a las demás profundidades alcanzados de 20 a 40 cm (1,60%) y 40 a 60 cm (1,02%) de profundidad, estos resultados guardan relación con los obtenidos por Amusan *et al.* (2006), quienes evaluaron diversos sistemas de producción entre ellos el cacao y encontraron diferencias significativas en el contenido de materia orgánica en el suelo, siendo mayor en los primeros 15 cm de profundidad con 19,40 g/kg y reduciéndose considerablemente a los 50 cm de profundidad a 10 g/kg.

La mayor concentración de materia orgánica en la superficie del suelo guarda una relación importante con la disponibilidad de nutrientes para la planta, la concentración de N, S, P y muchos microelementos en la solución suelo están directamente relacionados a la fracción orgánica del suelo. Es por ello que las cantidades de N, P, K y Zn, son significativamente mayores en los primeros 20 cm del suelo, debido a los procesos de mineralización e inmovilización, combinados con otros factores químicos, físicos y ambientales, que son importantes en la estabilidad de la materia orgánica y disponibilidad de nutrientes para la planta (Havlin *et al.*, 2005).

El Al^{+3} y H^+ representan la acidez potencial en la CIC. El pH del suelo usualmente es un indicador de la presencia de Al^{+3} y H^+ intercambiable. El H^+ intercambiable está presente a $\text{pH} < 7$, mientras que el Al^{+3} intercambiable ocurre predominantemente a $\text{pH} < 5,5$ (Havlin *et al.*, 2005). Los suelos en estudio de ambos sistemas de producción de cacao, son fuertemente ácidos a profundidades de 20 a 60 cm, en tal sentido, se atribuye que existe mayor concentración de Al^{+3} intercambiable por presentar valores de pH de 5,39 (20–40 cm) y 5,37 (40-60cm).

Cuadro 12. Promedios y valor-p de las propiedades químicas del suelo en los sistemas de producción de cacao a tres profundidades. E. E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Propiedades químicas	Profundidad			p _v
	0-20cm	20-40cm	40-60cm	
pH (1:1)	5.58 ^a	5.39 ^b	5.37 ^b	0.0320
C.E. dS/m	0.28 ^a	0.19 ^b	0.19 ^b	<0.0001
M.O. (%)	3.37 ^a	1.60 ^b	1.02 ^c	<0.0001
N (%)	0.15 ^a	0.07 ^b	0.05 ^c	<0.0001
P (ppm)	4.80 ^a	2.39 ^c	2.91 ^b	<0.0001
K (ppm)	63.29 ^a	41.70 ^b	44.82 ^b	<0.0001
CIC	18.77 ^b	20.68 ^a	21.11 ^a	0.0311
Ca ⁺²	18.62	18.66	18.38	0.7905
Mg ⁺²	1.50 ^a	1.24 ^b	1.02 ^c	<0.0001
K ⁺	0.16 ^a	0.10 ^b	0.11 ^b	<0.0001
Al ⁺³ +H ⁺	0.41 ^c	1.44 ^b	2.26 ^a	<0.0001
Suma de bases	18.55	19.70	19.41	0.4880
% Sat. Bases	95.67 ^a	92.44 ^b	89.79 ^b	0.0031
Fe (ppm)	67.57 ^a	69.96 ^a	55.39 ^b	0.0260
Cu (ppm)	1.91 ^a	1.81 ^a	1.74 ^b	0.0259
Zn (ppm)	1.59 ^a	0.86 ^b	0.90 ^b	<0.0001
Mn (ppm)	38.27 ^a	32.24 ^b	27.12 ^b	0.0005

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) Scott & Knott Alfa=0.05

En el Cuadro 13, se muestran los resultados de los indicadores químicos del suelo bajo el bosque secundario, 10 genotipos clonales y un híbrido de cacao en los sistemas de producción, resultando diferencias significativas para todas las propiedades químicas excepto para K cambiante y porcentaje de saturación de bases. Las diferencias en el pH están marcadas por el genotipo ICT-1026 (5,88), la conductividad eléctrica se mantiene superior en el SF, el porcentaje de materia orgánica es significativamente superior en todos los genotipos con respecto a SF, igual tendencia sigue el N a excepción del CCN-51, para P disponible la relación es igual para todos los genotipos y SF, el cambio significativo para la CIC lo registran los genotipos ICT-2171 (23,81) y U-30 (21,89). Para Ca el valor significativo lo presenta el genotipo ICT-2171, para Mg le corresponde el genotipo ICT-2162, acidez cambiante el genotipo CCN-51, suma de bases el genotipo ICT-2171, % saturación de bases el genotipo ICT-1026, para el caso de los microelementos, el híbrido es significativamente mayor a los genotipos y SF, por otro lado el SF es mayor en concentración de Zn y finalmente la mayor concentración de Mn le corresponde al genotipo CCN-51.

Cuadro 13. Promedios y valor-p de las propiedades químicas del suelo en el bosque secundario y 10 genotipos de cacao evaluados en los sistemas de producción agroforestal. E. E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Propiedades químicas	Genotipo												pv
	SF	ICS-95	UF-613	CCN-51	ICT-1112	ICT-1026	ICT-2162	ICT-2171	ICT-2142	H-35	U-30	Hibrido	
pH (1:1)	5.26 ^b	5.27 ^b	5.40 ^b	5.18 ^b	5.59 ^a	5.91 ^a	5.28 ^b	5.79 ^a	5.70 ^a	5.32 ^b	5.37 ^b	5.19 ^b	<0.0001
C.E. dS/m	0.73 ^a	0.19 ^c	0.21 ^b	0.16 ^c	0.22 ^b	0.25 ^b	0.20 ^c	0.24 ^b	0.25 ^b	0.22 ^b	0.23 ^b	0.16 ^c	0.0011
M.O. (%)	1.42 ^b	2.05 ^a	2.08 ^a	1.74 ^b	1.86 ^b	2.04 ^a	2.18 ^a	2.00 ^a	2.02 ^a	1.96 ^a	1.95 ^a	2.00 ^a	0.0574
N(%)	0.07 ^b	0.09 ^a	0.09 ^a	0.08 ^b	0.08 ^b	0.09 ^a	0.10 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.0433
P (ppm)	4.54 ^a	3.25 ^b	2.99 ^b	3.23 ^a	4.04 ^a	3.92 ^a	3.22 ^b	3.53 ^b	3.57 ^a	3.05 ^b	2.81 ^b	3.36 ^b	0.1794
K (ppm)	75.22 ^a	55.63 ^b	47.41 ^c	46.18 ^c	46.53 ^c	41.63 ^c	52.12 ^b	56.01 ^b	49.00 ^c	49.62 ^c	48.43 ^c	52.14 ^b	0.0345
CIC	16.05 ^b	19.09 ^b	21.47 ^a	16.89 ^b	20.10 ^a	21.45 ^a	19.24 ^b	23.81 ^a	21.27 ^a	21.77 ^a	21.89 ^a	15.76 ^b	0.0004
Ca ²⁺	13.33 ^b	16.52 ^b	18.96 ^a	14.5 ^b	18.96 ^a	20.66 ^a	18.08 ^b	23.16 ^a	19.87 ^a	19.25 ^a	20.99 ^a	14.09 ^b	<0.0001
Mg ²⁺	1.02 ^b	1.36 ^a	1.34 ^a	1.18 ^b	1.13 ^b	1.03 ^b	1.53 ^a	1.15 ^b	1.11 ^a	1.26 ^b	1.46 ^a	1.25 ^b	<0.0001
K ⁺	0.14	0.14	0.12	0.11	0.12	0.11	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.13	0.0720
Al ³⁺⁺ H ⁺	1.57 ^a	1.71 ^a	1.49 ^a	1.92 ^a	0.97 ^b	0.72 ^b	1.79 ^a	1.29 ^b	0.82 ^b	1.58 ^a	1.62 ^a	2.23 ^a	0.0118
Suma de bases	14.49 ^b	17.69 ^b	20.43 ^a	15.79 ^b	19.46 ^a	20.99 ^a	18.28 ^b	23.04 ^a	20.71 ^a	20.63 ^a	20.9 ^a	14.31 ^b	0.0002
% Sat. Bases	81.56	88.56	92.74	92.55	91.77	95.55	91.56	93.3	96.51	93.38	92.41	91.78	0.5591
Fe (ppm)	114.89 ^a	75.49 ^a	64.93 ^b	76.5 ^a	65.00 ^b	51.56 ^b	66.28 ^b	50.69 ^b	53.11 ^b	52.24 ^b	57.68 ^b	85.51 ^a	0.0149
Cu (ppm)	1.30 ^b	2.00 ^a	1.66 ^b	1.78 ^b	1.75 ^b	1.64 ^b	1.93 ^a	1.77 ^b	1.85 ^b	1.64 ^b	1.90 ^b	2.18 ^a	0.0001
Zn (ppm)	1.81 ^a	1.16 ^b	1.09 ^b	1.05 ^b	1.01 ^b	1.01 ^b	1.02 ^b	1.11 ^b	1.25 ^a	0.93 ^b	1.16 ^b	1.33 ^a	0.0237
Mn (ppm)	12.89 ^c	33.77 ^b	26.25 ^c	44.76 ^a	28.06 ^c	22.69 ^c	42.98 ^a	34.49 ^b	25.28 ^c	34.49 ^b	34.55 ^b	34.58 ^b	0.0009

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) Scott & Knott Alfa=0.05

4.5 Dinámica poblacional de hongos y nematodos asociados a la rizósfera de genotipos de cacao

4.5.1 Población de Hongos

En el Cuadro 14 se muestra la fuente de variabilidad de la población (abundancia) de hongos $\text{Log}_{10}(\text{ufc.g}^{-1})$ asociados a la rizósfera de genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010, donde se observa que existen diferencias significativas para los factores años (A) y profundidad (P) en todos los indicadores de evaluación; sin embargo, para el factor genotipo (G) resultó significativo para los índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson. Mientras que, para el factor sistema (S) no se encontraron diferencias significativas en todas las variables al igual que las interacciones entre los factores a excepción de la interacción (A x S), seguido de las interacciones (S x G) donde se encontraron diferencias significativas en abundancia y riqueza, y (A x G) solo para la variable riqueza.

Cuadro 14. Fuente de variabilidad de la abundancia de hongos ($\text{ufc. g}^{-1}\text{suelo}$) asociados a la rizósfera de genotipos de cacao en los sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010 E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Fuente de Variabilidad	Abundancia $\text{Log}_{10}(\text{ufc.g}^{-1})$	Riqueza	Índice de Shannon- Weaver	Índice Simpson
	-----Valor F-----			
Bloque	7.48*	1.87	0.84	0.29
Año (A)	4.90*	23.35*	20.92*	13.21*
Sistema (S)	0.24	0.70	0.16	0.003
Genotipo (G)	1.42	1.67	2.1*	1.99*
Profundidad (P)	43.56*	71.29*	61.91*	36.44*
(A x S)	9.60*	6.55*	9.25*	7.86*
(A x G)	1.19	1.83*	1.48	1.32
(A x P)	0.29	0.42	0.81	0.75
(S x G)	2.12*	2.00*	1.09	0.87
(S x P)	0.87	1.06	0.71	0.35
(G x P)	0.29	0.74	0.95	1.04
(A x S x G)	1.14	1.12	1.31	1.28
(A x S x P)	0.94	1.04	0.5	0.18
(A x G x P)	0.42	0.52	0.58	0.61
(S x G x P)	0.40	1.21	1.19	1.16
(A x S x G x P)	0.46	0.95	1.04	0.91

* Significancia estadística, ($p \leq 0.05$)

En el Cuadro 15, se presenta la frecuencia absoluta (Log (ufc gs⁻¹)) y relativa (%) de géneros de hongos del suelo encontrados a través de los años de evaluación (2004-2010) en los sistemas de cacao agroforestal (INAS) y tradicional (ITAS) comparado con el bosque secundario (SF), durante los años de evaluación se identificaron un total de 58 géneros pertenecientes a cuatro grupos: biocontroladores (HBC), patógenos de plantas (HPP), facultativos (HPS) y saprofitos (HS); siendo los biocontroladores los que predominaron en los sistemas y años de evaluación.

En el 2004, en el bosque secundario (SF), la abundancia fue de 10^{4.89} ufc. g⁻¹suelo, se identificaron 23 géneros y los índices de Shannon-Weaver y Simpson fueron 2.08 y 0.23 respectivamente; los géneros de mayor frecuencia corresponden a *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium* y *Mycogone* con 44.3%, 11%, 8.6% y 8.4 %, respectivamente, es decir una mayor frecuencia de hongos biocontroladores; debido a que ciertos residuos de cosecha, cultivos o suelos pueden favorecer especies de *Trichoderma* antagónicas hacia algunas especies de *Fusarium* y *Macrophomina* (Baird *et al.*, 2003; Chet y Baker, 1981; Scher y Baker 1980).

Además, estos géneros predominaron en el SF y también en ambos sistemas de producción desde el 2004 hasta el 2010. *Trichoderma*, es un género cuyas especies pueden parasitar o ejercer otros efectos antagónicos sobre algunos hongos fitopatógenos y es probable que la reducción de hongos patógenos de plantas se deba por la presencia de los biocontroladores durante los años de evaluación. Hagn *et al.* (2003), encontraron que *Trichoderma* spp fue más frecuente en suelos con diferente manejo, coincidente con lo encontrado en este estudio. El género *Penicillium*, se presentó con mayor frecuencia en el 2004 (SF) y en el 2006 se redujo drásticamente en ambos sistemas de producción; sin embargo, en el 2008 y 2010 se incrementó, probablemente a la vegetación presente en el SF antes de la transformación a sistemas de producción, lo cual concuerda con Grishkan *et al.* (2003), quienes mencionan que en los sitios cubiertos por vegetación, la densidad de hongos fue mayor y se recobró más *Penicillium* spp que en sitios sin vegetación en donde dominaron hongos con micelio oscuro y esporas de varias células.

Así mismo, existen géneros de hongos que desaparecieron cuando se establecieron los sistemas de producción, probablemente debido al incremento de residuos de cosechas de cultivos agrícolas (Papavizas *et al.*, 1975), mientras que para los nuevos géneros el comportamiento es opuesto (Chavez *et al.*, 1976); debido a que en los sistemas de producción de cacao los genotipos favorecieron el establecimiento de estos nuevos géneros.

Con la instalación de los sistemas de producción de cacao la estructura de las comunidades de hongos cambia, la abundancia, la riqueza, el índice de Shannon-Weaver y el índice de Simpson varían considerablemente durante los años de evaluación en ambos sistemas INAS e ITAS. Estos resultados nos indican que el suministro de fertilizantes, agua y restos de cosecha de los cultivos significa entrada considerable de nutrientes y condiciones de humedad que favorecen la actividad metabólica de los microorganismos del suelo (Alexander, 1977). Para Odum (1969) y Baker y Cook (1974), una mayor diversidad de especies le confiere una estabilidad y madurez a los ecosistemas y permite alcanzar un control biológico natural de la microbiota del suelo en contra de los hongos fitopatógenos. Por tanto, los cambios inducidos por la transformación del bosque secundario a sistemas de producción de cacao y la incorporación de los residuos de los cultivos repercutieron en la estructura de los hongos del suelo.

Referente a la estructura de la población de hongos del suelo encontrados vemos que el comportamiento de los hongos HBC descendieron de 73.8% al 2004 a 57.7% y 49.6% para INAS e ITAS respectivamente, del 2006 al 2010 nuevamente se incrementan en INAS (65.5%) e ITAS (86.2%); los HPP de 7.6% el 2004 descienden a 0.5% y 1.1% al 2006 y al 2010 a 0.3% y 0% para INAS e ITAS respectivamente. Los HPS se incrementaron de 12.6% el 2004 a 17.0% y 21.9% el 2006 descendiendo a 3.3% y 3.2% el 2010 para INAS e ITAS respectivamente. Los HS se incrementaron de 6.0% el 2004 a 24.8% y 27.4% el 2006 para INAS e ITAS respectivamente y al 2010 se incrementa a 30.9% en INAS y 10.5% en ITAS. La estructura de las comunidades de hongos en el suelo no sólo es afectada por la precipitación como parte del clima, también lo es por el microhábitat, que, a su vez, depende de la vegetación dominante o salinidad del suelo (Grishkan *et al.*, 2003; Grishkan y Nevo, 2004). Por otro lado, las alteraciones que producen los cambios de cultivo causan repentinos cambios en la frecuencia de ciertos hongos del suelo. Sin embargo luego de un proceso adaptativo se inicia una recuperación de la comunidad preexistente (Persiani *et al.*, 1998).

Cuadro 15. Frecuencia absoluta [\log_{10} (ufc.gs⁻¹)] y relativa (%) de géneros de hongos del suelo encontrados a través de los años de evaluación (2004-2010) en los sistemas de cacao Agroforestal (INAS) y Tradicional (ITAS) comparado con el Bosque secundario (SF). E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

GENERO	Grupo	----2004----		-----2006-----		-----2008-----		-----2010-----	
		---SF---		---INAS---	---ITAS---	---INAS---	---ITAS---	---INAS---	---ITAS---
<i>Cladobotryum</i>	HBC			2.08	(0.3)				
<i>Diheterospora</i>	HBC					2.26	(0.3)		
<i>Genicularia</i>	HBC					2.26	(0.3)		
<i>Gliocladium</i>	HBC	3.55	(4.6)					1.78	(0.1)
<i>Metarrhizium</i>	HBC			1.78	(0.1)	2.26	(0.2)	2.08	(0.2)
<i>Mycogone</i>	HBC	3.82	(8.4)	3.41	(5.3)	3.42	(4.8)	2.69	(0.5)
<i>Paecilomyces</i>	HBC	3.64	(5.6)	2.38	(0.5)	2.26	(0.3)	3.65	(4.6)
<i>Penicillium</i>	HBC	4.54	(44.3)	3.91	(17.0)	3.93	(15.8)	4.69	(50.1)
<i>Trichoderma</i>	HBC	3.93	(11.0)	4.22	(34.5)	4.18	(28.0)	4.03	(10.8)
<i>Bipolaris</i>	HPP	2.65	(0.6)						
<i>Cephalosporium</i>	HPP	2.95	(1.1)			2.08	(0.2)	2.91	(0.8)
<i>Fusicladium</i>	HPP					1.78	(0.1)	2.69	(0.8)
<i>Gloeosporium</i>	HPP			2.08	(0.3)			2.26	(0.3)
<i>Phytophthora</i>	HPP	3.28	(2.4)					2.08	(0.2)
<i>Rhizoctonia</i>	HPP	3.43	(3.4)	2.08	(0.3)	2.63	(0.8)	1.48	
<i>Aureobasidium</i>	HPS	2.35	(0.3)			1.78	(0.1)	1.78	(0.1)
<i>Botryodiplodia</i>	HPS			1.78	(0.1)				
<i>Cladosporium</i>	HPS	3.05	(1.4)	2.48	(0.6)	3.14	(2.6)	2.69	(0.5)
<i>Curvularia</i>	HPS			2.08	(0.3)			2.26	(0.3)
<i>Cylindrocarpum</i>	HPS	2.65	(0.6)					2.56	(0.6)
<i>Fusarium</i>	HPS	3.83	(8.6)	3.87	(15.4)	3.98	(17.7)	3.68	(4.9)
<i>Graphyium</i>	HPS							3.91	(13.6)
<i>Hyalodendron</i>	HPS	2.35	(0.3)					1.78	(0.1)
<i>Nigrospora</i>	HPS					1.78	(0.1)		
<i>Periconia</i>	HPS			1.78	(0.1)	1.78	(0.1)		
<i>Pestalotiopsis</i>	HPS					1.78	(0.1)		
<i>Phialophora</i>	HPS	2.82	(0.9)	2.08	(0.3)	2.69	(0.9)	3.07	(1.2)
<i>Thielaviopsis</i>	HPS			1.78	(0.1)	1.78	(0.1)	2.08	(0.1)
<i>Tilletiopsis</i>	HPS			1.78	(0.1)				
<i>Verticillium</i>	HPS	2.65	(0.6)			2.18	(0.3)	2.97	(1.0)
<i>Aspergillus</i>	HS	3.05	(1.4)	3.29	(4.1)	2.63	(0.8)	3.05	(1.2)
<i>Bispora</i>	HS			1.96	(0.2)			2.78	(1.0)
<i>Botryoderma</i>	HS			1.78	(0.1)			3.69	(7.3)
<i>Candida</i>	HS			1.78	(0.1)			2.61	(0.3)
<i>Chaetomium</i>	HS								
<i>Chrysosporium</i>	HS	2.82	(0.9)						
<i>Cloridium</i>	HS					2.26	(0.2)		
<i>Cunninghamella</i>	HS	2.95	(1.1)			1.78	(0.1)	2.08	(0.2)
<i>Dictyosporium</i>	HS			2.08	(0.3)	2.93	(1.6)	3.22	(1.7)
<i>Didymostilbe</i>	HS			1.78	(0.1)	1.78	(0.1)	3.24	(2.9)
<i>Doratomyces</i>	HS							2.71	(0.8)
<i>Eurotium</i>	HS			2.08	(0.3)			2.48	(0.5)
<i>Geotrichum</i>	HS			2.08	(0.3)			2.38	(0.4)
<i>Gilmaniella</i>	HS	2.65	(0.6)	2.26	(0.4)	1.78	(0.1)	2.38	(0.2)
<i>Gliomastix</i>	HS			3.06	(2.4)	3.10	(2.3)	3.54	(5.3)
<i>Gonytrichum</i>	HS			2.26	(0.4)	2.74	(1.0)	3.38	(2.0)
<i>Harpographium</i>	HS			2.26	(0.3)				
<i>Mucor</i>	HS	2.35	(0.3)	2.38	(0.5)				
<i>Neosartorya</i>	HS					2.00	(0.1)	3.29	(3.0)
<i>Polyscytalum</i>	HS			2.08	(0.3)			2.82	(1.0)
<i>Pseudobotrytis</i>	HS			2.33	(0.4)			2.08	(0.1)
<i>Rhinochlaia</i>	HS					1.78	(0.1)		
<i>Rhizopus</i>	HS	2.65	(0.6)					2.08	(0.2)
<i>Scolecobasidium</i>	HS	2.95	(1.1)			2.81	(0.7)	2.08	(0.1)
<i>Stachybotrys</i>	HS					2.08	(0.2)		
<i>Stachylidium</i>	HS					2.38	(0.4)	2.63	(0.7)
<i>Staphylotrichum</i>	HS					1.78	(0.1)		
<i>Torula</i>	HS								
<i>Micelio</i>	HS			3.79	(12.8)	3.99	(17.9)	4.25	(18.0)
<i>NN</i>	HS			3.08	(2.5)	3.08	(2.2)	2.38	(0.2)
Abundancia Log (ufc gs-1)		4.89		4.68		4.73		4.99	
Riqueza		23		30		31		27	
Shannon-Weaver		2.08		2.03		2.12		1.74	
Simpson		0.23		0.19		0.17		0.21	
Biocontroladores HBC		73.8%		57.7%		49.6%		59.9%	
Patógenos de plantas (HPP)		7.6%		0.5%		1.1%		0.8%	
Facultativos (HPS)		12.6%		17.0%		21.9%		16.3%	
Saprotitos (HS)		6.0%		24.8%		27.4%		23.0%	

Valores promedios transformados a \log_{10} . Valores en paréntesis es la frecuencia en porcentaje, para calcularlo previamente se deberá des-transformar los valores

En el Cuadro 16, se presentan los resultados de la abundancia de hongos (ufc g^{-1}), riqueza, e índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson de los hongos de suelo asociados a la rizósfera del cacao en dos sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) en comparación con los indicadores encontrados antes de la instalación de estos sistemas dentro de un bosque secundario (SF).

La abundancia de hongos, riqueza, índice de Shannon-Weaver e índice de Simpson son significativamente diferentes en los sistemas SF, INAS e ITAS, estos resultados probablemente se deban a que la transformación del bosque secundario a sistemas de producción de cacao originaron alteraciones en las poblaciones fungosas del suelo; así como, la probabilidad de que al menos dos especies estén presentes en un ambiente, concordante con Pfenning (1993) quien encontró que el número de especies y el índice de Shannon-Weaver de hongos en la rizósfera del cacao fueron menores en comparación a lo encontrado en el bosque; además esta respuesta nos indica que en el ambiente natural existen mayor número de especies y mayor diversidad, y con la transformación del bosque secundario con el tiempo se redujeron el número de especies y diversidad de hongos, esto se sustenta en el hecho de que las prácticas de manejo en el uso del suelo, tales como la rotación de cultivos, tipos de labranza y fertilización afectan grandemente los parámetros microbiales del suelo (Garbeva *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2010).

Por consiguiente, estudios como los de Mabuhay *et al.* (2003), han demostrado significativos cambios sobre las comunidades fúngicas y su función en el suelo, como resultado de los incendios forestales, mientras otros estudios han demostrado menores cambios sobre las comunidades fúngicas. El contraste entre los resultados pueden ser el reflejo de las diferencias entre ecosistemas, y del tiempo y magnitud del incendio estudiado (Staddon *et al.*, 1996). En particular, las asociaciones plantas-hongos, que son muy abundantes en las comunidades de plantas y especialmente común en los bosques tropicales, desempeñan un papel importante y complejo en la bioquímica del suelo (Arnold y Engelbrecht, 2007).

Cuadro 16. Abundancia de hongos (ufc. g⁻¹suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizósfera del cacao en los sistemas de producción (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF) durante los años 2004 al 2010. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Indicadores	Sistema			p ^v
	SF	INAS	ITAS	
Abundancia (ufc g ⁻¹)	2.45E+04 ^a	1.58E+04 ^b	1.66E+04 ^b	0.6226
Riqueza	8.9 ^a	3.6 ^b	3.5 ^b	0.4040
Shannon-Weaver	1.57 ^a	1.12 ^b	1.11 ^b	0.6911
Simpson	0.34 ^b	0.42 ^a	0.42 ^a	0.9563

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 17, se observa que la abundancia de hongos y riqueza no difieren significativamente ($p < 0.05$); mientras que los índices de diversidad de Shannon- Weaver y Simpson si presentaron diferencias significativas. Así mismo, se observa que la abundancia, riqueza e índice de Shannon de los hongos del suelo en SF supera significativamente a los genotipos de cacao, estos resultados indican que estos indicadores disminuyen cuando el bosque secundario (SF) es modificado por el manejo tradicional (ITAS) o agroforestal (INAS), y que estos cambios están relacionados a la introducción de nuevos cultivos que alteran la diversidad de las plantas que se encontraban antes de la siembra de los genotipos de cacao; por otro lado, la dominancia de al menos dos especies de hongos del suelo se incrementa cuando se siembran estos genotipos (Pfenning, 1993).

Garbeva *et al.* (2004), indicaron que las raíces de las plantas aportan un amplio rango de compuestos al suelo, tales como el etileno, azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas, polisacáridos y enzimas. Estos componentes crean un ambiente único para la asociación de microorganismos con las raíces de las plantas en la rizósfera. Por su parte Grayston *et al.* (1998) y Kourtev *et al.* (2002), encontraron diferencias significativas en las comunidades microbianas de la rizósfera de diferentes plantas. Existen reportes donde mencionan que algunos monocultivos favorecen a los hongos fitopatógenos (Shipton, 1977), micobiotas características (Leonard, 1957; Mazzola y Yu-Huan, 2000) o el incremento de hongos y bacterias antagónicas a los hongos fitopatógenos en el suelo (Liu y Baker, 1980; Scher y Baker, 1980).

Diferentes especies de plantas, así como genotipos dentro de la misma especie, influyen cualitativa y cuantitativamente en la comunidad microbiana de la rizósfera por diferencias cuantitativas y cualitativas de sus exudados radiculares (Rengel, 1997; 2002).

Cuadro 17. Abundancia de hongos (ufc.g⁻¹suelo), riqueza e índices de diversidad, en el bosque secundario (SF), y asociados a genotipos de cacao bajo los sistemas de producción (INAS e ITAS). E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Genotipo	Abundancia (ufc.g⁻¹)	Riqueza	Shannon- Weaver	Simpson
SF	2.45E+04 ^a	8.9 ^a	1.57 ^a	0.34 ^{ab}
ICS-95	2.00E+04 ^{ab}	3.8 ^b	1.15 ^{bc}	0.41 ^{ab}
UF-613	1.62E+04 ^{ab}	4.1 ^b	1.29 ^b	0.33 ^b
CCN-51	1.35E+04 ^b	3.5 ^b	1.11 ^{bc}	0.41 ^{ab}
ICT-1112	1.45E+04 ^{ab}	3.3 ^b	1.06 ^{bc}	0.44 ^{ab}
ICT-1026	1.62E+04 ^{ab}	3.4 ^b	1.02 ^{bc}	0.47 ^{ab}
ICT-2162	1.91E+04 ^{ab}	3.7 ^b	1.15 ^{bc}	0.41 ^{ab}
ICT-2171	1.38E+04 ^{ab}	3.4 ^b	1.04 ^{bc}	0.45 ^{ab}
ICT-2142	1.51E+04 ^{ab}	3.1 ^b	0.97 ^c	0.48 ^a
H-35	1.70E+04 ^{ab}	3.6 ^b	1.12 ^{bc}	0.42 ^{ab}
U-30	2.04E+04 ^{ab}	4.0 ^b	1.20 ^{bc}	0.38 ^{ab}
Hibrido	1.41E+04 ^{ab}	3.7 ^b	1.15 ^{bc}	0.40 ^{ab}
Pv	0.1615	0.0849	0.0235	0.0332

Medias con una letra común en columna no son significativamente diferentes SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 18, se muestran las variaciones de la abundancia, riqueza e índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson en la rizósfera del cacao a diferentes profundidades del suelo, en la que se verifica que existen diferencias significativas ($p < 0.0001$) para todos los indicadores en evaluación; así mismo, se observa que los mayores valores de estos indicadores a excepción del índice de Simpson se presentan en la profundidad de 0-20 cm y disminuyen a medida que las profundidades se incrementaron.

La mayor abundancia fungosa en los primeros 20 cm de suelo, se debe a que en esta capa de suelo existe una condición aeróbica, permitiendo el desarrollo de una gran variedad de microorganismos cuyo funcionamiento fisiológico y bioquímico va a ser diferente de aquellos que se desarrollan bajo condiciones anaeróbicas; aunque existen microorganismos aeróbicos facultativos capaces de soportar esta última condición. Este punto guarda relación con el estudio realizado por Martínez *et al.* (2006), que mencionan que los

resultados del recuento de hongos muestran diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la profundidad de la muestra de suelo analizada, se percibe una disminución de los propágulos fúngicos con el aumento de la profundidad, estos resultados probablemente se debe a una disminución del contenido de materia orgánica y oxígeno. A su vez, Anderson (1982) citado por Ulacio *et al.* (1998), señala por ejemplo que *Rhizoctonia solani* AG1-IA es capaz de soportar ambientes acuáticos; sin embargo, Mew y Rosales (1985), citado también por Ulacio *et al.*, (1998), mencionan que al enterrar los esclerotes de este microorganismo, éstos pierden viabilidad.

Así mismo, como lo mencionan Rudramurthy y Gurumurthy (2007), que independientemente de los sistemas de uso del suelo, la actividad de la microflora del suelo (bacterias, actinomicetos y hongos) son comparativamente más en la superficie que en los horizontes subsuperficiales y disminuyen con la profundidad del suelo debido a la disminución de la materia orgánica.

Cuadro 18. Abundancia de hongos (ufc. g⁻¹suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizósfera del cacao en los sistemas de producción en tres profundidades del suelo E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Indicador	Profundidad			p ^v
	0-20cm	20-40cm	40-60cm	
Abundancia (ufc g ⁻¹)	2.45E+04 ^a	1.58E+04 ^a	1.12E+04 ^b	<0.0001
Riqueza	2.95 ^c	5.01 ^a	3.31 ^b	<0.0001
Shannon-Weaver	0.94 ^b	1.41 ^a	1.02 ^b	<0.0001
Simpson	0.49 ^a	0.31 ^b	0.45 ^a	<0.0001

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes (p<= 0.05) SNK Alfa=0.05

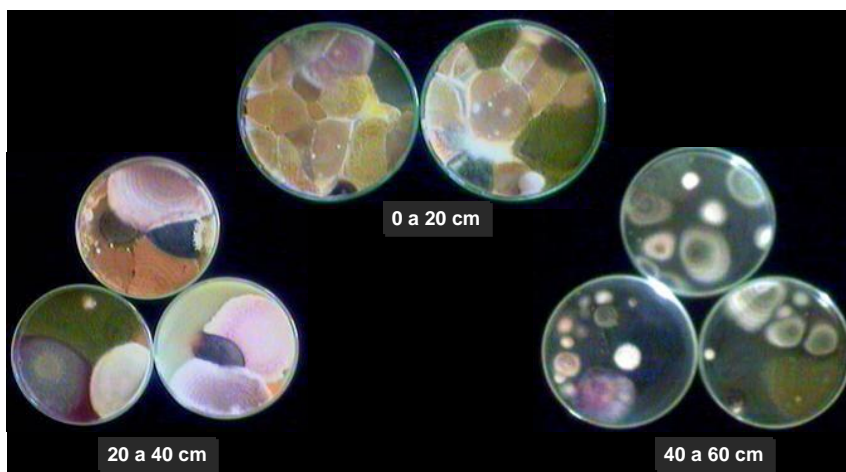


Figura 11. Diversidad de la abundancia fungosa aislada a diferentes profundidades (0-60cm) E.E. “El Choclino”- San Martin, Perú.

En el Cuadro 19, se muestra la variación de la abundancia fungosa, la riqueza y los índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson en los sistemas de producción de cacao durante los años de evaluación (2004-2010). La abundancia, riqueza y diversidad de especies tienden a disminuir con el transcurrir del tiempo durante los años 2006 al 2010; mientras que el índice de Simpson se incrementó significativamente hasta el 2010, cuando el bosque secundario (SF) durante el 2004 se modificó por el manejo tradicional (ITAS) o agroforestal (INAS), es decir que existe mayor dominancia de al menos dos especies de hongos que se consolidan año a año. El efecto del tiempo puede ser inducido principalmente por factores independientes del sistema, tales como: cambios en las condiciones climáticas, también porque el sistema depende de factores tales como los cambios de los cultivos anteriores y las características de la materia orgánica (Schneider *et al.*, 2010). Además, la recuperación de las poblaciones fúngicas después del fuego está asociada a la incorporación de residuos vegetales al suelo a medida que el agroecosistema se va recuperando (Martínez *et al.*, 2006). Por lo tanto, los hongos del suelo deberían ser un excelente indicador para determinar los cambios en la función del ecosistema derivados de la sucesión de eventos naturales o artificiales (Sobek y Zak, 2003).

Cuadro 19. Abundancia de hongos (ufc. g⁻¹suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizósfera del cacao en los sistemas de producción durante los años de evaluación (2004-2010). E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Indicador	Año				p ^v
	2004	2006	2008	2010	
Abundancia (ufc g ⁻¹)	2.45E+04 ^a	1.38E+04 ^c	1.91E+04 ^b	1.62E+04 ^{b^c}	0.0024
Riqueza	8.91 ^a	3.55 ^c	4.17 ^b	3.16 ^c	<0,0001
Shannon-Weaver	1.57 ^a	1.13 ^c	1.27 ^b	0.94 ^d	<0,0001
Simpson	0.34 ^b	0.41 ^b	0.35 ^b	0.49 ^a	<0,0001

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes (p<= 0.05) SNK Alfa=0.05

En la Figura 12, se muestra la dinámica de los indicadores biológicos: abundancia de hongos (ufc g⁻¹ suelo), riqueza, índice de Shannon-Weaver e índice de Simpson, en los sistemas INAS e ITAS durante los años de evaluación (2004 - 2010), donde se observan las variaciones significativas que sufrieron cada uno de estos indicadores al transcurrir el tiempo.

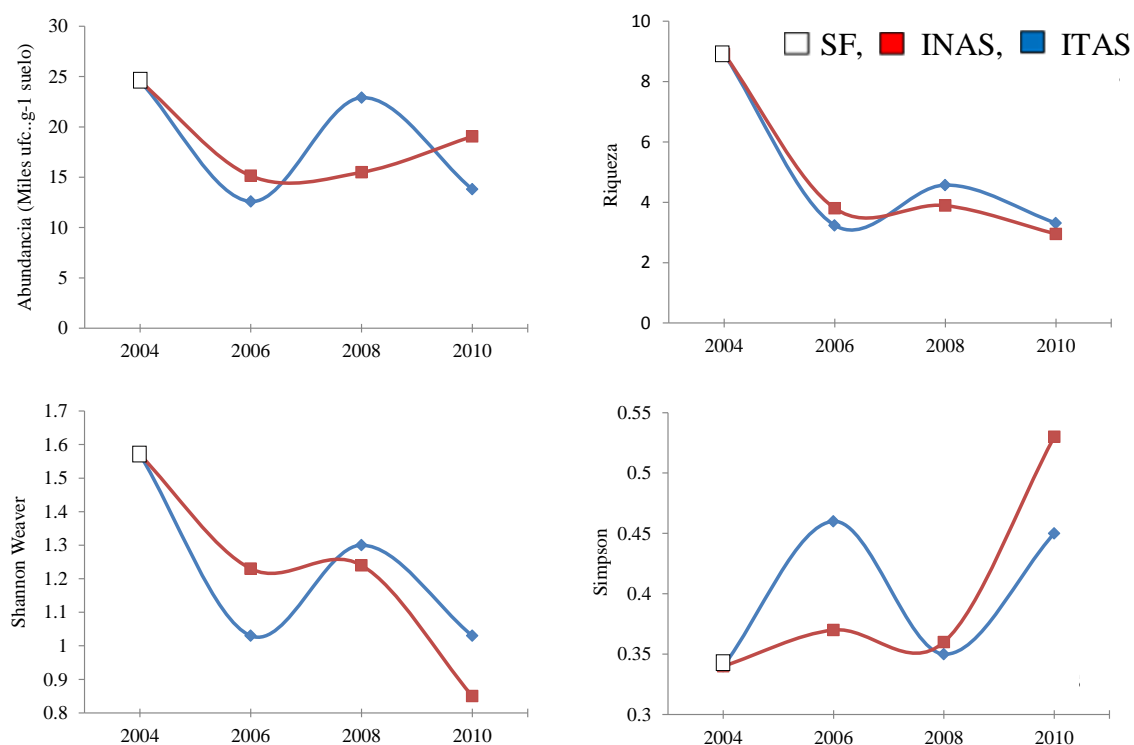


Figura 12. Dinámica de los indicadores biológicos (abundancia de hongos (ufc g⁻¹ suelo), riqueza, índice de Shannon-Weaver e índice de Simpson), en los sistemas INAS e ITAS durante los años de evaluación (2004 - 2010) E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú.

En el Cuadro 20, se observa que los indicadores biológicos en la interacción de los sistemas de producción de cacao durante los años de evaluación (2004-2010) difieren significativamente ($p \leq 0.05$), siendo los valores de los indicadores abundancia, riqueza e índice de Shannon en SF (2004) superiores a los demás sistemas y años de evaluación a diferencia del índice de Simpson que tuvo un incremento en el INAS el 2006 y en ambos sistemas de producción el 2010.

Cuadro 20. Abundancia de hongos (ufc. g^{-1} suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción de los sistemas de producción de cacao durante los años de evaluación (2004-2010) E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Año	Sistema	Abundancia (ufc g^{-1} suelo)	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
2004	SF	2.45E+04 ^a	8.9 ^a	1.57 ^a	0.34 ^b
2006	INAS	1.26E+04 ^c	3.2 ^{cd}	1.03 ^c	0.46 ^a
	ITAS	1.51E+04 ^{bc}	3.8 ^{bc}	1.23 ^b	0.37 ^b
2008	INAS	2.29E+04 ^a	4.6 ^b	1.3 ^b	0.35 ^b
	ITAS	1.55E+04 ^{bc}	3.9 ^{bc}	1.24 ^b	0.36 ^b
2010	INAS	1.38E+04 ^{bc}	3.3 ^{cd}	1.03 ^c	0.45 ^a
	ITAS	1.91E+04 ^{ab}	3.0 ^d	0.85 ^d	0.53 ^a
<i>Pv</i>		0.0001	0.0016	0.0001	0.0005

Medias con una letra común en columna no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), SNK Alfa=0.05

La comparación entre INAS e ITAS con SF, ha demostrado que la abundancia de hongos, la riqueza de géneros e índice de Shannon-Weaver se redujeron significativamente al 2006 en los sistemas de producción debido a la actividad humana, particularmente con la agricultura que impactó sustancialmente las condiciones de vegetación (cultivos introducidos) y humedad en el suelo, de tal manera que los cambios estructurales en la microbiota del suelo, fueron desde su diversidad hasta la aparición de nuevas especies (Ariena *et al.*, 2006). Además, el patrón de comportamiento más frecuente de la microbiota del suelo es una disminución en la cantidad inmediatamente después del incendio, a causa del efecto de esterilización que ejerce el fuego, principalmente en los primeros 5 cm (Mabuhay *et al.*, 2003). Después del incendio aumenta la concentración de nutrientes y el pH, este último debido a la acumulación de cenizas (Barnes *et al.*, 1998).

Durante el primer mes después del incendio hay una disminución del número de hongos debido al efecto esterilizador del fuego y a la incineración de la materia orgánica (Vásquez *et al.*, 1993). En general, se ha demostrado que los hongos demoran en alcanzar los recuentos poblacionales previos al incendio, debido a la baja cantidad de materia orgánica presente en los suelos afectados por el fuego (Martínez *et al.*, 2006). A medida que se va dando la recuperación del sistema en los años sucesivos, las comunidades microbianas del suelo podrían estar relacionadas con dos mecanismos. El primero podría ser los cambios ambientales tales como la temperatura y la humedad del suelo con la etapa de crecimiento de las plantas, y el otro podría ser atribuida a los cambios en la calidad y cantidad de los exudados de la raíz con la etapa de crecimiento de las plantas (Marschner *et al.*, 2002).

El Cuadro 21, se muestran los indicadores biológicos en la interacción sistemas de producción (INAS e ITAS) y genotipos de cacao, donde resultaron ser significativos, la abundancia y riqueza ($p \leq 0.05$) en comparación con los índices de diversidad que no alcanzaron diferencias significativas. Además, se observa que los indicadores abundancia, riqueza e índice de Shannon-Weaver en SF resultaron ser superiores a los demás sistemas y genotipos. Sin embargo, el genotipo ICT-2142 en el sistema INAS tuvo la menor abundancia y riqueza de géneros, del mismo modo, los genotipos ICT-2142 y U-30 en ITAS presentaron valores estadísticamente iguales a SF. Estas variaciones están asociadas a las alteraciones del sistema con la siembra de los genotipos de cacao, porque el tipo de cultivo y las prácticas de manejo tienen una mayor influencia sobre la actividad de la microflora del suelo y estos microorganismos son beneficiosos en el aumento de la fertilidad del suelo y crecimiento de las plantas ya que están involucrados en la transformación de varias actividades bioquímicas y procesos de mineralización en los suelos (Rudramurthy y Gurumurthy, 2007).

La rizósfera es la región del suelo influenciada por las raíces de las plantas y esta zona se caracteriza por la mayor actividad microbiana. Las comunidades microbianas en la rizósfera llevan a cabo los procesos fundamentales que contribuyen al reciclaje de nutrientes, el crecimiento sano de las raíces y promueven el crecimiento de las plantas (Atkinson y Watson, 2000). Por otro lado, las raíces de las plantas liberan una amplia variedad de compuestos en la rizósfera que forman únicos micro-ambientes para los microorganismos del suelo, también se sabe que los exudados de las raíces difieren según las especies de plantas, incluso las cultivadas y su etapa de crecimiento (Rengel, 2002).

Cuadro 21. Abundancia de hongos (ufc. g⁻¹suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción sistemas de producción y genotipos de cacao. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Sistema	Genotipo	Abundancia (ufc g⁻¹suelo)	Riqueza	Shannon- Weaver	Simpson
SF	SF	2.45E+04 ^a	8.9 ^a	1.57	0.34
INAS	ICS-95	2.19E+04 ^{ab}	4.6 ^b	1.25	0.37
	UF-613	1.58E+04 ^{ab}	4.3 ^{bc}	1.33	0.31
	CCN-51	1.38E+04 ^{ab}	3.5 ^{bc}	1.13	0.40
	ICT-1112	1.45E+04 ^{ab}	3.5 ^{bc}	1.09	0.42
	ICT-1026	1.70E+04 ^{ab}	3.5 ^{bc}	1.00	0.49
	ICT-2162	2.14E+04 ^{ab}	3.8 ^{bc}	1.15	0.41
	ICT-2171	1.74E+04 ^{ab}	3.9 ^{bc}	1.15	0.41
	ICT-2142	9.55E+03 ^b	2.8 ^c	0.94	0.48
	H-35	1.55E+04 ^{ab}	3.2 ^{bc}	1.02	0.48
	U-30	1.82E+04 ^{ab}	3.8 ^{bc}	1.17	0.40
	Hibrido	1.41E+04 ^{ab}	3.6 ^{bc}	1.10	0.43
ITAS	ICS-95	1.82E+04 ^{ab}	3.2 ^{bc}	1.06	0.44
	UF-613	1.66E+04 ^{ab}	3.9 ^{bc}	1.24	0.35
	CCN-51	1.32E+04 ^{ab}	3.5 ^{bc}	1.08	0.43
	ICT-1112	1.48E+04 ^{ab}	3.2 ^{bc}	1.03	0.46
	ICT-1026	1.55E+04 ^{ab}	3.3 ^{bc}	1.04	0.45
	ICT-2162	1.70E+04 ^{ab}	3.5 ^{bc}	1.14	0.40
	ICT-2171	1.12E+04 ^{ab}	3.0 ^{bc}	0.92	0.49
	ICT-2142	2.40E+04 ^a	3.4 ^{bc}	1.01	0.48
	H-35	1.86E+04 ^{ab}	4.1 ^{bc}	1.23	0.37
	U-30	2.29E+04 ^a	4.1 ^{bc}	1.22	0.37
	Hibrido	1.38E+04 ^{ab}	3.9 ^{bc}	1.20	0.37
Pv		0.0223	0.0323	0.0793	0.5602

Medias con una letra común en columna no son significativamente diferentes (p<= 0.05) SNK Alfa=0.05

Así, las comunidades microbianas responden de manera diferente a los compuestos liberados por las raíces, como también los exudados de las raíces son diferentes, se cree que esta condición explique las comunidades microbianas específicas en la rizósfera (Marschner *et al.*, 2001). Además, el tipo de suelo es otro factor importante para la determinación de las comunidades microbianas en la rizósfera, como los suelos presentan diferentes texturas, pH, aireación y otras características físico-químicas que pueden afectar a las comunidades microbianas, ya sea directamente, por ejemplo, proporcionando un hábitat específico para la selección de microbios específicos, e indirectamente por ejemplo, al afectar exudación de las raíces de la planta (Garbeva *et al.*, 2004). Por lo tanto, la interacción entre los tipos de suelo, especies de plantas/genotipos y las etapas de crecimiento pueden afectar las comunidades microbianas en la rizósfera (Marschner *et al.*, 2001). Del mismo modo, hay muchas evidencias de que los exudados de las raíces están fuertemente afectadas por la etapa de crecimiento de la planta, que a su vez, con el tiempo, estas pueden afectar a las comunidades microbianas en la rizósfera del suelo (Yang y Crowley, 2000).

4.5.2 Población de nematodos

Los indicadores de abundancia, riqueza, índice de Shannon-Weaver y de Simpson fueron utilizados para caracterizar las comunidades de nematodos (Moreira *et al.*, 2006) influenciadas por la instalación de sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS) con 11 genotipos en tres profundidades de muestreo

Los resultados de la prueba *F* del análisis de variancia (ANVA) realizado para los diferentes indicadores evaluadas, así como su respectiva significación ($p \leq 0.05$), se muestran en el Cuadro 22; la abundancia de nematodos en los diferentes tratamientos encuentra diferencia estadística para los años (A), sistema (S) y profundidad (P) así como para las interacciones (S x G) y (S x P), la riqueza alcanza significación estadística para A, S, G y P, y en las interacciones (A x S), (A x G), (A x P), (S x G), (A x S x G) y (A x S x P); el Índice de Shannon-Weaver fue significativo en A, G y P, y en las interacciones (A x G), (A x P) y (S x G); finalmente el índice Simpson solo fue significativo para A y P.

Cuadro 22. Valor F del análisis de variancia para los Indicadores de diversidad de la abundancia de nematodos del suelo en sistemas de producción de cacao

Fuentes de Variabilidad	Abundancia (nematodos/ 100cc suelo)	Riqueza	Índice de Shannon- Weaver	Índice Simpson
-----Valor F-----				
Bloque	9.74*	10.79*	3.32*	0.53
Año (A)	41.12*	52.0*	6.51*	9.09*
Sistema (S)	5.91*	7.86*	1.98	0.21
Genotipo (G)	1.7	4.84*	3.27*	1.14
Profundidad (P)	63.79*	167.96*	62.69*	6.00*
(A x S)	1.67	4.27*	1.14	1.08
(A x G)	1.57	2.84*	1.99*	1.37
(A x P)	1.13	6.48*	8.43*	1.81
(S x G)	2.97*	5.77*	2.17*	0.56
(S x P)	3.97*	0.99	0.73	0.77
(G x P)	0.65	0.6	0.47	0.60
(A x S x G)	1.15	2.13*	1.38	1.10
(A x S x P)	1.18	2.73*	2.24	2.19
(A x G x P)	0.82	0.68	0.65	0.98
(S x G x P)	0.73	1.18	1.41	0.98
(A x S x G x P)	0.88	1.08	0.81	0.86

* Significancia estadística ($p \leq 0.05$)

De los diferentes sistemas (INAS e ITAS), genotipos (11), profundidades (0cm hasta 60cm) y años (2004 -2010) de estudio se identificaron 25 diferentes nematodos (Cuadro 23) entre géneros y familias. *Rhabditidos*, *Aphelenchus*, *Dorylaimidos*, *Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, *Paratylenchus*, *Tylenchus* y *Mononchus* fueron los más dominantes géneros/familias en abundancia. Se indica además el “c-p” que es el valor asignado entre 1 y 5 para sus características de colonizador o persistente según Bongers (1990) y su clasificación según el grupo trófico y los índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson.

Para el 2004, antes de la instalación de los sistemas en el bosque secundario (SF), la abundancia total fue de 635 nematodos.100 cc⁻¹ de suelo, los géneros de mayor frecuencia corresponden a *Dorylaimidos*, *Rhabditidos*, *Aphelenchus* y *Helicotylenchus* con 53.9%, 29.8%, 2.8% y 2.8%, respectivamente, es decir una mayor frecuencia de nematodos bacteriófagos y omnívoros-predadores. La riqueza de 15; 1.36 de índice de Shannon y 0.38 de índice de Simpson. Con respecto a la abundancia total se observó un incremento muy importante para el 2010 en ambos sistemas de producción de cacao (INAS e ITAS), siendo las poblaciones de 2346 y 2701 (nematodos/100cc suelo), respectivamente, comparados con las poblaciones del 2006 y 2008.

Las frecuencias observadas para este mismo año, registraron que los nematodos bacteriofagos prevalecieron en ambos sistemas (INAS=65.8%, ITAS=73.6%), en el que destaca los *Rhabditidos*, seguidos por los fungivoros (INAS=13.8%, ITAS=16.6%), destacando el género *Aphelenchus*. Referente a la dinámica de las poblaciones de nematodos fitófagos (PP) estos se incrementan considerablemente al segundo año del establecimiento de los sistemas de producción de cacao pasando de 8.7% en el 2004 a 58.3% en INAS y 27.8% en ITAS y ya para el 2010 estos se reducen a 15.2% y 4.4% respectivamente. En relación a la diversidad medida por el índice de Shannon-Weaver, se observaron mayores valores al segundo año de instalación de los sistemas (INAS=2.17 e ITAS=1.97%) y que en los siguientes años tiende a decrecer, mientras que el índice de dominancia de Simpson se incrementa llegando a valores mayores en el 2010 con 0.56 en INAS y 0.68 en ITAS.

Cuadro 23. Abundancia absoluta (individuos/100cc suelo) y relativa (%) de géneros de nematodos encontrados a través de los años de evaluación (2004-2010) en los sistemas de cacao Agroforestal (INAS) y Tradicional (ITAS) comparado con el Bosque secundario (SF) en la E.E. “El Chocloro”, San Martín – Perú.

Género o Familia	c-p ^a	GT ^b	----2004----		-----2006-----				-----2008-----				-----2010-----			
			---SF---	(%)	---INAS---	(%)	---ITAS---	(%)	---INAS---	(%)	---ITAS---	(%)	---INAS---	(%)	---ITAS---	(%)
<i>Rhabditidos</i>	1	BF	189 ^c	(29.8) ^d	164	(16.1)	400	(32.7)	144	(36.2)	218	(43.7)	1539	(65.6)	1985	(73.5)
<i>Aphelenchoides sp.</i>	2	FF	6	(0.9)	4	(0.4)	13	(1.1)	4	(1.0)	2	(0.4)	4	(0.2)	9	(0.3)
<i>Aphelenchus sp.</i>	2	FF	18	(2.8)	13	(1.3)	253	(20.7)	56	(14.1)	44	(8.8)	320	(13.6)	438	(16.2)
<i>Ditylenchus sp.</i>	2	FF			4	(0.4)			2	(0.5)	2	(0.4)			2	(0.1)
<i>Dorylaimidos</i>	4	O-PR	342	(53.9)	218	(21.4)	196	(16.0)	58	(14.6)	124	(24.8)	107	(4.6)	78	(2.9)
<i>Atylenchus sp.</i>	2	PP					4	(0.3)								
<i>Criconemoides sp.</i>	3	PP	3	(0.5)	18	(1.8)	4	(0.3)	7	(1.8)					2	(0.1)
<i>Crossonema sp.</i>	3	PP										7	(0.3)	4	(0.1)	
<i>Dorylaimus sp.</i>	4	PP					4	(0.3)								
<i>Helicotylenchus sp.</i>	3	PP	18	(2.8)	107	(10.5)	67	(5.5)	13	(3.3)	33	(6.6)	11	(0.5)	29	(1.1)
<i>Hemicycliophora sp.</i>	3	PP	2	(0.3)	27	(2.6)	67	(5.5)								
<i>Meloidogyne sp.</i>	3	PP	3	(0.5)	84	(8.2)	9	(0.7)	56	(14.1)	2	(0.4)	91	(3.9)	4	(0.1)
<i>Paratylenchus sp.</i>	2	PP	13	(2.0)	80	(7.9)	49	(4.0)			2	(0.4)	2	(0.1)	9	(0.3)
<i>Pratylenchus sp.</i>	3	PP	1	(0.2)					4	(1.0)	2	(0.4)				
<i>Psilenchus sp.</i>	2	PP			4	(0.4)	9	(0.7)	2	(0.5)	2	(0.4)			2	(0.1)
<i>Rhadinaphelenchus sp.</i>	2	PP													2	(0.1)
<i>Rotylenchulus sp.</i>	3	PP			13	(1.3)	13	(1.1)	4	(1.0)	2	(0.4)	7	(0.3)	2	(0.1)
<i>Rotylenchus sp.</i>	3	PP	2	(0.3)												
<i>Scutellonema sp.</i>	3	PP													2	(0.1)
<i>Trichodorus sp.</i>	4	PP			9	(0.9)	40	(3.3)	4	(1.0)	9	(1.8)	2	(0.1)	2	(0.1)
<i>Tylenchorhynchus sp.</i>	3	PP			4	(0.4)	9	(0.7)					9	(0.4)		
<i>Tylenchulus sp.</i>	2	PP			22	(2.2)	4	(0.3)							2	(0.1)
<i>Tylenchus sp.</i>	2	PP	5	(0.8)	204	(20.0)	53	(4.3)	24	(6.0)	33	(6.6)	220	(9.4)	47	(1.7)
<i>Xiphinema sp.</i>	5	PP	8	(1.3)	22	(2.2)	9	(0.7)	2	(0.5)	4	(0.8)	7	(0.3)	11	(0.4)
<i>Mononchus sp.</i>	4	PR	6	(0.9)	22	(2.2)	22	(1.8)	9	(2.3)	16	(3.2)	16	(0.7)	69	(2.6)
<i>No identificado</i>			19	(3.0)					9	(2.3)	4	(0.8)	4	(0.2)	2	(0.1)
Abundancia (Indiv/100cc suelo)			635		1019		1225		398		499		2346		2701	
Riqueza			15		18		19		16		16		15		20	
Índice de Shannon-Weaver			1.36		2.17		1.97		1.69		1.5		0.98		0.75	
Índice de Simpson			0.38		0.14		0.2		0.27		0.31		0.56		0.68	
Frecuencia BF			32.8%		16.1%		32.7%		38.4%		44.5%		65.8%		73.6%	
Frecuencia OM-PR			54.8%		23.6%		17.8%		16.8%		28.1%		5.2%		5.4%	
Frecuencia FF			3.8%		2.1%		21.7%		15.6%		9.6%		13.8%		16.6%	
Frecuencia PP			8.7%		58.3%		27.8%		29.1%		17.8%		15.2%		4.4%	
IM			2.82		108.40		112.31		216.86		85.44		158.14		1190.57	
IPP			0.26		4.44		20.76		7.34		2.80		3.35		4.13	
IPP/IM			0.091		0.041		0.185		0.034		0.033		0.021		0.003	

^ac-p= colonizadores y persistentes, escala 1-5 donde 1 es colonizador de corto periodo generacional y 5 son persistentes de largo periodo generacional según Borges, 1990 . ^bGT= Grupo Trófico: BF=Bacteriofago, FF=Fungivoro, PP=Fitofagos o parásitos de plantas, PR=Predador, O-PR=Ommivoros-predadores; de acuerdo a Yeates *et al.* (1993). ^cPromedio de la abundancia absoluta. ^dAbundancia relativa en porcentaje. IM= Índice de madurez; IPP= Índice de parásitos de plantas; Tasa entre parásitos de plantas y el índice de madurez.

Las variaciones de la frecuencia de los géneros en los diferentes grupos tróficos se relacionan con lo que mencionan Ferris *et al.* (2001), que los nematodos son capaces de reproducirse e incrementarse en gran número dentro de un corto período de tiempo en un suelo enriquecido, considerándose un indicador de la fertilidad del suelo (Ferris *et al.*, 2001). Además, la diversidad biológica de nematodos en el suelo a través del índice de diversidad de Shannon, varía a medida que: 1) aumenta la riqueza (el número de especies) y 2) los individuos se distribuyen más homogéneamente entre todas las especies (Somarriba, 1999). Así mismo, el grado y diversidad de cobertura vegetal del suelo es el factor más importante en la determinación de la estructura de las comunidades de nematodos (Ferris *et al.*, 2001).

Antes de la instalación de los sistemas en el bosque secundario los nematodos bacteriófagos y los omnivoros-predadores eran dominantes, a la modificación del ambiente por la instalación de INAS e ITAS esta dominancia decrece y da paso a una mayor frecuencia de nematodos parásitos de planta y fungívoros, situación que coincide con Kimenju *et al.* 2009 quien encontró que los nematodos parásitos de plantas eran más abundantes en plantaciones de café y maíz en comparación con el bosque natural y las plantaciones forestales. Entre otras funciones del ecosistema, el control biológico de plagas y enfermedades tal como los nematodos parásitos de plantas es alterado resultando en mayor acumulación de esta población.

En el Cuadro 24, se detalla la abundancia total de nematodos en los sistemas de producción de cacao evaluados, comparado con el sistema de bosque secundario. Se observa que existen diferencias significativas en la abundancia total, esta reducción de la abundancia total en INAS (95 nematodos/100cc suelo) e ITAS (123 nematodos/100cc suelo), con respecto a SF, responde al tipo de suelo, a la capacidad de retención de agua, humedad del suelo, periodos de precipitación, cantidad de materia orgánica, pH del suelo y diversidad de plantas presentes en el sistema, tal como se reportan en diversos estudios realizados por Gomes *et al.*, (2003), Jorge (1999), Huang y Cares (1995), Cares y Huang (1991); Mattos *et al.*, (2000) citados por Huang y Cares (2006). La riqueza e índices de Shannon-Weaver y Simpson no presentaron diferencias significativas.

Cuadro 24. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad asociados a la rizósfera del cacao en los sistemas de producción (INAS e ITAS) y bosque secundario (SF). E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Indicador	Sistema			Pv
	SF	INAS	ITAS	
Abundancia	163 ^a	95 ^b	123 ^{ab}	0.0155
Riqueza	8.67 ^a	3.19 ^b	3.50 ^b	0.0053
Shannon-Weaver	1.28	0.81	0.86	0.1605
Simpson	0.39	0.47	0.48	0.6467

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

Por otro lado, la riqueza es mayor en el sistema forestal y los índices de Shannon-Weaver y Simpson, reflejaron una similitud en cuanto al número de géneros y los individuos se distribuyeron homogéneamente entre todos los géneros, dentro de los sistemas evaluados.

En el Cuadro 25, se detalla la abundancia total de nematodos, la riqueza e índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson en los genotipos de cacao, en la cual se observa que la abundancia de nematodos e índice de diversidad de Simpson no difieren significativamente. En cambio, para riqueza e índice de diversidad de Shannon se observa que SF supera significativamente a los genotipos e híbrido de cacao. Estos resultados muestran que la diversidad de nematodos disminuye de sistemas nativos a sistemas cultivados y que estos cambios están relacionados a la diversidad de las plantas. Los cambios en la abundancia de nematodos son obviamente dependientes de la masa radicular en el suelo (Huang y Cares, 2006). Es por ello que la estructura de la comunidad de nematodos es influenciado no solo por la diversidad de plantas, sino también por los factores físicos y químicos del suelo, Huang y Cares (datos no publicados).

Cuadro 25. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad en el bosque secundario (SF), y asociados a genotipos de cacao bajo los sistemas de producción (INAS e ITAS). E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Genotipo	Abundancia (individuos/100cc suelo)	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
SF	163	8.67 ^a	1.28 ^a	0.39
ICS-95	140	3.72 ^{bcd}	0.90 ^{bc}	0.45
UF-613	75	2.78 ^e	0.68 ^c	0.45
CCN-51	108	3.48 ^{bcde}	0.86 ^{bc}	0.46
ICT-1112	74	3.04 ^{cde}	0.78 ^{bc}	0.49
ICT-1026	116	3.28 ^{cde}	0.85 ^{bc}	0.46
ICT-2162	86	3.09 ^{cde}	0.78 ^{bc}	0.48
ICT-2171	119	2.91 ^{de}	0.71 ^c	0.55
ICT-2142	94	3.26 ^{cde}	0.82 ^{bc}	0.47
H-35	126	3.80 ^{bc}	1.02 ^b	0.44
U-30	146	4.15 ^b	1.01 ^b	0.43
Hibrido	125	3.28 ^{cde}	0.80 ^{bc}	0.53
<i>pv</i>	0.0791	<0.0001	0.0004	0.3301

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 26, se detalla la abundancia total de nematodos en los sistemas de producción de cacao, evaluadas a tres profundidades, donde se observa que la abundancia total a los 0-20 cm (218 nematodos/100cc suelo) es significativamente superior a las poblaciones registradas en las demás profundidades 20-40 y 40-60 cm con una abundancia de 84 y 56 nematodos/100cc suelo, respectivamente. Similar tendencia registra la riqueza y el índice de diversidad de Shannon, que a los primeros 20 cm del suelo, son significativamente superiores a las demás profundidades, caso contrario se refleja en el índice de Simpson que mayor promedio se encontró a la profundidad de 40-60 cm. Estos resultados guardan relación con los estudios realizados por Cares y Huang (1991), que investigaron comunidades de nematodos fitoparásitos en suelos nativos y cultivados, donde 42 géneros de nematodos fitoparásitos fueron encontrados en la región central de Brasil, la abundancia de nematodos fue generalmente alto en la superficie (0-20 cm), moderado de 20-40 cm de profundidad y bajo a los 40-60 cm.

Cuadro 26. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizósfera del cacao en los sistemas de producción en tres profundidades del suelo E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Indicador	Profundidad			pv
	0-20cm	20-40cm	40-60cm	
Abundancia	218a	84b	56c	<0.0001
Riqueza	4,81a	3,10b	2,36c	<0.0001
Shannon-Weaver	1.10a	0.81b	0.62c	<0.0001
Simpson	0.42c	0.48b	0.51 ^a	0.0027

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

En la Figura 13, se observa el comportamiento de la abundancia total de nematodos en los sistemas de producción de cacao en las tres profundidades evaluadas y su relación con la riqueza, índice de Shannon y Simpson. La abundancia de 218 nematodos/100 cc⁻¹ suelo en los primeros 20 cm, se reduce considerablemente a mayor profundidad, encontrándose una abundancia de 56 nematodos/100 cc⁻¹ suelo a la profundidad de 60 cm.

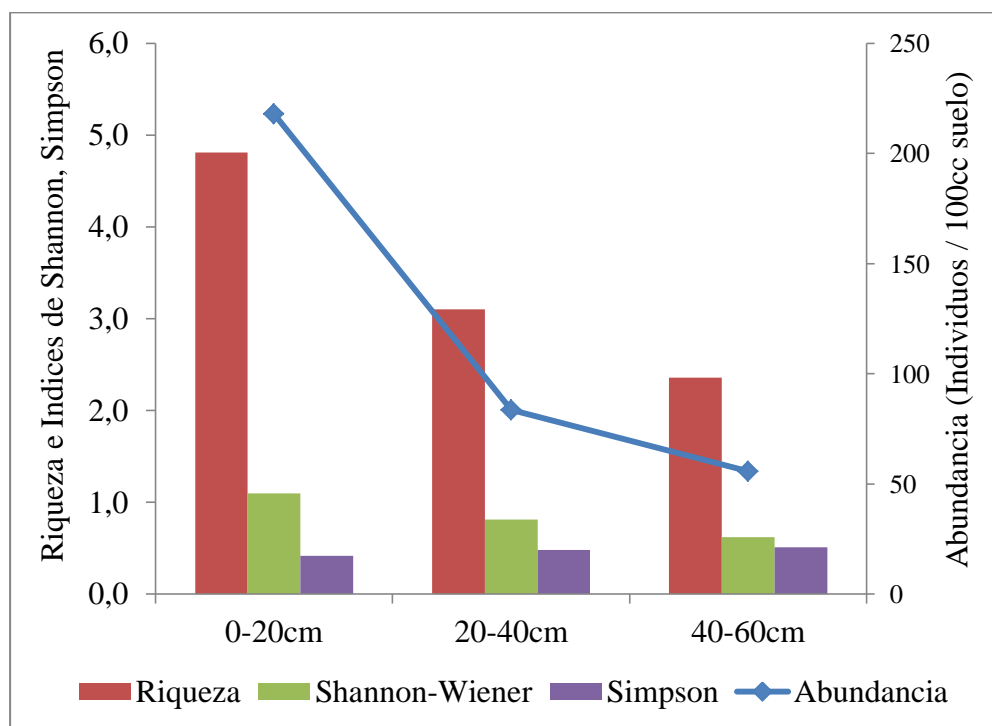


Figura 13. Abundancia total de nematodos en los sistemas de producción de cacao en las tres profundidades evaluadas y su relación con la riqueza, índice de Shannon-Weaver y Simpson.

La abundancia de nematodos con respecto a los años evaluados, registró diferencias significativas al 2010 con una abundancia de 218 nematodos/100cc suelo, superando estadísticamente a las poblaciones registradas en el 2004, 2006 y 2008 con 163, 71 y 65 nematodos/100cc suelo, respectivamente. La riqueza fue estadísticamente superior en el año 2004, el índice de diversidad de Shannon fue mayor el 2006 (0,93) y 2008 (0,94), y por el contrario el índice de Simpson registró diferencias significativas en el año 2004 en comparación a los demás años, datos que se muestran en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, asociados a la rizósfera del cacao en los sistemas de producción durante los años de evaluación (2004-2010). E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Indicador	Año				Pv
	2004	2006	2008	2010	
Abundancia	163 ^b	71 ^c	65 ^c	218 ^a	<0.0001
Riqueza	8.67 ^a	3.05 ^c	3.27 ^c	3.71 ^b	<0.0001
Shannon-Weaver	1.28 ^a	0.78 ^b	0.92 ^b	0.81 ^b	0.0003
Simpson	0.39 ^b	0.43 ^b	0.45 ^b	0.55 ^a	<0.0001

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) SNK Alfa=0.05

Hubo grandes cambios en la abundancia de nematodos en los años evaluados, debido a la mayor acumulación de materia orgánica al 2010 en los sistemas INAS e ITAS, resaltando el rol importante que tienen los nematodos (principalmente los fitoparásitos) en la descomposición de la materia orgánica en ambos sistemas (Huang y Cares, 2006).

En la Figura 14 se muestra la dinámica de los indicadores biológicos: abundancia de nematodos (individuos/100ccsuelo), riqueza, índice de Shannon-Weaver e índice de Simpson, en los sistemas INAS e ITAS durante los años de evaluación (2004 - 2010), donde se observan las variaciones significativas que sufrieron cada uno de estos indicadores al transcurrir el tiempo.

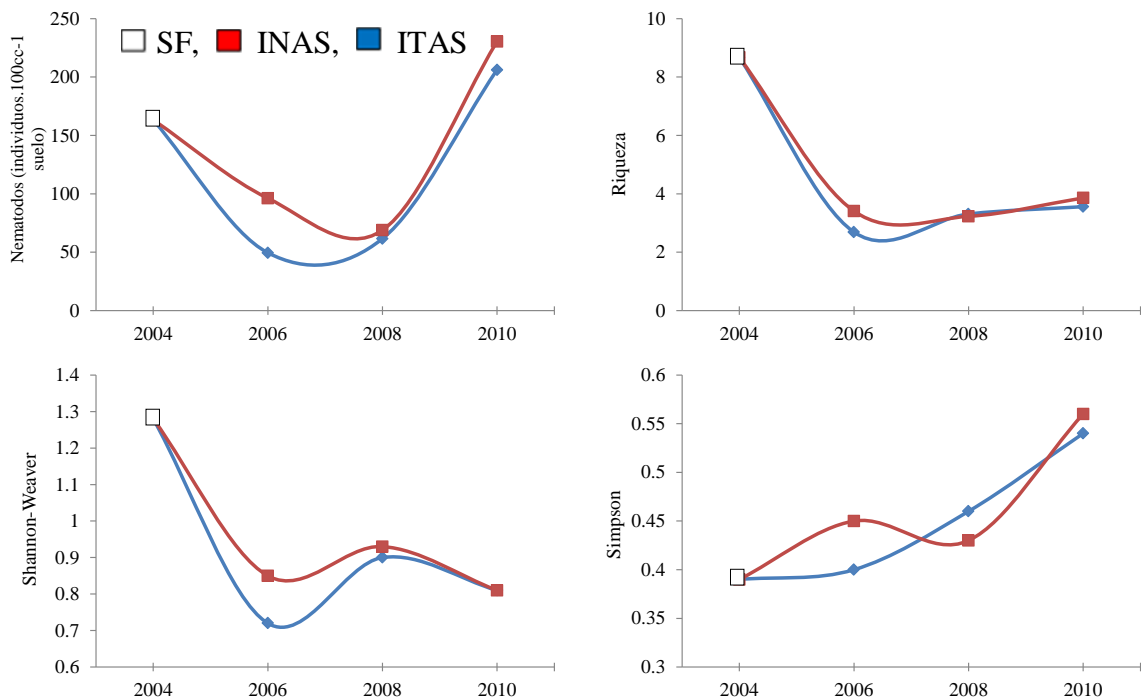


Figura 14. Dinámica de los indicadores biológicos (abundancia de nematodos (individuos/100ccsuelo), riqueza, índice de Shannon-Weaver e índice de Simpson), en los sistemas INAS e ITAS durante los años de evaluación (2004 - 2010) E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú.

En el Cuadro 28, se presenta la abundancia de nematodos y demás indicadores biológicos, en la interacción de los sistemas de producción de cacao y los años evaluados, se observa que la riqueza (8,67) de la comunidad de nematodos en SF (2004) es estadísticamente superior a los demás sistemas y años evaluados. La abundancia de nematodos e índices de diversidad, no resultaron significativos. Blanchart *et al.* (2006), mencionan que la caracterización de la actividad biológica de los nematodos y la diversidad en un suelo puede ayudar a entender la dinámica de su comunidad, además de asegurar el contenido de carbono y nitrógeno en el suelo.

Cuadro 28. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción de los sistemas de producción de cacao durante los años de evaluación (2004-2010). E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Año	Sistema	Abundancia (individuos/100cc suelo)	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
2004	SF	163	8.67 ^a	1.28	0.39
2006	INAS	50	2.69 ^c	0.72	0.40
	ITAS	96	3.41 ^b	0.85	0.45
2008	INAS	62	3.31 ^b	0.90	0.46
	ITAS	69	3.23 ^b	0.93	0.43
2010	INAS	206	3.56 ^b	0.81	0.54
	ITAS	230	3.86 ^b	0.81	0.56
<i>pv</i>		0.1892	0.0146	0.3218	0.3413

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 29, se presenta la interacción entre los sistemas de producción de cacao y las profundidades del suelo evaluadas. Se aprecia que la abundancia de nematodos es significativamente superior en la capa superficial del suelo (0-20cm), en los tres sistemas evaluados SF, INAS e ITAS, con abundancias de 463, 168 y 268 nematodos/100cc suelo, respectivamente. Estas poblaciones se reducen considerablemente al medida que avanza la profundidad. Estos resultados en la abundancia de nematodos, según la profundidad del suelo se relacionan al mejoramiento del suelo debido al crecimiento de los árboles fijadores de N o de árboles/arbustos de raíces profundas que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a través de la fijación biológica, reciclaje de nutrientes desde capas profundas hacia la superficie del suelo y acumulación de materia orgánica en el suelo (Beer *et al.*, 2003).

En los tres sistemas en estudio la mayor acumulación de materia orgánica se presentó en los primeros 20 cm del suelo y entendiéndose que una de las principales funciones de los nematodos del suelo es la liberación de nutrientes para la absorción por las raíces de las plantas. Debido a su corta vida (en su mayoría alrededor de 1 mes por ciclo de vida) y las diferentes funciones de alimentación, estos nematodos del suelo reflejan los cambios ambientales en su comunidad tanto en estructura y composición principalmente en la primera capa del suelo (Ferris *et al*, 2001). Los demás indicadores biológicos no resultaron significativos.

Cuadro 29. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción de los sistemas de producción de cacao en tres profundidades del suelo. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Sistema	Profundidad	Abundancia (individuos/100cc suelo)	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
SF	0 - 20 cm	463 ^a	11.67	1.24	0.41
	20 - 40 cm	35 ^e	6.33	1.22	0.41
	40 - 60 cm	119 ^{cd}	8.00	1.39	0.34
INAS	0 - 20 cm	168 ^c	4.44	1.10	0.41
	20 - 40 cm	76 ^{cde}	2.91	0.76	0.50
	40 - 60 cm	58 ^{de}	2.20	0.57	0.51
ITAS	0 - 20 cm	268 ^b	4.97	1.10	0.44
	20 - 40 cm	94 ^{cde}	3.19	0.85	0.47
	40 - 60 cm	52 ^{de}	2.34	0.64	0.52
<i>pv</i>		0.0196	0.3743	0.4813	0.4642

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 30, se presenta la interacción entre los años y las profundidades del suelo evaluadas en los sistemas de producción de cacao, tanto la riqueza como el índice de diversidad de Shannon-Weaver, resultaron significativos. La abundancia de nematodos agrupa un total de 25 géneros encontrados en este estudio, muchos investigadores han detectado diferencias en las estructuras tróficas en los ecosistemas y confirmaron los grupos funcionales como buenos indicadores de manejo de agroecosistemas. Los grupos funcionales, parásitos, bacteriófagos y micófagos, constituyen la mayor abundancia de nematodos en la mayoría de los ecosistemas (Ferris *et al.*, 2001). Además, los diferentes modos de alimentación (que puede ser relativamente fácil de deducir según la morfología de sus piezas bucales) y las diferentes estrategias de historia de vida hacen que los nematodos del suelo sean adecuados para reflejar los cambios ambientales en su estructura y composición (Moreira *et al.*, 2006).

También es importante señalar que las consecuencias en el cambio de uso del suelo pueden ser predichas solo si la interacción dinámica y funcional de las plantas y la biota del suelo son bien entendidas. Entre la biota del suelo, los nematodos poseen atributos que son usados para reflejar los consecuentes cambios por debajo del suelo en el transcurso del cambio de uso del suelo (Bernard, 1992, Wasilewska, 1997, Ferris *et al.*, 2001, Neher *et al.*, 2005, citados por Yujuan, 2007).

Cuadro 30. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en los sistemas de producción de cacao y la interacción entre los años evaluados y tres profundidades del suelo. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Año	Profundidad	Abundancia (individuos/100cc suelo)	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
2004	0 - 20 cm	463	11.67 ^a	1.24 ^a	0.41
	20 - 40 cm	35	6.33 ^c	1.22 ^a	0.41
	40 - 60 cm	119	8.00 ^b	1.39 ^a	0.34
2006	0 - 20 cm	185	4.95 ^d	1.26 ^a	0.33
	20 - 40 cm	49	2.64 ^f	0.70 ^b	0.44
	40 - 60 cm	22	1.56 ^g	0.39 ^c	0.50
2008	0 - 20 cm	135	4.50 ^d	1.17 ^a	0.38
	20 - 40 cm	49	2.89 ^{ef}	0.85 ^b	0.49
	40 - 60 cm	31	2.42 ^f	0.73 ^b	0.47
2010	0 - 20 cm	351	4.67 ^d	0.87 ^b	0.56
	20 - 40 cm	185	3.62 ^e	0.86 ^b	0.52
	40 - 60 cm	143	2.83 ^{ef}	0.69 ^b	0.57
<i>pv</i>		0.3417	<0.0001	<0.0001	0.0967

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) SNK Alfa=0.05

El la interacción entre los sistemas de producción evaluados y los genotipos e híbrido de cacao, resultaron significativos en la abundancia, riqueza e índice de diversidad de Shannon-Weaver (Cuadro 31). Estos resultados indican que la composición de la comunidad de nematodos en el suelo reflejan las prácticas de manejo agrícola. Aunque la densidad de la abundancia de nematodos no se ha relacionado con su diversidad, se encontró una menor diversidad de nematodos y mayor abundancia en los agroecosistemas que en los ecosistemas nativos (Ferris *et al*, 2001).

Cuadro 31. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción sistemas de producción y genotipos e híbrido de cacao. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Sistema	Genotipo	Abundancia	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
SF	SF	163 ^{ab}	8.67 ^a	1.28 ^a	0.39
INAS	ICS-95	108 ^{ab}	2.89 ^{defg}	0.74 ^{bcd}	0.49
	UF-613	65 ^{ab}	2.48 ^g	0.62 ^e	0.42
	CCN-51	75 ^{ab}	3.19 ^{defg}	0.82 ^{bcd}	0.45
	ICT-1112	86 ^{ab}	2.85 ^{efg}	0.73 ^{bcd}	0.51
	ICT-1026	106 ^{ab}	3.48 ^{cdefg}	0.88 ^{bcd}	0.44
	ICT-2162	81 ^{ab}	3.19 ^{defg}	0.82 ^{bcd}	0.47
	ICT-2171	131 ^{ab}	2.78 ^{efg}	0.65 ^e	0.57
	ICT-2142	46 ^b	2.56 ^{fg}	0.68 ^{cde}	0.49
	H-35	147 ^{ab}	4.19 ^{bcd}	1.13 ^{ab}	0.40
	U-30	184 ^{ab}	4.74 ^b	1.11 ^{abc}	0.40
	Hibrido	58 ^b	2.70 ^{efg}	0.72 ^{bcd}	0.53
ITAS	ICS-95	176 ^{ab}	4.56 ^{bc}	1.05 ^{abcd}	0.42
	UF-613	86 ^{ab}	3.07 ^{defg}	0.74 ^{bcd}	0.48
	CCN-51	147 ^{ab}	3.78 ^{bcdefg}	0.89 ^{bcd}	0.48
	ICT-1112	64 ^{ab}	3.22 ^{defg}	0.84 ^{bcd}	0.46
	ICT-1026	126 ^{ab}	3.07 ^{defg}	0.82 ^{bcd}	0.48
	ICT-2162	92 ^{ab}	3.00 ^{defg}	0.74 ^{bcd}	0.50
	ICT-2171	108 ^{ab}	3.04 ^{defg}	0.76 ^{bcd}	0.54
	ICT-2142	157 ^{ab}	3.96 ^{bcde}	0.95 ^{abcd}	0.45
	H-35	106 ^{ab}	3.41 ^{cdefg}	0.91 ^{bcd}	0.48
	U-30	113 ^{ab}	3.56 ^{cdefg}	0.90 ^{bcd}	0.47
	Hibrido	217 ^a	3.85 ^{bcdef}	0.87 ^{bcd}	0.53
<i>P_v</i>		0.0013	<0.0001	0.0189	0.8492

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

A ello le sumamos que la rizósfera es un área localizada de intensa actividad biológica, en esta zona, por lo tanto, se concentran una gran cantidad de microorganismos, muchos de los cuales pueden ser beneficiosos y a la vez potencialmente patógenos. Poco se conoce de la dinámica poblacional o biodiversidad de los sistemas de producción de cacao y como estos interactúan para una mejor producción de este cultivo. En este caso el sistema forestal presentó la mayor riqueza e índice de diversidad de Shannon-Weaver y la mayor abundancia se registró en el híbrido de cacao en el sistema ITAS con 217 nematodos/100cc suelo. Esto nos indica que las plantas ejercen una fuerte influencia en la composición de las comunidades de nematodos en el suelo a través de la descomposición de materia orgánica y raíces. La unión entre las especies de plantas y estas comunidades en la rizósfera del suelo es estricta, como resultado de su co-evolución (Brimecombe *et al.*, 2001).

El Cuadro 32, detalla la interacción de años y genotipos e híbrido de cacao evaluados en los sistemas de producción. Estos resultados guardan relación con el cuadro anterior, en la cual resultaron significativos los indicadores de abundancia de nematodos, riqueza e índice de diversidad de Shannon-Weaver.

Al estudiar tanto la selva tropical, hábitats naturales y agrícolas, Huang y Cares, (2006), fueron capaces de demostrar que la abundancia y diversidad de nematodos está estrechamente relacionada con la diversidad vegetal (tanto en forma natural y en los sistemas agrícolas), los nematodos parásitos de plantas, es el grupo funcional más importante de la vegetación nativa versus los bacteriófagos en los sistemas agrícolas. La abundancia de los nematodos es generalmente mayor en los sistemas agrícolas. El tipo de suelo también tiene una clara influencia en esta abundancia, pero la naturaleza de este fenómeno aún es poco entendida (Moreira *et al.*, 2006).

Southwood (1996) por su parte, indicó que las comunidades logran el clímax en los hábitats terrestres, sin tener en cuenta sus comunidades iniciales. Esta afirmación también es verdadera para el desarrollo de comunidades de nematodos bajo los cambios de uso del suelo en términos de duración de periodos prolongados de tiempo. A esto se adiciona lo encontrado por Kardol *et al.* (2005), que observaron claros cambios en la diversidad funcional de nematodos como una consecuencia del historial de cambios en los tipos de vegetación.

La rizósfera es el área del suelo inmediata a las raíces y donde tiene lugar una intensa actividad biológica (Kleupfel, 1993). La diversidad de la actividad microbiana en esta rizósfera puede ser beneficiosa o dañina.

Cuadro 32. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en los sistemas de producción de cacao y la interacción entre años evaluados y genotipos e híbrido de cacao. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Año	Genotipo	Abundancia	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
2004	SF	163 ^{abcd}	8.67 ^a	1.28 ^a	0.39
	ICS-95	90 ^{bcde}	4.06 ^{bc}	1.04 ^{abcd}	0.34
	UF-613	18 ^e	1.67 ^e	0.42 ^e	0.32
	CCN-51	88 ^{bcde}	3.39 ^{bcd}	0.87 ^{abcde}	0.33
	ICT-1112	33 ^{de}	2.06 ^{de}	0.54 ^{cde}	0.52
2006	ICT-1026	44 ^{cde}	2.67 ^{bcde}	0.81 ^{abcde}	0.35
	ICT-2162	62 ^{bcde}	2.78 ^{bcde}	0.72 ^{bcde}	0.44
	ICT-2171	44 ^{cde}	2.06 ^{de}	0.51 ^{de}	0.60
	ICT-2142	62 ^{bcde}	2.56 ^{cde}	0.57 ^{cde}	0.53
	H-35	155 ^{abcde}	4.33 ^b	1.09 ^{abc}	0.44
	U-30	126 ^{abcde}	4.39 ^b	1.15 ^{ab}	0.31
	Hibrido	125 ^{abcde}	3.61 ^{bcd}	0.92 ^{abcde}	0.50
	ICS-95	65 ^{bcde}	3.17 ^{bcde}	0.88 ^{abcde}	0.43
	UF-613	53 ^{cde}	3.17 ^{bcde}	0.89 ^{abcde}	0.44
2008	CCN-51	78 ^{bcde}	3.78 ^{bc}	1.01 ^{abcd}	0.44
	ICT-1112	65 ^{bcde}	3.33 ^{bcd}	0.92 ^{abcde}	0.43
	ICT-1026	62 ^{bcde}	2.94 ^{bcde}	0.86 ^{abcde}	0.49
	ICT-2162	65 ^{bcde}	3.17 ^{bcde}	0.88 ^{abcde}	0.44
	ICT-2171	56 ^{cde}	2.94 ^{bcde}	0.87 ^{abcde}	0.47
	ICT-2142	63 ^{bcde}	3.33 ^{bcd}	0.95 ^{abcde}	0.41
	H-35	64 ^{bcde}	3.39 ^{bcd}	1.02 ^{abcd}	0.41
	U-30	83 ^{bcde}	3.83 ^{bc}	1.05 ^{abcd}	0.43
	Hibrido	66 ^{bcde}	2.94 ^{bcde}	0.75 ^{abcde}	0.56
2010	ICS-95	322 ^a	3.94 ^{bc}	0.77 ^{abcde}	0.59
	UF-613	210 ^{abc}	3.50 ^{bcd}	0.74 ^{bcde}	0.60
	CCN-51	170 ^{abcd}	3.28 ^{bcd}	0.69 ^{bcde}	0.63
	ICT-1112	146 ^{abcde}	3.72 ^{bcd}	0.89 ^{abcde}	0.51
	ICT-1026	317 ^a	4.22 ^{bc}	0.88 ^{abcde}	0.53
	ICT-2162	141 ^{abcde}	3.33 ^{bcd}	0.74 ^{bcde}	0.57
	ICT-2171	349 ^a	3.72 ^{bcd}	0.74 ^{bcde}	0.59
	ICT-2142	176 ^{abcd}	3.89 ^{bc}	0.93 ^{abcde}	0.47
	H-35	174 ^{abcd}	3.67 ^{bcd}	0.95 ^{abcde}	0.46
	U-30	254 ^{ab}	4.22 ^{bc}	0.83 ^{abcde}	0.56
	Hibrido	201 ^{abcd}	3.28 ^{bcd}	0.72 ^{bcde}	0.53
<i>pv</i>		0.0542	<0.0001	0.0061	0.1271

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 33, se muestra la interacción entre los sistemas de producción de cacao, años evaluados y las tres profundidades del suelo. La riqueza es el indicador biológico que resultó significativo. Se entiende que la biomasa, actividad y comunidad microbiana es altamente influenciada por características fisicoquímicas y biológicas prevalentes en la rizósfera (Pearce *et al.*, 1995; Sorensen, 1997; citados por Qu, 2008). Es bien conocido que los exudados de la raíz es uno de los factores más importantes que afectan los parámetros microbiológicos (O'Donnel *et al.*, 2001; Matamala *et al.*, 2003; Bais *et al.*, 2004; Yao and Allen, 2006; citados por Qu, 2008) y que la mayor cantidad de biomasa radicular se encuentra entre los primeros 20 cm de suelo, es por ello que existe una mayor riqueza de nematodos en esta sección del suelo. Además, Blanchart *et al.* (2006), realizaron un estudio para evaluar la caracterización y diversidad biológica del suelo que ayude a comprender la estructura dinámica del suelo y flujo de nutrientes. De la nematofauna, cerca de 20000 nematodos fueron extraídos de las muestras de suelo, más de 5000 fueron identificados y el promedio de densidad de nematodos no fue significativamente diferente en los sistemas evaluados, sin embargo, en los 0-10 cm de profundidad la densidad de nematodos fue significativamente superior a las demás profundidades, 10-20 cm y 20-30 cm, en los sistemas evaluados.

Cuadro 33. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción sistemas de producción de cacao, años evaluados y tres profundidades del suelo. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Año	Sistema	Profundidad	Abundancia	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
2004	SF	0 - 20 cm	463	11.67 ^a	1.24	0.41
		20 - 40 cm	35	6.33 ^c	1.22	0.41
		40 - 60 cm	119	8.00 ^b	1.39	0.34
2006	INAS	0 - 20 cm	120	4.27 ^{ef}	1.19	0.32
		20 - 40 cm	35	2.18 ^{hij}	0.55	0.48
		40 - 60 cm	18	1.61 ^{ij}	0.42	0.42
	ITAS	0 - 20 cm	264	5.64 ^{cd}	1.33	0.35
		20 - 40 cm	66	3.09 ^{gh}	0.85	0.40
		40 - 60 cm	26	1.52 ^j	0.36	0.59
2008	INAS	0 - 20 cm	128	4.70 ^{def}	1.23	0.37
		20 - 40 cm	49	2.94 ^{gh}	0.83	0.51
		40 - 60 cm	28	2.30 ^{hij}	0.65	0.51
	ITAS	0 - 20 cm	143	4.30 ^{ef}	1.11	0.39
		20 - 40 cm	49	2.85 ^{gh}	0.86	0.48
		40 - 60 cm	36	2.55 ^{ghij}	0.81	0.43
2010	INAS	0 - 20 cm	274	4.36 ^{ef}	0.90	0.53
		20 - 40 cm	176	3.61 ^{fg}	0.88	0.50
		40 - 60 cm	176	2.70 ^{ghi}	0.63	0.59
	ITAS	0 - 20 cm	438	4.97 ^{de}	0.84	0.58
		20 - 40 cm	195	3.64 ^{fg}	0.84	0.54
		40 - 60 cm	113	2.97 ^{gh}	0.74	0.56
<i>pv</i>		0.3213	0.0291	0.0638	0.0699	

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

El Cuadro 34, se muestra los indicadores biológicos como resultado de la interacción entre los sistemas de producción, años evaluados y genotipos e híbrido de cacao, donde se observa que la riqueza de la comunidad de nematodos es significativamente superior en el sistema forestal el año 2004.

Cuadro 34. Abundancia de nematodos (individuos/100cc suelo), riqueza e índices de diversidad, en la interacción sistemas de producción de cacao, años evaluados y genotipos e híbrido de cacao. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Año	Sistema	Genotipo	Abundancia	Riqueza	Shannon-Weaver	Simpson
2004	SF	SF	163	8.67 ^a	1.28	0.39
		ICS-95	24	2.00 ^{fghi}	0.64	0.38
		UF-613	7	1.00 ⁱ	0.34	0.21
		CCN-51	47	2.56 ^{defghi}	0.69	0.29
		ICT-1112	25	1.67 ^{fghi}	0.46	0.50
2006	INAS	ICT-1026	33	2.44 ^{defghi}	0.75	0.34
		ICT-2162	60	3.11 ^{cdefghi}	0.74	0.50
		ICT-2171	29	2.00 ^{fghi}	0.49	0.52
		ICT-2142	20	1.33 ^{hi}	0.29	0.60
		H-35	239	5.33 ^{bc}	1.37	0.33
		U-30	138	5.33 ^{bc}	1.40	0.21
		Híbrido	57	2.78 ^{cdefghi}	0.76	0.56
		ICS-95	198	6.11 ^b	1.43	0.31
		UF-613	35	2.33 ^{defghi}	0.49	0.43
		CCN-51	141	4.22 ^{bcdefg}	1.05	0.36
2006	ITAS	ICT-1112	42	2.44 ^{defghi}	0.62	0.54
		ICT-1026	57	2.89 ^{cdefghi}	0.87	0.36
		ICT-2162	65	2.44 ^{defghi}	0.70	0.37
		ICT-2171	62	2.11 ^{efghi}	0.53	0.68
		ICT-2142	126	3.78 ^{cdefgh}	0.85	0.45
		H-35	89	3.33 ^{cdefghi}	0.82	0.54
		U-30	114	3.44 ^{cdefghi}	0.89	0.41
		Híbrido	219	4.44 ^{bcdef}	1.07	0.44
		ICS-95	64	3.22 ^{cdefghi}	0.90	0.48
		UF-613	37	3.00 ^{cdefghi}	0.82	0.44
2008	INAS	CCN-51	66	3.78 ^{cdefgh}	1.10	0.39
		ICT-1112	76	3.56 ^{cdefghi}	0.94	0.48
		ICT-1026	79	3.11 ^{cdefghi}	0.83	0.52
		ICT-2162	63	3.33 ^{cdefghi}	0.92	0.39
		ICT-2171	64	3.11 ^{cdefghi}	0.83	0.52
		ICT-2142	44	3.00 ^{cdefghi}	0.89	0.39
		H-35	56	3.56 ^{cdefghi}	1.01	0.45
		U-30	86	4.22 ^{bcdefg}	1.09	0.42
		Híbrido	53	2.56 ^{defghi}	0.61	0.63

Cuadro 34. Continúa...

2008	ITAS	ICS-95	67	3.11 ^{cdefghi}	0.87	0.38
		UF-613	72	3.33 ^{cdefghi}	0.96	0.43
		CCN-51	90	3.78 ^{cdefgh}	0.93	0.49
		ICT-1112	55	3.11 ^{cdefghi}	0.90	0.38
		ICT-1026	47	2.78 ^{cdefghi}	0.88	0.45
		ICT-2162	68	3.00 ^{cdefghi}	0.84	0.48
		ICT-2171	48	2.78 ^{cdefghi}	0.91	0.42
		ICT-2142	85	3.67 ^{cdefgh}	1.01	0.43
		H-35	73	3.22 ^{cdefghi}	1.03	0.38
		U-30	81	3.44 ^{cdefghi}	1.00	0.43
	Hibrido	80	3.33 ^{cdefghi}	0.88	0.49	
2010	INAS	ICS-95	336	3.44 ^{cdefghi}	0.69	0.61
		UF-613	241	3.44 ^{cdefghi}	0.71	0.61
		CCN-51	121	3.22 ^{cdefghi}	0.67	0.66
		ICT-1112	198	3.33 ^{cdefghi}	0.78	0.56
		ICT-1026	267	4.89 ^{bcd}	1.06	0.45
		ICT-2162	128	3.11 ^{cdefghi}	0.80	0.51
		ICT-2171	438	3.22 ^{cdefghi}	0.63	0.65
		ICT-2142	87	3.33 ^{cdefghi}	0.88	0.48
		H-35	180	3.67 ^{cdefgh}	1.01	0.42
		U-30	388	4.67 ^{bcde}	0.84	0.57
	Hibrido	63	2.78 ^{cdefghi}	0.79	0.41	
2010	ITAS	ICS-95	309	4.44 ^{bcdef}	0.86	0.57
		UF-613	181	3.56 ^{cdefghi}	0.76	0.59
		CCN-51	226	3.33 ^{cdefghi}	0.71	0.59
		ICT-1112	102	4.11 ^{bcdefg}	0.99	0.46
		ICT-1026	371	3.56 ^{cdefghi}	0.70	0.62
		ICT-2162	155	3.56 ^{cdefghi}	0.67	0.64
		ICT-2171	269	4.22 ^{bcdefg}	0.85	0.53
		ICT-2142	295	4.44 ^{bcdef}	0.99	0.46
		H-35	169	3.67 ^{cdefghi}	0.89	0.51
		U-30	149	3.78 ^{cdefgh}	0.81	0.56
	Hibrido	417	3.78 ^{cdefgh}	0.65	0.65	
<i>pv</i>			0.2919	0.0034	0.1299	0.3440

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) SNK Alfa=0.05

En los estudios realizados por Yuhuan *et al.* (2007), mencionan que después de la conversión de la vegetación natural de los ecosistemas a agroecosistemas, la abundancia de nematodos del suelo decreció considerablemente en los primeros años, pero luego se recuperó al promediar los siete años de manejo de los agroecosistemas. Esta tendencia se correlaciona con los cambios en la materia orgánica del suelo, concentración de nitrógeno y fósforo, los cuales decrecieron desde la conversión de la vegetación natural hasta los tres años de manejo de los agroecosistemas, recuperándose al pasar los años. Esto sugiere que

en los primeros años del proceso de cambio en el uso del suelo, la vegetación se desarrolla con el stock de materia orgánica presente en el suelo, ello conlleva a una disminución de los nutrientes en el suelo y una reducción en la abundancia de nematodos.

Esta riqueza variante en la comunidad de nematodos también concuerda con diversos estudios que demuestran que las plantas afectan la comunidad de nematodos en el suelo y que identificar las especies de plantas es importante para entender la composición de la comunidad y abundancia de los nematodos. Por ello es necesario identificar las especies de plantas y la composición de la comunidad de plantas porque son factores importantes en la función de la comunidad del suelo. La fauna del suelo también es afectado por especies específicas de plantas (Viketoft, 2008)

Los genotipos e híbrido de cacao evaluados afectan el desarrollo de la comunidad debajo del suelo por medio de las diferencias en la cantidad y calidad de los recursos presentes en el suelo, desde que las plantas absorben los nutrientes y agua del suelo y son los responsables de la composición química del humus producido y la formación y modificación de hábitats (Wardle, 2002). Además, todos los nutrientes que las plantas absorben del suelo pasan a través de la rizósfera y los cambios físicos y químicos creados en esta zona del suelo por las raíces de las plantas y los microorganismos podrían afectar el desarrollo de la planta. La abundancia de microorganismos en la rizósfera afecta a su hospedante a través de la influencia sobre los factores como la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento y morfología de las raíces, absorción de nutrientes, fisiología y desarrollo de las plantas. Es muy difícil establecer la magnitud de estos efectos debido a que todas las plantas crecen bajo condiciones naturales y viven en asociación con microorganismos (Rovira y Davey, 1971).

La diversidad biológica del suelo, es parte importante de la salud y estabilidad del agroecosistema. Una amplia mezcla de organismos crea un sistema en el cual la competencia por las fuentes alimenticias, nichos y dinámicas depredador-presa, ayudan a limitar las poblaciones de bacterias y hongos que causan enfermedades, nematodos parásitos de las plantas y problemas insectiles (Magdoff, 1999).

4.6. Índice de calidad de suelos

La calidad del suelo se define como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema en una manera que contribuye a la productividad de plantas y animales, mantiene o mejora la calidad del agua y el aire y apoya el desarrollo de la población humana. Por lo tanto, la calidad del suelo es necesaria para el desarrollo de un sistema de producción sostenible (Smyth, 1996).

Se procedió a utilizar la metodología propuesta por Andrews *et al.* (2002) y se calculó el Índice de Calidad de Suelos Aditivo (ICSA) con todos los indicadores del suelo evaluados en este estudio. En el Cuadro 35 se muestran los índices de calidad de suelos que fueron logrados por los sistemas de producción de cacao, pese a que no se encontraron diferencias significativas entre ellos, el sistema forestal (SF) logró una significativa superioridad en su índice de calidad frente a los demás sistemas evaluados. Esta superioridad se debe a que las propiedades físicas, químicas y biológicas dentro del sistema suelo se encuentran en un balance adecuado, debido a que los árboles y arbustos cumplen una función esencial en la fertilización natural del suelo, principalmente aquellos fijadores de nitrógeno. También los árboles, al retener el agua de lluvia y propiciar la conservación de la humedad ambiente, son de mucho valor para hacer frente a las amenazas de disminución de las precipitaciones pluviales y sequía en las regiones tropicales. Es por ello que los ecosistemas boscosos desempeñan un papel importante en regular el flujo de agua y mantener la humedad dentro del suelo y hacer mucho más funcional el sistema. Los sistemas agroforestales de cacao y bosques tienden a ser similares. Por consiguiente, el cacao tiene un impacto positivo en la conservación de las cualidades de los suelos (Schroth y Harvey 2007), reforzando la idea de que este sistema agroforestal puede ser considerado un sistema benéfico para el suelo y hojarasca en el tiempo (Moço *et al.* 2009, 2010).

Cuadro 35. Índices de calidad de suelos en los sistemas de producción de cacao evaluados. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

INDICE	Sistemas			<i>p^v</i>
	<i>SF</i>	<i>INAS</i>	<i>ITAS</i>	
Índice de Calidad del Suelo	13.89	12.78	12.89	0.3755

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 36, se muestran los índices de calidad de suelos en función a los años evaluados, donde se observa que el índice de calidad de suelos (13,89) logrado el año 2004, supera significativamente a los demás años en estudio, siendo el año 2006, el que presenta el menor índice de calidad de suelos. Los ecosistemas naturales se encuentran en un estado dinámico de constantes cambios, la materia se recicla a través de los componentes del sistema, las poblaciones se desarrollan, el arreglo espacial de los organismos cambia con el tiempo. A pesar de esta dinámica interna, los ecosistemas son prácticamente establecidos en lo que respecta a su estructura y función general, siendo el suelo un componente fundamental en este ecosistema. La manipulación y la alteración que el ser humano hace de los ecosistemas con el propósito de producir alimentos, hace que el sistema vea reducida su diversidad en estructura y función, siendo menos resistentes a las perturbaciones y el mayor tiempo que lleva recuperarse (Gliessman, 2002). En este sentido el SF presentó el mayor índice de calidad de suelos debido al dinamismo y la estabilidad con que se encontraron sus componentes principalmente el suelo. Al transformar estos ecosistemas a sistemas agroforestales u otro tipo de manejo, el sistema se ve alterado y tienden a recuperarse en función al tiempo y al manejo de estos sistemas, como por ejemplo los sistemas agroforestales de cacao y café que son diversificados con árboles de sombra multiestratificada que permiten una producción estable de frutas, leña, forraje, etc., en el medio de fluctuaciones climáticas, sin ser dependientes de insumos externos, con bajos costos de producción y, a la vez, conservando los recursos naturales de la finca, como el suelo, agua y biodiversidad (Altieri y Nicholls, 2011).

Cuadro 36. Índices de calidad de suelos en los sistemas de producción de cacao en los años evaluados. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

INDICE	Año				p ^v
	2004	2006	2008	2010	
Índice de Calidad de Suelos	13.89 ^a	12.51 ^b	12.91 ^b	13.09 ^b	<0.0001

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes (p<= 0.05) SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 37, se observa los índices de calidad de suelos en función las tres profundidades del suelo evaluadas en este estudio. La capa superficial del suelo, de mayor porcentaje de materia orgánica (3,45%) en los primeros 20 cm, de máxima actividad biológica y de mejores condiciones físicas, alcanzó un índice de calidad de suelos, significativamente superior a los demás índices de calidad logrados a mayores profundidades.

Las propiedades biológicas del suelo incluyen la cantidad, actividad y diversidad de la fauna del suelo, microflora y enzimas. Estos componentes regulan los procesos microbiológicos y bioquímicos del suelo, los ciclos de carbono y de los nutrientes, la degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos que afectan las propiedades físicas y químicas del suelo, influenciando la dirección del cambio de la calidad del suelo (He *et al.*, 2003), estas condiciones se presentan con mayor intensidad en la capa superficial del suelo.

Cuadro 37. Índices de calidad de suelos en los sistemas de producción de cacao evaluados a tres profundidades del suelo. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

INDICE	Profundidad			pv
	0-20cm	20-40cm	40-60cm	
Índice de Calidad de Suelos	13.41 ^a	12.63 ^b	12.51 ^b	<0.0001

Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

En el Cuadro 38, se presentan los índices de calidad de suelos para cada genotipo e híbrido de cacao, donde se observa que el mayor índice lo logró SF, superando significativamente a los demás componentes en estudio. A pesar de que los genotipos no difieren significativamente entre ellos, estos forman parte de los sistemas de producción evaluados en este estudio, en tal sentido, la agroforestería en el trópico húmedo debe cumplir la función de producir cultivos múltiples, combinando el cacao con diversas especies forestales y otras. En el manejo de este sistema, denominado multiestrato, debe primar la técnica de bajos insumos, cuya filosofía es adaptar las plantas a las limitaciones del suelo y no modificar el suelo a las necesidades de la planta.

Cuadro 38. Índices de calidad de suelos en los sistemas de producción con los genotipos e híbrido de cacao. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Genotipo	Índice de Calidad de Suelos
SF	13.89 ^a
ICS-95	12.82 ^b
UF-613	12.47 ^b
CCN-51	12.67 ^b
ICT-1112	13.14 ^b
ICT-1026	12.94 ^b
ICT-2162	12.70 ^b
ICT-2171	13.03 ^b
ICT-2142	12.68 ^b
H-35	12.88 ^b
U-30	13.05 ^b
Hibrido	12.80 ^b
<i>pv</i>	0.0342

Medias con una letra común en columna no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) SNK Alfa=0.05

En la Figura 15, se muestra los índices de calidad de suelos logrados por cada uno de los genotipos en estudio en cada sistema de producción de cacao, se aprecia que los mejores índices fueron alcanzados por el genotipo ICT-2171 en INAS e ICT-1112 en ITAS.

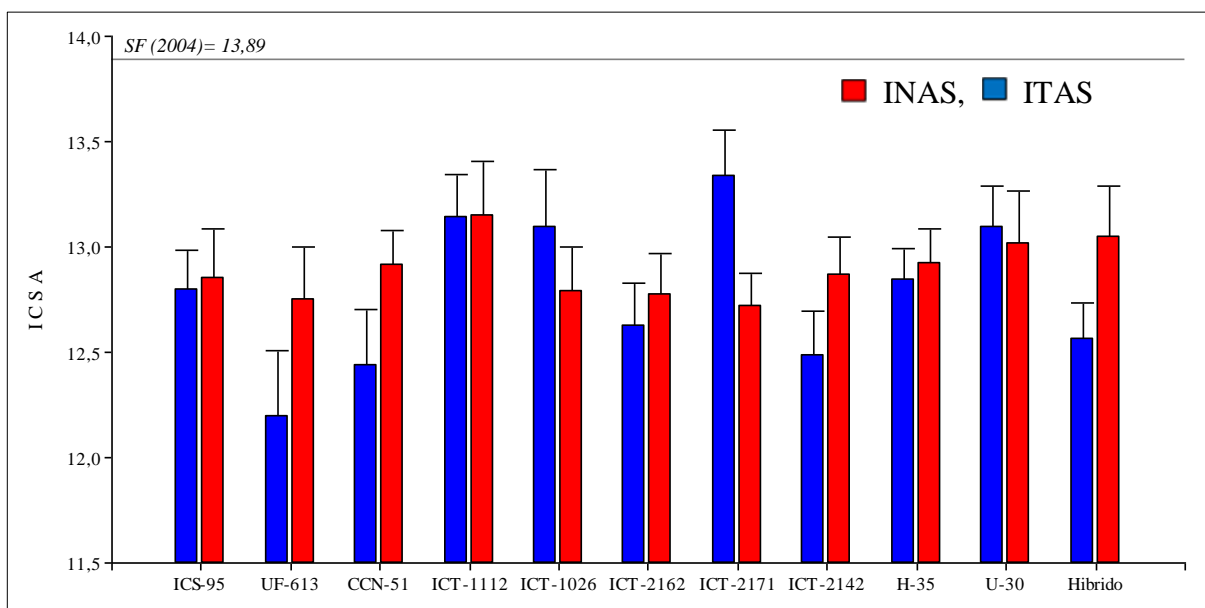


Figura 15. Índice de calidad de suelos, logrados por cada genotipo e híbrido de cacao en los sistemas INAS e ITAS evaluados en este estudio. E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú.

La interacción de los años evaluados y los sistemas de producción de cacao se presentan en el Cuadro 39, donde se detalla las diferencias significativas de los índices de calidad de suelos, alcanzados por los sistemas en estudio en cada año de evaluación. Los índices de calidad de suelos, presentaron una ligera recuperación al año 2010, en ambos sistemas, esto debido a que los árboles de sombra en cultivos perennes (como el cacao) aportan hojarasca y residuos de podas que cubren el suelo, reduce el impacto de las gotas de lluvia, la velocidad de escorrentía y la erosión, mejoran la estructura, el contenido de N y la retención de nutrientes en el suelo (Fassbender *et al.*, 1991; Beer *et al.*, 1998 citados por Beer *et al.*, 2003), mejorando así la calidad de los suelos en función al tiempo.

Cuadro 39. Índices de calidad de suelos en la interacción años y sistemas de producción de cacao. E.E. “El Choclino”, San Martín – Perú.

Año	Sistema	Índice de Calidad de Suelos
2004	SF	13.89 ^a
2006	INAS	12.26 ^c
	ITAS	12.76 ^b
2008	INAS	12.99 ^b
	ITAS	12.83 ^b
2010	INAS	13.10 ^b
	ITAS	13.08 ^b
<i>pv</i>		0.0047

Medias con una letra común en columna no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) SNK Alfa=0.05

Así mismo, la comunidad de organismos (fauna y microorganismos) en el suelo juegan un rol crucial en mantener la calidad y fertilidad del suelo, debido a su participación en el ciclo de nutrientes a través de la descomposición de la materia orgánica, mejorando los procesos físicos del suelo y almacenamiento de nutrientes (Tian y Badejo, 2001).

En la Figura 12, se muestra los índices de calidad de suelos logrados en los sistemas de producción de cacao durante los años de evaluación, el mayor índice de calidad se presenta en el 2004 al inicio de todo el proceso, se interviene el bosque secundario y se instala los sistemas de producción INAS e ITAS, reduciendo la calidad del suelo en el año 2006, por

la alteración del sistema, durante los años siguientes 2008 y 2010, se observa una tendencia a la recuperación del suelo en ambos sistemas, debido a que sus propiedades físicas, químicas y biológicas se van regulando, principalmente esta última, porque los microorganismos difieren en su sensibilidad a los cambios nutricionales y ambientales. Algunas poblaciones, más tolerantes al estrés, pueden sobrevivir mientras que las poblaciones más sensibles pueden desaparecer en condiciones cambiantes. Por lo tanto, los parámetros de la estructura de la comunidad microbiana, puede ser evaluada por diferentes técnicas fisiológicas, bioquímicas o moleculares, recomendándose como un indicador biológico de la calidad del suelo o la sostenibilidad (He *et al.*, 2003).

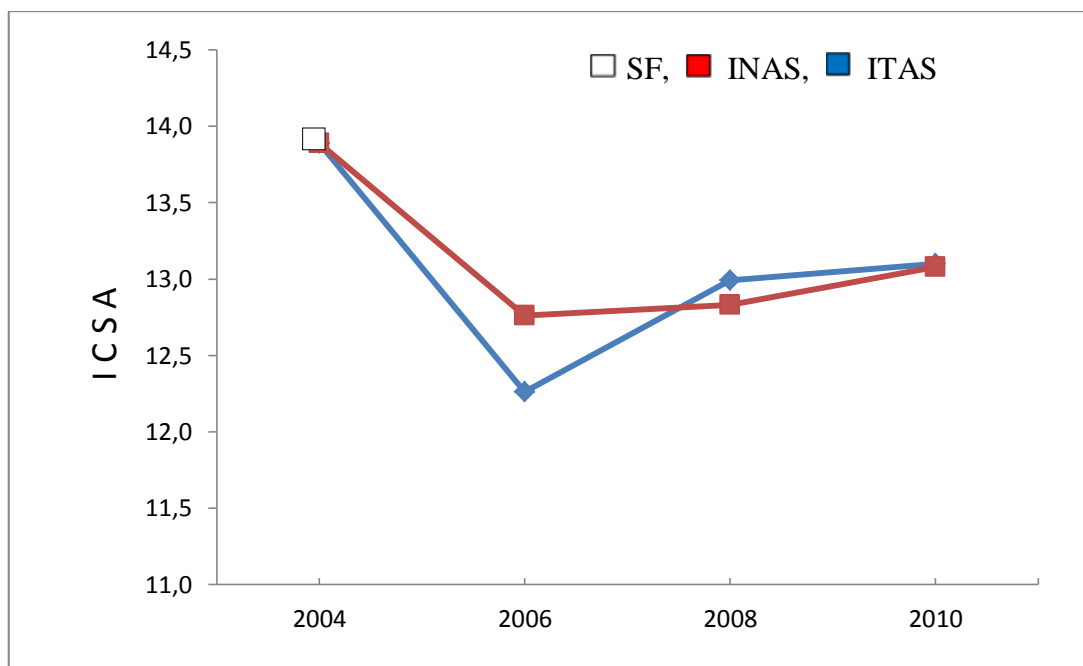


Figura 16. Índices de calidad de suelos logrados en los sistemas INAS e ITAS durante los años evaluados (2004 – 2010) E.E. “El Choclino”- San Martín, Perú.

4.7. Productividad de los genotipos de cacao

En la Figura 13, se aprecia la productividad de los genotipos de cacao después de cuatro años de instalados, los mejores rendimientos se lograron con ICT-2171, ICT-2142 y CCN-51, con 624,5; 609,2 y 598,5 kg ha⁻¹, respectivamente, para el sistema ITAS, por otro lado los mejores rendimientos alcanzados en el sistema INAS, son logrados por ICT-2142, ICT-2171 e ICT-1112, con 536,8; 345,5 y 271,5 kg ha⁻¹, respectivamente. Entendiendo que la creciente presión sobre el suelo debida a la explosión demográfica registrada en muchos lugares del trópico, puede conducir a la degradación del mismo con la disminución de los rendimientos de los cultivos y la invasión de malezas difíciles de controlar y una de las alternativas para frenar este proceso es la explotación de la tierra a través de sistemas agroforestales o agroforestería (López, 2007).

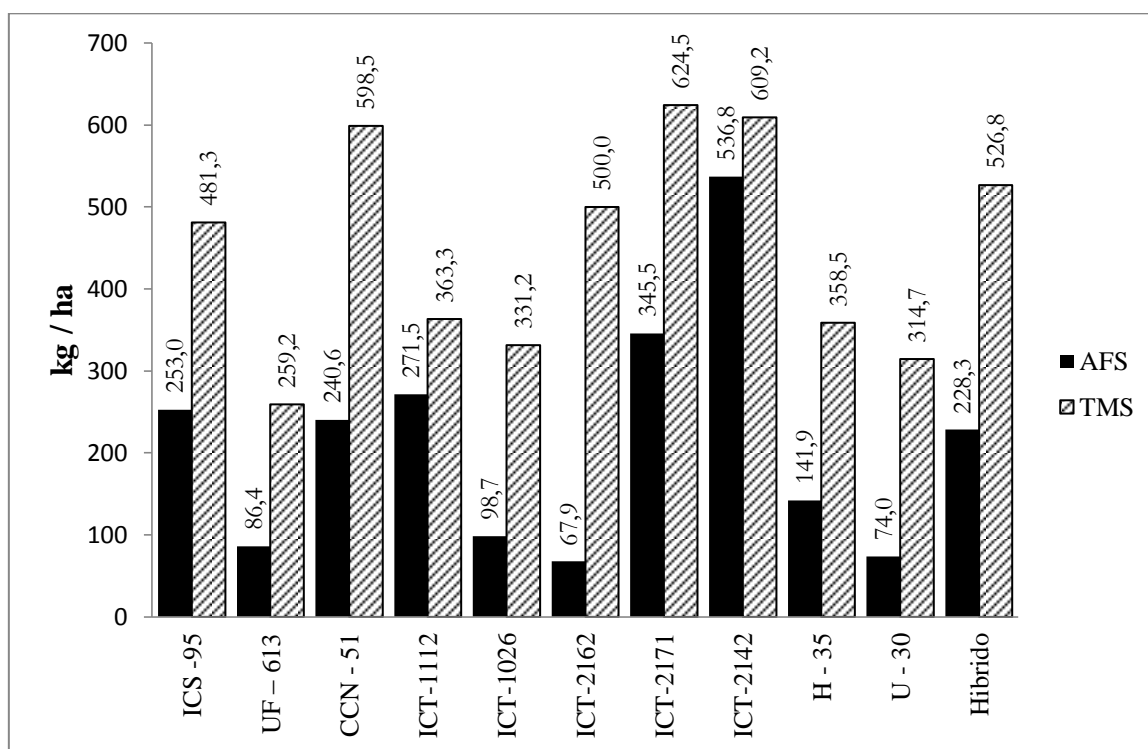


Figura 17. Productividad de los genotipos de cacao evaluados en los dos sistemas de manejo al cuarto año de su instalación (2010). E.E. “El Choclorino”- San Martín, Perú.

Finalmente, los INAS son producto de la co-evolución entre las comunidades y los ecosistemas, constituyendo un ingenioso legado para el futuro y por lo tanto su conservación dinámica es esencial. Pero en adición a la conservación de los sistemas INAS locales y a la compensación de los agricultores por sus servicios, una tarea pendiente es fomentar un proceso de generalización de las innovaciones exitosas basadas en los INAS.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones del desarrollo del presente trabajo experimental se arriba a las siguientes conclusiones:

1. La dinámica de algunas propiedades físicas como la textura del suelo no ha sido significativa por efecto de los sistemas comparados (INAS e ITAS) y los años evaluados (2004-2010), debido a que este indicador no está marcadamente influenciado por las prácticas de manejo y no cambian durante un corto periodo de tiempo o aún en décadas.
2. El sistema INAS con genotipos mejorados de cacao tendieron a mejorar algunas propiedades físicas del suelo como la densidad aparente, la porosidad y la retención de agua en forma disponible, estos cambios se pueden relacionar con la acumulación de materia orgánica a medida que transcurre el tiempo, ya que la materia orgánica es un factor fundamental que influencia la estructura del suelo al mejorar la estabilidad de los agregados y favorece una mejor distribución de poros de diferentes tamaños y mejora la capacidad retentiva del agua.
3. Cuando se compararon las propiedades químicas iniciales del suelo con el estado inicial en sistemas de bosque secundario con el INAS para cada una de los genotipos de cacao se encontró una disminución en las sales para todos los genotipos, aumento en la materia orgánica y saturación de bases.
4. Se logró identificar un total de 25 géneros de nematodos, registrándose una comunidad variable durante los años 2004 al 2010, demostrando que al modificar la vegetación natural de los ecosistemas (SF) a sistemas agroforestales (INAS e ITAS), la abundancia, riqueza y los índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson, variaron al transcurrir el tiempo.
5. Existe una mayor abundancia de nematodos en la sección superficial del suelo (0-20cm), debido a la mayor biomasa radicular que se encuentra en esta sección y por las características físico-químicas y biológicas prevalentes en la rizósfera de los genotipos de cacao y las demás especies de plantas presentes en los sistemas. La instalación de

un nuevo cultivo dentro de un bosque secundario origina alteraciones en la población y diversidad de hongos y nematodos generalmente reduciéndolas y después tiende a recuperarse con el tiempo.

6. La riqueza y el índice de Shannon-Weaver de hongos y nematodos del suelo asociados al rizósfera de genotipos de cacao, decrecen, mientras que el Índice de Simpson se incrementa, como consecuencia de las modificaciones que se hacen en su habitat natural al instalar nuevos sistemas de producción de cacao.
7. El presente estudio indicó que las comunidades de hongos han demostrado cambios en los sistemas INAS e ITAS, principalmente después de la quema del bosque secundario (SF), al reducir significativamente su población y posterior recuperación por la incorporación de residuos vegetales e incremento de materia orgánica en el suelo, durante los años de evaluación.
8. El cultivo de cacao y las prácticas de manejo han influenciado la actividad de la población fungosa en la rizósfera del suelo, es por ello que el sistema (SF) y genotipos de cacao (ICT-2142 y U-30) evaluados, variaron la abundancia de hongos en la rizósfera del suelo, debido a los procesos bioquímicos influenciados por las raíces de las plantas y características del suelo. El genotipo ICS-95 y U-30, favorecieron una mayor población de hongos alrededor de su rizósfera.
9. En los primeros 20 cm de profundidad de los suelos se dio la máxima actividad biológica y las mejores condiciones físicas habiendo alcanzado un índice de calidad de suelos, significativamente superior a los demás índices de calidad logrados a mayores profundidades.
10. Los mejores índices de calidad de suelos fueron alcanzados por el genotipo ICT-2171 en sistemas agroforestales y el ICT-1112 en ITAS.
11. Los índices de calidad de suelos logrados en los sistemas de producción de cacao durante los años de evaluación se presentaron en el año 2004 al inicio de todo el proceso en la cual, se intervino el bosque secundario y se instaló los sistemas de producción INAS e ITAS, reduciéndose la calidad del suelo en el año 2006, por la alteración del sistema y durante los años siguientes 2008 y 2010, se aprecia una clara recuperación de los sistemas en términos de calidad del suelo.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

En el marco de la agricultura sustentable es importante conocer los factores involucrados en el establecimiento de sistemas de producción de cacao que contribuyan a la sostenibilidad de estas actividades en el trópico húmedo, de tal manera que se constituyan en ejes de manejo amigable con el medio ambiente, económicamente rentables y que permita sostener las familias de los pequeños productores de cacao en nuestra amazonia, en base a nuestros resultados se presentan algunas recomendaciones:

1. Realizar investigaciones sobre los sistemas de producción que predominan en nuestra amazonia y como estos influyen en la diversidad biológica del suelo y su entorno, en que participe el productor para un mejor entendimiento de los sistemas.
2. Es necesario involucrar factores económicos que nos permitan valorar los diferentes sistemas y su aporte a la sostenibilidad productiva del cacao en la Amazonia Peruana.
3. Promover los sistemas de producción de cacao que involucren la menor alteración del hábitat natural del bosque a fin de conservar y sostener el sistema en el que la actividad de la micro y macrofauna sea eficiente en el reciclaje de nutrientes para una mejor productividad del cacao
4. Estudiar los demás componentes de la biodiversidad de estos sistemas de producción de cacao como es la macro, micro y mesofauna involucrada a fin de determinar su rol en la dinámica productiva y su efecto en las condiciones físico-químicas del suelo que conlleven a mejores índices de calidad del recurso suelo.

CAPITULO VII

LITERATURA CITADA

- Alegre, J. 1993. Manejo y conservación de suelos y su importancia en sistemas agroforestales. Instituto Nacional de Investigación Agraria, Proyecto Suelos Tropicales. En: Meza, L. A & Cornelius, J. (Editores). 2006. La Agroforestería en Perú, con énfasis en la Amazonia: una Bibliografía Anotada. World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Alegre, J.C. 1996. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash-and-burn. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 58:39–48.
- Alegre, J.; Arévalo, L.; Ricse, A.; Callo-Concha, D.; Palm, C. 2006. Secuestro de Carbono con Sistemas Alternativos en el Perú. En: *Sistemas Agroforestais, Tendência da Agricultura Ecológica nos Trópicos: Sustentação da vida e Sustentação de vida*. IV Congresso Brasileiro de Sistemas Agroforestais.
- Alexander, M. 1981. *Introducción a la Microbiología del Suelo*. 2a. Ed. Traducido al español por Juan Peña. México: Editorial AGT. 491p.
- Alexander, M. 1977. *Introducción to soil microbiology*, segunda edición. John Wiley, New York, N.Y. 467 p.
- Altieri, M.; Nicholls, C. 2004. Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados en el trópico. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 73:8-20.
- Altieri, M.; Nicholls, C. 2011. El potencial agroecológico de los sistemas agroforestales en América Latina. *Leisa - Revista de Agroecología*. 27:32-35.
- Altieri, M.; Nicholls, C. 2008. Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. *Suelos vivos. LEISA revista de agroecología* 24:6-8.
- Álvarez, C.E.; Carracedo, A.E.; Iglesias, E. and Martínez, M.C. 1993. Pineapples cultivated by conventional and organic methods in a soil from a banana plantation: A comparative study of soil fertility, plant nutrition, and yields. *Biological Agriculture & Horticulture* 9:161–171.

- Amusan, A.A; Shitu A.K; Makinde, W.O and Orewole O. 2006. Assessment of Changes in Selected Soil Properties Under Different Land Use in Obafemi Awolowo University Community, ILE-IFE, Nigeria. *EJEAFChe*, 5:1178-1184.
- Andrews, S.S.; Karlen, D.L.; Mitchel, J.P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90:25-45.
- Arévalo, G.E. 2005. Dinámica poblacional de hongos y nematodos del suelo. Resumen Seminario II, Doctorado en Agricultura Sustentable. UNALM.
- Arévalo, G.E. 2012. Identificación del cacao criollo como producto nativo de la biodiversidad de San Martín y Evaluación de su potencial regional. Informe GIZ :14-17.
- Arévalo, L. 1993. Los multiestratos: un sistema mixto de producción. Instituto Nacional de Investigación Agraria, Proyecto Suelos Tropicales. En: Meza, L. A & Cornelius, J. (Editores). 2006. *La Agroforestería en Perú, con énfasis en la Amazonia: una Bibliografía Anotada*. World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Ariena H.C.; Von Bruggen, Semenov A. M, Diepeningen A.D, Vos O. J, Blok W. J. 2006. Relation between Soil Health, Wave-like Fluctuations in Microbial Populations, and Soil-borne Plant Disease Management. *European Journal of Plant Pathology* . 115: 105-122
- Arnold, E.A.; Engelbrecht, B. 2007. Fungal endophytes nearly double minimum leaf conductance in seedling of a neotropical tree species.
- Atkinson, D.; Watson, C.A. 2000. The beneficial rhizosphere: a dynamic entity. *Applied Soil Ecology*. 15: 99-104.
- Baird, E.R.; Watson, E.C.; Scruggs, M. 2003. Relative longevity of *Macrophomina phaseolina* and associated mycobiota on residual soybean roots in soil. *Plant Disease* 87:563-566.
- Baker, K.F.; Cook, R.J. 1974. *Biological control of plant pathogens*. Freeman, San Francisco. 433 p.

- Baligar, V.C.; Elson M.K.; Meinhardt, L.W. 2007. Cover crops useful for improving soil productivity under cacao. USDA-ARS Beltsville Agricultural Research Center, Beltsville. USA.
- Baligar, V.C.; Fageria, N.K. 2007. Agronomy and physiology of tropical cover crops. *Journal of Plant Nutrition* 30: 1287-1339.
- Barnes, B.; Zak, D.; Denton, S.; Spurr, S. 1998. *Forest Ecology*. Fourth Edition. John Wiley & Sons.
- Barnett, H.L.; Hunter, B.B. 1998. *Illustrated genera of Imperfect Fungi*. Fourth Edition. The American Phytopathological Society. 218 p.
- Barron, L.G. 1968. *The genera of hyphomycetes from Soil*. The Williams & Wilkins Company. Co, Baltimore, Maryland. 364 p.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, J; Somarriba, E; Jimenez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):80-87.
- Beer, J.; Ibrahim, M.; Somarriba, E.; Barrance, A.; Leakey, R. 2004. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. Capítulo 6. Árboles de Centroamérica. OFICATIE.46 p.
- Benzing, A. 2001. *Agricultura orgánica, fundamentos para la región andina*. Neckar-Verlag, Villingen-Schwenningen, Alemania, 682 p.
- Blanchart, E.; Villenave, C.; Viallatoux, A.; Barthes, B.; Girardin, C.; Azontonde, A.; Feller C. 2006. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern in Benin. *European Journal of Soil Biology* 42: 136-144.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *ecologia* 83:14-19.
- Bongers, T.; van der Meulen, H.; Korthals, G. 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology* 6:195-199.

- Bongers, T.; M. Bongers. 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10:239-251.
- Bouza, C.; Cobarrubia, D. 2005. Estimación del índice de diversidad de Simpson en m sitios de muestreo. *Revista Investigación Operacional* 26(2):187-197.
- Brimecombe, M.J.; De Lelj, F.A.; Lynch, J.M. 2001. The Rhizosphere. The Effect of Root Exudates on Rhizosphere Microbil Populations. *In: R Pinton; Z Varanini & P Nannipieri (eds.). The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. Marcel Dekker, New York, pp 95-140.*
- Buchanan, B.; Khresat, S.; Lidermann, W.; Pelletier-Huanyandi, M.; Purves, P.; Shelton, P.; Vinson, J.; Williams, B.; Jones, T.; Mccaslin. 1993. *Introduction to soil – a laboratory manual*. Department of Agronomy and Horticulture. New México State University. 7th Edition. Chaper 11.
- Bunch, R. 2008. El manejo del suelo vivo. *Suelos vivos. LEISA revista de agroecología* 24(2):5
- Canto, M. 2005. Nematología. Curso de Post Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Canto, M. 2005b. Manual de Nematología. Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento Académico de Entomología y Fitopatología. Lima. 98 p.
- Cares, J.H.; Huang, S.P. 1991. Nematode fauna in natural and cultivated cerrados of Central Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 16:199-209.
- Cassel, K. 2006. Applied soil physics for agricultural soil management. *Memorias del X Congreso Nacional y III Internacional de la Ciencia del Suelo, del 06 al 10 de noviembre. Lima – Perú.*
- Chavez, H.B.; Bloss, H.E.; Bolyle, A. M.; Gries, G.A. 1976. Effects of crop residues in soil on *Phymatotrichum omnivorum* root rot of cotton. *Mycopathologia*. 58:1-7.
- Chet, I.; Baker, R. 1981. Isolation and biocontrol potential of *Trichoderma hamatum* from soil naturally suppressive of *Rhizoctonia*. *Phytopathology* 71:286-290.

- Chokkalingan, U.; de Jong, W. 2001. Secondary forests: a working definition and typology. *International Forestry Review* 3:19-26
- Clark, M.S.; Horwath, W.R.; Shennan, C.; Scow, K.M. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agronomy Journal* 90: 662-671
- Cobb, N.A. 1914. The North American free-living freshwater nematodos. *Trans. Am. Microscop. Soc.* 33 p.
- Da Silva Moço, M.K.; da Gama-Rodrigues, E. F.; da Gama-Rodrigues, A. C.; Machado R. C. R and Baligar. V. C. 2009. Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil.2009. *Agroforestry Systems*. 76 (1):127-138
- Da Silva, M.; Umbuzeiro, G.A.; Pfenning, L.H.; Canhos, V.P; and Esposito, E. 2003. Filamentous fungi isolated from estuarine sediments contaminated with industrial discharges. *Soil and Sediment Contamination* 12:345-356.
- Dalmastri, C.; Chiarini, L.; Cantale, C.; Bevivino, A.; Tabacchioni, S. 1999. Soil type and maize cultivar affect the genetic diversity of maize root-associated *Burkholderia cepacia* populations. *Microb Ecol* 38:273–284
- Davet, P.; Rouxel, F. 2000. Detection and isolation of soil tropical microfungi, H. D. Hyde (ed.). *Hong Kong University fungi*. Science, Enfield, New Hampshire. 188 p.
- Dhingra, O. 1995. *Basic Plant Pathology Methods*, Boca Raton. Lewis Publishers. Pages 267-285
- Dhingra, O.D.; Sinclair, J.B. 1985. *Basic Plant Pathology Methods*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 355 pp.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dominguez, J.A.; De la Cruz, R. 1994. Competencia de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.). CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- Dourojeanni, M.; Barandiarán, A.; Dourojeanni, D. 2010. Amazonía Peruana en 2021. Explotación de recursos naturales e infraestructura: ¿Qué está pasando? ¿Qué es lo que significa para el futuro? 2da. Edición. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental - SPDA. Lima – Perú. pp.182.
- Drinkwater, L.E.; Letourneau, D.K.; Workneh, F.; Bruggen, AHC van; Shennan, C. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications* 5(4):1098-1112.
- Elliot, C.A. 1990. Diversity index. In: Principles of Managing Forests for Biological Diversity. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Elliot, E.T.; Burke, I.C.; Monz, C.A.; Frey, S.D. 1994. Terrestrial carbon pools: preliminary data from the Corn Belt and Great Plains regions. p.179-191. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. Special Publication Number 35, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Ellis, M.B. 1971. Dematiaceous hyphomycetes. Commonwealth Micological Institute. Kew, Surrey, England. 608 p.
- Elmholt, S. 1996. Microbial activity, fungal abundance, and distribution of *Penicillium* and *Fusarium* as bioindicators of a temporal development of organically cultivated soils. *Biol Agric Hort* 13:123-140.
- Fageria, N.K.; Baligar, V.C.; Clark, R.B. 2006. Physiology of Crop Production. Food Products Press. Binghamton, New York - USA.
- Ferris, H.; Bongers, T.; Goede, R. 2001. A framework for soil food web diagnostic: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18:13-29.
- Flores, P. S. 1998. Agroforestería Amazónica: Una Alternativa a la Agricultura Migratoria. Capítulo 10. En: Geocología y Desarrollo Amazónico. Estudio integrado en la zona de Iquitos, Perú.

- Funes-Monzote, F.; Hernández, A.; Bello, F.; Álvarez, A. 2008. Fertilidad del suelo largo plazo en sistemas biointensivos. *Suelos vivos. LEISA revista de agroecología* 24(2):9-12.
- Garbeva, P.; Van Veen, J.A.; Van Elsas, J.D. 2004. Microbial diversity in soil: Selection of Microbial Populations by Plant and Soil Type and Implications for Disease Suppressiveness. *Annual Review of Phytopathology*. 42:243-270.
- García, C.; Hernández, T. 2003. Introducción. In García, C; Gil, F; Hernández, T; Trasar, C. eds. *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos de Suelos: Medidas de actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*. Madrid, ES, Mundi-Prensa, p.7-21.
- Gilbert, G. 2002. Interacciones entre microorganismos y plantas. Sección V En: *Ecología y conservación de bosques neotropicales/Manuel Guariguata & Gustavo Kattan*, Editores. 1a ed. Ediciones LUR. Costa Rica.
- Gliessman, S.R. 2002. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Impresión LITOCAT, Turrialba, Costa Rica, 359 p.
- Gomes, G.S.; Huaqng, S.P.; Cares, J.E. 2003. Nematode community, trophic structure and population fluctuation in soybean fields. *Fitopatologia Brasileira* 28: 258-266.
- Gomez, E.; Pioli, R.; Conti, M. 2007. Fungal abundance and distribution as influenced by clearing and land use in a vertic soil of Argentina. *Biol Fertil Soils* 43:373-377.
- Grant, R.F.; Juma, N.G.; McGrill, W.B. 1993. Simulation of carbon and nitrogen transformations in soil: mineralizacion. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1317-1329
- Grayston S.J.; Wang, S.; Campbell, C.D.; Edwards A.C. 1998. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* 30, 369–378.
- Grishkan, I.; Nevo, E. 2004. Soil microfungi of Nahal Meitsar, Golan Heights, Israel. *Plant Biosystems* 138:21-26.
- Grishkan, I.; Nevo, E.; Wasser, S.P.; Beharav, A. 2003. Adaptive spatiotemporal distribution of soil microfungi in “Evolution Canyon” II, Lower Nahal Keziv, Western Upper Galilee, Israel. *Biological Journal of Linnean Society* 78:527-539.

- Guzmán, W. 2006. Rentabilidad económica de sistema tradicional versus sistema agroforestal. En: Meza, L. A & Cornelius, J. (Editores). La Agroforestería en Perú, con énfasis en la Amazonia: una Bibliografía Anotada. World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Hagn A.; Pritsch, K.; Schloter, M.; Munch, J.Ch. 2003. Fungal diversity in agricultural soil under different farming management systems, with special reference to biocontrol strains of *Trichoderma* spp. *Biology and Fertility of Soils*. 38 (4): 236-244. DOI: 10.1007/s00374-003-0651-0
- Harmand, J.M.; Balle, P. 2001. La jachère agro forestière (arborée ou arbustive) en Afrique tropicale. In Floret, C; Pontanier, R. (eds). La jachère en Afrique tropicale: Rôles, aménagements, alternatives. De la jachère naturelle a la jachère améliorée. Le point des connaissances. Libbey, Paris. P. 265-292.
- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Hawksworth, D.L.; Rossman, A.Y. 1997. Where are all the undescribed fungi? *Phytopathology* 87:13-15.
- He, Z.; Yang, X.; Baligar, V.; Calvert, D. 2003. Microbiological and biochemical indexing systems for assessing quality of acid soils. *Advances in Agronomy* 78: 89-133.
- Hennebert, G.L. 1995. Fungal diversity in tropical forests. International Biodiversity Seminar ECCO XIV Meeting Gozd Martulek, Slovenia, pp. 75-93.
- Hernández, C.L.; Ramos, J.; Rodríguez, M.P.; López-Hernández, D. 2004. Efectos de enmiendas orgánica y química sobre algunos parámetros bioquímicos y la estructura gremial de comunidades bacterianas en un suelo bajo manejo agrícola. In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. p.152.

- Hiltner, L. 1904. Über neuere erfahrungen und probleme auf dem gebiet der bodenbakteriologie und unter besonderer beruck sichtigung der grundungeng and brache. Arbeitent. Dtsch Landwirtschafts- Gessellschaft 98: 59 – 78.
- Holscher, D.; Moller, R.F.; Denich, M.; Folster, H. 1997. Nutrient input-output budget of shifting agriculture in eastern Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47: 49-57.
- Huang, S.P.; Cares, J.H. 1995. Community composition of plantparasitic nematodes in native and cultivated cerrados of Central Brazil. *Journal of Nematology* 27:237-243.
- Huang, S.P.; Cares, J.E. 2006. Nematode Communities in Soils under Different Land Use Systems In Brazilian Amazon and Savannah Vegetation. In: *Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems*. Edited by Moreira, F. M. S; Siqueira, J. O. and Brussaard, L. CABI Publishing. London – UK.
- Jacob, J.J.; Middelplaats, W.C. 1986. *Clave para la identificación de los nemátodos parásitos de las plantas*. Departamento de Nematología-Universidad Agraria de Wageningen-Holanda y Universidad Nacional Agraria La Molina- Perú.
- Jorge, C.L. 1999. Comunidades de nematoides em sistemas de plantio direto e convencional de soja, e em rotacao com soja e milho. Tese MSc. Universidade de Brasília, Brasilia, Brasil.
- José, S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76:1-10.
- Kardol, P.; Bezemer, T.M.; van der Wal, A.; van der Putten, W.H. 2005. Successional trajectories of soil nematode and plant communities in a chronosequence of ex-arable lands. *Biol. Conserv.* 126, 317-327.
- Kimenju, J.W.; Odero, G.O.M.; Mutitu, E.W.; Wachira, P.M.; Narla, R.D.; Muiru, W.M. 2009. Suitability of locally available substrates for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation in Kenya. *Asian J. Plant Sci.*, 8: 510-514.
- Kirkby, M.; Powlson, D. 2004. Introduction: linkages and research priorities. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:245-247.

- Knoepp, J.D. Coleman, D.C., Crossley, D.A. Jr., Clark, J.S. 2000. Soil biological indicators: an ecosystem case study of their use, *For. Ecol. Manage.* 138:357–368.
- Koohafkan, P.; Altieri, M.A. 2010. Globally important agricultural heritage systems: a legacy for the future. UN-FAO, Roma.
- Kourtev P.S.; Ehrenfeld, J.G.; Häggblom, M. 2002. Exotic Plant Species Alter the Microbial Community Structure and Function in the Soil. *Ecology* 83 (11): 3152-3166
- Kowalchuk, G.A.; Buma, D.S; de Boer, W; Klinkhamer, P.G.L.; Van Veen, J.A. 2002. Effects of above-ground plant species composition and diversity on the diversity of soil-borne microorganismos. *Antonie Van Leeuwenhoek* 81: 509-520.
- Krebs, C.J. 1985. Species diversity. In: C.J. Krebs (ed). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*, 3th ed. Harper and Row, New York, pp 507–534.
- Labrador, M.J. 2001. *La materia orgánica en los agrosistemas*. 2da Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 293 pp.
- Lal, R. 1979. Influence of six years no-tillage and conventional plowing on fertilize response of maize on an Alfisol in the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 399-403
- Lal, R. 1998. Soil quality and sustainable. *Advances in Soil Science*. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 17-30
- Lal, R. 2000. Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. *Soil Science*. 165: 192-207.
- Leonard, H. J. 1957. Soil mycoflora associated with continuous cropping of corn, oats, and wheat. *The Ohio Journal of Science* 57:203-211.
- Liu, S.; R. Baker. 1980. Mechanism of biological control in soil suppressive to *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 70:404-412.
- Lodge, D.J. 1997. Factor related to diversity of decomposer fungi in tropical forest. *Biodiversity and Conservation* 6:681-668.

- López, T.G. 2007. Sistemas agroforestales 8. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-graduados. Puebla. 8 p.
- Mabukay, J.; Nakagoshi, N.; Horokoshi, T. 2003. Microbial biomass and abundance after forest fire in pine forests in Japan. *Ecol. Res.* 18:431-441.
- Magdoff, F. 1999. Calidad y manejo del suelo. Capítulo 16 in *Agroecología: Base científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo.
- Mai, W.F.; Lyon, H.H. 1975. Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes. Fourth edition. Comstock publishing associates a division of Cornell University press. Ithaca & London. 220 p.
- Marschner, P.; Neumann, G.; Kania, A.; Weiskopf, L.; Lieberei, R. 2002. Spatial and temporal dynamics of the microbial community structure in the rhizosphere of cluster roots of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant Soil.* 246: 167–174.
- Marschner, P.; Yang, C. H.; Lieberei, R.; Crowley, D.E. 2001. Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* 33:1437-1445.
- Martínez, O.; Valenzuela, E.; Godoy, B. 2006. Poblaciones viables y grupos funcionales de hongos presentes en suelos de bosque de *Araucaria-Nothofagus* post-incendio. *Boletín Micológico* 21:55-61.
- Mattos, J.K.A.; Huang, S.P.; Pimentel, C.M. 2000. Avaliacao ecologica em comunidades de nematoides em oito sistemas de vegetacao nos cerrados do Brasil central. *Fitopatologia Brasileira* 25:338 (abstract).
- Mazzola, M.; Yu-Huan Gu. 2000. Impact of wheat cultivation on microbial communities from replant soils and apple growth in greenhouse. *Phytopathology* 90:114-119.
- Mazzola, M. 2004. Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. *Annual Review of Plant Pathology* 42:35-59.

- McGrath, D.A.; Duryea, M.L.; Cropper, W.P. 2001. Soil phosphorous availability and fine root proliferation in Amazonian agroforests 6 years following forest conversion. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 83: 271-284.
- Medina, M.J.; Volke, H.; Gonzales, R.J.; Galvis, S.A.; Santiago, C.M.; Cortes, F.J. 2006. Changes in time in the physical properties of the soil in rain-fed maize and irrigated mango systems in luvisols in the state of Campeche. *Universidad Autónoma del Estado de México*. 175-189 pp.
- Mew, T.W.; Rosales, A.M. 1985. Influence of *Trichoderma* on survival of *Thanatephorus cucumeris* in association with rice in tropics. In: C.A. Parker et al (eds). *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens*. APS Press St. Paul, Minnesota. Pp 117-120
- MINAG, 2012. Perú es el segundo productor mundial de cacao orgánico y posee 60% de variedades. En <http://gestion.pe/economia/peru-segundo-productor-mundial-cacao-organico-2013475>.
- Moço, M.K.; Gama-Rodríguez, E.F.; Gama-Rodríguez, AC.; Machado, R.C; Baligar, V.C. 2010. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. *Applied Soil Ecology* 1, 1-8.
- Mohammad A.G.; Zoebisch, A.M.; Wickramarachchi, S.K. 2008. Effects of cropping systems on selected soil structural properties and crop yields in the Lam phra phloeng watershed-Northeast Thailand. *J. Agron.*, 7: 56-62.
- Mora, J. 2006. La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. *Revista Luna Azul*. Universidad de Caldas, Manizales - Colombia.
- Moreira, F.M.S; Siqueira, J.O. and Brussaard, L. 2006. Soil Organisms in Tropical Ecosystems: a Key Role for Brazil in the Global Quest for the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity. In: *Brazilian Amazon and Savannah Vegetation*. In: *Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems*. CABI Publishing. London – UK.

- Mueller, G.M.; Bills, G.F.; Foster, M.S. 2004. Biodiversity of Fungi. Inventory and monitoring methods. Elsevier, Amsterdam, 777 pp.
- Musálem, S.M.A. 2001. Sistemas agrosilvopastoriles. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. 120 p.
- Nelson, E.B. 1990. Exudates molecules initiating fungi responses to seeds and roots. Plant Soil 129; 61–73.
- Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164:262-270.
- Oke, D.O. 2008.Changes in Soil Properties Following conversion of Humid Tropical Rainforest of Nigeria into Cocoa Agroforests. Jour. of Applied Biological Sciences 2(3):09-13.
- Papavizas, G.C.; Adams, P.B.; Lumsden, R.D.; Lewis, J.A.; Dow, L.R.; Ayers, W.A.; Kantzes, J.G. 1975. Ecology and epidemiology of *Rhizoctonia solani* in field soil. Phytopathology 65:871-877.
- Papendick, R.P; Parr, J.F. 1992. Soil quality: The key to a sustainable agriculture. American Journal of Alternative Agriculture 7:2-3
- Parr, J.F.; Papendick, R.I.; Hornick, S.B.; Meyer, R.E. 1992. Soil quality: Attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. American Journal of Alternative Agriculture 7: 5-11.
- Perfecto, I.; Vandermeer, J.; Wright, A. 2009. Nature's matrix: linking agriculture, conservation and food sovereignty. London: Earthscan.
- Persiani, A.M.; Maggi, O.; Casado, M.A.; Pineda, F.D. 1998. Diversity and variability in soil fungi from a disturbed tropical rain forest. Mycologia 90: 206-214,
- Pfenning, L.H.; de Abreu, L.M. 2006. Diversity of Microfungi in Tropical Soils In: Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems. Edited by Moreira, F. M. S; Siqueira, J. O. and Brussaard, L. CABI Publishing. London – UK.
- Pfenning, L.H. 1993. Mikroskopische Bodenpilze des Ostamazonischen Regenwaldes (Brasilien). PhD thesis, Universtät Tübingen, Germany, 192p.

- Porras, V.C. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica. Tesis para optar el Grado Académico de Magister Scientiae, CATIE – Costa Rica.
- Primavesi, A, 1984. Manejo ecológico del suelo. Buenos Aires, Ateneo.
- Pulleman, M.; Hellin, J.; Flores, D.; López, W. 2008. Calidad del suelo y rentabilidad de la finca: una situación en la que todos ganan. LEISA 24:13-16.
- Qu, X.H.; Wang, J.G. 2008. Effect of amendments with different phenolic acids on soil microbial biomass, activity, and community diversity. *Applied Soil Ecology* 39 (2008) 172-179.
- Ramos, R.M. 2000. Manual de Prácticas en Fitobacteriología. Universidade Rural de Pernambuco. Edit. Universitária. UFPE. Recife - Pe - Brasil. 171 p.
- Reganold, J.P. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. *American Journal of Alternative Agriculture* 3: 144-155.
- Rengel, Z. 1997. Root exudation and microflora populations in rhizosphere of crop genotypes differing in tolerance to micronutrient deficiency. *Plant Soil*, v.196, p.255-260
- Rengel, Z. 2002. Genetic control of root exudation. *Plant Soil*, v.245, p.59-70.
- Rice, R.A.; Greenberg, R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29(3):167-173.
- Rovira, A.D.; Davey, C.B. 1971. Biology of the rhizosphere. In: *The plant root and its environmental*. E.W Carson University Press.
- Rovira, A.D. 1959. Root excretions in relation to the rhizosphere effect. *Plant Soil* 11:53–64.
- Rudramurthy, H.V.; Gurumurthy, B.R. 2007. Dynamics of soil microflora in different land use systems. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 20: 131-132.

- Sanchez, P.A. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Wiley, New York.
- Saxton, K.E.; Rawls, W.J.; Romberger, J.S.; Papendick, R.I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(4):1031-1036
- Scher, F.M.; Baker, Y.R. 1980. Mechanism of biological control in a *Fusarium*-suppressive soil. *Phytopathology* 70:412-417.
- Schneider, S.; Hartmann, M.; Enkerli, J.; Widmer, F. 2010. Fungal community structure in soils of conventional and organic farming systems. *Fungal Ecology* 3:215–224
- Schroth, G.; Sinclair, F.L. (eds). 2003. *Trees, crops and soil fertility concepts and research methods*. CABI, Wallingford, UK.437 p.
- Schroth, G.; Harvey, C.A. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity conservation* 16, 2237-2244.
- Shannon, C.E.; Weaver, W. 1964. *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press. 125p.
- Shipton, P.J. 1977. Monoculture and soil borne plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 12:387-407.
- Silveira, A. P. D.; Freitas, S.S. 2007. *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Campinas: Instituto Agronômico (Brasil), 312 p.
- Singleton, L.L.; Mihail, J.D.; Rush, C.M. 1993. *Methodos for researh on soilborne phytopathogenic fungi*. The American Phytopathological Society. 265 p.
- Smyth, T.J. 1996. Manejo da fertilidade do solo para a produção sustentada de cultivos na Amazônia. In: Alvarez, V.H; Fontes, L.E.F. and Fontes, M.P.F (eds) *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. SBCS, UFV, DPS, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, pp. 71-93.
- Smyth, T.J.; Cassel, D.K. 1995. Synthesis of long-term soil management research on ultisols and oxisols in Amazon. In: Lal, R. and Steward, B.A. (eds) *Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environment Quality*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 13-59.

- Sobek, E.A.; Zak, J.C. 2003. The soil fungiLog procedure: method and analytical approaches toward understanding fungal functional diversity. *Mycologia* 95:590-602.
- Somarriba, E. 1998. Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas* 6:72-74
- Somarriba, E.; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):12-17.
- Southwood, T.E. 1996. The Croonian lecture: natural communities structure and dynamics. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 351, 1113 – 1129.
- Staddon, W.; Duchesne, L.; Trevors, J. 1996. Conservation of forest soil microbial diversity: the impact of fire and research needs. *Environ. Rev.* 4:267-275.
- Suatunce, P.; Somarriba, E.; Harvey, C.; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):31-35.
- Swift, M.J. 1999. Toward the second paradigm: integrated biological management of soil. In: Sequeira, J.O; Moreira, F.M.S; Lopes, A.S; Guilherme, L.R.G; Faquin, V; Furtini Neto, A.E. and Carvalho, J.G. (eds) *inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. SBCS, Viçosa; UFLA/DCS, Lavras, Brazil, pp. 11-24.
- Sylvia, D.M.; Chellemi, D.O. 2001. Interactions among root-inhabiting fungi and their implications for biological control of root pathogens. *Advances in Agronomy* 73: 1-33.
- Szott, L.T.; Palm, C.A. 1996. Nutrient stocks in managed and natural humid tropical fallows. *Plant and Soil* 186:293-309.
- Tian, G.; Badejo, M.A. 2001. Soil fauna and soil fertility. I: Dick, W. A; Hatfield, J.L, editors. *Sustaining soil fertility in West Africa*. SSSA special publication 58. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, p 45-67.
- Ulacio, D.; Nass, H.; Pineda, J.; Carrasco, A. 1998. Viabilidad de *Rhizoctonia solani* Kuhn AG1-IA bajo condiciones de inundación. I. Micoflora asociada al patógeno en tejido de *Oryza sativa*. *Bioagro* 10(2):40-48.

- Vásquez, F.; Acea, M.; Carballas, T. 1993. Soil microbial populations after wildfire. *FEMS Microbiol. Ecol.* 13:93-104.
- Viketoft, M. 2008. Effect of six grassland plant species on soil nematodes: A glasshouse experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 40(2008) 906-915.
- Villenave, C.; Bongers, T.; Ekschmitt, K.; Djigal, D. Chotte, J.L. 2001. Changes in nematode communities following cultivation of soils after fallow periods of different length, *Appl. Soil Ecol.* 17:43–52.
- Waldrop, M.P.; Balsler, T.C.; Firestone, M.K. 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. *Soil Biology and Biochemistry.*, 32: 1837-1846.
- Wang, Yin; Xu, Jie; Shen, Jianhua; Luo, Yongming; Scheu, Stefan; Ke, Xin 2010. Tillage, residue burning and crop rotation alter soil fungal community and water-stable aggregation in arable fields. *Soil and Tillage Research*, Volume 107 (2): 71-79
- Wardle, D.A. 2002. *Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 392 p.
- Wardle, D.A.; Bardgett, R.D.; Klironomos, J.N.; Setälä, H.; van der Putten, W.H.; Wall, D.H. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304: 1629-33.
- Wasilewska, L. 1994. The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities. *Pedobiologia* 38: 1-11.
- Watanabe, T. 2002. *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species*. Second Edition. CRC PRESS. 486 p.
- Watson, R.T.; Noble, I.R.; Bolin, B.; Ravindranath, N.H.; Verardo, D. J.; Dokken, D.J. 2000. *Land Use Change and Forestry: A Special Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Werner, S. 1997. The impact of management practices on species richness within productive rubber agroforests of Indonesia. In *International Workshop Management*

of secondary and lagged-over forest in Indonesia. (1997, Bongor, Indonesia) 1998. Proceedings. Bongor, Indonesia. P.113

- White, D.; Labarta, R.; Leguía, E. 2005. Technology adoption by resource-poor farmers: considering the opportunity cost of peak-season labor. *Agricultural Systems*, 85(2):183-201
- Yang, C.H.; Crowley, D.E. 2000. Rhizosphere microbial community structure in relation to root location and plant iron nutritional status. *Appl. Environ Microbiol* 66: 345-351.
- Yeates, G.W.; Bongers, T.; De Goede, R.G.M; Freckman, D.W.; Georgieva, S.S. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera - An outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25:315-331.
- Young, A.; Vaughan, C. 2003. *Theobroma cacao*: Biodiversidad en doseles forestales totales y parciales (2001-2006); iniciativa de cacao entre Wisconsin y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10:88.
- Yuhuan, L.; Jingyuan, F.; Jiakuan, Ch.; Jihua, W. 2007. Original vegetation type affects soil nematode communities. *Applied Soil Ecology* 35:68-78.
- Zúñiga, D. D. 2006. Manual de fertilidad biológica del suelo con énfasis en el estudio del *Rhizobium*. Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabuso. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 80 p.

ANEXOS

Anexo 1: Lista de especies forestales encontradas en el área de estudio E.E. “El Choclino”
San Martín - Perú.

Nº	N. VULGAR	N. CIENTIFICO	FAMILIA
1	Ana caspi	<i>Apuleia leiocarpa (Vog.) MacBr.</i>	Mimosaceae
2	Anallo caspi	<i>Cordia nodosa Lam</i>	Boraginaceae
3	Anonilla	<i>Anona tesmanii Radick L.</i>	Annonaceae
4	Atadijo	<i>Trema micranta L</i>	Ulmaceae
5	Bellaco caspi	<i>Himatanthus sucuuba (Spruce) Woods.</i>	Apocynaceae
6	Bolaina blanca	<i>Guazuma crinita Mart.</i>	Sterculaceae
7	Brea caspi	<i>Caraipa sp.</i>	Clusiaceae
8	Caimitillo	<i>Chrysophyllum sp.</i>	Sapotaceae
9	Caimito	<i>Chrysophyllum caimito</i>	Sapotaceae
10	Cedro Mocoa	<i>Cedrela sp.</i>	Meliaceae
11	Cetico	<i>Cecropia latifolia</i>	Cecropiaceae
12	Chope	<i>Gustavia cuballoensis</i>	Lecythidaceae
13	Copal caspi	<i>Protium sp.</i>	Burseraceae
14	Cordoncilo blanco	<i>Piper angustifolium R. & P.</i>	Piperaceae
15	Cumala blanca	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae
16	Cumala colorada	<i>Virola schifera</i>	Myristicaceae
17	Cunshi casha		
18	Fapina	<i>Cupania cinerea OPEP. Et Ende.</i>	Sapindaceae
19	Goma caspi	<i>Vochysia haenkeana Mart.</i>	Vochysiaceae
20	Guaba	<i>Inga edulis Mart.</i>	Mimosaceae
21	Hualaja	<i>Xanthoxilum sprucei (Engl.) Engl.</i>	Ruutaceae
22	Huarmi huarmi	<i>Compsonera aplapitellata</i>	Myristicaceae
23	Huayruro	<i>Ormosia coccinea (Aubl.) Jacks.</i>	Faboidea
24	Indano colorado	<i>Byrsonina schrysophylla HBK.</i>	Malphighiaceae
25	Indano de monte alto	<i>Byrsonima chrysophilla HBK.</i>	Malphighiaceae
26	Ingaina	<i>Roupala complicata</i>	
27	Ishpingo	<i>Amburana cearensis</i>	Fabaceae
28	Isula micuna		
29	Útil	<i>Toxicodendron striatum</i>	Anacardiaceae
30	Jagua	<i>Genipa americana L.</i>	Rubiaceae
31	Lagarto pashaco	<i>Stryphnodendron guianense</i>	Caesalpinaceae
32	LLaja		
33	Llambo pashaco	<i>Cassia multijuga</i>	Mimosaceae
34	Lupuna blanca	<i>Chorisia insignis</i>	Bombacaceae
35	Mapiche		
36	Maquisapa ñaccha	<i>Apeiba membranaceae</i>	Tiliaceae

37	Moena amarilla	<i>Aniba sp.</i>	Lauraceae
38	Mullaca	<i>Clidemia hirta</i> (L.)	Melastomataceae
39	Mullaquilla	<i>Clidemia sp.</i>	Melastomataceae
40	Naranjilla	<i>Casearia spinosa</i>	Flacourtiaceae
41	Ocuera negra	<i>Pollalesta discolor</i> (HBK)	Asteraceae
42	Ocuera amarilla	<i>Pollalesta sp.</i>	Asteraceae
43	Oje	<i>Ficus anthelmintica</i>	Moraceae
44	Palillo o reme	<i>Campomanesia sp.</i>	Myrtaceae
45	Palo blanco		
46	Palta moena		
47	Pichirina	<i>Vismia tarapotencis</i>	Gutiferaceae
48	Picho pisho	<i>Crudia sp.</i>	
49	Pino chuncho	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae
50	Puca pashaco	<i>Cassia multijuga</i>	Caesalpinaceae
51	Punga	<i>Bombacopsis nervosa</i>	Bombacaceae
52	Quillo casha	<i>Zanthoxylum caribacum</i>	Rutaceae
53	Renaco	<i>Ficus schuttessin Dugand.</i>	Moraceae
54	Renaco blanco	<i>Picus sp.</i>	Moraceae
55	Rosca paca	<i>Inga velutina</i>	Mimosaceae
56	Rupina	<i>Micenia poeppigii</i>	Myrtaceae
57	Sacha atadijo	<i>Trichospermum galeottii (Turez) Kost.</i>	Tiliaceae
58	Sacha chacruna	<i>Psychotria sp.</i>	Rubiaceae
59	Sacha copal		
60	Sacha Huayaba		
61	Sacha ishanga	<i>Myriocarpa stipitata</i>	Urticaceae
62	Sani sisa		
63	Shamoja	<i>Macroenemum sp.</i>	
64	Shapilloja	<i>Zhanthoxylum pterota</i>	Rutaceae
65	Shimbillo	<i>Inga sp.</i>	Fabaceae
66	Shimbillo tarrasca	<i>Inga sp.</i>	Fabaceae
67	Shitari runtu		
68	Chuchu huasha	<i>Heisteria pallida</i>	Olacaceae
69	Siuca huito		
70	Supay casha		
71	Topa	<i>Ochroma lagopus</i>	Bombacaceae
72	Tortilla caspi	<i>Psychotria anceps</i>	Rubiaceae
73	Trueno caspi	<i>Cybistax antisiphilitica</i>	Bignoniaceae
74	Ucshaquiro	<i>Sclerobium paniculatus</i>	Caesalpinaceae
75	Una de gato	<i>Uncaria sp.</i>	Rubiaceae
76	Vainilla (veneno)	<i>Vainilla sp.</i>	Orchidaceae
77	Yacushapana negra	<i>Terminelia oblonga</i>	Combretaceae
78	Yahuar caspi		
79	Yahuar caspi con espina		
80	Yanahuasca	<i>Duguetia sp.</i>	Annonaceae

81	Yanavara	<i>Aparisthium cordatum (Juss.) Baill.</i>	Euphorbiacea
82	Yanavarilla	<i>Acalypha</i> sp.	Euphorbiaceae
83	Zapote	<i>Pouteria mamosa</i>	Sapotaceae

ARBUSTOS Y HERBACEAS

N°	N. VULGAR	N. CIENTIFICO	FAMILIA
84	Aceru huasca		
85	Achuni quihua		
86	Alambre casha		
87	Amor seco	<i>Desmodium</i> sp.	Fabaceae
88	Amorosa	<i>Desmodium</i> sp.	Fabaceae
89	Ampi	<i>Chonddendron tomentosum</i>	Menispermaceae
90	Ampi huasca o curare		
91	Angarilla		
92	Arco sacha		
93	Arrosillo		
94	Ayac mullaca		
95	Bijao	<i>Calathea</i>	Maranthaceae
96	Carachupa sacha		
97	Carpintero casha	<i>Dioscorea</i> sp.	Dioscoreaceae
98	Carrizo		
99	Centrorema nativa	<i>Centrosema</i> sp.	Leguminosa
100	Chanca piedra	<i>Phyllantus niruri</i>	Euphorbiaceae
101	Chupo sacha		
102	Costadillo		
103	Costadillo sacha		
104	Cumalina		
105	Desmodium	<i>Desmodium distortun</i>	Leguminosa
106	Helecho		
107	Heliconia		
108	Huaccha moza		
109	Huamansamana		
110	Huicungo		
111	Icoja		
112	Itapi		
113	Lima		
114	Macho silli		
115	Macotilla		
116	Meloncillo		
117	Mira huasca		
118	Mullaca ornamental		
119	Pacunga blanca		
120	Pacunga hornamental		
121	Pahua quihua		

122	Palmiche	<i>Hyospathe tessmannii</i>	Palmaceae
123	Passiflora	<i>Pasiflora sp.</i>	
124	Patco sacha		
125	Paujil chaqui		
126	Puca Varilla		
127	Sacha coca		
128	Sacha dale dale		
129	Sacha huaca		
130	Sacha orégano		
131	Santa maría sacha		
132	Sarza mora		
133	Shicshi huasca		
134	Sicsi o cortadera		
135	Sicsi Redondo		
136	Sinchi pichana		
137	Situlli	<i>Heliconia rostrata</i>	Heliconiaceae
138	Tumbo huasca		
139	Ulupay micuna		
140	Waccha moza		
141	Yuca huito		

PALMERAS

N°	N. VULGAR	N. CIENTIFICO	FAMILIA
142	Bombonaje	<i>Cardulovica palmera</i>	Aracaceae
143	Huicungo	<i>Astrocaryum</i>	
144	Polo ponta	<i>Phytelephas macrocarpa</i>	Palmaceae
145	Yarina	<i>Phytelephas macrocarpa R. & P.</i>	Aracaceae