

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**EVALUACION DEL EFECTO DE TRES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN
LAS PROPIEDADES FISICAS, QUIMICA Y BIOLOGICAS EN EL SECTOR
NARANJILLO DEL DISTRITO PADRE FELIPE LUYANDO.**

Tesis para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCION CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**

Presentado por:

YAROS PARDO MOISES MARIO

Tingo María – Perú

2014

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la sabiduría, por la familia y los amigos, por el apoyo incondicional en el transcurso de mi vida, y hoy espiritualmente me llena de fortaleza y esperanza.

Con mucho amor a mis queridos padres Mario, YAROS VALDERRAMA Y Maritza, PARDO CASTRO quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional.

A mis queridos hermanos: Aarón Lucas YAROS PARDO, Karla María YAROS PARDO; por el amor y apoyo incondicional.

A mis adorados abuelitos Eulogio PARDO BETETA, Carmen VALDERRAMA Y Eusebia CASTRO SORIA por su apoyo incondicional y por estar presente cada instante de mi vida, quedarán guardados en el infinito recuerdo.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) por brindarme la oportunidad de forjarme como profesional.

A mi asesor: Ing. Juan Pablo RENGIFO TRIGOZO, patrocinador de la presente investigación.

A los miembros de jurado de tesis: Ing. Msc. José Dolores LEVANO CRISOSTOMO Cesar GOZME SULCA, Roberto OBREGON PEÑA, por los aportes brindados a la presente investigación.

Al Ing. Oscar TUESTA HIDALGO, Marco Antonio CANALES AGUIRRE, Ricardo Martin CHAVEZ ASECIO, Alfredo QUISPE CORDOVA, por los consejos durante mi formación profesional.

A mi enamorada Evelyn SOLSOL RAMIREZ por ser una de las personas que está a mi lado apoyándome en este trabajo de investigación.

A mis amigos: Alan HIDALGO SAAVEDRA, Gean Franco SINTI COMETIVOS, Saulo SOTO TORRES, Omar HUAMAN IGLESIAS, Nerio ISMINIO, Ibler GONZALES TANCHIVA, Yoseli POMA ARRIETA, Edseel QUIROZ PEREZ, por la amistad y solidaridad que me brindaron durante todo el tiempo de mi formación profesional.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Suelos.....	4
2.2. Indicadores del suelo.....	4
2.2.1. Indicadores físicos.....	5
2.2.2. Indicadores Químicos.....	5
2.2.3. Indicadores biológicos.....	6
2.3. Diversidad de mesofauna y macrofauna en el suelo.....	7
2.3.1. Microbiotas.....	7
2.3.2. Mesofauna.....	7
2.4. Macrofauna del suelo	8
2.4.1. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo	10
2.4.2. Relaciones macrofauna habitat.....	11
2.5. Características de los suelos en dos sistemas	14
2.5.1. Característica de los suelos de bosque.....	14

2.5.2. Característica de los suelos de ex cicales.....	16
2.6. estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonia peruana.....	16
2.6.1. Macrofauna del suelo en yurimaguas.....	16
2.6.2. macrofauna del suelo en pucallpa	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. Descripción de la zona en estudio	25
3.1.1. Lugar de ejecución	25
3.1.2. Zona de vida.....	26
3.1.3. Clima	26
3.1.4. Vegetación	26
3.1.5. Descripción de los sitios de muestreo	27
3.2. Materiales, insumos y equipos.....	28
3.2.1. Materiales y herramientas	28
3.2.2. Equipos de campo.....	28
3.2.3. Equipos de laboratorio.....	28
3.2.4. Reactivos.....	29
3.3. Variables en estudio.....	29

3.4. Metodología	30
3.4.1. Fase de pre campo.....	30
3.4.2. Fase de campo.....	30
3.4.3. Fase de gabinete.....	37
IV. RESULTADOS	40
4.1. Características físicas y químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	40
4.1.1. Características físicas	40
4.1.2. Características químicas	41
4.2. Identificación y cuantificación de macrofauna de suelo en diferentes sistemas de uso.....	42
4.2.1. Identificación del componente microbiano.....	42
4.2.2. Identificación de macrofauna.....	43
4.2.3. Cuantificación de macrofauna	45
4.3. Relación entre las propiedades físicas - químicos del suelo con la densidad y biomasa de la macrofauna.	50
4.4. Relación entre los diferentes sistemas de uso con la densidad, biomasa y grupo taxonómico de macrofauna de suelo	52
4.4.1. Densidad de la macrofauna.....	52

4.4.2. Biomasa de macrofauna.....	57
4.4.3. Grupos taxonómicos.....	61
4.4.4. Diversidad de especies	65
V. DISCUSIÓN.....	66
VI. CONCLUSIONES.....	72
VII. RECOMENDACIONES.....	74
VIII.ABSTRACT	75
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
X. ANEXO	87

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna	8
2. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio	25
3. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo	29
4. Tratamientos del diseño experimento.	38
5. Características físicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	40
6. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.	41
7. Identificación del componente microbiano bajo diferente sistema de uso.....	43
8. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso del suelo	44
9. Densidad y biomasa en diferentes sistemas de uso de suelo.....	46
10. Densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades.	48
11. Biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades.	49
12. Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna.	51
13. Densidad de macrofauna en el sistema de uso de cacao	52
14. Densidad de macrofauna en el sistema de uso de ex cocal	53

15. Densidad de macrofauna en el sistema de uso de bosque secundario.	55
16. Prueba Duncan de la densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo.	56
17. Prueba Duncan de la densidad de macrofauna en diferentes profundidades del suelo.	56
18. Biomasa de macrofauna en el sistema de uso de cacao.	57
19. Biomasa de macrofauna en el sistema de uso de ex cocal	58
20. Biomasa de macrofauna en el sistema de uso de bosque secundario	59
21. Prueba de duncan de la biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo	60
22. Prueba de duncan de la biomasa de macrofauna en diferentes profundidades del suelo.	60
23. Grupos taxonomicos en el sistema de uso de cacao.	61
24. Grupo taxonomico en el sistema de uso de ex cocal	62
25. Grupos taxonomicos en el sistema de uso de bosque secundario	63
26. Prueba de duncan de los grupos taxonomicos de macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo	64
27. Prueba de duncan de los grupos taxonomicos de macrofauna en diferentes profundidades del suelo.	64

28. Índice de diversidad shannon - wiener para los diferentes sistemas de uso de suelo	65
29. Datos digitalizados para el DCA.....	88
30. Datos digitalizados para el analisis de correlacion.....	89
31. Biomasa de macrofauna a diferentes profundidades y en diferentes sistemas de uso	90
32. Densidad de macrofauna de 0-10 cm de profundidad en diferentes sistemas de uso	91
33. Densidad de macrofauna de 10-20 cm de profundidad en diferentes sistemas de uso	92
34. Densidad de macrofauna de 20-30 cm de profundidad en diferentes sistemas de uso	93
35. Datos de penetracion del suelo	94
36. Datos de temperatura del suelo	94
37. Índice de Shannon – Wiener para cacao	94
38. Índice de Shannon – Wiener para ex cocal	95
39. Índice de Shannon – Wiener para bosque secundario.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Diagrama de muestreo de suelos para analisis fisicos quimico en cada uno de los sistemas de uso de tierra	31
2. Diagrama de muestreo de suelos para analisis biologico quimico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.....	34
3. Macrofauna de suelo identificada en diferentes sistemas de uso.	45
4. Distribución de la densidad de macrofauna en sistemas de uso de suelo.	46
5. Distribución de la biomasa de macrofauna en sistemas de uso de suelo	47
6. Distribución de la densidad de macrofauna del suelo a diferentes profundidades y en diferentes sistemas de uso.....	48
7. Distribucion de la biomasa de macrofauna del suelo a diferentes profundidades y en dieferentes sistemas de uso.....	50
8. Densidad de macrofauna entre el sistema de uso de cacao con la profundidad del suelo.	53
9. Densidad de macrofauna entre el sistema de uso de ex cocal con la profundidad del suelo..	54

10. Densidad de macrofauna entre el sistema de uso del bosque secundario con la profundidad del suelo.....	55
11. Biomasa de macrofauna entre el sistema de uso de cacao con la profundidad del suelo.	57
12. Biomasa de macrofauna entre el sistema de uso de ex cocal con la profundidad del suelo.	58
13. Biomasa de macrofauna entre el sistema de uso del bosque secundario con la profundidad del suelo.....	59
14. Grupos taxonomicos de macrofauna entre el sistema de uso de cacao con la profundidad del suelo	61
15. Grupos taxonomicos de macrofauna entre el sistema de uso de ex cocal con la profundidad del suelo.....	62
16. Grupos taxonomicos de macrofauna entre el sistema de uso del bosque secundario con la profundidad del suelo	63
17. Distribución de la diversidad de especies según Shannon - Wiener	65
18. Entrada al fundo de evaluación	97
19. Entrada al bosque secundario	97
20. Tomando los puntos en la parcela de cacao.....	98
21. Evaluando la resistencia del suelo	98

22. Realizando el muestreo en la parcela del bosque secundario	99
23. Evaluando la temperatura del suelo	99
24. Realizando el conteo de la macrofauna del suelo	100
25. Visualizando a una Hymenoptera mediante el estereoscopio	100
26. plano de ubicación de las cuatros parcelas con diferentes sistemas de uso.....	101

RESUMEN

La investigación se realizó en el fundo de la Sra. Gisel Delfina Panchana Inga ubicada en el sector Naranjillo, distrito de Padre Felipe Luyando, provincia de Leoncio Prado; entre los meses de mayo a octubre del 2014. El objetivo fue determinar el efecto de tres sistemas de uso de la tierra en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En la evaluación se seleccionaron tres parcelas con diferentes sistemas de uso (ex cocal, bosque secundario y cacao). Para la evaluación se realizó muestreo y análisis del suelo y un transecto con cinco monolitos de 25 x 25 x 30 cm de profundidad por sistema.

Los efectos físicos y químicos evaluados en los diferentes sistemas del suelo fueron: El cacaotal presentó una textura franco limoso, densidad aparente (1.24 g/cm^3), resistencia (2.34 Kg/cm^2), pH neutro (6.97), contenido medio de materia orgánica (3.26%), nitrógeno (0.15%), medio contenido de fósforo (11.12 ppm) y potasio (183.52 kg/Ha). Los suelos del bosque secundario tiene una textura franco limoso, densidad aparente (1.20 g/cm^3), alta resistencia a la compactación (2.85 Kg/cm^2), pH moderadamente ácido (6.29), medio contenido de materia orgánica (3.26%) y nitrógeno (0.15%), contenido bajo de fósforo (2.30 ppm) y potasio (1.94.12 Kg/Ha). Los suelos del ex cocal presentaron una textura de franco limoso, densidad aparente (1.25 g/cm^3), resistencia (2.4 Kg/cm^2), pH moderadamente ácido (6.19), medio contenido de materia orgánica (2.44%) y

nitrógeno (0.11%), contenido medio de fósforo (7.98 ppm) y potasio (325.77 Kg/Ha).

Los efectos biológicos evaluados en los diferentes sistemas de uso de suelo; se encontró 11 grupos taxonómicos de especies; con mayor diversidad en el bosque secundario (11), seguido por el cacao con 10 y el ex cocal con 10. La mayor densidad (736 ind.m^{-2}) se encontró en el bosque secundario y biomasa de macrofauna (18.05 g.m^{-2}) se encontró en el cacaotal de 0 – 10 cm de profundidad. La correlación entre las propiedades físicas, químicas del suelo y la macrofauna, son P y la biomasa microbiana lo que indica una fuerte relación positiva con respecto a la abundancia, distribución y la actividad de la macrofauna en el suelo.

El tipo de uso del suelo influye de manera significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. De acuerdo a los efectos estudiados se demostró que la perturbación, la degradación y la erosión son causadas por la actividad humana teniendo una influencia negativa en el suelo.

El índice de biodiversidad indica que el cultivo de ex cocal presenta mayor diversidad de especies (1.7761 nats/ind.) seguido por el bosque secundario y cacao.

I. INTRODUCCIÓN

Pese a la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad; ya que es un recurso esencial para la producción agraria que, sin embargo, sufre serios procesos de degradación que amenazan la sostenibilidad de la agricultura.

Los procesos de deterioro del suelo son aquellos que rebajan la capacidad actual y potencial del suelo para producir cualitativa y/o cuantitativamente los bienes o servicios que van a ser de amplio beneficio para la sociedad; sin embargo, la calidad de los suelos está estrechamente relacionada con los procesos de sucesión ecológica; la degradación de los ecosistemas por regla general trae consigo una disminución en la calidad de los suelos y una regresión en la sucesión vegetal; por ello, el estudio de la calidad del suelo, referido a sus condiciones para producir cosechas está orientado a sus características físicas, químicas y biológicas.

Los tipos sistemas de uso de los suelos ocasionan diferentes grados de perturbación, que al afectar sus características físicas, químicas y biológicas, tendrán efectos sobre la degradación y erosión parcial o total de los suelos. Estas

características físicas, químicas y biológicas del suelo son las que van a brindar las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos; los que a su vez, tienen influencia directa o indirecta sobre la aireación, conservación de la humedad, resistencia a la erosión, disponibilidad en cantidad y calidad de los nutrientes, entre otros.

La mayoría de las prácticas de manejo del suelo, independientemente de sus efectos sobre el pH, tiene un efecto negativo sobre los macro invertebrados. Esto se debe a que las comunidades de la micro fauna y macro fauna del suelo son muy sensibles a los cambios de la cobertura del suelo (LAVELLE, 2002).

Bajo estas consideraciones se hace necesario conocer cuál es el impacto de diferentes usos de la tierra sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y cómo interactúan o se correlacionan entre sí. En tal sentido, se plantea la hipótesis: “los sistemas de uso de la tierra: ex cocal, bosque secundario y cultivo de cacao, influyen de manera negativa en las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo.

Respecto a este contexto se plantean los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluación del efecto de tres sistemas de uso de las tierras en las propiedades físicas, químicas y biológicas

1.2. Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físicas y químicas de los suelos en tres sistemas de uso de la tierra: ex cocal, bosque secundario y cultivo de cacao.
- Calcular a través de diversos índices, la biodiversidad de microorganismos, meso y macro fauna en los suelos de los tres sistemas de uso de la tierra.
- Encontrar la correlación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en los tres sistemas de uso de la tierra.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Suelos

KRAMER (1989) manifiesta que el suelo constituye un sistema complejo que consiste en proporciones variables de cuatro componentes; son estos: el mineral o partículas de roca y la materia orgánica muerta que constituye la matriz sólida, y la disolución del suelo y el aire que ocupan el espacio poroso dentro de esa matriz.

2.2. Indicadores del suelo

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo. Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (ASTIER et al., 2002).

2.2.1. Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente. Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros.

La estructura, textura, porosidad, humedad, capa arable, densidad aparente, densidad real, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad (HÜNNEMEYER et al., 1997).

2.2.2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos de calidad del suelo incluyen propiedades que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y

microorganismos, propuso como indicadores el contenido de materia orgánica (MO), carbono y nitrógeno orgánico, pH, conductividad eléctrica (CE), y el nitrógeno (N), fósforo (P) y el potasio (K) disponible. Los indicadores que reflejan estándares de fertilidad (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio) son factores importantes en términos de producción de cultivos (ACEVEDO et al., 2005).

2.2.3. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos integran los diferentes factores que afectan la calidad del suelo. Generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los organismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. También se consideran como indicadores biológicos la población de lombrices de tierra y el rendimiento de los cultivos.

Las propiedades biológicas y bioquímicas (respiración edáfica, biomasa microbiana, actividades enzimáticas, microorganismos, y otros) son más sensibles y son valiosas en la interpretación de la dinámica de la materia orgánica y en los procesos de transformación de los residuos orgánicos; además, dan rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo, son sensibles al estrés ambiental y fáciles de medir (BAUTISTA et al., 2004).

2.3. Diversidad de mesofauna y macrofauna en el suelo

2.3.1. Microbiotas

Diámetro menor a 0.1 milímetros, son muy abundantes y muy diversos.
Comprende:

2.3.1.1. Microflora

Constituido por bacterias, hongos, algas y levaduras que pueden descomponer casi cualquier sustancia natural. Las bacterias miden menos de 0.002 micrómetros. Muchos hongos no se ajustan mucho a esta clasificación, pues su micelio (hongo verdadero) puede medir varios metros.

2.3.1.2. Microfauna

Comprende a los protozoarios, nemátodos, rotíferos, tardígrados, colémbolos y ácaros pequeños. Su tamaño es menor a 0.1 mm.

2.3.2. Mesofauna

Los miembros de este grupo se mueven a través de las grietas del suelo existentes y canales naturales, pero no son capaces de moverse a través del suelo no alterado. Se encuentran por lo general en la hojarasca y tienen una resistencia muy desarrollada a la sequía y las temperaturas extremas. Este grupo se compone de colémbolos, ácaros, larvas de dípteros y coleópteros pequeños.

Diversos autores sostienen que la mesofauna del suelo presenta organismos con diámetro corporal entre 100 μm a 2 mm y entre ellas comprende los Ácaros, Colémbolos, Miriápodos, Arácnidos y diversos insectos, algunos Oligoquetos y los Crustáceos. Para (BRECHELT, 2007); considera a la mesofauna a aquellos organismos del tamaño siguiente 0,6 – 10,4 mm y a la macrofauna de 10,4 mm a más. Son características terrestres las actividades tróficas de estos animales, de tal manera influyen en el consumo de los microorganismos y de la microfauna así como la descomposición del material vegetal.

2.4. Macrofauna del suelo

Este grupo está integrado por los animales que tienen un ancho de cuerpo mayor a 2 mm (LINDEN *et al.*, 1994) y que pertenecen a distintos Filos, Clases y Órdenes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna

Filo	Clase	Sub-Clase	Orden
Annelida	Clitellata	-	Oligochaeta
	Arachnida	-	Araneae
Arthropoda	Insecta	-	Coleóptera
			Díptera

			Hemíptera
			Hymenóptera
			Homóptera
			Isóptera
			Orthoptera
	Crustacea	-	Isópoda
	Myriapoda	Chilopoda	
		Diplopoda	
Nematoda	Adenophorea	-	Mermithida
Mollusca	Gasteropoda	-	

Operan en escalas de tiempo y espacio más amplias que los individuos más pequeños. La mayoría se caracteriza por tener ciclo biológico largo (un año o más), baja tasa reproductiva, movimientos lentos y poca capacidad de dispersión (GASSEN y GASSEN, 1996). Desde el punto de vista de la alimentación incluye individuos que son herbívoros, detritívoros y depredadores (BROWN *et al.*, 2001).

A través de sus actividades físicas (mezcla del mantillo con el suelo, construcción de estructuras y galerías, agregación del suelo) y metabólicas (utilización de fuentes orgánicas disponibles, desarrollo de relaciones mutualistas y antagonistas) participan en muchos procesos. Al fragmentar las partículas, producir

pelotas fecales, estimular la actividad microbiana, intervienen en el ciclo de la materia orgánica y de los nutrientes. Con la redistribución de la materia orgánica y de los microorganismos, la mezcla de suelo con partículas orgánicas y la producción de pelotas fecales causan mejoras en la agregación. También modifican la aeración e infiltración y la textura, a través de la construcción de galerías y al traer a la superficie y mezclar suelo de las capas inferiores del perfil (LINDEN *et al.*, 1994).

2.4.1. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo

Son importantes por su actividad en los siguientes procesos: 1. Depredación de los microbios, 2. Modificación de la estructura del suelo, 3. Descomposición de la materia orgánica, 4. Mezcla de la materia orgánica descompuesta con la tierra, 5. Incrementa la formación de agregados; procesos que mejoran la propiedades físicas del suelo y definen el hábitat de otras comunidades, algunos de estos grupos de organismos son: Arácnida, Isópoda, Miriápoda, Hymenoptera, Coleóptera y Gasterópoda. Una actividad biológica muy intensa puede dar lugar a modificaciones significativas del epipedión, de forma que su espesor sea muy considerable y esté formado casi enteramente por deyecciones y galerías rellenas. Para designar a los suelos con este tipo de horizonte (normalmente un epipedión móllico) se usa el elemento formador de gran grupo Verm- (como en Verudoll o Vermustoll).

De tal modo, es así, con que un integrante de la microfauna sea capaz de triturar los desechos orgánicos, así como no es probable que un animal de la macrofauna como los diplopodas dependan solamente de los microorganismos para su dieta (BURGES, 1971).

2.4.2. Relaciones macrofauna hábitat

Los procesos del suelo están sometidos a una jerarquía de determinantes que operan en escalas anidadas de tiempo y espacio. El clima, seguido por las propiedades del suelo opera en las grandes escalas, los cuales fuerzan a las comunidades de plantas, que determinan la calidad y cantidad de los ingresos orgánicos del suelo, a los macro invertebrados y a los microorganismos que operan en escalas locales (Lavelle *et al.*, 1993; citados por LAVELLE, 2002).

Por otra parte, a nivel local la composición y distribución de las comunidades son afectadas por factores tales como la disponibilidad de recursos, las condiciones micro climáticas, la fertilidad y estructura del suelo (Beare *et al.*, 1995; citados por CORREIA, 2002).

Sin embargo, las retroacciones “feed back” o “botton up” existen y los determinantes de los niveles bajos de la jerarquía pueden afectar a los de los niveles altos. Esta jerarquía no tiene por qué ser totalmente operacional en escalas locales (LAVELLE, 2002).

2.4.2.1. Clima

El clima ha sido el factor que ha tenido mayor efecto en los procesos de evolución de largo plazo, determinando la estructura y características de las comunidades vegetales y la distribución y abundancia de los invertebrados (CURRY, 1987). La diversidad y la actividad de muchos grupos están severamente restringidas a determinados climas. Mientras que las termitas tienen una distribución tropical-subtropical, las lombrices son características de regiones templadas.

Las variaciones microclimáticas asociadas a la estructura y densidad de la vegetación y a la presencia de residuos, afectan considerablemente la distribución de los invertebrados dentro de la pastura y su persistencia durante adversidades climáticas (CURRY, 1987). Las variaciones estacionales inducen a movimientos verticales (LAVELLE y SPAIN, 2001).

2.4.2.2. Características del suelo

Las propiedades físicas y químicas del suelo afectan a la fauna que lo habita de manera directa por el contenido de materia orgánica y de humedad, el pH, la estructura del suelo y la aereación y de forma indirecta a través del efecto que tienen sobre la vegetación (DUBS *et al.*, 2004; Swift *et al.*, 1976, citado por CURRY, 1987).

La densidad de Coleóptera y Oligochaeta tiene una relación positiva con el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total (CLAPPERTON, 2000; ZERBINO y MORÓN, 2003). Suelos ricos en bases, con buen drenaje, donde la materia orgánica está distribuida en el perfil (“mull”) soportan altas densidades de lombrices, mientras que en aquellos que tienen contenidos discretos de materia orgánica (“mor”) la fauna está representada por pequeños artrópodos y enquitreidos que habitan la superficie (Satchell, 1967, citado por CURRY, 1987).

DECÄENS *et al.* (2001) en Colombia, encontraron que suelos con contenidos altos de limo (63%), Mg (0,2 mEq/100 g) y K (0,1 mEq/100g) tenían altas poblaciones y riqueza taxonómica de macrofauna; mientras que Myriapoda, Cicadidae, Dictyóptera, Isópoda tuvieron grandes biomasas; Oligochaeta, Formicidae, Isópoda y Myriapoda estuvieron presentes en altas densidades. ZERBINO y MORÓN (2003) registraron que la riqueza taxonómica total y la abundancia de Coleóptera y Oligochaeta aumentó positiva y significativamente con el incremento del contenido de K en el suelo.

La estructura del suelo determina la distribución de la fauna. Existe una clara y positiva relación entre el número y tamaño de los poros y el tipo de animales que lo habitan (HENDRICKS, 1985). Los grandes invertebrados ocupan los poros del suelo llenos de aire.

Si bien las preferencias en cuanto a pH son variadas, la mayoría de los organismos evitan los suelos ácidos (HENDRICKS, 1985). Esta propiedad tiene una

fuerte dependencia con el material parental, pero el tipo de vegetación y los procesos de descomposición ejercen efectos sobre ella.

En general los organismos edáficos prefieren los ambientes húmedos. En condiciones de déficit de agua se trasladan a partes más profundas del perfil y se distribuyen en forma más agregada (VERHOEF Y VAN SELM, 1983). El contenido de humedad es tan importante que en suelos con contenidos de nutrientes muy bajos pero con adecuados tenores de humedad, las densidades poblacionales de la macrofauna son considerablemente superiores que en suelos ricos en nutrientes pero más secos (LUIZÃO *et al.*, 2002).

2.5. Características de los suelos en dos sistemas

2.5.1. Características de los suelos de bosque

Los bosques son ecosistemas imprescindibles para la vida. Son el hábitat de multitud de seres vivos, regulan el agua, conservan el suelo y la atmósfera y suministran multitud de productos útiles. Cambiarlo por las características de bosques secundarios

La vida humana ha mantenido una estrecho relación con el bosque. Muchas culturas se han apoyado en productos que obtenían del bosque: madera

para usarla como combustible o en la construcción, carbón vegetal imprescindible en la primera industria del hierro, caza, resinas, frutos, medicinas, etc.

Pero a la vez producir más alimentos exigió talar bosques para convertirlos en tierras de cultivo y en muchas épocas se consideraba que los bosques eran fuente de enfermedades, refugio de bandoleros y que dificultaban la defensa, por lo que se talaron grandes extensiones alrededor de las ciudades. También la construcción de barcos y las primeras ferrerías supusieron la destrucción de muchas arboledas (ODUM, 1972).

Los árboles son extremadamente importantes en la formación de los suelos. Sus raíces se entierran y fragmentan la roca madre formando partículas de suelo más pequeñas, y sus hojas cuando caen contribuyen a aumentar la riqueza en nutrientes del suelo. Las ramas de los árboles amortiguan las lluvias fuertes, y sus raíces proveen una estructura de apoyo; estos dos factores ayudan a evitar la erosión. A pesar de permanecer constantemente bajo la sombra, el suelo del bosque es un sitio en donde se llevan a cabo interacciones importantes y relaciones complejas. El suelo del bosque es uno de los principales sitios de descomposición, proceso de suma importancia para la continuidad del bosque como un todo. También es hogar de miles de plantas y animales, y provee soporte para los árboles que son responsables de la formación del dosel (ODUM, 1972).

2.5.2. Características de los suelos ex cicales

Los suelos ex cicales son aquellos que generalmente han sufrido un proceso de pérdida de material superficial, pérdida de nutrientes y pérdida de su estructura original debido a la acción humana.

La degradación de los agregados del suelo, su transporte y/o disposición en otros sitios es un fenómeno que ocurre normalmente y de manera continua; sin embargo, la intervención del ser humano ha hecho que estos procesos ocurran más rápido, y de una manera drástica que dificulta el equilibrio y recuperación de estos suelos, que bien tratados, podrían continuarse usando por mucho tiempo y con rendimientos aceptables (BIBLIOTECA DE CAMPO, 2002).

2.6. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana

PASHANASI (2001) en un estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana, obtuvo los siguientes resultados:

2.6.1. Macrofauna del suelo en yurimaguas

El bosque secundario con 20 años de recuperación tuvo una riqueza taxonómica de 30 unidades. La distribución vertical estuvo concentrada en la hojarasca y en el estrato de 0-10 cm (70.7%). Las isópteras representaron el 67.2%

de la población; las formícidas, el 11.5% y las oligochaetas, el 3.5%. Pero las oligochaetas presentaron la mayor cantidad de biomasa (51.4%), mientras que los miriápodos solo el 6.6%.

La riqueza taxonómica del bosque secundario con 10 años de recuperación fue de 20 unidades taxonómicas, con una densidad poblacional de 703 individuos/m² y una biomasa de 33.9 g peso fresco/m². La mayor concentración de individuos estuvo localizada en la capa de 0-10 cm (46.0%). El 48.6% del total de la población estuvo formado por formícidas; el 22.2%, por isópteras y el 14.5%, por oligochaetas. La mayor cantidad de biomasa está conformada por oligochaetas (75.2%). El 84.6% de ellas corresponde a la *Pontoscolex corethrurus*, lombriz típica de suelos disturbados (PASHANASI, 2001).

En lo que respecta a los bosques secundarios de 3 y 5 años, la riqueza taxonómica, similar a la del bosque secundario de 20 años, fue de 29 unidades. Asimismo, la densidad fue de 485 y 838 individuos/m² y la biomasa de 72.7 y 102.0 g de peso fresco/m², respectivamente. En el bosque secundario de cinco años, el 70% de la población se encuentra en la capa de 0-10 cm, mientras que, en el bosque secundario de tres años, el 40% de la población se encuentra en la capa de 0-10 cm. Las isópteras conforman el 29.3% y 61.6% del total de la población, respectivamente en ambos bosques. Por su parte, las oligochaetas presentaron la mayor biomasa en ambos bosque secundarios (82.2% y 90.6%, respectivamente).

2.6.2. Macrofauna del suelo en Pucallpa

Los bosques secundarios de 3 y 20 años tienen una riqueza taxonómica de 20 y 28 unidades, una densidad de 338 y 523 individuos/m² y una biomasa de 4.2 y 105.2 g.p.f.m², en todos los casos, respectivamente. En el bosque secundario de 20 años, el 35.2% de la población corresponde a las isópteras, que están seguidas por las formícidas (31.5%). Las oligochaetas conforman la mayor cantidad de biomasa (71.1%). La población más representativa del bosque secundario de tres años está conformada por las isópteras (32.2%), a las que les siguen las oligochaetas (27.8%), cuya biomasa (52.3%) es la más alta. En la distribución vertical en el bosque secundario de 20 años, el 76.5% de la población se encuentra en la capa de 0-10 cm; en el bosque secundario de tres años, el 72% de la población está localizado en la capa de 0-20 cm (PASHANASI, 2001).

2.6.2.1. Prácticas de manejo

Desde el momento que un sistema natural es modificado para desarrollar actividades agrícolas, los mayores cambios ocurren en las propiedades del suelo y en la abundancia, biomasa y diversidad de la biota del suelo. Las comunidades presentes van a estar determinadas por la intensidad del cambio inducido respecto al ecosistema natural y por la habilidad de los organismos para adaptarse a esos cambios (BROWN *et al.*, 2001).

La macrofauna responde al manejo (secuencia de cultivos, manera de preparación del suelo, ingreso de materia orgánica fresca, etc.) como resultado de las perturbaciones físicas que se producen, de la manera de distribución de los residuos y de la comunidad de plantas presentes (LAVELLE y SPAIN, 2001; WARDLE, 1995).

El método de preparación del suelo, comparado con otras prácticas de manejo (rotación, fertilización, uso de agroquímicos, etc.) es el que tiene los mayores efectos en la distribución y abundancia de artrópodos (BROWN *et al.*, 2001; FEIJOO *et al.*, 2001; STINNER y HOUSE, 1990).

La siembra directa, como resultado de la falta de movimiento y la presencia de rastrojo en superficie, modifica fundamentalmente el ambiente de la parte más superficial del perfil. El contenido de materia orgánica aumenta, la estructura mejora, la capacidad de almacenar agua es mayor y las variaciones de la temperatura del suelo disminuyen (AQUINO *et al.*, 2000). Los residuos en superficie benefician a los invertebrados de varios modos: son fuente de alimento, brindan hábitat y contribuyen a estabilizar el microclima del suelo (FAO, 2002). El ambiente que se crea favorece a los organismos cavadores, en particular a las lombrices, a los depredadores y a los individuos saprófagos (BROWN *et al.*, 2004). Con respecto a los herbívoros el comportamiento es variable, algunos encuentran un ambiente más favorable que permite que se desarrollen poblaciones importantes y otros son indiferentes a esta tecnología (BROWN *et al.*, 2004; STINNER y

HOUSE, 1990). Son suelos biológicamente más activos y diversos que los que se encuentran en laboreo convencional y que tienen mayor capacidad de proporcionar nutrientes (CLAPPERTON, 2000).

El efecto de la vegetación debe ser analizado de dos maneras, en función de la variación espacial y temporal. El tipo, la riqueza de especies vegetales y su manejo tienen efecto sobre la macrofauna del suelo (DUBS *et al.*, 2004), porque determina los recursos disponibles y afecta las interacciones entre los herbívoros, sus controladores y los detritívoros (MOORE *et al.*, 2004; SIEMANN, 1998). Cuando la cobertura vegetal es diversa, como es el caso de las pasturas o del campo natural, el mantillo es más heterogéneo y como consecuencia hay un incremento de los recursos a ser colonizados, lo que determina un aumento de la diversidad de la fauna del suelo (FAO, 2002).

En sistemas de cultivos anuales intensivos se puede producir un progresivo deterioro de la materia orgánica y de la estructura del suelo con un aumento de la compactación; como resultado hay una reducción marcada en la complejidad y estabilidad de la comunidad biológica del suelo (CURRY y GOOD, 1992). La fauna original desaparece, las comunidades son menos abundantes y diversas, las poblaciones de depredadores disminuyen y aumenta la probabilidad del desarrollo de poblaciones importantes de organismos plaga. Esto ha sido reportado para un amplio rango de ambientes templados y en una gran variedad de cultivos (arroz, maíz, soja) (LEE, 1985).

En relación a la variación temporal de las especies vegetales, AZEVEDO *et al.* (2000), estudiaron conjuntamente los efectos del laboreo y de la secuencias de cultivos y pasturas. Estos autores encontraron que el agrupamiento de los tratamientos se dio en dos niveles; el primero fue por la preparación del suelo, en tanto que las rotaciones produjeron un agrupamiento secundario. La diversidad de la fauna fue más favorecida cuando había alternancia de cultivos y pasturas.

En Colombia, en sistemas agrícolas con alto ingreso de insumos se produjo una dramática disminución de la riqueza, densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo, lo cual se atribuye al uso de agroquímicos, a la reducción en la producción de raíces y a la modificación en el microclima del suelo luego de la desaparición de la vegetación natural (DECÄENS *et al.*, 2001).

Las lombrices son los organismos sobre los que más se ha evaluado el efecto de las rotaciones. Generalmente las poblaciones son más abundantes y tienen mayores biomásas en rotaciones de cultivos y pasturas que en agricultura continua (LAVELLE y SPAIN, 2001). La explicación estaría en que las pasturas cultivadas producen un mantillo de alta calidad y hay un mayor aporte de materia orgánica lo que favorece su actividad (FRASER *et al.*, 1994). TIAN *et al.* (1993) encontraron que el número de lombrices disminuye en forma lineal con la relación lignina/nitrógeno. Altas poblaciones de la lombriz de tierra *L. terrestris* están relacionadas a la presencia de residuos con alto contenido de nitrógeno y azúcares (Satchell, 1967; citado por CURRY, 1987).

El pastoreo es otra práctica que afecta a los macroinvertebrados del suelo. Los efectos son causados a través del corte de la vegetación, del pisoteo y por la presencia de heces (MORRIS, 2000). Existen diferencias según el tipo de ganado en la manera y selectividad con que es cortada la vegetación y la presión que realizan en el suelo (ILMARINEN *et al.*, 2004).

En general un incremento de la intensidad del pastoreo es acompañado por una disminución de la diversidad de la fauna que habita el suelo, como consecuencia de la simplificación de la vegetación y de la desaparición de la capa de residuos (CURRY y GOOD, 1992; MORRIS, 2000).

En vegetación de sabanas, el sobrepastoreo no afectó la densidad y biomasa totales de la macroinvertebrados del suelo, pero redujo la riqueza. Con el aumento de la carga animal los coleópteros fueron más abundantes, probablemente debido al incremento en la cantidad de excrementos (DECÄENS *et al.*, 2001).

CASTRO *et al* (2007) determinó que una pradera de *L. multiflorum* y el bosque secundario presentaron los mayores valores de abundancia de lombrices (5.648 y 4.864 ind. m⁻²) y biomasa (141.3 y 670.7 g.p.f.m⁻²), mientras que en la pradera de *P. clandestinum* abundaron los ácaros (2.768 ind. m⁻²) con una biomasa de 0.22 g. p. f m⁻². En todos los usos del suelo la mayor abundancia de organismos y biomasa se presentó en la profundidad de 0 – 10 cm.

POMA (2014) determinó que en los bosques secundario de Hermilio Valdizán mostraron 10 grupos taxonómicos, con una mayor abundancia de Hymenóptera (320 ind.m⁻²), densidad (758 ind.m⁻²) y una biomasa de macrofauna (4.66 g.m⁻²). La parcela de maíz presentó 10 grupos taxonómicos, siendo la isóptera (518 ind.m⁻²) con mayor abundancia, densidad de 851 ind.m⁻² y una biomasa (9.85 g.m⁻²). El pastizal presentó 6 grupos taxonómicos, con mayor abundancia de oligochaeta (749 ind.m⁻²), densidad (1030 ind.m⁻²) y biomasa (194.70 g.m⁻²).

BROWN y FRAGOSO (2001) se determinó en México después de una evaluación de 9 sistemas muestreados (bosque, vegetación secundaria, pasto, caña de azúcar, cítricos, café, cacao, cocotales y milpas) que en la caña de azúcar fue donde se encontró mayor densidad casi (3000 individuos m⁻²) y biomasa más de (60 g m⁻²) de macrofauna, en este sistema las lombrices de tierra predominan en cuanto a la biomasa (82 % de total) y las hormigas en cuanto a la abundancia (52 % del total), bajo estas condiciones y con los futuros cambios previsto en el manejo de la caña a nivel nacional (recolecta verde), la macrofauna edáfica probablemente jugara un papel cada vez más importante en la descomposición de la materia orgánica y en el mantenimiento de las estructura del suelo bajo los cañaverales. Los cocotales y las milpas tuvieron la menor biomasa de todos los ecosistemas estudiados con poco más de 10 g m⁻² las milpas soportan una biomasa baja, posiblemente por la escasa cantidad de materia orgánica y por la intensidad

de la labor (perturbación física) presente en este ecosistema. A pesar de la baja abundancia total de organismos, la alta biomasa encontrada en el cacao, cítricos y pastos se debe a la contribución de las lombrices de tierra (81-96 % del total).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona en estudio

3.1.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en el fundo de la Sra. Gisel Delfina Panchana Inga, ubicado en el sector de Naranjillo del distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo.

Cuadro 2. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio

Zona de estudio	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
Parcela de cacao	391043	8978519	612
Bosque secundario	390866	8978532	630
Ex cocal	390759	8978560	634

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Zona de vida

HOLDRIDGE (1986), establece en su diagrama bioclimático que ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida; el distrito de padre Felipe luyando naranjillo se encuentra con formaciones vegetales de bosque muy húmedo tropical (bh-t), bosque montano húmedo pre montano tropical (bmh – PT).

3.1.3. Clima

El clima del distrito de padre Felipe luyando naranjillo es tropical, cálido con una temperatura promedio anual de 18 a 35 °C y humedad relativa de 77.5%, con una precipitación anual de 3.000 mm. Puede observarse microclimas o lluvias a distancias muy cortas entre 200 a 500 metros. (SENAMHI 2013).

3.1.4. Vegetación

La abundante vegetación arbórea se ve favorecida por la frecuencia y excesiva precipitación, particularmente durante los meses de diciembre hasta marzo. Donde predominan cultivos como cacao, café, plátano, yuca, papaya, cítricos, aguaje, etc.

3.1.5. Descripción de los sitios de muestreo

3.1.5.1. Bosque secundario

Bosque intervenido con 10 años de recuperación, con planta de cítricos en sus inicios, con una altitud de 630 m.s.n.m, con una pendiente ondulada y una humedad relativa de 81.5 %. Presenta vegetación arbórea con porte bajo como cético (*Cecropiasp.*), palta (*Perseasp.*), palmera de coco (*Cocos nucifera*) y vegetación arbustiva como bijao (*Calathea lutea*), ishanga (*Urera baccifera.*), entre otros.

3.1.5.2. Parcela de cacao (*Theobroma cacao*)

Parcela de 5 años de uso, con un área de 1 ha, con una altitud de 612 m.s.n.m, pendiente ondulada y humedad relativa de 80%. Tiene un manejo tradicional. La plantación del *Theobroma cacao* se encuentran asociadas a especies de guaba (*Inga sp.*), plátano (*Musa paradisiaca*).

3.1.5.3. Ex cocal

Parcela de 5 años de recuperación, con un área de 1 ha, se encuentra a una altitud de 634 m.s.n.m y una humedad relativa de 82.6%. El terreno presenta una pendiente ondulada, con una vegetación arbustiva como helecho águila (*Pteridium aquilinum*), ishanga (*Urera baccifera*).

3.2. Materiales, insumos y equipos

3.2.1. Materiales y herramientas

Los materiales utilizados en la investigación fueron, Wincha de 50 m para el alineamiento del terreno y 5 m para la medición de muestreo de suelo, libreta de campo para el apunte de la recopilación de datos, bolsas plásticas de 1 y 2 kg para almacenar las muestras de suelo, machete cultivo de las parcelas, pala recta muestreo de suelo, papel secante, placa Petri, pinza, envase de plástico, cilindro y cuadrado muestreador para hallar la densidad y biomasa.

3.2.2. Equipos de campo

Los equipos de campo utilizados fueron, Geotermómetro de suelo para medir la temperatura, cámara fotográfica con dispositivo para capturar imágenes en campo, sistema de posicionamiento global (GPS marca Garmin), luxímetro y penetrómetro para hallar la resistencia del suelo.

3.2.3. Equipos de laboratorio

Los equipos de laboratorio utilizados fueron, Balanza de precisión, balanza digital para hallar el peso de las muestras, estufa, lupa y estereoscopio para visualizar en mayor tamaño de las muestras biológicas.

3.2.4. Reactivos

Los reactivos utilizados fueron: alcohol y formol para la conservación de las muestras biológicas.

3.3. Variables en estudio

El análisis de las muestras obtenidas se realizó en el Gabinete de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, las variables en estudio se detallan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo

Parámetros físicos	Método de su determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Temperatura del suelo	Método directo (geotermómetro)
Resistencia del suelo	Método directo (penetrómetro)
Parámetros químicos	
Materia orgánica	Método de Walkley y Blakc
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl

Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Bases intercambiables	Reemplazamiento con acetato de amonio
CIC	Saturación con acetato de amonio
<hr/>	
Parámetros biológicos	
<hr/>	
Densidad de la macrofauna	Método directo por conteo (ind./m ²)
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo (g/m ²)
Diversidad de especies	Índice de Shannon – Winner (H')
<hr/>	

3.4. Metodología

La investigación se realizó en tres fases: fase de pre campo, fase de campo y fase de gabinete.

3.4.1. Fase de pre campo

Como fase inicial del proyecto se realizó un reconocimiento del área en estudio, como base para el trabajo a realizar.

3.4.2. Fase de campo

La fase de campo se realizó siguiendo algunos parámetros a evaluar que consistió en lo siguiente:

3.4.2.1. Delimitación y georreferenciación de las parcelas

Para el efecto se delimitaron las parcelas o transectos de 50 m x 50 m en cada sistema de uso de la tierra (es decir, uno en el ex cocal, bosque secundario y cultivo de cacao), debidamente georreferenciados.

3.4.2.2. Muestreo de suelos para el análisis físico químico

Se realizó luego de delimitar las tres parcelas, para lo cual se tomaron ocho muestras distribuidas mediante un trazo en zigzag a lo largo y ancho de cada parcela. Cada unidad muestral consistió en un hoyo de 30 cm de profundidad, de donde se extrajo el suelo hasta obtener aproximadamente 1kg de muestra homogénea por cada sistema de uso de la tierra, para su posterior traslado al laboratorio.

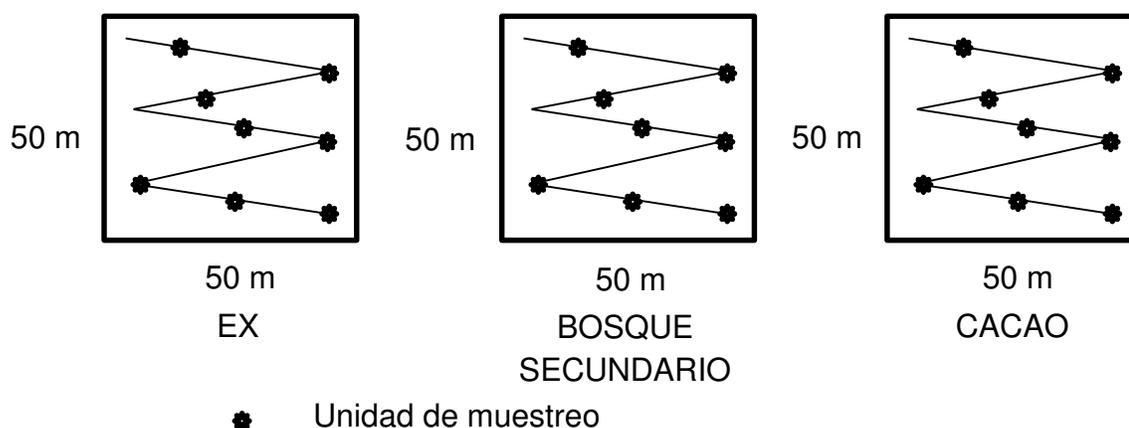


Figura 1. Diagrama de muestreo de suelos para análisis físico químico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.

3.4.2.3. Muestreo de los organismos del suelo

3.4.2.3.1. Microorganismos, meso y macrofauna

El método de muestreo que se utilizó fue el recomendado por el Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (LAVELLE, 1984; ANDERSON e INGRAM, 1993), y consistió en tomar cinco muestras de cada sistema de uso de la tierra. Cada unidad muestral estará separada por un intervalo de 10 m a lo largo de una línea cuyo origen y dirección fueron escogidos al azar. En cada una de ellas se procedió a extraer las muestras a través de un monolito a 10, 20 y 30 cm de profundidad, El método recomendado por el Programa Tropical Soil Biology And Fertility – TSBF (Anderson e Ingram, 1993, citado por PASHANASI, 2001). Los organismos fueron identificados por unidades taxonómicas (clases y órdenes) en el laboratorio de entomología. La densidad fue medida en individuos/m² y la biomasa en gramos de peso fresco/m².

3.4.2.3.2. Evaluación del componente microbiano

Se realizó en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), siguiendo la metodología planteada por RAMÍREZ et al. (1992). Se utilizó agar nutritivo con benlate (0.003 gL⁻¹) como medio de cultivo para aislar bacterias, y Patata Destroza Agar (PDA) + ácido láctico (2 ml/L) como medio de cultivo para aislar hongos, se realizó diluciones seriales. La dilución realizada fue de acuerdo al tipo de microorganismos que se desea aislar. Para

bacterias se empleó las diluciones 10-5-10-6 y para hongos 10-2-10-3. Con cada dilución se ejecutó tres repeticiones para el suelo de cada sistema de uso de la tierra.

Luego se procedió al conteo, a través del número de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo seco. Una vez identificadas las UFC se realizó la purificación de algunos hongos y bacterias elegidos; el criterio que determine el aislamiento tanto de bacterias y hongos fueron: las colonias que más presentó repeticiones y las más expansivas en las cajas de Petri, de cada uno de los diferentes tipos de suelos. Al cabo de 3 a 7 días de incubación, se obtuvo las colonias de bacterias y hongos.

Para la estimación de la cantidad de colonias o unidades formadoras de colonias (UFC) por volumen de suelo por estrato (25 cm x 25 cm x 10 cm), fue necesario pesar la totalidad de suelo de cada estrato, obteniéndose un peso del total de las muestras. Para mayor comodidad y facilidad se utilizó una muestra de 10 g para cada estrato. Finalmente, se realizó el cálculo con el fin de hallar la cantidad de colonias o UFC por gramo de suelo.

3.4.2.3.3. Evaluación de la meso y macrofauna

De cada estrato se colectó los macro invertebrados, se depositó en soluciones de alcohol al 80% insectos de cuerpo endurecido y en formol del 4-10% larvas e insectos de cuerpo no endurecidos. Se cuantificó la biomasa (g/m²) y

densidad (individuos/m²) de todos los macro invertebrados por medio de estereoscopio y una balanza de precisión. Los valores de biomasa fueron multiplicados por un valor de corrección (19% para las lombrices, 9% hormigas, 11% escarabajos, 6% arañas y 13% para el resto de macro invertebrados) debido a la pérdida de peso durante la fijación en alcohol y formol (DECAËNS et al., 1994). Los organismos restantes o no encontrados inicialmente, fueron colectados y llevados al Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), con la finalidad de identificarlos a nivel de órdenes.

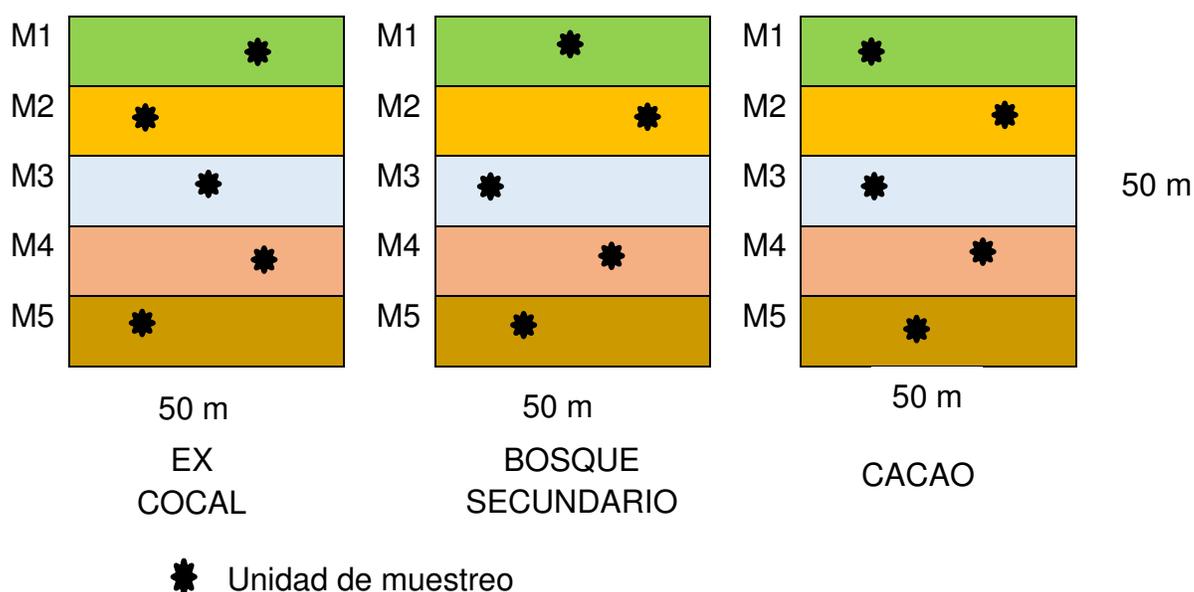


Figura 2. Diagrama de muestreo de suelos para análisis biológico químico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.

3.4.2.4. Metodología para determinar las variables en estudio

3.4.2.4.1. Densidad aparente

Se ubicaron los puntos de muestreo y se realizó la limpieza de un área de 40 x 40 cm de lado, luego se introdujo el cilindro metálico con ayuda de un martillo y en dirección vertical al suelo, hasta cubrir su totalidad; posteriormente, se retiró el cilindro con la muestra de suelo, se cortó los extremos del pedón con una navaja y fueron llevado al laboratorio, para registrar las medidas y peso del cilindro y el peso fresco de suelo; posteriormente, se colocó la muestra de suelo en estufa a 105 °C por un lapso de 72 horas con la finalidad de registrar el peso seco del suelo.

$$\text{Densidad aparente } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen del suelo}}$$

3.4.2.4.2. Resistencia del suelo

Se ubicó los puntos de muestreo y se introdujo el penetrómetro en dirección vertical al suelo para registrar la resistencia del suelo.

3.4.2.4.3. Temperatura del suelo

Se ubicó los puntos de muestreo, se colocó el termómetro sobre el ras del suelo y se registraron los datos.

3.4.2.4.4. Textura y parámetros químicos del suelo

La textura y parámetros químicos del suelo fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, teniendo en cuenta la metodología indicada en el Cuadro 8.

3.4.2.4.5. Densidad de macrofauna

Dado que para cada muestreo se utilizó un cuadrado de 25 cm de lado, lo que representa 1/16 m², los datos de cada punto de muestreo son multiplicados por 16 para obtener las unidades de número de individuos por m² (ind/ m²) (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

3.4.2.4.6. Biomasa de macrofauna

Al igual que en la densidad, los datos (pesos) de cada punto de muestreo son multiplicados por 16 para obtener las unidades de gramos por m² (g.m²) (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

3.4.2.4.7. Índice de Diversidad de Shannon - Wiener (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Dónde: $p_i = \frac{n_i}{N}$

S = Número de especies o unidades taxonómicas

Ln= Logaritmo natural

n_i = Abundancia de género i

N = Abundancia total de los géneros = $\sum n_i$

3.4.3. Fase de gabinete

Consistió en procesar los datos obtenidos, expresándose los resultados mediante cuadros y figuras. Asimismo, se determinó la correlación existente entre los diversos factores o propiedades de los suelos.

Con la finalidad de representar diferencias estadísticas, El análisis estadístico se realizó mediante el Diseño Bloque Completamente al Azar con 3 estratos (tipo de sustrato), con 5 repeticiones (PATRÓN, 1996), para ello se hizo uso del SPSS V.19. Asimismo; para determinar la relación entre los diferentes sistemas de uso de suelo y sus profundidades, los datos fueron procesados y analizados mediante el procedimiento ANVA del sistema de Análisis Estadístico (SAS), se usará el nivel de significación de p 0.05.

Se agruparon los sistemas de uso de la tierra como tratamientos (ex cocal, bosque secundario y cacao), evaluando para cada uno las propiedades físicas, químicas y biológicas a tres profundidades (10, 20 y 30 cm) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tratamientos del diseño experimental.

TRATAMIENTOS	TIPO DE SUSTRATO
T ₁	Ex cocal
T ₂	Bosque secundario
T ₃	Cacao

Con la finalidad de determinar la relación que existe entre las propiedades físicas y químicas del suelo con la meso y macrofauna, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Dicho coeficiente está definido por la siguiente expresión:

$$r_{XY} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}}$$

Al respecto, HERNANDEZ et al. (2006) indica que el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a +1.00, donde:

* -1.00 = Correlación negativa perfecta. (A mayor X, menor Y, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica a menor X, mayor Y.

- * -0.90 = Correlación negativa muy fuerte
- * -0.75 = Correlación negativa considerable
- * -0.50 = Correlación negativa media
- * -0.25 = Correlación negativa débil
- * -0.10 = Correlación negativa muy débil
- * 0.00 = No existe correlación alguna entre las variables
- * $+0.10$ = Correlación positiva muy débil
- * $+0.25$ = Correlación positiva débil
- * $+0.50$ = Correlación positiva media
- * $+0.75$ = Correlación positiva considerable
- * $+0.90$ = Correlación positiva muy fuerte
- * $+1.00$ = Correlación positiva perfecta.

IV. RESULTADOS

4.1. Características físicas y químicas del suelo bajo tres sistemas de uso.

4.1.1. Características físicas

En el Cuadro 5 se observa las características físicas evaluadas bajo los tres sistemas de uso: cacao, bosque secundario y ex cocal donde la densidad aparente oscila en un rango entre los tres sistemas de (1.20–1.25 g/cm³); mientras que el bosque secundario mostró mayor resistencia (2.85 kg/cm²) y en ex cocal mostro una temperatura mayor de (25.4 °C) respecto a los demás sistemas.

Cuadro 5. Características físicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.

Sistema de uso	Densidad aparente	Resistencia del suelo	Temperatura Del suelo	Textura del suelo
	g/cm ³	Kg/cm ²	°C	
Cacao	1.24	2.34	24.3	Franco limoso
Bosque secundario.	1.20	2.85	24.4	Franco limoso
Ex cocal	1.25	2.40	25.4	Franco limoso

Con respecto a la clase textural: Los tres sistemas presentaron textura franco limoso.

4.1.2. Características químicas

El Cuadro 6 muestra el análisis químico del suelo de los diferentes sistemas de uso, el mismo que se detalla que en los suelos de cacao presentan un pH neutro (6.97), medio de materia orgánica (3.26%) y nitrógeno (0.15%), y medio de fósforo (11.12 ppm) y potasio (183.52 kg/Ha). Mientras que los suelos de bosque secundario presenta un pH moderadamente ácido (6.29), medio de materia orgánica (3.26%) y nitrógeno (0.15%) un contenido bajo de fósforo (2.30 ppm) y potasio (1.94.12Kg/ha); y los suelos de ex cocal presentan un pH moderadamente ácido (6.19), medio de materia orgánica (2.44%) y nitrógeno (0.11%), y medio de fósforo (7.98 ppm) y potasio (325.77 Kg/Ha).

Cuadro 6. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	pH	M.O	N	P	K ₂ O
	1:1	%	%	Ppm	Kg/Ha
Cacaotal	6.97	3.26	0.15	11.12	183.52
Bosque secundario	6.29	3.26	0.15	2.30	194.12
Ex cocal	6.19	2.44	0.11	7.98	325.77

4.2. Identificación y cuantificación de macrofauna y microfauna de suelo en diferentes sistemas de uso.

4.2.1. Identificación del componente microbiano

El Cuadro 7 muestra el análisis microbiológico del suelo de los diferentes sistemas de uso, el mismo que se detalla en los siguientes párrafos:

- Los suelos de cacao presenta un (6×10^4 Col/g suelo) en la numeración de microorganismo aerobios viables, (4×10^4 Col/g suelo) en la numeración de actinomicetos y (2×10^4 Col/g suelo) en la numeración de mohos y levaduras.
- Los suelos de bosque secundario presenta un (22×10^4 Col/g suelo) en la numeración de microorganismo aerobios viables, (13×10^4 Col/g suelo) en la numeración de actinomicetos y (12×10^4 Col/g suelo) en la numeración de mohos y levaduras.
- Los suelos de ex cocal presenta (8×10^4 Col/g suelo) en la numeración de microorganismo aerobios viables, (8×10^4 Col/g suelo) en la numeración de actinomicetos y (4×10^4 Col/g suelo) en la numeración de mohos y levaduras.

Cuadro 7. Identificación del componente microbiano bajo diferente sistema de uso

Sistema de uso	Numeración de organismos aerobios viables	Numeración de actinomicetos	Numeración de mohos y levaduras
	Col/g suelo	Col/g suelo	Col/g suelo
Cacao	6×10^4	4×10^4	2×10^4
Bosque secundario.	22×10^4	13×10^4	12×10^4
Ex cocal	8×10^4	8×10^4	4×10^4

Con respecto a la cantidad mayor de colonias se observa que en el bosque secundario presenta más colonias, como indica el Cuadro 7.

4.2.2. Identificación de macrofauna

Se identificaron 11 órdenes de macrofauna: 10 en el cacaotal, 10 en ex cocal, 11 en bosque secundario; Isóptera, Hymenóptera y Coleóptera predominan en los tres sistemas de uso. En el cacaotal, ex cocal y bosque secundario predominan las Hymenóptera (hormigas) con 333 ind.m⁻², 103 ind.m⁻² y 323 ind.m⁻² respectivamente. Asimismo; las Isópodos presentan escasa densidad de individuos (3 ind.m⁻²) y se encuentran aislados a sistemas específicos (bosque secundario), tal como muestra el Cuadro 8.

Cuadro 8. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de suelo.

Categorías Taxonómico	Sistema de uso			Total (ind.m ²)
	Cacaotal (ind.m ²)	Ex cocal (ind.m ²)	Bosque secundario (ind.m ²)	
Clase – Orden				
Insecta - Hymenóptera	333	103	323	759
Oligochaeta.Haplotaxida	57	26	19	102
Crustáceo - Isópoda	0	0	3	3
Miriapodas - Chilopoda	3	13	106	122
Miriapodas - Diplopoda	3	3	6	12
Gasterópoda	9	3	9	21
Insecta - Dermáptera	9	15	13	37
Insecta - Orthoptera	3	3	6	12
Insecta– Isoptera	38	25	169	232
Insecta - Coleóptera	41	50	76	167
Arachnida - Araneae	26	13	6	45
Total (ind.m²)	522	254	736	1512

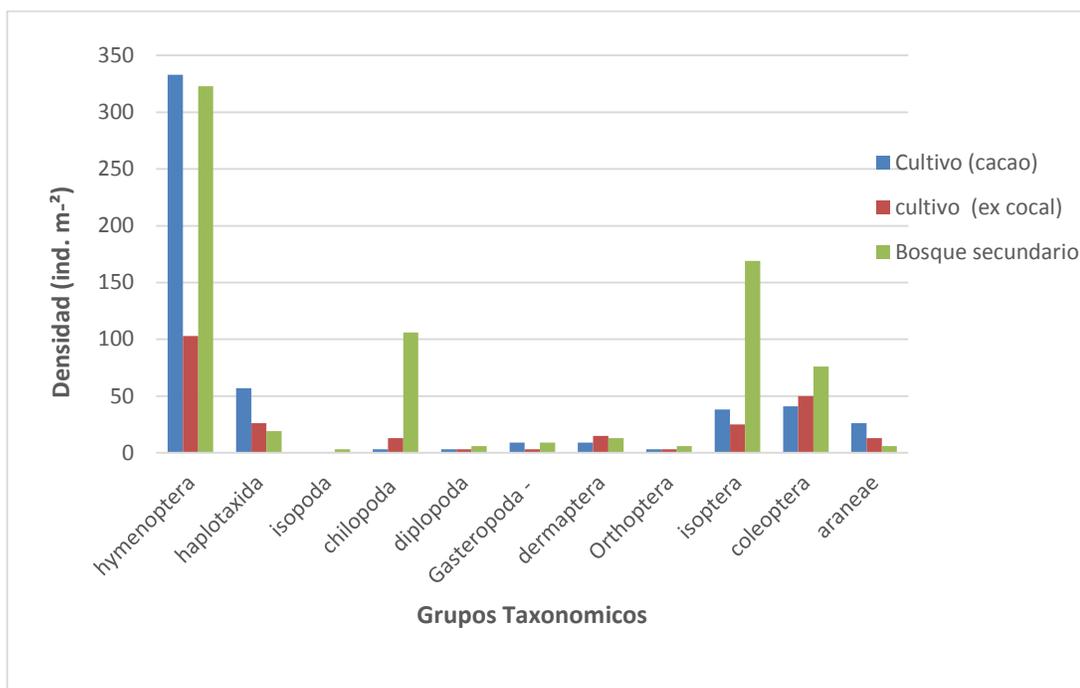


Figura 3. Macrofauna de suelo identificada en diferentes sistemas de uso.

4.2.3. Cuantificación de macrofauna

4.2.3.1. Densidad y biomasa de macrofauna de suelo entre sistemas de uso

Los suelos del bosque secundario presentaron mayor cantidad de individuos con una densidad de 736 ind.m⁻², seguidos por el cacaotal con 522 ind.m⁻², ex cocal con 254 ind.m⁻². El cacaotal presentó mayor biomasa (18.05 g.m⁻²), seguido por ex cocal y bosque secundario, (Cuadro 9, Figura 4 y Figura 5).

Cuadro 9. Densidad y biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo

sistema de uso	Densidad (ind.m ⁻²)	Biomasa (g.m ⁻²)
Cacaotal	522	18.05
Ex cocal	254	10.81
Bosque secundario	736	6.93

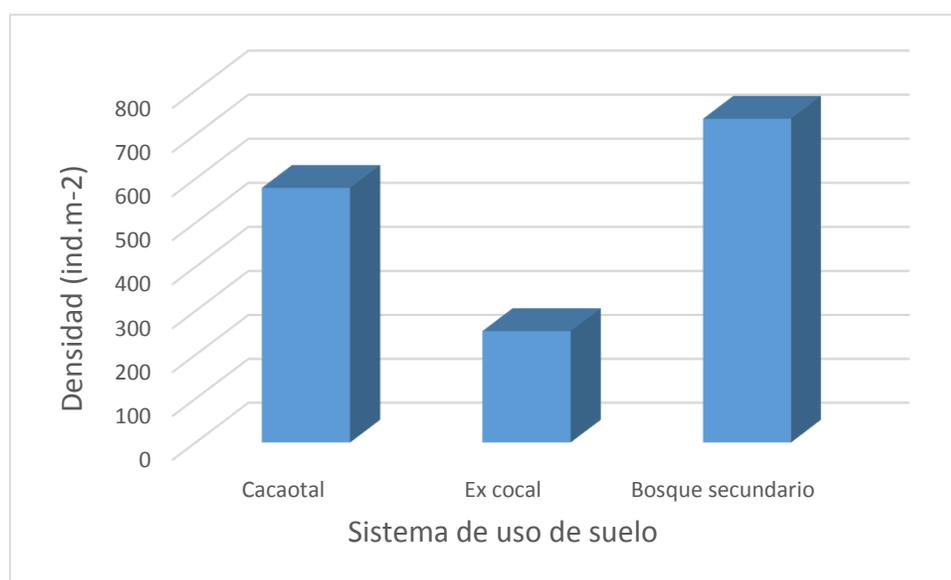


Figura 4. Distribución de la densidad de macrofauna en sistemas de uso de suelo.

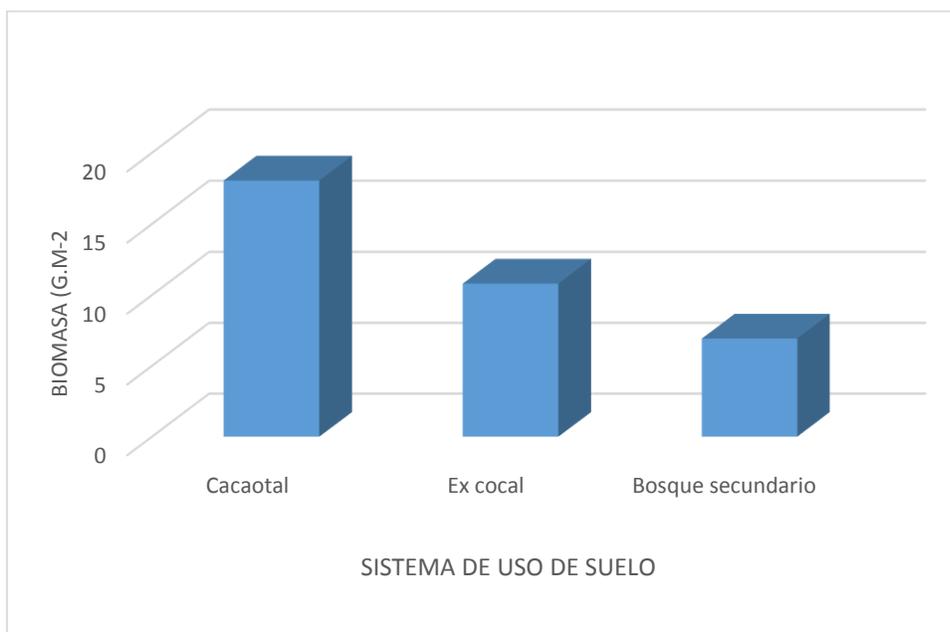


Figura 5. Distribución de la biomasa de macrofauna en sistemas de uso de suelo.

4.2.3.2. Distribución de la densidad y biomasa de macrofauna a diferentes profundidades del suelo

En suelos de bosque secundario se presentaron mayor densidad de macrofauna por profundidad con respecto a los demás sistemas de uso (470, 198 y 70 ind.m-2 respectivamente); mientras que en suelos de ex cocal, a profundidades de 20 – 30 cm se obtuvieron las más bajas densidades de especies (29 ind.m-2), asimismo se reportó una baja densidad de macrofauna en los mismos suelos de ex cocal, correspondiente al segundo estrato de profundidad (74 ind.m-2) como muestra el Cuadro 10.

Cuadro 10. Densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades.

Profundidad de muestreo (cm)	Sistema de uso		
	Cacaotal (ind.m ⁻²)	Ex cocal (ind.m ⁻²)	Bosque secundario (ind.m ⁻²)
0 – 10	221	163	470
10 – 20	205	74	198
20 – 30	74	29	70

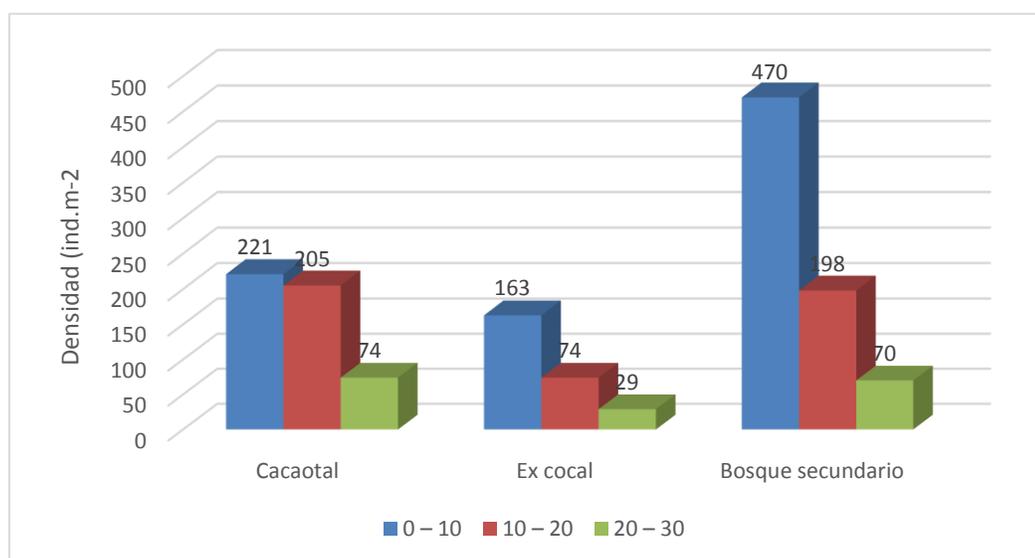


Figura 6. Distribución de la densidad de macrofauna del suelo a diferentes profundidades y en diferentes sistemas de uso

Los suelos de cacao presentaron una biomasa de 13.39 g.m⁻² en el primer estrato (0–10 cm), 3.15 g.m⁻² en el segundo (10-20 cm) y 1.51 g.m⁻² en el tercero (20-30 cm), siendo superior a la biomasa de los demás sistemas de uso. Asimismo, el bosque secundario presentó la más baja biomasa en los dos primeros estratos de profundidad (5.30 g.m⁻² y 1.27 g.m⁻²) y ex cocal la más baja biomasa en el tercer estrato (0.20 g.m⁻²), como indica el Cuadro 11.

Cuadro 11. Biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades.

Profundidad de muestreo (cm)	Sistemas de uso		
	Cacaotal (g.m ⁻²)	Ex cocal (g.m ⁻²)	Bosque secundario (g.m ⁻²)
0-10	13.39	9.30	5.30
10-20	3.15	1.30	1.27
20-30	1.51	0.20	0.36

La Figura 7 muestra la supremacía en biomasa de la macrofauna hallada en suelos de cacao, así como la distribución de la biomasa por profundidad, predominando el primer estrato (0-10 cm) por sobre los demás.

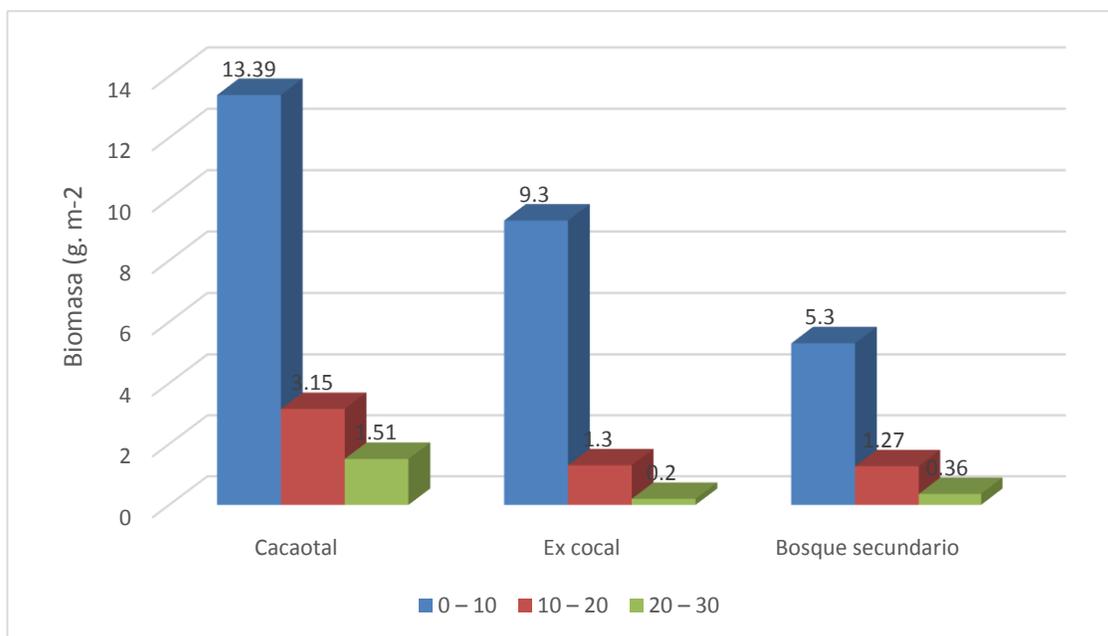


Figura 7. Distribución de la biomasa de macrofauna del suelo a diferentes profundidades y en diferentes sistemas de uso

4.3. Relación entre las propiedades físicas - químicas del suelo con la densidad y biomasa de la macrofauna.

Se ha determinado que existe correlación entre el fósforo y el cambio de biomasa de la macrofauna, generando un coeficiente de determinación de Pearson cuyo valor fue 0.95, la cual indica fuerte relación positiva entre el fósforo y biomasa. Las demás propiedades del suelo no determinaron significancia para la aceptación de alguna relación (Cuadro 12).

Cuadro 12. Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna.

Propiedades	Densidad de macrofauna		Biomasa de macrofauna	
	Coef. Correlación	Significancia	Coef. correlación	Significancia
Densidad aparente	-0.92	ns	0.63	Ns
Resistencia	0.76	ns	-0.83	Ns
Temperatura	-0.86	ns	-0.25	Ns
Humedad	-0.49	ns	-0.70	Ns
Arena	-0.83	ns	0.77	Ns
Arcilla	-0.60	ns	-0.64	Ns
Limo	0.90	ns	0.17	Ns
pH	0.18	ns	0.89	Ns
MO	0.90	ns	0.17	Ns
N	0.90	ns	0.17	Ns
P	-0.58	ns	0.95	*
K ₂ O	-0.86	ns	-0.24	Ns

*: La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

Ns: No presenta diferenciación estadística.

4.4. Relación entre los diferentes sistemas de uso con la densidad, biomasa y grupo taxonómico de macrofauna de suelo

4.4.1. Densidad de la macrofauna

Se ha encontrado que la densidad del macro invertebrado en el sistema de cacao ha presentado mayor valor promedio en la profundidad de 10 cm, siendo diferente a las profundidades de muestreo de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm, como muestra el Cuadro 13.

Cuadro 13. Densidad de macrofauna en el sistema de uso de cacao.

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO (ind.m²)
0-10	112	320	192	208	272	1104	220.8
10 - 20	560	208	80	112	128	1088	217.6
20 - 30	256	64	0	0	48	368	73.6

Referente a la densidad de macrofauna en el sistema de uso de cacao y la profundidad fue muy superior en el muestreo M1, específicamente en la profundidad de 10 a 20 cm; menor en el muestreo M3 y M4 en una profundidad de 20 a 30 cm, tal como se observa en la Figura 8.

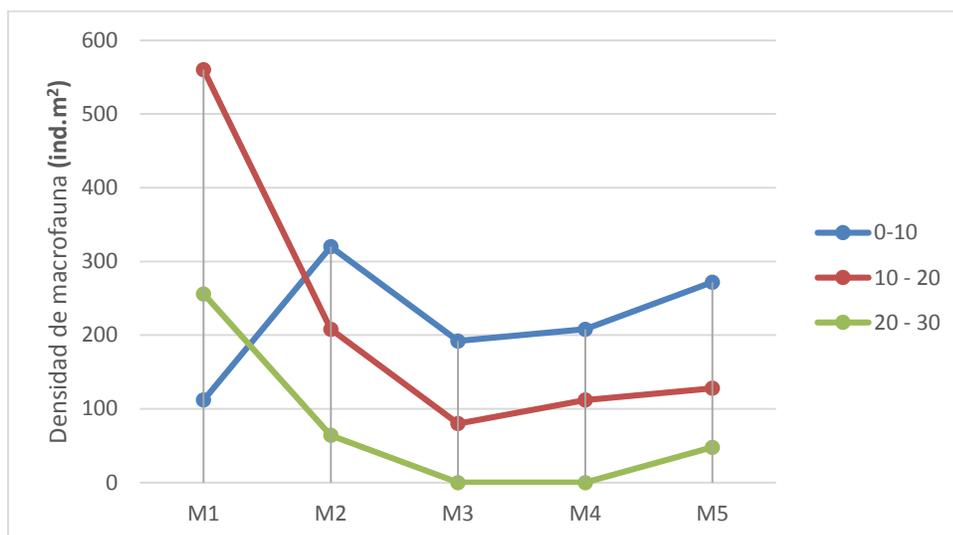


Figura 8. Densidad de macrofauna entre el sistema de uso de cacao con la profundidad del suelo.

Se ha encontrado que la densidad del macro invertebrado en el sistema de ex cocal ha presentado mayor valor promedio en la profundidad de 10 cm, siendo diferente a las profundidades de muestreo de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm, como muestra el Cuadro 14.

Cuadro 14. Densidad de macrofauna en el sistema de uso de ex cocal

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO (ind.m ²)
0-10	288	64	80	64	288	784	156.8
10-20	144	96	64	64	0	368	73.6
20-30	80	0	0	16	48	144	28.8

Referente a la densidad de macrofauna en el sistema de uso de ex cocal y la profundidad presentan una igualdad entre el muestreo M1, M5, específicamente en la profundidad de 0 a 10 cm; tanto en los dos casos, menor en el muestreo M2, M3 en una profundidad de 0 a 10 cm y M5 en una profundidad de 10 a 20 cm, tal como se observa en la Figura 9.

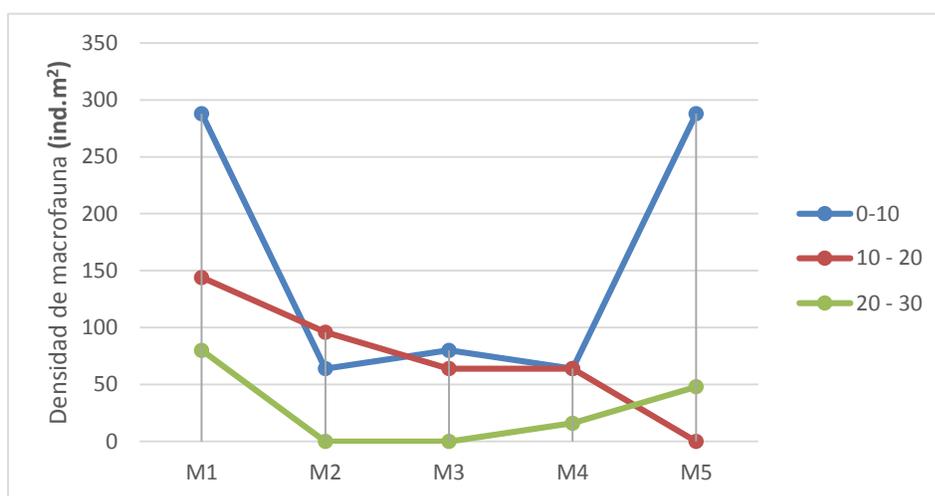


Figura 9. Densidad de macrofauna entre el sistema de uso de ex cocal con la profundidad del suelo.

Se ha encontrado que la densidad del macro invertebrado en el sistema de bosque secundario ha presentado mayor valor promedio en la profundidad de 10 cm, siendo diferente a las profundidades de muestreo de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm, como muestra el Cuadro 15.

Cuadro 15. Densidad de macrofauna en el sistema de uso de bosque secundario

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO (ind.m ²)
0-10	176	800	368	464	464	2272	454.4
10 - 20	0	176	256	336	336	1104	220.8
20 - 30	0	32	80	112	112	336	67.2

Referente a la densidad de macrofauna en el sistema de uso del bosque secundario y la profundidad fue muy superior en el muestreo M2, específicamente en la profundidad de 0 – 10 cm; y menor en el muestreo M1 en las profundidades de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm, tal como se observa en la Figura 10.

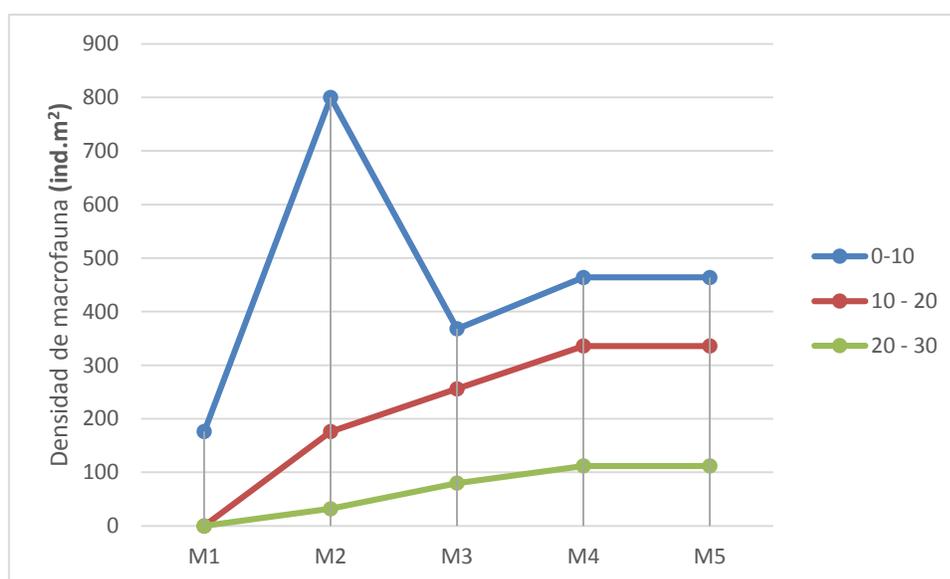


Figura 10. Densidad de macrofauna entre el sistema de uso del bosque secundario con la profundidad del suelo.

En el Cuadro 16, se encontró diferencias numéricas entre los sistemas, siendo mayor la densidad en los suelos del bosque secundario, seguido del cultivo de cacao, y finalmente el suelo de ex cocal.

Cuadro 16. Prueba Duncan de la densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo.

OM	Sistemas de uso	Promedio	Significancia
1	Bosque secundario	245.33	a
2	Cacao	174.0	a
3	Ex cocal	84.67	b

Letras diferentes muestran significación estadística

Cuadro 17. Prueba Duncan de la densidad de macrofauna en diferentes profundidades del suelo.

OM	Profundidad del suelo	Promedio	Significancia
1	0 cm - 10 cm	284.67	a
2	10 cm - 20 cm	159.0	b
3	20 cm - 30 cm	57.67	b

Letras diferentes muestran significación estadística

4.4.2. Biomasa de macrofauna

Se ha encontrado que la mayor cantidad de biomasa promedio en el suelo de cacao, presenta en la profundidad de 0 a 10 cm, que es superior a la profundidad de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. como muestra el Cuadro 18.

Cuadro 18. Biomasa de macrofauna en el sistema de uso de cacao

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO (g.m ⁻²)
0-10	1.2368	7.3184	10.3072	5.5408	42.5264	66.9296	13.38592
10 - 20	0.072	0.2272	0.008	0.2032	15.264	15.7744	3.15488
20 - 30	0.024	0.4256	0	0	7.08	7.5296	1.5

Referente a la biomasa de macrofauna en el sistema de uso de cacao y la profundidad fue muy superior en el muestreo M5, específicamente en la profundidad de 0 – 10 cm; y menor en el muestreo de M3 y M4 en la profundidad de 20 a 30 cm, tal como se observa en la Figura 11.

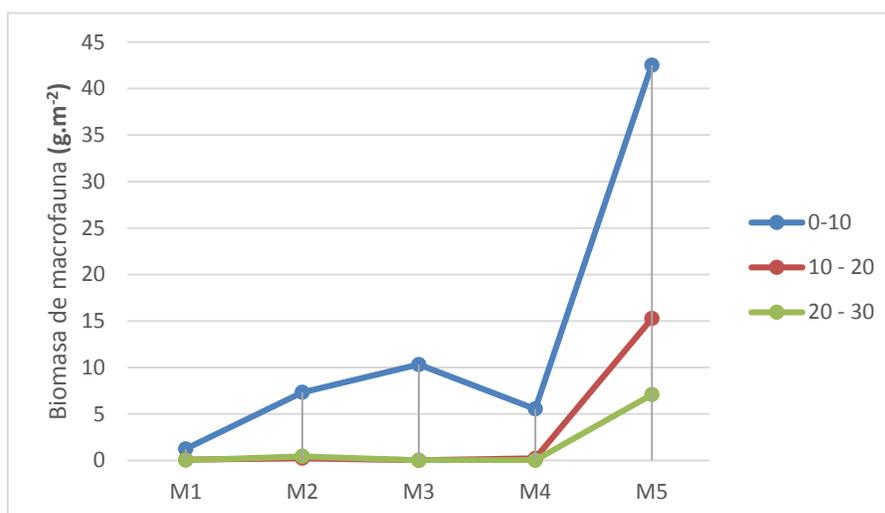


Figura 11. Biomasa de macrofauna entre el sistema de uso de cacao con la profundidad del suelo.

Se ha encontrado que la mayor cantidad de biomasa promedio en el suelo de ex cocal, presenta en la profundidad de 0 a 10 cm, que es superior a la profundidad de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. como muestra el Cuadro 19.

Cuadro 19. Biomasa de macrofauna en el sistema de uso de ex cocal

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO (g.m ⁻²)
0-10	13.6512	10.9296	11.44	8.6672	1.8288	46.5168	9.30336
10 - 20	0.32	3	0.472	2.3536	0	6.1456	1.22912
20 - 30	0.4192	0	0	0.5344	0.0704	1.024	0.2

Referente a la biomasa de macrofauna en el sistema de uso de ex cocal y la profundidad fue muy superior en el muestreo M1, específicamente en la profundidad de 0 – 10 cm; y menor en el muestreo de M2 y M3 en la profundidad de 20 a 30 cm, tal como se observa en la Figura 12.



Figura 12. Biomasa de macrofauna entre el sistema de uso de ex cocal con la profundidad del suelo.

Se ha encontrado que la mayor cantidad de biomasa promedio en el suelo de bosque secundario, presenta en la profundidad de 0 a 10 cm, que es superior a la profundidad de 10 a 20 y 20 a 30 cm. como muestra el Cuadro 20

Cuadro 20. Biomasa de macrofauna en el sistema de uso de bosque secundario

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO (g.m ⁻²)
0-10	0.0416	8.368	7.16	9.7376	1.2096	26.5168	5.30336
10 - 20	0	3.3376	0.5104	1.3696	1.1024	6.32	1.264
20 - 30	0	0.2	0.4944	0.568	0.552	1.8144	0.4

Referente a la biomasa de macrofauna en el sistema de uso del bosque secundario y la profundidad fue muy superior en el muestreo M4, específicamente en la profundidad de 0 – 10 cm; y menor en el muestreo de M1, en las profundidades de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm, tal como se observa en la Figura 13.

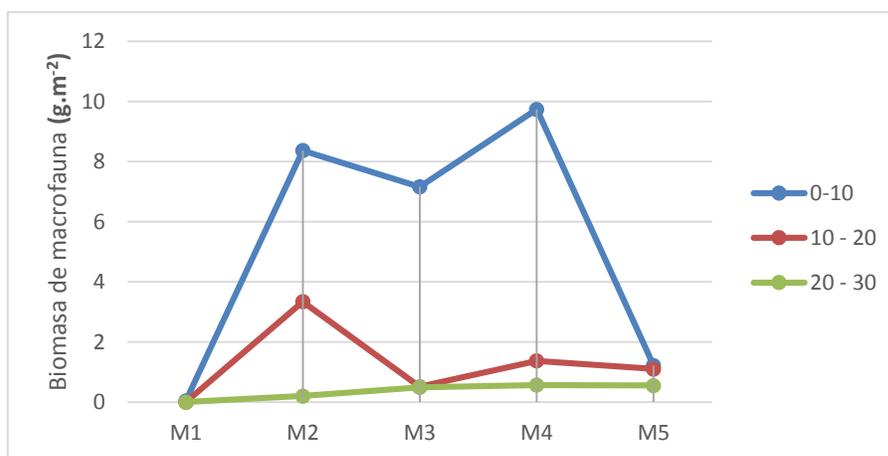


Figura 13. Biomasa de macrofauna entre el sistema de uso del bosque secundario con la profundidad del suelo.

Los suelos de cacao presentaron mayor biomasa del macro invertebrado encontrado, siendo estadísticamente superior a los suelos de ex cocal y al bosque secundario, como se observa en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Prueba Duncan de la biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo.

OM	Sistemas de uso	Promedio	Significancia
1	Cacao	6.02	a
2	Ex cocal	3.60	a
3	Bosque secundario	2.31	b

Letras diferentes muestran significación estadística.

Cuadro 22. Prueba Duncan de la biomasa de macrofauna en diferentes profundidades del suelo.

OM	Profundidad del suelo	Promedio	Significancia
1	0 cm - 10 cm	9.33	a
2	10 cm - 20 cm	5.72	b
3	20 cm - 30 cm	0.69	b

Letras diferentes muestran significación estadística.

4.4.3. Grupos taxonómicos

Se ha encontrado que la mayor cantidad de grupos taxonómicos en el suelo de cacao, presenta en la profundidad 0 a 10 cm, que es superior a la profundidad de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. como muestra el Cuadro 23.

Cuadro 23. Grupos taxonómicos en el sistema de uso de cacao

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO
0-10	5	4	4	8	3	24	4.8
10 - 20	1	2	1	2	3	9	1.8
20 - 30	1	2	0	0	2	5	1.0

Referente al grupo taxonómico de macrofauna en el sistema de uso de cacao y la profundidad fue muy superior en el muestreo M4, específicamente en la profundidad de 0 – 10 cm; y menor en el muestreo de M3, M4 en las profundidades de 20 a 30 cm, tal como se observa en la Figura 14.

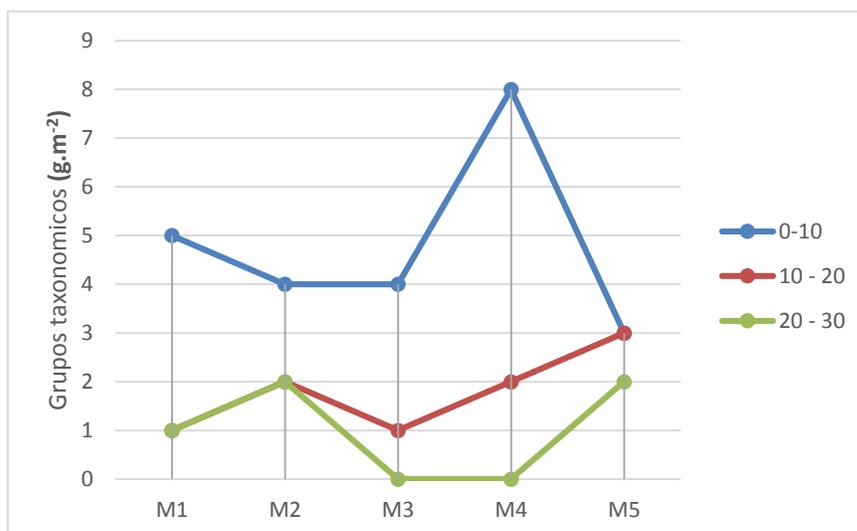


Figura 14. Grupos taxonómicos de macrofauna entre el sistema de uso de cacao con la profundidad del suelo.

Se ha encontrado que la mayor cantidad de grupos taxonómicos en el suelo de ex cocal, presenta en la profundidad 0 a 10 cm, que es superior a la profundidad de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. como muestra el Cuadro 24.

Cuadro 24. Grupos taxonómicos en el sistema de uso de ex cocal

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO
0-10	4	2	4	2	3	15	3
10 - 20	4	1	4	3	0	12	2.4
20 - 30	2	0	0	1	1	4	0.8

Referente al grupo taxonómico de macrofauna en el sistema de uso de ex cocal y la profundidad fue muy superior en el muestreo M1, M3 específicamente en la profundidad de 0 – 10 cm y 10 a 20 cm, menor en el muestreo de M2, M3 en la profundidad de 20 a 30 cm y M5 en la profundidad de 10 a 20 cm, tal como se observa en la Figura 15.

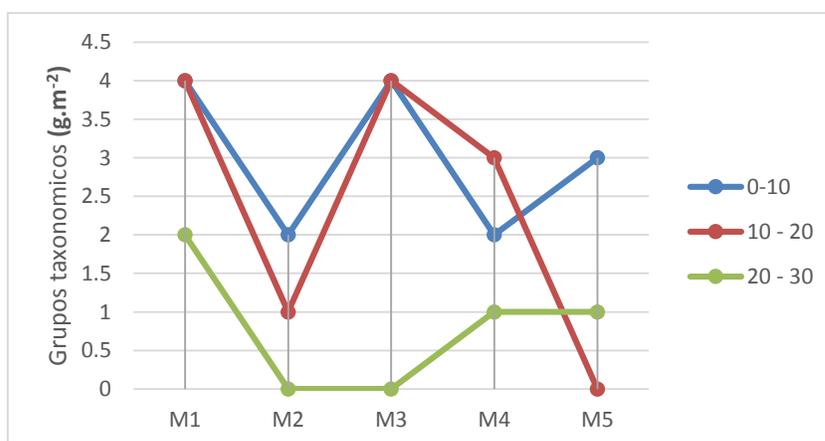


Figura 15. Grupos taxonómicos de macrofauna entre el sistema de uso de ex cocal con la profundidad del suelo.

Se ha encontrado que la mayor cantidad de grupos taxonómicos en el suelo de bosque secundario, presenta en la profundidad 0 a 10 cm, que es superior a la profundidad de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. como muestra el Cuadro 25.

Cuadro 25. Grupos taxonómicos en el sistema de uso de bosque secundario

ESTRATOS	M1	M2	M3	M4	M5	TOTAL	PROMEDIO
0-10	2	7	4	7	7	27	5.4
10 - 20	0	4	4	5	5	18	3.6
20 - 30	0	1	1	3	3	8	1.6

Referente al grupo taxonómico de macrofauna en el sistema de uso del bosque secundario y la profundidad fue muy superior en el muestreo M2, M4 y M5 específicamente en la profundidad de 0 – 10 cm; y menor en el muestreo de M1, en las profundidades de 10 a 20 cm y 20 a 30 cm, tal como se observa en la Figura 16.

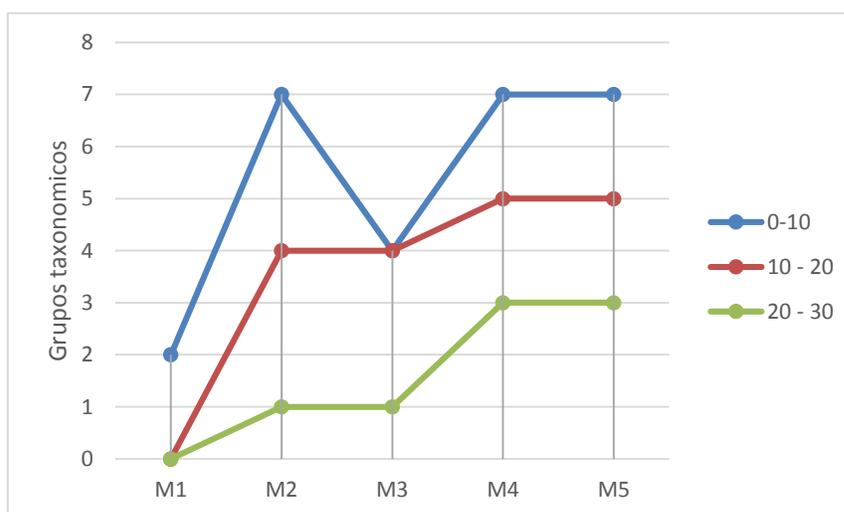


Figura 16. Grupos taxonómicos de macrofauna entre el sistema de uso del bosque secundario con la profundidad del suelo.

Numéricamente, se ha encontrado mayor grupo taxonómico en los suelos de bosques secundario, seguido del cacao, y finalmente el suelo de ex cocal, como indica el Cuadro 26.

Cuadro 26. Prueba Duncan de los grupos taxonómicos de macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo.

OM	Sistemas de uso	Promedio	Significancia
1	Bosque secundario	3.53	a
2	cacao	2.53	a
3	Ex cocal	2.07	a

Letras diferentes muestran significación estadística.

Cuadro 27. Prueba Duncan de los grupos taxonómicos de macrofauna en diferentes profundidades del suelo.

OM	Profundidad del suelo	Promedio	Significancia
1	0 cm - 10 cm	4.40	a
2	10 cm - 20 cm	2.60	b
3	20 cm - 30 cm	1.13	b

Letras diferentes muestran significación estadística.

4.4.4. Diversidad de especies

El Cuadro 28 nos muestra el análisis de diversidad por Shannon – Wiener (H'), en el cual, ex cocal presenta mayor diversidad de especies (1.7761 nats/ind.), seguido por el bosque secundario y cacao.

Cuadro 28. Índice de diversidad Shannon – Wiener para los diferentes sistemas de uso de suelo

Sistemas de uso de suelo	Índice de Shannon – Wiener (H')
Cacao	1.2975
Ex cocal	1.7761
Bosque secundario	1.5498

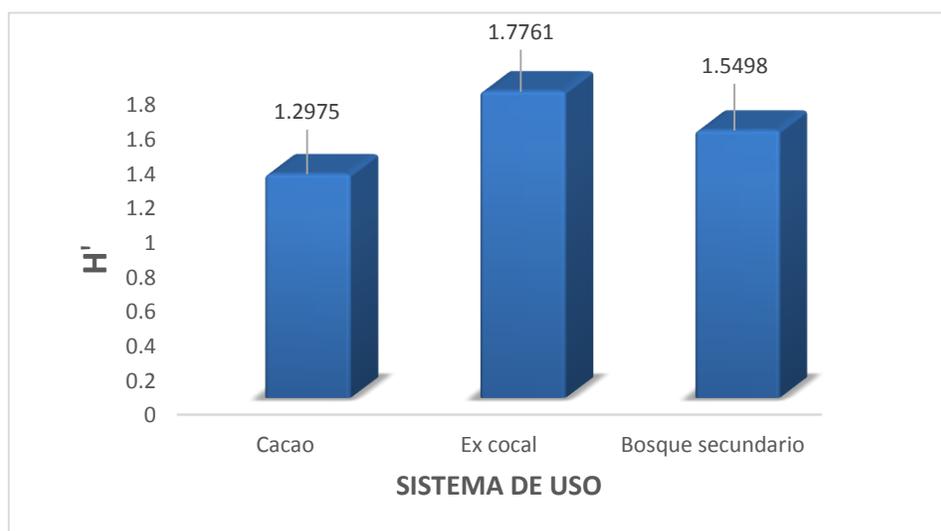


Figura 17. Distribución de la diversidad de especies según Shannon – Wiener

V. DISCUSION

5.1. Características físicas y químicas de los suelos en diferentes sistemas de uso

El análisis físico del suelo muestra que no hay diferencia significativa entre la densidad aparente de los sistemas de uso (Cuadro 5), siendo la densidad del ex cocal ligeramente superior a los demás sistemas con (1.25 g/cm³); como lo menciona Arskead et al., 1996; citado por USDA, (1999), señala que la densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo, esta condición puede ser alterada por el tipo de cultivo, pisoteo de animales y por el clima. Del mismo modo, el bosque secundario presenta mayor resistencia (2.85 Kg/cm²) y el ex cocal una alta temperatura por la escases de cobertura (25.4°C). Con respecto a la clase textural de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 5), donde muestra mayor predominancia el limo (franco limoso), como lo sostiene DONAHUE et al. (1981), quien señala que cuando las cantidades relativas del separado menos dominante varían, también varía la clase textural. El nivel de pH es moderadamente ácido en suelos de cacao, ex cocal y bosque secundario, tal como lo menciona. NAVARRO y NAVARRO (2003), que la acidez es característica de suelos localizados en regiones de alta pluviometría; El nivel de pH es moderadamente

ácido en suelos de cacao, ex cocal y bosque secundario, tal como lo menciona. NAVARRO y NAVARRO (2003), que la acidez es característica de suelos localizados en regiones de alta pluviometría; asimismo, la mayoría de los organismos evitan los suelos ácidos (HENDRICKS, 1985).

La materia orgánica y el nitrógeno en el cacao, ex cocal y bosque secundario tienen un contenido medio (Cuadro 6), como señala (FASSBENDER, 1975), que el nitrógeno guarda relación con la materia orgánica, ya que existe en la atmósfera terrestre a través de los distintos procesos de fijación, ZAVALETA (1992), indica que el contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable y está condicionado en primera instancia por el clima y la vegetación, la fisiografía, la naturaleza, el material madre que genera el suelo; asimismo, el sistema de manejo, el tipo y la duración de la explotación de los suelos y algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas.

El nivel de fósforo y el potasio es bajo en el bosque secundario, en comparación del ex cocal quien presenta un nivel medio, el cacao presentó bajo en potasio y medio en fósforo (Cuadro 6), el contenido de este nutriente está ligado a la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización, no obstante, que esta variación está influenciada por la intensidad de las pérdidas: extracción de cultivos, lixiviación y erosión (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

Se determinó que los suelos de cacao presentan una densidad aparente de (1.24 g/cm³), con una resistencia a la penetración de (2.34 Kg/cm²), una textura de franco limoso, con un pH moderadamente ácido, un contenido medio de materia orgánica y nitrógeno y contenido medio de fósforo y bajo contenido potasio tienen una densidad media y biomasa de macrofauna superior a los demás sistemas de uso, pero a su vez tienen una diversidad inferior a comparación a los demás sistemas de uso. Respecto a ello DECAENS et al. (2001), señala que en Colombia, encontraron que los suelos con contenidos altos de limo (63%), Mg (0,2 meq/100 g) y K (0,1 meq/100g), tenían altas poblaciones y riqueza taxonómica de macrofauna; mientras que Myriapoda, Cicadidae, Dictyoptera, Isópoda tuvieron grandes biomásas; Oligochaeta, Hymenoptera, Formicidae, Isóptera y Myriapoda estuvieron presentes en altas densidades. Estos resultados se corroboran con la investigación, ya que se encontró una alta biomasa y densidad de Hymenoptera en suelos de cacao.

5.2. Identificación y cuantificación de macrofauna de suelo en diferentes sistemas de uso.

Se identificaron 11 órdenes de macrofauna: 10 en cacaotal, 10 en ex cocal y 11 en bosque secundario (Cuadro 8); la isóptera, Hymenóptera y Coleóptera, predominan en los tres sistemas de uso, como señala CURRY (1987), que el orden Hymenóptera tiene una amplia distribución y ocurre en los ecosistemas más

extremos; mientras que las actividades antrópicas han sido una de las principales responsables de la dispersión de las lombrices de tierra (LAVELLE y SPAIN, 2001).

En el cacaotal predominan las Hymenoptera con 333 ind.m⁻², asimismo RODRÍGUEZ (2000) menciona que las hormigas son considerados como indicadores de perturbación del medio edáfico, debido a su habilidad para sobrevivir mayormente en suelos agrícolas. Mientras que CABRERA, (2012) hace referencia respecto a la abundancia de las isópteras a los demás sistemas de uso con 169 ind.m⁻² en bosque secundario, LAVELLE et al. (2003), indica que las termitas adquieren importancia en zonas de cultivos, donde su invasión y agresividad han estado relacionadas con condiciones adversas de temperatura y humedad.

Respecto a la distribución vertical, en todos los usos del suelo la mayor abundancia de organismos y biomasa se presentó en la profundidad de 0 – 10 cm (Cuadro 10 y Figura 6). Así mismo estadísticamente se encontró diferencia a un 95% de confiabilidad, tal como menciona CASTRO et al., (2007), quienes determinaron la mayor abundancia, riqueza y diversidad en el estrato de 0 a 10 cm.

5.3. Relación entre las propiedades físico - químicos del suelo y la densidad y biomasa de macrofauna.

Se determinó que existe relación significativa entre el fósforo y la biomasa de macrofauna, generando un coeficiente de Pearson cuyo valor de 0.95 (Cuadro 12), cual indica fuerte relación positiva entre el fósforo y biomasa. Las

demás propiedades del suelo no determinaron significancia para la aceptación de alguna relación. Como menciona STEWART Y TIESSEN, (1987); el P orgánico está compuesto, a su vez, por varias fracciones, desde las más lábiles hasta las más resistentes a la mineralización. No obstante, el componente orgánico central del ciclo del P es la biomasa microbiana, la cual es una fracción lábil controlada por factores ambientales y por aquellos relacionados con el manejo de los suelos.

5.4. Relación entre los diferentes sistemas de uso y la biomasa y densidad de macrofauna a diferentes profundidades.

Los resultados no muestran una diferencia estadística entre los sistemas de uso de suelo (Cuadro 16), pero si numéricamente diferentes, siendo el bosque secundario el sistema con mayor densidad de individuos por metro cuadrado, seguido por el cacao y el ex cocal; respecto a esto, CABRERA et al. (2011). Los bosques secundarios estuvieron mejor representados en la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa de la macrofauna, con relación al ex cocal; contrariamente FAO, (2002), menciona que cuando la cobertura vegetal es diversa, como es el caso del campo natural, el mantillo es más heterogéneo y como consecuencia hay un incremento de los recursos a ser colonizados, lo que determina un aumento de la diversidad de la fauna del suelo.

El índice de Shannon – Wiener (H_i), nos muestra una mayor diversidad en el ex cocal con (1.7761 nats/ind.), seguido por el bosque secundario y el cacao,

esto principalmente al tipo de hábitat que presentó cada sistema de uso (ver Cuadro 28 y Figura 17), LAVELLE y SPAIN (2001); WARDLE, (1995) señalan que la variación de hábitat fue un factor influyente en la densidad, la biomasa y la diversidad de especies de macrofauna ya que estos responde al manejo (secuencia de cultivos, manera de preparación del suelo, ingreso de la materia orgánica, etc.), como resultado de las perturbaciones físicas que se producen, el tipo, la riqueza de especies vegetales y su manejo tienen efecto sobre la macrofauna del suelo (ALTIERI, 1999; AQUINO et al., 2000; DUBS y en una gran variedad de cultivos (arroz, maíz, soja) (LEE, 1985).

VI. CONCLUSIONES

De los efectos de las propiedades físicas y químicas evaluadas en los diferentes sistemas de uso:

1. El suelo del cacao presenta una buena textura del suelo, una adecuada resistencia, un pH medio, y una baja disponibilidad de nutrientes para la plantación de cacao.
2. Los suelos del bosque secundario presentaron una alta resistencia, un pH moderadamente ácido y medio contenido de materia orgánica, por lo mismo de la pendiente, el contenido bajo de nutrientes y el contenido medio de materia orgánica debe ser un área de conservación.
3. Los suelos del ex cocal presentan un pH moderadamente ácido, una adecuada resistencia, un contenido medio de materia orgánica, es un suelo que se encuentra en proceso de recuperación.
4. Los efectos biológicos analizados en los diferentes sistemas de uso, en el bosque secundario mostraron 11 grupos taxonómicos, con una mayor abundancia de Hymenóptera (323 ind.m⁻²), densidad (736 ind.m⁻²) y una biomasa de macrofauna (6.93g.m⁻²).

5. La correlación entre las propiedades físicas y químicas del suelo y la macrofauna, el incremento y la disminución del fósforo del suelo indica una fuerte relación positiva entre el fósforo y la biomasa de la macrofauna. En general los organismos edáficos registran picos de abundancia y distribución, a condiciones favorables donde presentan mayor cantidad de nutrientes.

6. Se determinó que numéricamente existen diferencias entre la densidad de macrofauna de los diferentes sistemas de uso, estadísticamente presentan diferencias en la biomasa, teniendo el bosque secundario el mayor promedio (245.33 ind. m⁻²) y cacao (6.02 g.cm⁻²) respectivamente. En la evaluación de las profundidades, en el estrato de 0 - 10 cm, este presenta diferencia estadística en la densidad y la biomasa respecto a las demás profundidades. Se encontró mayor diversidad de especies en el ex cocal (H=1.78), seguido por el bosque secundario y el cacao.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar más trabajos de investigación en macrofauna del suelo, conociendo su importancia como agentes reguladores de los procesos físico-químicos que afectan la fertilidad del suelo.
2. Realizar un plan de abonamiento de acuerdo a los análisis de suelo, con las dosis exactas y los nutrientes necesarios como estiércol de cuy, gallinaza y guano de vacuno para el cultivo de cacao.
3. Considerar análisis físico-químicos del suelo como factor influyente en la diversidad de la macrofauna del suelo
4. Para el ex cocal es necesario recuperar el suelo degradado con leguminosas como el kudzu y guaba, para poder mejorar la resistencia a la compactación. El bosque secundario conservar como un área protegida para evitar la erosión del suelo.
5. Seguir realizando investigaciones, incluyendo otros indicadores como la textura, la profundidad efectiva, la infiltración, porosidad, conductividad eléctrica, la estabilidad de agregados, el color y la evaluación de la microfauna y mesofauna.

VIII. ABSTRACT

The research was conducted at the farm of Mrs. Inga Gisel Delfina Panchana Naranjillo industry located in the district of Father Philip Luyando province of Leoncio Prado.; between the months of May to October 2014. The objective was to determine the effect of three systems of land use in the physical, chemical and biological soil properties. In evaluating three plots with different use systems (ex cocal, secondary forest and cocoa) were selected. To evaluate sampling and analysis of soil and a transect with five monoliths of 25 x 25 x 30 cm deep by system was performed.

The physical effects evaluated in different soil systems were: The cacao presented a silt loam texture, bulk density (1.24 g / cm³), resistance (2.34 kg / cm²), moderately acidic pH (6.97), average content of matter organic (3.26%) and nitrogen (0.15%), the phosphorus content (11.12 ppm) and potassium (183.52 kg / ha). Secondary forest soils have a silt loam texture, bulk density (1.20 g / cm³), high resistance to compaction (2.85 kg / cm²), moderately acidic pH (6.29),

medium organic matter content (3.26%) and nitrogen (0.15%), low phosphorus content (2.30 ppm) and potassium (1.94.12 Kg / Ha). The soils of former coccoloba filed a silty loam texture, bulk density (1.25 g / cm³), resistance (2.4kg / cm²), moderately acidic pH (6.19), medium organic matter content (2.44%) and nitrogen (0.11%), medium phosphorus content (7.98 ppm) and potassium (325.77 kg / ha).

The biological effects evaluated in different land use systems; 11 taxa of species was found; more diversity in secondary forest (11), followed by cocoa with 10 and former coccoloba with 10. The highest density (736 ind.m⁻²) was found in secondary forest and biomass of macrofauna (18.05 gm⁻²) was found in the cacao plantation of 0-10 cm deep. The correlation between, and chemical soil macrofauna, physical properties and microbial biomass P indicating a strong positive relationship to the abundance, distribution and activity of the soil macrofauna.

The type of land use has a significant effect on the physical, chemical and biological soil properties. According to the effects studied demonstrated that disruption, degradation and erosion are caused by human activity have a negative influence on the ground.

The biodiversity index indicates that the cultivation of ex coccoloba has greater species diversity (1.7761 nats / ind.) Followed by secondary forest and cocoa.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, E., CARRASCO, A., LEON, O., SILVA, P., CASTILLO, G., BORIE, G., MARTINEZ, E., GONZÁLEZ, S., AHUMADA, I. 2005. Criterios de calidad del suelo agrícola. [En línea]: USDA, (, informe, dptos, 09 Oct. 2009).
- ASTIER, C., MASS-MORENO, M. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605 - 620.
- ALEGRE J.C. & FERNANDES E.C.M. 1991. Runoff and erosion losses under forest, low-input and alley-cropping in slopes. pp. 227-228. In: T. McBride (Ed.). *TropSoils Technical Report 1988-1989*. North Carolina State University. Raleigh, North Carolina.
- ALTIERI, M. 1999. El agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. In Altieri, M. 1999 (Ed.). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo, Nordan Comunidad. p. 47-70.
- AQUINO, M.A. DE., MERLIM, A. DE OLIVEIRA., CORREIA, M., MERCANTE, F. 2000. Diversidad de macrofauna do solo como indicadora de sistemas de

plántio directo para a região oeste do Brasil. In Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (24), Reunião Brasileira sobre Micorrizas (8), Simposio Brasileiro de Microbiología do Solo (6), Reunião Brasileira de Biología do Solo (3., 2000, Santa María, Rio Grande do Sul, BR). Fertbio 2000. Biodinámica do solo. 1 disco compacto.

ARAGÓN, J. 2003. Guía de reconocimiento y manejo de plagas tempranas relacionadas a la siembra directa. Moliner, G. (Ed.). Buenos Aires, Agroediciones. 60 p.

ASTIER, C., MASS-MORENO, M. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605 - 620.

AZEVEDO, V., LIMA, D., CORREIA, M., AQUINO, A., PEREIRA DOS SANTOS, H. 2000. Fauna del suelo en diferentes sistemas de plantío e manejo no planalto medio do Rio Grande do Sul. In Reunião Brasileira de Fertilidade de Suelo e Nutrição de Plantas (24), Reunião Brasileira sobre Micorrizas (8), Simposio Brasileiro de Microbiología do Solo (6), Reunião Brasileira de Biología do Solo (3., 2000, Santa María, Rio Grande do Sul, BR). Fertbio 2000. Biodinámica do solo. 1 disco compacto.

BAUTISTA, C., ETCHEVERS, B., DEL CASTILLO, R., GUTIÉRREZ, C. 2004. La calidad de los suelos y sus indicadores. [En línea]: HEET, (<http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>, 30 Nov. 2005).

- BENITES J.R. 1983. Alternativas para los terrenos abandonados del cultivo de la coca en el Alto Huallaga. CIPA XVI-Estación Experimental de Yurimaguas. Programa de Suelos Tropicales. Serie de Separatas No 4. Yurimaguas, Perú.
- BEER, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-114.
- BIBLIOTECA DE CAMPO. 2002 Manual Agropecuario Tecnológicas Orgánicas de la granja integral Autosuficiente. Fundación Hogares Juveniles Campesinos. Bogotá, Colombia. 109 p.
- BORNEMISZA, E. 1982. Introducción a la Química de Suelos, Universidad de Costa Rica, San José , Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía no. 25 p. 21-47.
- BROWN, G., PASINI, A., BENITO, N., De AQUINO, A., CORREIA, M. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Report presented in the "International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems". Montreal, Canadá. 20 p.
- BURGUES, A. Y RAW, F. 1971. Biología del suelo. Edit. Paraninfo. Edic. Omega. SA. Barcelona, España. 470 p.

- CABRERA, G.; ROBAINA, N. & PONCE DE LEÓN, D. 2011a. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34:331
- CASTRO, J., BURBANO, H., BONILLA, C. 2007. Abundancia y biomasa de organismos edáficos en tres usos del terreno en el altiplano de Pasto, Colombia. Nariño, Colombia. 8 p.
- CLAPPERTON, J. 2000. Creating healthy productive soil. In Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata, Argentina. 35-40 p.
- CORREIA, M.E.F. 2002. Relaciones entre a diversidad de la fauna en los procesos de descomposición y sus reflejos sobre a estabilidad de los ecosistemas. Rio de Janeiro, Embrapa Seropédica. Documentos no.156. 33 p.
- CORREIA, M., OLIVEIRA, L. 2000. De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapaagrobiología. 46 p.
- DECÄENS, T., LAVELLE, P., JIMÉNEZ, J., ESCOBAR, G., RIPPSTEIN, G., SCHNEIDMADL, J., SANZ, J., HOYOS, P., THOMAS, R. J. 2001. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. In Jiménez, J.J.; Thomas, R. J. U. (Eds.). *Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the Neotropical savannas of Colombia*. Cali, CIAT. Publicación CIAT no. 324.19-41 p.

- DECAËNS, T, LAVELLE, P., JIMÉNEZ, J. J., ESCOBAR, G. AND RIPPSTEIN, G. (1994) 'Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia', *European Journal of Soil Biology*, vol. 30, pp. 157–168.
- DONAHUE, R., MILLER, R., SCHICKLUNA, J. 1981. *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas Traducido por Jorge Peña*. Prentice-Hall international, Cali, Colombia. 624 p.
- DORAN, J., SAFLEY, M. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In Pankhurst, C.E.; Doube, B.M.; Gupta, V.V.S.R. (Eds.). *Biological indicators of soil health*. Wallingford, CAB International. 1-28 p.
- DUBS, F., LAVELLE, P., BRENNAN, A, EGGLETON, P., HAIMI, J., IVITS, E., JONES, D., KEATING, A., MORENO, A.G., SCHEIDEGGER, C., SOUSA, P., SZEL, G., WATT, A. 2004. Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: an European gradient study. In *International Colloquium on Soil Zoology and Ecology*. (14., 2004, France). Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. 252 p.
- ELLIOT, L. 1997. Soil biodiversity and grass cropping systems. In *International Grassland Congress* (18., 1997, Canada). Session 12- Biodiversity. 241- 248 p

- FAO. 2001. Soil Biodiversity: What is it? Soil Biodiversity: Portal. Land and Water (AGL). FAO, (<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/soilbtxt.htm>).
- FAO.2002. Soil biodiversity and sustainable agriculture. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture.Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja. no.182. 1-68 p.
- FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. 404 p.
- FEIJOO, A., KNAPP, E., LAVELLE, P., MORENO, A.2001. Quantifying soil macrofauna in Colombian watershed. In Jiménez, J.J.; Thomas, R. J. U (Eds.). Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia. Cali, Colombia. Publicación CIAT no. 324. 42-48 p.
- FRASER, P., HAYNES, R., WILLIAMS, P. 1994. Effects of pasture improvement and intensive cultivation on microbial biomass, enzyme activities, and composition and size of earthworm populations. Biol. Fertil. Soils 17:185-190.
- GASSEN, D., GASSEN, F.1996. Plantiodireto o caminho do futuro. Passo Fundo, Aldeia Sul.207 p.
- HENDRICKS, D. M. 1985. Animals and Soil in Arizona. In Hendricks, D.M. (Ed.) Arizona Soils.Tucson, University of Arizona. Editor Haney, R.A. Jr. 55-62 p.

- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, P. 2006. Metodología de investigación. 4 ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 736 p.
- HILL, S. 2002. Soil fauna and agriculture: past findings and future priorities. EAP Publicación 25.8 p.
- HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E.O. 1990. The Ants. Cambridge, University Press. 732 p.
- HOLDRIDGE, L. 1986. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- HÜNNEMEYER, J., DE CAMINO, R., MÜLLER, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- ILMARINEN, K., MIKOLA, J., VESTERBERG, M. 2004. Do mammalian grazers affect plant growth and plant quality via long term soil feedbacks? In International Colloquium on Soil Zoology and Ecology (14. 2004, France) Sessions 5, poster contributions.164 p.
- KRAMER, P. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. Industria editorial Mexicana, Reg. N° 723.México.533 p.
- LAVELLE, P. 2002. Functional domains in soils. Ecological Research 17:441-450.
- LAVELLE, P., PASHANASI, B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto).En: Pedobiologia33:283-291.

- LAVELLE, P., SPAIN, A. 2001. Soil Ecology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.654 p.
- LEE, K. 1985. Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use. New York, Academic Press. 411 p.
- LUIZÃO, R., BARROS, E., LUIZÃO, F., ALFAIA, S. 2002. Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry system in Rondônia, Amazônia, Brasil. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystem for Sustainable Agriculture.Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja.no.182. 93-97 p.
- MCGEOCH, M., CHOWN, S. 1998. Scaling up the value of bioindicators. Trends in Ecology and Evolution 13(2): 46-47.
- MCGEOCH, M., VAN RENSBURG, B., BOTES, A.2002. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. Journal of Applied Ecology 39:661-672.
- MORRIS, M. 2000. The effects of structure and its dynamics on the ecology and conservation of arthropods in British grasslands. Biological Conservation 95:129-142.
- NAVARRO, S., NAVARRO, G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 ed. Mundi Prensa, España

- ODUM, E. 1983. *Ecología*. 3ra Edic. Edit. Nueva editorial Interamericana, S.A. México, D.F.
- PASHANASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica*. Lima, Perú. 12(1-2): 75-797.
- PATRÓN, E. 1996. Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería. Edit. Trillas. México. 215 p.
- PURVIS, G., CURRY, J. 1980. Successional changes in the arthropod fauna of a new lay pasture established on previously cultivated arable land. *Journal of Applied Ecology* 17: 309-321.
- RODRÍGUEZ, C. 2000. Comunidades de lombrices de tierra ecosistemas con diferente grado de perturbación. *Rev. Biología*. 14:147
- RYPSTRA, A.L.; CARTER, P.E.; BALFOUR, R.A.; MARSHALL, S. D. 1999. Architectural features of agricultural habitats and their impact on spider inhabitants. *Journal of Arachnology* 27:371-377.
- SIEMANN, E. 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology* 79:2057-2070.
- STINNER, B., HOUSE, G. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology* 35:299-318.

- VARGAS, Y., VALDIVIA, L. 2005. Recuperación, mediante leguminosas rastreras, de suelos degradados (ex cicales) en la Selva Alta del Perú. Mosaico científico 2(2). 6 p.
- VERHOEF, H., VAN SELM, A. 1983. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology* 6:387:394.
- VILLALOBOS, F., LAVELLE, P. 1990. The soil Coleoptera community of a tropical grassland from Laguna Verde, Veracruz (Mexico). *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 27:73-96.
- WARDLE, D. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Advances in Ecological Research.* 26:105:185.
- VERHOEF, H. VAN SELM, A. 1983. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology* 6:387:394. G. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. CONCYTEC. Lima, Perú.
- ZAVALETA, A. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Editado por A&B S.A. lima, Perú, Consejo nacional de ciencia y Tecnología – CONCYTEC.

X. ANEXO

Anexo 2. Información para el análisis estadístico

Cuadro 29. Datos digitalizados para el DCA

SISTEMA DE USO	REPETICIONES	VARIABLES			
		ESTRATOS	DENSIDAD	BIOMASA	GRUPOS
CACAO	M1	0-10	112	1.2368	5
		10 - 20	560	0.072	1
		20 - 30	256	0.024	1
	M2	0-10	320	7.3184	4
		10 - 20	208	0.2272	2
		20 - 30	64	0.4256	2
	M3	0-10	192	10.3072	4
		10 - 20	80	0.008	1
		20 - 30	0	0	0
	M4	0-10	208	5.5408	8
		10 - 20	112	0.2032	2
		20 - 30	0	0	0
	M5	0-10	272	42.5264	3
		10 - 20	128	15.264	3
		20 - 30	48	7.08	2
EX COCAL	M1	0-10	288	13.6512	4
		10 - 20	144	0.32	4
		20 - 30	80	0.4192	2
	M2	0-10	64	10.9296	2
		10 - 20	96	3	1
		20 - 30	0	0	0
	M3	0-10	80	11.44	4
		10 - 20	64	0.472	4
		20 - 30	0	0	0
	M4	0-10	64	8.6672	2
		10 - 20	64	2.3536	3
		20 - 30	16	0.5344	1
	M5	0-10	288	1.8288	3
		10 - 20	0	0	0
		20 - 30	48	0.0704	1
BOSQUE SECUNDARIO	M1	0-10	176	0.0416	2
		10 - 20	0	0	0
		20 - 30	0	0	0
	M2	0-10	800	8.368	7
		10 - 20	176	3.3376	4
		20 - 30	32	0.2	1
	M3	0-10	368	7.16	4
		10 - 20	256	0.5104	4
		20 - 30	80	0.4944	1
	M4	0-10	464	9.7376	7
		10 - 20	336	1.3696	5
		20 - 30	112	0.568	3
	M5	0-10	544	1.2096	7
		10 - 20	320	1.1024	5
		20 - 30	112	0.552	3

Cuadro 30. Datos digitalizados para el análisis de correlación

SISTEMA DE USO DE SUELO	VARIABLES EVALUADOS													
	Densidad aparente	resistencia	temperatura	humedad	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	pH	M.O	N	P	K ₂ O	densidad de macrofauna	Biomasa de macrofauna
cacao	1.24	2.34	24.30	80.0	25.68	15.04	59.28	6.97	3.26	0.15	11.12	183.52	522.0	18.05
ex cocal	1.25	2.40	25.40	82.6	25.68	19.04	55.28	6.19	2.44	0.11	7.98	325.77	254.0	10.81
bosque secundario	1.20	2.85	24.40	81.5	23.68	17.0	59.28	6.29	3.26	0.15	2.30	194.12	736.0	6.93

Fuente: Elaboración propia (2014)

Anexo 3. Información recopilada en campo

Cuadro 31. Biomasa de macrofauna a diferentes profundidades y en diferentes sistemas de uso

Muestras	Cacao			Ex cocal			Bosque Secundario		
	0-10	10,20	20-30	0-10	10,20	20-30	0-10	10,20	20-30
M1	1.2368	0.072	0.024	13.651	0.32	0.4192	0.0416	0	0
M2	7.3184	0.2272	0.4256	10.93	3	0	8.368	3.3376	0.2
M3	10.3072	0.008	0	11.44	0.472	0	7.16	0.5104	0.4944
M4	5.5408	0.2032	0.016	8.6672	2.3536	0.5344	9.7376	1.3696	0.568
M5	42.5264	15.264	7.08	1.8288	0.368	0.0704	1.2096	1.1024	0.552
Biomasa/estrato	13.3859	3.15488	1.5091	9.3034	1.30272	0.2048	5.3034	1.264	0.36288

Cuadro 32. Densidad de macrofauna de 0-10 cm de profundidad en diferentes sistemas de uso

Clase - Orden	Cacao					Ex Cocal					Bosque secundario				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
insecta - hymenoptera	16	192	64	32	96	160	0	16	0	80	160	288	160	256	128
oligochaeta - haplotaxida	0	0	32	16	160	0	16	32	16	0	0	16	0	32	16
huevo oligochaeta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
crustacea - isopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0
Miriapodas - chilopoda	16	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	48	0	96	80
Miriapodas - diplopoda	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0
Gasteropoda -	16	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	16	0	16	0
insecta - dermaptera	0	16	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	32
insecta - Orthoptera	0	0	0	0	16	0	0	0	16	0	16	0	0	16	0
insecta - isoptera	32	0	16	16	0	32	48	0	32	0	0	352	0	0	240
insecta - coleoptera	32	80	0	80	0	80	0	0	32	176	0	64	176	32	32
Arachnida - araneae	0	32	80	16	0	16	0	16	0	32	0	0	16	0	16
Total de ind. * m2	112	320	192	208	272	288	64	80	96	288	176	800	368	464	544

Cuadro 33. Densidad de macrofauna de 10-20 cm de profundidad en diferentes sistemas de uso

Clase - Orden	Cacao					Ex Cocal					Bosque secundario				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
insecta - hymenoptera	560	192	80	0	32	80	96	0	32	0	0	32	96	144	96
oligochaeta - haplotaxida	0	0	0	0	80	0	0	16	0	0	0	0	0	0	16
huevo oligochaeta	0	0	0	0	16	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0
crustacea - isopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miriapodas - chilopoda	0	0	0	0	0	32	0	16	0	0	0	32	64	144	48
Miriapodas - diplopoda	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	16	0
Gasteropoda -	0	16	0	0	0	0	0	0	16	0	0	16	0	0	0
insecta - dermaptera	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	16	0
insecta - Orthoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
insecta - isoptera	0	0	0	96	0	0	0	0	16	0	0	96	80	0	48
insecta - coleoptera	0	0	0	16	0	16	0	0	0	0	0	0	16	16	16
Arachnida - araneae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total de ind. * m2	560	208	80	112	128	144	96	64	64	0	0	176	256	336	224

Cuadro 34. Densidad de macrofauna de 20-30 cm de profundidad en diferentes sistemas de uso

Clase - Orden	Cacao					Ex Cocal					Bosque secundario				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
insecta - hymenoptera	256	32	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	80	96	80
oligochaeta - haplotaxida	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	16
huevo oligochaeta	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
crustacea -isopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miriapodas - chilopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
Miriapodas - diplopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasteropoda -	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
insecta - dermaptera	0	0	0	0	16	0	0	0	16	48	0	0	0	0	0
insecta - Orthoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
insecta - isoptera	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0
insecta - coleoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16
Arachnida - araneae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total de ind. * m2	256	64	0	0	48	80	0	0	16	48	0	32	80	128	112

Cuadro 35. Datos de penetración del suelo

Muestra	Cultivo de cacao	Bosque secundario	Ex cocal
1	2.5	3.0	2.6
2	2.3	2.8	2.3
3	2.2	2.7	2.3
Promedio	2.34	2.85	2.4

Cuadro 36. Datos de temperatura del suelo

Muestra	Cultivo de cacao	Bosque secundario	Ex cocal
1	25	25	26
2	23	23	25
3	25	23	25
Promedio	24.3	24.4	25.4

Anexo 4. Determinación de la diversidad según Shannon –Wiener

Cuadro 37. Índice de Shannon – Wiener para cacao

Grupo Taxonomico	Pi	LN Pi	Pi LN Pi	Pi ²	H
Insecta- Hymenoptera	0.63793103	-0.44952509	-0.28676601	0.406956005	
Oligochaeta Haplotaxida	0.1091954	-2.2146163	-0.24182592	0.011923636	
Miriapodas- Chilopoda	0.00574713	-5.15905529	-0.02964974	3.30295E-05	
Miriapodas -Diplopoda	0.00574713	-5.15905529	-0.02964974	3.30295E-05	
Gasteropoda-	0.01724138	-4.06044301	-0.07000763	0.000297265	
Insecta – Dermáptera	0.01724138	-4.06044301	-0.07000763	0.000297265	
Insecta - Orthoptera	0.00574713	-5.15905529	-0.02964974	3.30295E-05	
Insecta–Isoptera	0.07279693	-2.62008142	-0.19073389	0.005299394	
Insecta- Coleoptera	0.07854406	-2.54409552	-0.19982359	0.00616917	
Arachnida- Araneae	0.04980843	-2.99957105	-0.14940392	0.00248088	
S=10			-1.29751785		1.297518

Fuente: Elaboración propia (2014).

Cuadro 38. Índice de Shannon – Wiener para ex cocal.

Grupo Taxonomico	Pi	LN _{Pi}	PiLN _{Pi}	Pi ²	H
Insecta- Hymenoptera	0.405511811	-0.902605279	-0.366017	0.16443983	
Oligochaeta Haplotaxida	0.102362205	-2.279237729	-0.233307	0.01047802	
Miriapodas- Chilopoda	0.051181102	-2.97238491	-0.152129	0.00261951	
Miriapodas -Diplopoda	0.011811024	-4.438721978	-0.052425	0.0001395	
Gasteropoda-	0.011811024	-4.438721978	-0.052425	0.0001395	
Insecta – Dermáptera	0.059055118	-2.829284066	-0.167083	0.00348751	
Insecta - Orthoptera	0.011811024	-4.438721978	-0.052425	0.0001395	
Insecta–Isoptera	0.098425197	-2.318458442	-0.228194	0.00968752	
Insecta- Coleoptera	0.196850394	-1.625311262	-0.319943	0.03875008	
Arachnida- Araneae	0.051181102	-2.97238491	-0.152129	0.00261951	1.77608392
S=10			-1.776083		

Fuente: Elaboración propia (2014).

Cuadro 39. Índice de Shannon – Wiener para bosque secundario

Grupo Taxonómico	Pi	LN _{Pi}	PiLN _{Pi}	Pi ²	H
Insecta- Hymenoptera	0.438858696	-0.823577796	-0.361434	0.19259695	
Oligochaeta Haplotaxida	0.025815217	-3.65679114	-0.094400	0.00066643	
Crustáceo -Isópoda	0.004076087	-5.50261783	-0.022429	1.6614E-05	
Miriapodas- Chilopoda	0.144021739	-1.937791025	-0.279084	0.02074226	
Miriapodas -Diplopoda	0.008152174	-4.80947065	-0.039207	6.6458E-05	
Gasteropoda-	0.012228261	-4.404005541	-0.053853	0.00014953	
Insecta – Dermáptera	0.017663043	-4.036280761	-0.071293	0.00031198	
Insecta - Orthoptera	0.008152174	-4.80947065	-0.039207	6.6458E-05	
Insecta–Isoptera	0.229619565	-1.471331404	-0.337846	0.05272514	

Insecta- Coleoptera	0.10326087	-2.270496778	-0.234453	0.01066281
Arachnida- Araneae	0.008152174	-4.80947065	-0.039207	6.6458E-05
S=11			-1.549988	1.54998837

Fuente: Elaboración propia (2014).

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 18. Entrada al fundo de evaluación.



Figura 19. Entrada al bosque secundario



Figura 20. Tomando los puntos en la parcela de cacao.



Figura 21. Evaluando la resistencia del suelo.



Figura 22. Realizando el muestreo en la parcela del bosque secundario.



Figura 23. Evaluando la temperatura del suelo.



Figura 24. Realizando el conteo de la macrofauna del suelo.



Figura 25. Visualizando a una Hymenoptera mediante el estereoscopio

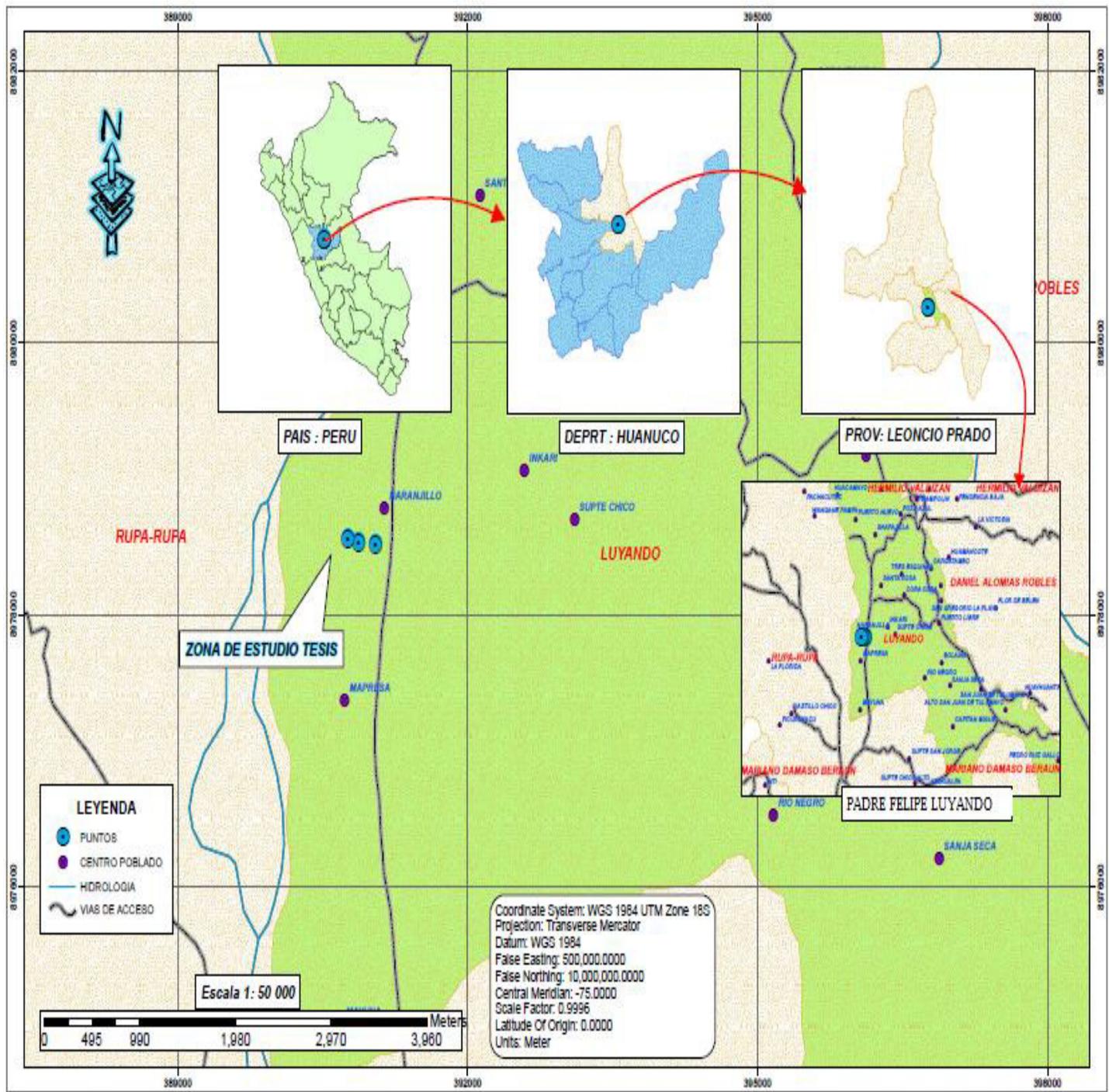


Figura 26. Plano de Ubicación de las cuatro parcelas con diferentes sistemas de uso