

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL
SUELO BAJO LA INFLUENCIA DE TRES SISTEMAS DE
USO DE LA TIERRA EN EL DISTRITO JOSÉ CRESPO Y
CASTILLO, LEONCIO PRADO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

PRESENTADO POR:

CARLOS EDUARDO QUINTO CARHUANCHO

2016

DEDICATORIA

A Dios; por darme la oportunidad de ser mejor día a día y por bendecir y llevar por buen camino esta gran etapa de mi vida.

A mi pareja, mujer, amiga y fiel compañera Regina Isabel Gómez Huamán; quien me dio el mejor regalo de mi vida: mi adorada y preciosa hija Gia Aileth Quinto Gómez; gracias por existir y vivir a mi lado, también por su entusiasmo, motivación, muestras de cariño, afecto y mucho amor hacia mi persona.

A mis padres Carlos Luis Quinto López y Emilia Carhuancho Untiveros; por su apoyo continuo, dedicación, confianza y por sus consejos para ser cada día mejor.

A mis hermanos Sheila Francheska, Carlos Diago y Karlos Junior; por ver en mí un ejemplo a seguir.

Gracias Dios por darme una hija sana, preciosa y por darme una gran familia, una familia que quiero para siempre.

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres y mi familia, por brindarme su apoyo en todo momento.
- A mi esposa Regina, por darme sus consejos y apoyo incondicional para conseguir mis metas.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables, que contribuyeron en mi formación profesional.
- Al Ing. M. Sc. José Dolores Lévano Crisóstomo, por su apoyo desinteresado e invaluable como asesor durante el desarrollo de la investigación.
- Al Ing. Mg. Sc. Luis Alberto Valdivia Espinoza, por sus conocimientos y experiencias aportados a la presente investigación.
- Al Ing. M. Sc. Lucio Manrique De Lara Suarez, por ser un gran docente y amigo, y por brindarme sus sabias enseñanzas.
- A todos los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes forjaron en mí una persona de bien y un profesional capacitado.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. El suelos.....	3
2.2. Principales propiedades físicas de los suelos.....	4
2.2.1. Textura.....	4
2.2.2. La estructura del suelo.....	5
2.2.3. La consistencia del suelo.....	5
2.2.4. La densidad aparente.....	5
2.3. Propiedades químicas del suelo.....	6
2.4. Propiedades biológicas del suelo.....	6
2.5. Diversidad de mesofauna y macrofauna en el suelo.....	7
2.5.1. Microbiotas.....	7
2.5.2. Mesofauna.....	7
2.5.3. Macrofauna.....	8
2.6. Características de los suelos de diferentes sistemas.....	10
2.6.1. Suelos de bosques.....	10
2.6.2. Suelos de ex cicales.....	12
2.6.3. Suelos de sistemas agroforestales.....	13

2.7.	Antecedentes de la investigación.....	14
2.7.1.	Algunos efectos ecológicos atribuidos al cultivo de la coca.....	14
2.7.2.	Relaciones suelo - vegetación en el bosque.....	18
2.7.3.	Relaciones suelo - sistemas agroforestales.....	21
2.7.4.	Organismos en el suelo.....	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.1.	Lugar de ejecución.....	34
3.1.1.	Condiciones climáticas.....	35
3.1.2.	Hidrografía.....	35
3.1.3.	Topografía.....	35
3.2.	Materiales y equipos.....	35
3.2.1.	Materiales de campo.....	35
3.2.2.	Materiales de laboratorio.....	36
3.2.3.	Equipos.....	36
3.3.	Metodología.....	37
3.3.1.	Fase de pre campo.....	37
3.3.2.	Fase de campo.....	37
3.3.3.	Fase de gabinete.....	43

IV. RESULTADOS.....	46
4.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en los tres sistemas de uso de la tierra en estudio.....	46
4.2. Diversidad de microorganismos, meso y macrofauna en los suelos de los tres sistemas de uso de la tierra.....	48
4.2.1. Microorganismos.....	48
4.2.2. Meso y macrofauna.....	54
4.2.3. Comparación de la diversidad entre microorganismos y la meso y macrofauna por profundidad del suelo para cada sistema de uso de la tierra, según el índice de Shannon-Wiener.....	60
4.3. Correlación entre las propiedades físicas, químicas y diversidad biológica del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra.....	61
V. DISCUSIÓN.....	63
5.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en los tres sistemas de uso de la tierra.....	63
5.1.1. Ex cocal (T ₁).....	63
5.1.2. Bosque primario (T ₂).....	65
5.1.3. Sistema agroforestal (T ₃).....	68

5.2.	Diversidad de microorganismos, meso y macrofauna en los suelos de los tres sistemas de uso de la tierra.....	70
5.3.	Correlación entre las propiedades físicas, químicas y diversidad biológica del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra.....	71
VI.	CONCLUSIONES.....	74
VII.	RECOMENDACIONES.....	75
VIII.	ABSTRACT.....	76
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
	ANEXO.....	85

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Consumo de los tres macronutrientes (N, P, K) por varios cultivos.....	17
2. Coordenadas del campo experimental.....	34
3. Indicadores físicos y químicos evaluados.....	39
4. Tratamientos del experimento.....	43
5. Análisis de suelos de los tres sistemas de uso de la tierra.....	47
6. Análisis de suelos de los tres sistemas de uso de la tierra.....	47
7. Diversidad de microorganismos en el suelo de ex cocal.....	48
8. Diversidad de microorganismos en el suelo de bosque primario.....	50
9. Diversidad de microorganismos en el suelo de sistema agroforestal.....	52
10. Diversidad de meso y macrofauna en el suelo de ex cocal.....	54
11. Diversidad de meso y macrofauna en el suelo de bosque primario.....	56
12. Diversidad de meso y macrofauna en el suelo de sistema agroforestal.....	58
13. Coeficiente de determinación en la correlación entre algunas propiedades del suelo y los índices de diversidad de especies.....	61

14. Prueba de Duncan para los diferentes índices de diversidad de los sistemas de uso de la tierra..... 61
15. Comparación de la diversidad entre microorganismos y la Meso y macrofauna por profundidad del suelo para cada sistema de uso de la tierra, según el índice de Shannon-Wiener..... 86
16. Análisis de Varianza (ANVA) para el índice de Shannon-Wiener..... 87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de muestreo de suelos para análisis físico químico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.....	39
2. Diagrama de muestreo de suelos para análisis biológico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.....	42
3. Índice de diversidad de Shannon – Wiener, de los microorganismos a tres profundidades diferentes en un suelo de ex cocal.....	49
4. Índice de diversidad de Shannon – Wiener, de los microorganismos a tres profundidades diferentes en un suelo de bosque primario.....	51
5. Índice de diversidad de Shannon – Wiener, de los microorganismos a tres profundidades diferentes en un suelo de sistema agroforestal...	53
6. Índice de diversidad de Shannon – Wiener, de la meso y macrofauna a tres profundidades diferentes en un suelo de ex cocal.....	55
7. Índice de diversidad de Shannon-Wiener, de la meso y macrofauna a tres profundidades diferentes en un suelo de bosque primario.....	57
8. Índice de diversidad de Shannon - Wiener, de la meso y macrofauna a tres profundidades diferentes en un suelo de sistema agroforestal....	59
9. Comparación de la diversidad entre microorganismos y la meso y macrofauna por profundidad del suelo para cada sistema de uso de la tierra, según el índice de Shannon-Wiener.....	60
10. Índice de Shannon Wiener a tres profundidades en diferentes	

sistemas de uso de la tierra.....	62
11. Muestreo del suelo del sistema ex cocal, para análisis físico químico.....	88
12. Muestreo del suelo del sistema bosque primario, para análisis físico químico.....	89
13. Muestreo del suelo de sistema agroforestal, para análisis físico químico.....	90
14. Muestreo del suelo del sistema ex cocal, para análisis biológico.....	90
15. Colecta de organismos del sistema ex cocal, para su identificación...	91
16. Muestreo del suelo del sistema bosque primario, para análisis biológico.....	91
17. Colecta de organismos del sistema bosque primario, para identificación.....	92
18. Muestreo del suelo del sistema agroforestal, para análisis biológico.....	92
19. Colecta de organismos del sistema agroforestal, para identificación.....	93
20. Meso y macrofauna colectada en el suelo de los sistemas agroforestal, bosque primario y ex cocal.....	93
21. Microorganismos del suelo incubando en laboratorio.....	94
22. Plano de ubicación de las parcelas.....	95

RESUMEN

La tala indiscriminada de los bosques, el manejo inadecuado de los suelos y de los agroquímicos, y la mayor demanda de alimentos como consecuencia del crecimiento demográfico, han conducido al deterioro de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Por consiguiente, los objetivos de la investigación fueron: evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en tres sistemas de uso de la tierra y; encontrar la correlación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas en los tres sistemas de uso de la tierra. El campo experimental se localizó políticamente en el distrito José Crespo y Castillo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco. Cada sistema de uso de la tierra consistió en un tratamiento: ex cocal de 7 años de edad (T_1), bosque primario (T_2), y sistema agroforestal de 6 años de edad promedio (T_3); cada uno de ellos consistió en una parcela de 75 x 75 m, de donde se extrajo 11 muestras de suelo para determinar las propiedades físicas y químicas, y 10 muestras de suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad, para la determinación de la diversidad de microorganismos, meso y macrofauna. La diversidad de organismos en el suelo fue determinada mediante el índice de diversidad de Shannon – Wiener. Los resultados fueron: el suelo de sistema agroforestal (T_3) presenta mejor textura (franco limoso); el pH del suelo de los sistemas bosque primario y sistema agroforestal presenta valores cercanos a neutro, y la concentración de fósforo disponible en ambos sistemas es alta; el índice de diversidad del suelo (Shannon – Wiener) del sistema agroforestal presenta diferencia estadística frente al del suelo de ex cocal y bosque primario que fueron similares; el suelo de ex cocal presentó mayor índice de diversidad en los 10 primeros centímetros de profundidad, en

tanto el sistema agroforestal tuvo mayor diversidad entre los 10 cm y 20 cm de profundidad; la arena, arcilla y potasio presentaron correlación negativa frente al índice de diversidad, mientras que el limo, pH, nitrógeno, fósforo y capacidad de intercambio catiónico presentaron correlación positiva respecto al índice de diversidad.

I. INTRODUCCIÓN

La tala indiscriminada de los bosques, el manejo inadecuado de los suelos y de los agroquímicos, y la mayor demanda de alimentos como consecuencia del crecimiento de la población mundial, han conducido al deterioro edáfico en sus características físicas, químicas y biológicas, causando pérdida de la productividad y competitividad de los sistemas agropecuarios.

Los procesos de deterioro del suelo son aquellos que disminuyen su capacidad actual y potencial 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 o 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.

Bajo este contexto, se hace necesario conocer 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. Se genera entonces la interrogante ¿las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo serán diferentes en tres sistemas de uso de la tierra?, obteniéndose como respuesta la siguiente hipótesis: “los sistemas de uso de la tierra: ex cocal, bosque primario y sistema agroforestal, influyen en diferente grado sobre las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo”.

Los objetivos propuestos son:

- Determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos en tres sistemas de uso de la tierra: ex cocal, bosque primario y sistema agroforestal, en el distrito José Crespo y Castillo, Tingo María.
- Determinar la diversidad de microorganismos, meso y macrofauna en los suelos de los tres sistemas de uso de la tierra en estudio.
- 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. El suelo

Casi todos los suelos se forman a partir de roca (llamada roca madre) que es degradada paulatinamente en partículas cada vez más pequeñas por procesos de intemperismo biológico, químico y físico. Otros factores formadores del suelo son: el clima, los organismos vivos, el relieve y el tiempo. Su acción determina la dirección, velocidad y duración de los procesos formadores. La desintegración de la roca sólida en partículas minerales cada vez más finas y la acumulación de materia orgánica en el suelo requieren un tiempo muy largo, por lo común de miles de años. El suelo se forma de manera continua a medida que se va degradando la roca madre. El espesor del suelo varía desde una película delgada hasta más de 3 metros (suelos desarrollados) (PORTA *et al.*, 2003).

El suelo está constituido por capas llamadas horizontes; el arreglo de los horizontes en el suelo se llama perfil edáfico. Los horizontes se definen como una capa de suelo aproximadamente paralela a la superficie, con características producidas por los procesos de formación como la textura, el espesor, el color, la naturaleza química y la sucesión de los diferentes horizontes, que son las que caracterizan un suelo y determinan su calidad. La mayoría de los suelos desarrollados poseen al menos los horizontes A, B, C;

otros suelos no tan desarrollados carecen de estos horizontes (Miller, 1994 y Jaramillo, 2001, citados por VOLKE *et al.*, 2005).

2.2. Principales propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas de los suelos de mayor interés para la planificación, uso y manejo son las siguientes:

2.2.1. Textura

Es una expresión cualitativa de la granulometría o distribución del tamaño de las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla). El valor numérico de los componentes texturales se determina en el laboratorio y la combinación de estos genera 12 grupos texturales (SCHARGEL y DELGADO, 1990).

Es una propiedad física del suelo que establece las cantidades y distribución de las partículas que lo componen, en tamaños menores de 2 mm. Estas partículas se agrupan en tres tipos: arena (A), limo (L) y arcilla (Ar). La USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), ha realizado una categorización de los tamaños de partícula para cada uno de los grupos, según su diámetro. La arena presenta partículas con diámetro entre 0.05 y 2 mm, el limo partículas entre 0.002 y 0.05 mm de diámetro, y la arcilla partículas con diámetro menor a 0.002 mm; siendo este último valor definido según propiedades coloidales distintivas encontradas (TABOADA y ALVAREZ, 2008).

La textura es una propiedad importante dado que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje,

contenido de materia orgánica y otras propiedades (TABOADA y ALVAREZ, 2008).

2.2.2. La estructura del suelo

Se define como el arreglo, orientación y organización de las partículas primarias en unidades estructurales denominadas agregados. El tráfico de maquinaria, la labranza excesiva, el pisoteo excesivo cuando existe una sobresaturación de agua en el suelo puede modificar la estructura de la capa superficial, contribuyendo a generar condiciones desfavorables para el desarrollo de pastos nativos o introducidos.

2.2.3. La consistencia del suelo

Describe la cohesión entre partículas primarias y su capacidad de adhesión a otros cuerpos por efecto del humedecimiento. La mayoría de los suelos son adhesivos y suaves cuando están saturados de agua. En ese estado se puede deformar fácilmente con la aplicación de fuerzas de poca magnitud. En cambio, cuando están secos resisten la deformación y pueden ser lo suficientemente firme para soportar grandes fuerzas.

2.2.4. La densidad aparente

Se define como la relación entre el peso seco del suelo (masa) y el volumen ocupado por ella, incluyendo el espacio poroso (SCHARGEL y DELGADO, 1990).

Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en

concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes (TABOADA y ALVAREZ, 2008).

2.3. Propiedades químicas 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; ACEVEDO *et al.* (2005) 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.

2.4. Propiedades biológicas del suelo

Cuyos indicadores 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).

2.5. Diversidad de mesofauna y macrofauna en el suelo

LAVELLE *et al.* (1992) realiza la siguiente clasificación de los seres vivos del suelo:

2.5.1. Microbiotas (diámetro menor a 0.1 milímetros), son muy abundantes, están en todos lados y son muy diversos. Comprende:

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

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

2.5.2. 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. Su tamaño va de 0.1 a 2.0 mm.

Diversos autores sostienen que la mesofauna del suelo presenta organismos con diámetro corporal entre 100 μm a 2.00 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 0.60 – 10.40 mm y a la macrofauna de 10.40 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.

Los animales de la macrofauna o megafauna de diámetro corporal en el suelo comprenden entre 2.00 mm y 20.00 mm; pueden pertenecer a casi todas las ordenes encontradas en la mesofauna excepto Ácaros, Colémbolos, Proturos y Dipluros sobre 20.00 mm de diámetro corporal, que de los invertebrados del suelo pertenecen a la categoría de megafauna compuesta por ciertas especies de Oligoquetos, Diplopodes, Quilopodes y de Coleópteros.

Por una parte existen investigaciones sobre la estructura y el comportamiento de las poblaciones en relación a los factores microambientales, y por otra, consideraciones del efecto de estas poblaciones sobre el microambiente particularmente relacionadas con la circulación de materia y energía por el sistema suelo-vegetación (BURGUES, 1960).

2.5.3. Macrofauna. Contrariamente al caso anterior, su capacidad enzimática suele ser limitada y tienen poca capacidad para resistir condiciones ambientales duras. Sin embargo, pueden moverse a través del suelo cavando galerías y madrigueras.

Rompen la protección física de los suelos y la materia orgánica durante el proceso de ingerir y mezclar el suelo en su interior. Una parte de la macrofauna no penetra en el suelo, pero permanece en la hojarasca ya que no posee las adaptaciones para la excavación. Esta clasificación incluye una gama de insectos de gran tamaño (coleópteros y larvas de dípteros), otros como artrópodos (por ejemplo isópodos, miriápodos y arácnidos).

Comprende invertebrados (por ejemplo: hormigas, termitas, ciempiés, lombrices, insectos, caracoles, lombrices de tierra y arañas). Su tamaño varía de 2.00 a 20.00 mm.

Los principales componentes de la macrofauna que viven en el suelo son la lombriz de tierra, termitas y hormigas.

Por su parte, RAMIREZ-TRUJILLO (2003) sostiene que la macrofauna está constituida por aquellos organismos macro invertebrados que componen la fracción orgánica del suelo y se encuentran comprendidas entre 2 mm a 20 mm de longitud. La macrofauna se mueve activamente en el suelo y pueden elaborar galerías en las cuales viven.

Forman parte de este grupo los isópodos, quilópodos, diplópodos, arácnidos, moluscos y formícidos, isópteros, coleópteros y oligoquetos (lombrices de tierra).

2.5.3.1. 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 diplopodes dependa solamente de los microorganismos para su dieta (BURGUES y RAW, 1971).

2.6. Características de los suelos de diferentes sistemas

2.6.1. Suelos de bosques

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.

La vida humana ha mantenido una estrecha 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).

2.6.1.1. Tipos de bosques

En la Tierra se encuentran muy distintos tipos de bosques según las latitudes y altitudes. Bosques de coníferas como los de la taiga, selvas

tropicales o bosques de árboles de hoja caduca como los de la zona templada. Algunos son bosques cerrados porque las copas de los árboles están juntas unas con otras, formando una cubierta o dosel arbóreo casi continuo; mientras que otros son bosques abiertos, cuando quedan espacios libres entre árbol y árbol (BUENDIA, 1996).

2.6.1.2. Bosques primarios

Los bosques primarios también se llaman nativos y también bosques vírgenes. Es un bosque intacto, que no ha sido explotado ni tocado por el hombre, es decir, que no han cortado troncos, que no han sembrado, etc.

A diferencia de las plantaciones, en los bosques primarios los árboles son diferentes, más viejos y más hermosos. Hay más biodiversidad, es decir, que hay mucha más variedad de animales y plantas. En las plantaciones los árboles pertenecen generalmente a una misma especie, tienen los mismos años de vida y están más juntos que en los primarios.

La mayoría de los bosques primarios del planeta han sido destruidos y con ello han puesto en peligro los seres vivos que habitaban en ellos. También se refugian gran parte de los indígenas. Estos bosques actúan como reguladores del clima. (BUENDIA, 1996).

2.6.2. Suelos de 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).

2.6.3. Suelos de sistemas agroforestales

Los sistemas de producción agroforestales se definen como una serie de sistemas y tecnologías para el uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas y/o pastos, en función del tiempo y el espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida. Estos sistemas pueden contribuir a solucionar problemas en el uso de los recursos naturales debido a las funciones biológicas y socioeconómicas que cumplen.

Desde el punto de vista biológico, la presencia de los árboles favorece los sistemas de producción en aspectos tales como el mantenimiento del ciclaje de nutrientes y el aumento en la diversidad de especies. Además, debido a la estructura vertical proporcionada por los árboles y otras especies leñosas, pueden convivir plantas y cultivos con diferentes requerimientos de luz; asimismo, los árboles protegen al suelo de los efectos del sol, el viento y las fuertes lluvias que caracterizan al trópico.

El uso de prácticas agroforestales también puede proveer beneficios económicos y socioculturales, entre los cuales se pueden mencionar la disminución de los riesgos económicos por la diversificación de la producción

y la creación de nuevos puestos de trabajo en tareas de viveros, siembras, mantenimiento de áreas, etc. (HUAMANI *et al.*, 1998).

2.7. Antecedentes de la investigación

2.7.1. Algunos efectos ecológicos atribuidos al cultivo de la coca

Los efectos deletéreos atribuidos al cultivo de la coca surgen tanto de la planta y su funcionamiento (autoecología) como de las técnicas empleadas para su cultivo (agroecología). Entre los primeros se encuentran el empobrecimiento del suelo, su pérdida de estructura y su acidificación. Los impactos derivados del manejo surgen de la necesidad de desmontar para implantar el cultivo. La deforestación se realiza con la técnica de tumba-roza-quema. Consiste en tumbar los árboles y arbustos, retirar el material más voluminoso y quemar el resto; es un proceso de incendio controlado.

DOUROJEANNI (s.d.) asigna a la coca una serie de efectos erosivos causados por varias características del cultivo de coca, vinculadas a su localización, a las técnicas de laboreo, y a la industrialización primaria (fabricación de pasta de cocaína).

2.7.1.1. Deforestación

La producción de hojas de coca requiere la deforestación, al igual que todo otro cultivo. Cuando se deforesta, no sólo se pierde información genética presente, sino que se destruye la posibilidad de especiaciones futuras. Se producen extinciones locales y se reduce la biodiversidad; se pierde información acumulada en las relaciones entre especies (dispersoras

de propágulos, polinizadoras). Se modifica los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos (de nutrientes) y se deja suelo expuesto a la erosión. Otros impactos importantes son la pérdida de hábitat para fauna; la desprotección de las cuencas y el desaprovechamiento de recursos: madera, energía, flora, fauna.

Si la deforestación va acompañada de incendios, se pierde gran cantidad de nutrientes. Con la primera quema se pierde el 25% del C y N por volatilización. Las cenizas que quedan en la superficie del suelo contienen los cationes que no se volatilizan pero se van perdiendo lentamente por los procesos de lixiviación, escorrentía, consumo (nutrientes entran a las plantas por las raíces) y exportación (toda vez que se realiza una cosecha, los nutrientes que entraron a las plantas desde el suelo y se acumularon en los órganos cosechados, se pierden del sistema). Como no hay aporte de nutrientes al suelo ni por el mantillo, ni por el lixiviado de las hojas ni por escurrimiento por el tronco, a los 3 ó 4 años, la fertilidad del suelo queda agotada, si no se hacen aporte de fertilizantes, según el cultivo que se siembre.

Puede verse que el efecto de la deforestación no depende del cultivo que reemplace al bosque, sino de otras condiciones del sistema en relación a las técnicas de manejo (DOUROJEANNI, s.d.).

Es de suponer que la erradicación del cultivo de coca no mejora el problema de la deforestación. La eliminación del cultivo deja el suelo más desnudo que con el cultivo. Si se quema, el suelo queda expuesto a la lluvia con la consiguiente erosión y lavado de nutrientes. Si se aplican herbicidas

defoliantes, la parcela se agranda, porque muere parte de la vegetación que bordea al cultivo. Por otro lado, los cicales no desaparecen regionalmente, sino que el campesino cocalero se adentra en el bosque, causando más deforestación, incluso en áreas forestales protegidas (RUIZ MURRIETA, 1993).

2.7.1.2. Erosión

Se afirma que el cultivo de coca es el causante de la erosión del suelo. Por lo que ya hemos visto, la tasa de erosión se relaciona con el manejo del suelo más que con el cultivo. El paquete tecnológico tradicional, que incluye la construcción de andenes o terrazas o la siembra en hoyos, estabiliza el sistema, al eliminar el riesgo de pérdida del suelo por arrastre con las lluvias. El cultivo industrial es quizá más riesgoso, porque el objetivo es el enriquecimiento rápido y no hay un interés en conservar el soporte físico-ecológico (LORENZ y MAYNARD, 1980; SAMSON, 1980).

La coca se cultiva normalmente con escasa o nula cobertura de suelo y como monocultivo, muchas veces en pendientes pronunciadas y bosques primarios, lo que lleva a la degradación del suelo por erosión y pérdida de las propiedades físico químicas del mismo (OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA DROGA Y EL DELITO, 2011).

2.7.1.3. Pérdida de la fertilidad de los suelos

Para la mayoría de los cultivos existen datos de la cantidad de nutrientes exportados del sistema con la cosecha (kg/ha), para rendimientos determinados (t/ha) (Cuadro 1). Estos datos se utilizan para planificar la

fertilización; para obtener el rendimiento deseado es necesario agregar al suelo una cantidad de nutrientes igual a la exportada con la cosecha. Los nutrientes de las partes no cosechadas (tallos, raíces, etc) quedan en el barbecho y eventualmente vuelven al suelo. Con estos valores es posible calcular la cantidad de nutrientes extraídos del suelo por tonelada de cosecha (kg/ton) por una regla de tres simple (Cuadro 1, últimas tres columnas).

Cuadro 1. Consumo de los tres macronutrientes (N, P, K) por varios cultivos

Cultivo	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Y (ton/ha)	N (kg/ton)	P (kg/ton)	K (kg/ton)
Brócoli	22.40	2.24	50.40	5.08	4.41	0.44	9.92
Bruselas	168.00	22.40	140.00	8.13	20.67	2.76	17.22
Cantaloupe	106.40	19.00	134.40	11.43	9.31	1.66	11.76
Lechuga	106.40	13.44	190.40	17.78	5.98	0.76	10.71
Cebolla	123.20	22.40	123.20	20.32	6.09	1.11	6.09
Ají	50.40	6.72	56.00	11.43	4.41	0.59	4.90
Papa	168.00	21.28	224.00	20.32	8.30	1.05	11.07
Maíz	106.60	18.00	17.60	6.60	16.15	2.73	2.68
Tomate	112.00	11.20	201.60	30.48	3.67	0.37	6.61
Porotos	134.40	11.20	61.60	5.08	26.46	2.20	12.13
Banana	80.00	8.00	200.00	40.00	1.50	0.20	4.60
Ananá	43.00	7.21	108.73	55.00	0.78	0.13	1.98
Coca	55.81	7.45	46.49	2.70	20.67	2.76	17.22

Datos promediados de varias fuentes; Cálculo más pesimista para la coca; Valores de nutrientes en los órganos cosechados.

El cálculo muestra, por el absurdo, con el cálculo más pesimista, que la coca consume menos nitrógeno que el resto de los cultivos, excepto brócoli, ají y ananá (órganos reproductivos, en general más ricos en nutrientes); consume menos P que todos los cultivos (excepto brócoli y ají) y menos K que todos los cultivos, excepto el maíz. Vale destacar que los valores usados en la tabla son promedios generales para cultivos en regiones particulares. No son válidos como valores absolutos para los cultivos en todas

las zonas productivas. Los datos fueron tomados de varias fuentes bibliográficas (LORENZ y MAYNARD, 1980; SAMSON, 1980).

2.7.2. Relaciones suelo - vegetación en el bosque

SÁNCHEZ *et al.* (1990) sostienen que otra particularidad importante en los suelos tropicales húmedos es su acidez. Como consecuencia de la presencia de aluminio en la roca madre, los suelos tienden a estar saturados de iones hidrógeno (H) y de aluminio (Al); son pobres en cationes; por lo tanto son ácidos. En este ambiente edáfico, la materia orgánica tiende a estar saturada de protones también y, actuando como un ácido, ataca los minerales del suelo. La materia orgánica ácida, además, es muy móvil y tiende a lixiviar arrastrando nutrientes minerales. La acidez también reduce la tasa de mineralización. El grado de acidez o pH del suelo es importante porque de él depende la disponibilidad de los nutrientes. Muchos compuestos precipitan a pH bajos (suelos ácidos), como el P, S, Ca, Mg, o a pH muy altos (suelos básicos), como el Fe, Zn, Cu, Mn. Esto hace que, aun cuando el contenido del elemento es alto en el suelo éste no esté disponible para las plantas por hallarse precipitado o fijado; el P es uno de los nutrientes limitantes del crecimiento en los suelos tropicales. La acidez del suelo, por lo tanto, contribuye a generar el ambiente edáfico oligotrófico (pobre en nutrientes) que caracteriza a muchos suelos tropicales.

En los trópicos húmedos, la tasa de deforestación debido a la agricultura migratoria ha tenido un gran aumento en la última década debido principalmente a la gran presión demográfica y a la necesidad de producir cultivos alimenticios, afectando seriamente la productividad de los suelos por el

acortamiento de los períodos de barbecho y la resultante reducción en los rendimientos de los cultivos (SÁNCHEZ *et al.*, 1990). En la Amazonía del Perú, esta situación se agrava por las grandes áreas dedicadas a la producción de coca (DOUROJEANNI, 1990).

SÁNCHEZ (1981) considera que más de las dos terceras partes del sistema radical de los bosques adultos, se encuentran dentro de los 20-30 cm superiores del suelo. Aparentemente la naturaleza superficial de las raíces de los bosques y en especial los tropicales, proporcionan un medio efectivo de mantener el ciclo de nutrientes casi cerrado. Sin embargo, la absorción de nutrientes del subsuelo puede ser del 20% del total contribuyendo así, a la eficiencia del sistema.

Los suelos de la Amazonía peruana, predominantemente Ultisoles, son ácidos y deficientes en nutrientes (SÁNCHEZ, 1976) y se encuentran mayormente en áreas onduladas con laderas que tienen del 2 al 50 % de pendiente (BENITES, 1983). Estas áreas son particularmente propensas a una severa erosión pluvial, un problema muy serio y diseminado ampliamente en muchos países tropicales en desarrollo (STOCKING, 1988).

Estudios conducidos en los trópicos húmedos indican que la remoción del suelo superficial con la consecuente pérdida de la materia orgánica, nutrientes y la degradación de sus propiedades físicas y químicas, afectan notablemente la producción de cultivos (ALEGRE y FERNÁNDEZ, 1991) y en muchos casos, la aplicación de fertilizantes no compensa la pérdida del suelo superficial (LAL, 1988).

En los bosques tropicales, la materia orgánica del suelo contiene la

mayoría de los nutrientes esenciales para las plantas, estando muy vinculada la disponibilidad de N, P y S de la capa orgánica con la tasa de mineralización (WILCKE *et al.*, 2002).

En el bosque no perturbado, especialmente en zonas de alta precipitación, la mayor parte de los nutrientes se encuentran en la vegetación en pie; de esa manera se hallan relativamente protegidos de la erosión y la lixiviación (JORDAN, 1985). Los nutrientes retornan al suelo a través de la caída de hojarasca, ramas, frutos, descomposición de raíces, que en general es más acelerada en los bosques tropicales que en los de zonas templadas.

La descomposición de la hojarasca ocurre de manera relativamente rápida, dependiendo de la calidad del material orgánico y la época y cantidad de su caída a lo largo del año; los nutrientes son absorbidos por las raíces, las cuales en zonas de bosque lluvioso se encuentran localizadas principalmente en las capas más superficiales del suelo. Ese ciclo relativamente cerrado de nutrientes explica por qué los suelos asociados con una vegetación tan abundante son a menudo relativamente pobres en nutrientes y no muy fértiles cuando se los utiliza para la agricultura con monocultivos.

Luego del corte del bosque, parte de los nutrientes que estaban contenidos en la biomasa vegetal se pierden por lavado o volatilización, y parte se incorporan al suelo. La capa de humus a menudo es destruida por la quema y por la exposición a la radiación solar. Aunque la quema produce en la mayoría de los casos un aumento en el contenido de nutrientes del suelo (especialmente calcio, magnesio y potasio), aumento del pH y disminución de la saturación de aluminio, este efecto tiene duración variable (JORDAN, 1985).

Frecuentemente la quema permite el cultivo o el uso para la ganadería durante algunos años, pero si no se aplican prácticas de manejo adecuadas, el uso prolongado tiende a ocasionar un serio deterioro de este recurso.

2.7.3. Relaciones suelo - sistemas agroforestales

Los árboles en sistemas agroforestales cumplen funciones ecológicas de protección del suelo disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento (MONTAGNINI, 1992; FASSBENDER, 1993). También pueden modificar las características físicas del suelo como su estructura (por la adición de hojarasca, raíces y tallos incrementan los niveles de materia orgánica), la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio (YUNG, 1989). El sistema radicular extendido y profundo aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes. Además, las formas arbóreas constituyen un mecanismo efectivo de capturar y retener carbono atmosférico (GUTIÉRREZ, 1995).

¿Cómo pueden los sistemas agroforestales reducir la erosión y mantener la fertilidad del suelo?

El mejoramiento del suelo en sistemas agroforestales está vinculado al crecimiento de los árboles fijadores de nitrógeno o de árboles/arbustos de raíces profundas que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a través de la fijación biológica, reciclaje de nutrientes desde capas profundas hacia la superficie del suelo (especialmente en zonas secas) y acumulación de materia orgánica en el suelo (BEER, 1988; RAO *et al.*, 1998).

Los árboles de sombra en cultivos perennes (p. ej., café y cacao)

aportan hojarasca y residuos de podas que cubren el suelo, reduce el impacto de las gotas de la lluvia, la velocidad de escorrentía y la erosión, mejoran la estructura, el contenido de nitrógeno y la retención de nutrientes en el suelo (FASSBENDER *et al.*, 1991; BEER *et al.*, 1998).

2.7.4. Organismos en el suelo

En los ambientes naturales del trópico húmedo, los macroinvertebrados del suelo son los mejores agentes reguladores de los procesos físico químicos que afectan la fertilidad de los suelos (Lavelle, 1984; Lee, 1985; citados por PASHANASI, 2001). Ellos, por acción de la ingestión y deyección del suelo, contribuyen a la conformación de estructuras macro agregadas resistentes. Los macro invertebrados mezclan los residuos orgánicos, producto de la ingestión y la deyección, al excavar madrigueras para transportar suelo a la superficie por medio de cámaras subterráneas.

En los bosques, la diversidad y la abundancia de las comunidades de macro invertebrados puede ser usada como indicadora de la calidad del suelo (Stork y Eggleton, 1992; citados por PASHANASI, 2001), toda vez que las lombrices de tierra y la fauna del suelo, en general, influyen en la dinámica de sus procesos químicos. Sin embargo, la naturaleza y los mecanismos de las interacciones entre los microorganismos del suelo y la dinámica de los procesos químicos en los suelos de la Amazonía son aún poco conocidos y, posiblemente, dependientes de las cantidades y calidades de la hojarasca depositada sobre el suelo (Volhland y Schroth, 1999; citados por PASHANASI, 2001). Según Swift *et al.* (1979), citados por PASHANASI (2001), la tasa de descomposición de los residuos vegetales está influenciada por la calidad del

recurso, por los organismos descomponedores presentes y por las condiciones ambientales.

En la Amazonía central de Brasil, los oribatideos (Oliveira y Franklin, 1993; citados por PASHANASI, 2001) y los colémbolos (Oliveira, 1983; citado por PASHANASI, 2001), tienen la mayor densidad de la fauna en la hojarasca y en el suelo de áreas no inundables. Las isópteras son consideradas importantes descomponedores de la hojarasca (Luizão, 1995; citado por PASHANASI, 2001) y, en forma conjunta con las formícidas, constituyen los grupos de mayor densidad de la fauna del suelo en la Amazonía central de Brasil (Fittkau y Klinge, 1973; Bandeira y Harada, 1991; citados por PASHANASI, 2001). Las oligochaetas tienen una abundante biomasa en la Amazonía Peruana (Lavelle y Pashanasi, 1989; citados por PASHANASI, 2001) y en la Amazonía central de Brasil (Barros, 1999; citado por PASHANASI, 2001). En los varillales de la Amazonía central de Brasil, Luizão (1995), citado por PASHANASI (2001) encontró que los diplópodos e isópodos constituyen una alta densidad y una alta biomasa. De otro lado, en los sistemas agroforestales y barbechos, los isópodos presentaron las mayores densidades y biomásas en la macrofauna de la hojarasca, seguidos por los diplópodos y por las isópteras (Tapia-Coral *et al.*, 1999; citados por PASHANASI, 2001). Estos organismos, habitantes de la hojarasca y de las capas superiores del suelo, son -debido principalmente a sus interacciones con la microflora-, de importancia crucial para las condiciones de crecimiento de las especies cultivadas y el desenvolvimiento y funcionamiento de los agroecosistemas, ya que cumplen un papel vital en la descomposición de la hojarasca y en la liberación de los nutrientes (Swift *et al.*, 1979; Lavelle, 1984; Tian *et al.*, 1997, 1998; citados por PASHANASI, 2001). Así, una abundante y

activa fauna de la hojarasca y del suelo puede ayudar a asegurar un reciclaje rápido de los nutrientes de las plantas (Fittkau y Klinge, 1973; citados por PASHANASI, 2001), lo que es particularmente importante para áreas cultivadas cuyos insumos son bajos y cuyos suelos son infértiles (Volhland y Schroth, 1999; citados por PASHANASI, 2001). La capa superficial de hojarasca también confiere protección física al suelo contra la erosión y ayuda en el mantenimiento de su humedad (Ross *et al.*, 1992; citados por PASHANASI, 2001). De esta forma, dicha capa también está contribuyendo al mantenimiento de la actividad de los organismos del suelo. Por otro lado, estudios recientes demuestran la importancia de la biota del suelo en la recuperación de las áreas degradadas (Barros, 1999; Tapia-Coral *et al.*, 1999; Barros *et al.*, 2000; Araujo-Vergara, 2000; Castilho, 2000; citados por PASHANASI, 2001).

Tapia-Coral *et al.* (1999), citados por PASHANASI (2001) encontraron que la cantidad y la calidad de la hojarasca tienen poca influencia sobre la densidad de la macrofauna en sistemas agroforestales de la Amazonía central de Brasil. Sin embargo, la calidad y la cantidad de la hojarasca fueron fuertemente relacionadas con la biomasa de la macrofauna. Asimismo, en la Amazonía central de Brasil, Barros (1999), citado por PASHANASI (2001) observó que la calidad de la hojarasca tiene mayor injerencia que su cantidad sobre la riqueza de especies de la macrofauna.

La mayoría de las prácticas de manejo del suelo, independientemente de sus efectos sobre el pH de este, tiene un efecto negativo sobre su macrofauna. Esto se debe a que las comunidades de la macrofauna del suelo son muy sensibles a los cambios de la cobertura del suelo (LAVELLE *et al.*, 1992). En la Amazonía Peruana, Lavelle y Pashanasi

(1989); citados por PASHANASI (2001) observaron que ocurre un cambio muy drástico en la biomasa y diversidad de los macroartrópodos después de la instalación de pastizales y cultivos anuales.

ICRAF (1996), en un estudio efectuado en Yurimaguas (Perú) en sistemas de multiestratos y plantaciones de *Bactris gasipaes* con cobertura de *Centrosema macrocarpum* con 10 años de edad, encontró que ambos sistemas conservaron el mayor número de especies de macro-invertebrados del sistema natural (bosque primario). Dichas especies ofrecían también nichos ecológicos para muchos colonizadores exóticos. Consecuentemente, la recuperación de pastizales degradados a través de sistemas agroforestales puede ser una opción viable para la recolonización de la macrofauna del suelo (Barros *et al.*, 2000 citados por PASHANASI, 2001).

En lo que respecta a la macrofauna, LAVELLE *et al.* (1992) sostienen que en los trópicos húmedos, la naturaleza de las diversas comunidades de macroinvertebrados depende en gran medida del tipo de vegetación. Los bosques tienen en general muy diversas comunidades en las que artrópodos y termitas son dominantes en términos de densidad de población, sin embargo, lombrices de tierra son componentes principales en cuanto a biomasa se refiere.

Las termitas (Isóptera) constituyen un grupo de insectos sociales aliados a la cucaracha (Batoidea). La diversidad de especies disminuye notablemente a latitudes mayores a los 45° N y 45° S, asimismo, disminuye drásticamente con el aumento de la elevación (Wood, 1979, 1988; Collins, 1983; citados por LAVELLE *et al.*, 1992).

La aparición de termitas y la distribución de sus hábitos alimenticios dependen sobre todo de factores biogeográficos y patrones climáticos. Las comunidades de lombrices también presentan variaciones similares a gran escala. Más allá de las diferencias biogeográficas, la abundancia y distribución de la población son determinadas en última instancia por la precipitación pluvial. Bosques secos tienen poblaciones relativamente bajas, mientras que en zonas moderadamente húmedas (1,800-2,500 mm de precipitación anual) presentan poblaciones mayores.

La lombriz de tierra y termitas son los componentes más activos de la fauna del suelo con respecto a su influencia sobre la estructura del suelo y la dinámica de la materia orgánica del suelo. Una diferencia importante entre la termita y lombriz de tierra es que las actividades de estos últimos son más bien uniformemente distribuidas sobre una dimensión horizontal, mientras que las actividades de las termitas se concentran en sus nidos y galerías.

El suelo tiene funciones diversas y muy importantes para los ecosistemas terrestres y el medio ambiente del planeta, es el sustento para la vida vegetal y del cual las plantas obtienen soporte mecánico y muchos de sus nutrientes; es el hábitat para una gran diversidad, tanto del componente microbiano (bacterias, actinomicetos, hongos, algas, protozoarios y virus), así como de microorganismos (coleópteros, miriápodos, hormigas, colémbolos, nemátodos, ácaros, larvas, mamíferos pequeños y reptiles); es el lugar donde se llevan a cabo la mayor parte de los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas terrestres (mineralización de la materia orgánica, nitrificación, fijación de nitrógeno y oxidación de metano, entre otros procesos) (LUNA *et al.*, 2002).

En dichos procesos no todos los invertebrados juegan el mismo papel y tienen la misma importancia y se ha demostrado que existen relaciones jerárquicas, dentro de las cuales ciertos organismos realizan un control en actividad de otros. Además, el uso indiscriminado de maquinaria convencional, ha generado una pérdida de materia orgánica por aerobiosis, disminuyendo su contenido y afectando la estructuración natural de la capa arable (CABRERA y CRESPO, 2001).

La comunidad microbiana del suelo es un componente lábil de la fracción orgánica, contiene de 1 a 3% del carbono total y hasta 5% del nitrógeno total del suelo. Las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como la presencia de plantas, tienen influencia sobre el número y la actividad de las poblaciones microbianas (LUNA *et al.*, 2002).

2.7.4.1. 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:

a. Macrofauna del suelo en Yurimaguas

El bosque primario tuvo una riqueza taxonómica de 25 unidades y una densidad de 446 individuos/m², con una biomasa de 57.9 g de peso fresco/m². El 43% de la fauna se encontró en la hojarasca, pero el suelo estuvo

densamente colonizado hasta los 20 cm de profundidad (97.1%). La comunidad de oligochaetas estuvo dominada por especies epígeas y anécicas que se alimentan de la hojarasca. Estas, seguidas de los coleópteros (1.1%) y las isópteras (0.95%), son las mayores componentes de la biomasa (89.1%).

El bosque secundario de 20 años tuvo una riqueza taxonómica de 30 unidades y una población de individuos casi dos veces mayor que la del bosque primario. 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 de 10 años 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).

El bosque secundario de suelos aluviales presenta, con 18 unidades, la más baja riqueza taxonómica, así como también la más baja densidad poblacional ($182 \text{ individuos/m}^2$) y una biomasa de $5.9 \text{ g peso fresco/m}^2$. En la distribución vertical, la mayor concentración de individuos se encuentra en la hojarasca (47.4%) y en el estrato de 0-10 cm (43.9%). El 37.9% de la población está formado por formícidas y el 27.4%, por oligochaetas epígeas y polyhumicos, que se caracterizan por estar presentes en los lugares donde hay mayor abundancia de materia orgánica .

La riqueza taxonómica en el sistema de los cultivos, similar a la del bosque primario, fue de 25 unidades; su población, de $397 \text{ individuos/m}^2$ y su biomasa, de $32.4 \text{ g de peso fresco/m}^2$. La mayor concentración en la distribución vertical está ubicada en el estrato de 0-10 cm (38.7%). Las isópteras, las más notables componentes de la población, representan el 44.6% de ella, las formícidas, el 29.5%. El 61.1% de la biomasa está compuesto de oligochaetas (epígeas, anécicas y *Pontoscolex corethrurus*) (PASHANASI, 2001).

Los pastizales, natural y mejorado, tienen una riqueza taxonómica de 22 y 23 unidades, respectivamente y una biomasa de 57.2 y 165.9 g de

peso fresco/m², también respectivamente. El 47.0 y 72.1% del total de la población está formado por oligochaetas, de las cuales *Pontoscolex corethrurus* representa el 27.9 y el 67.7%, respectivamente en cada pastizal. Además, los oligochaetas son los mayores componentes de la biomasa (94.4 y 97.4%, respectivamente). Otros grupos de importancia en la población de individuos son las isópteras (31.6%), formícidas (15.7 %) en el pastizal natural y las isópteras (19.4%) en el pastizal mejorado. La mayor concentración de individuos, para ambos sistemas, se encuentra en el estrato de 0-10 cm, que alberga el 68.3% y 93.2% del total de la población, respectivamente.

Los sistemas agroforestales están formados por plantaciones de pijuayo y un sistema de multiestratos con asociación de árboles maderables y cultivos perennes, que tienen una riqueza taxonómica de 32 y 31 individuos, respectivamente. La densidad de la población, para ambos sistemas, es de 557 y 901 individuos/m², mientras que la biomasa es de 85.3 y 55.9 g peso fresco/m². En la plantación de pijuayo, la población de individuos está formada por isópteras (36.0%), oligochaetas (23.8%) y formícidas (20.2%). En el multiestratos, el componente más representativo son las formícidas (42.7%), a las que les siguen las isópteras (25.1%) y oligochaetas el (9.9%). Pero las oligochaetas poseen la mayor biomasa (87.1%) en la plantación de *Bactris* y el 84.7% en el sistema de multiestratos.

El 70.4% de la población de individuos en el sistema de multiestratos se encuentra en la hojarasca, mientras que en la plantación de pijuayo el 57.4% se encuentra en la capa de 0-10 cm (PASHANASI, 2001).

b. Macrofauna del suelo en Pucallpa

Los bosques primarios, no intervenidos e intervenidos, tienen una riqueza taxonómica de 26 y 25 unidades, una densidad poblacional de 382 y 853 individuos/m² y una biomasa de 84.9 y 91.1 g peso fresco/m², en todos los casos, respectivamente. El 17.6 % de la población en el bosque primario no intervenido se encuentra en la hojarasca y en el estrato de 0-20 cm (75.3 %). El bosque primario intervenido alberga al 72.2% del total de la población en la capa de 0-10 cm; solo el 16.9% se encuentra en la hojarasca. Las formícidas conforman el 66.5%; las oligochaetas, el 9.7% y los coleópteros, el 7.1% del total de la población en el bosque primario no intervenido. Del total de la población en el bosque primario intervenido, los principales componentes son: oligochaetas (33.2%), isópteras (28.1%) y formícidas (23.7%).

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).

En los cultivos, se observa un decrecimiento dramático en la riqueza taxonómica (15 a 21 unidades); su densidad poblacional es de 362 a 574 individuos/m² y su biomasa, de 5.1 a 30.5 g peso fresco/m². En todos los cultivos, las isópteras son el componente más representativo (29.3 a 48.5%). A éstas les siguen las formícidas (10.1 a 22.6%) y las oligochaetas (6.1 a 21.4%). Las oligochaetas son el componente más notable de la biomasa (4.9 a 93.6%).

En la distribución vertical, la mayor concentración de individuos en los cultivos de maíz y plátano se encuentra en el estrato de 0-20 cm (72.1% y 71.0%, respectivamente). En los cultivos de arroz y yuca, la mayor concentración de individuos se encuentra en la capa de 0-10 cm (39.3% y 54.9%, respectivamente).

En el pastizal mejorado, se observa un decrecimiento de la riqueza taxonómica (18 unidades), una población de 1.034 individuos/m² y una biomasa de 38.4 g peso fresco/m². En la distribución vertical, la mayor concentración de individuos está en la capa de 0-10 cm (64.1%). La población está dominada por las isópteras (72.9%), a las que les siguen las oligochaetas (13.5%). La mayor biomasa la conforman las oligochaetas (83.8%), seguidas por las isópteras (5.3%) (PASHANASI, 2001).

Las plantaciones de palma aceitera y caucho tienen una riqueza taxonómica de 22 y 25 unidades, una densidad poblacional de 560 y 2,896 individuos/m² y una biomasa de 18.5 y 170.5 g peso fresco/m², en todos los casos, respectivamente. En la plantación de palma aceitera, el 45.7% de la población total está formado por oligochaetas y el 28.0 %, por isópteras. Los

miriápodos (31.6%) y las oligochaetas (24.8%) son los componentes más representativos en la plantación de caucho. La mayor cantidad de biomasa, en ambas plantaciones, la conforman las oligochaetas 63.3 y 62.4%, en la plantación de palma aceitera y en la de caucho, respectivamente.

Por lo que respecta a la distribución vertical de los individuos, la plantación de palma aceitera es intensamente colonizada hasta los 20 cm (82.0%); en cambio, en la plantación de caucho, la hojarasca alberga al 46.4% de la población y el estrato de 0-10 cm, al 51.4% (PASHANASI, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en el fundo de propiedad del señor David Aranguez Nazario. El referido fundo se localiza políticamente en el distrito José Crespo y Castillo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco (MDJCyC, 2006). Posee un área de 4.139 ha, y geográficamente se ubica en la zona 18L con las coordenadas UTM que se detallan en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Coordenadas del campo experimental.

Vértice	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
1	368091.7158	9015569.5550
2	368091.8712	9015571.6495
3	368091.9917	9015572.8539
4	368092.1223	9015575.1314
5	368092.0912	9015576.5836
6	368091.8377	9015577.8736
7	368091.3874	9015579.1881
8	368091.0788	9015581.1591
9	368091.0430	9015582.6216
10	368090.6079	9015584.1642
11	368089.8099	9015585.9171

3.1.1. Condiciones climáticas. El clima es sub tropical y el promedio de precipitación anual es de 3,000 mm/año, con épocas de lluvias torrenciales y frecuentes entre los meses de octubre - abril y períodos de elevada temperatura y escasas lluvias entre mayo - septiembre. Esta parte de la región selvática considerada como selva alta tiene como característica su alta humedad relativa (83% en promedio), y la temperatura media es de 25°C, llegando a 32°C como temperatura máxima y 19°C como temperatura mínima (ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE TULUMAYO, 2009).

3.1.2. Hidrografía. El distrito posee diversidad de ríos. Entre los principales se encuentran: el Huallaga (cruza de Sur a Norte), el Sangapilla y el Aucayacu (cruza de Oeste a Este), el Pendencia, el Pucate, el Anda, el Azpuzana y el Pacae. El río Huallaga es el de mayor importancia, siendo también un medio de interrelación con otros ámbitos territoriales; es navegable en toda su extensión por embarcaciones pequeñas. Estos ríos albergan una gran variedad de fauna que sirven de alimento a todas las comunidades que habitan las márgenes de los ríos (MDJCyC, 2006).

3.1.3. Topografía. La topografía en el distrito es relativamente accidentada, presenta protuberancias con pendientes de regulares dimensiones, características propias de la selva alta. Cuenta con cerros elevados de regular altitud (cerro Copal, cerro Belaúnde, la Cordillera Azul por el Este, parte de la Cordillera de los Andes por el Oeste) (MDJCyC, 2006).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de campo

La toma de muestras de suelo para al análisis de sus propiedades

físicas y químicas, se realizó empleando: tubos muestreadores, bolsas de polietileno, wincha de 50 metros, etc; y para la toma de muestras del suelo respecto a la diversidad biológica, se empleó un marco metálico con dimensiones de 25 cm x 25 cm x 10 cm, pala recta, frascos de vidrio con tapa hermética.

3.2.2. Materiales de laboratorio

Para el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo se requirió de los siguientes materiales: hidrómetro o densímetro de Bouyoucos, cilindro graduado de 1,000 cm³, batidora, émbolo de agitación (varilla de cobre), termómetro, pipeta, espátula, taras de aluminio, embudos de vidrio, fiolas o balón aforado de 100 cm³ y 300 cm³, papel filtro Whatman N° 42, tubos de ensayo, pipeta volumétrica de 20 ó 25 cm³, vaso precipitado de 50 ml, buretas de 25 ml, pipetas volumétricas de 2 ml, tubos Klett, tubos de ensayos, picetas.

El análisis de la diversidad biológica se efectivizó empleando: tubos de vidrio de 15 ml, matraz Erlenmeyer con tapa, pipetas de 1 ml y de 0.2 ml, espátulas, cajas de Petri, varilla de vidrio, papel aluminio estéril, formol al 4-10%, alcohol al 80%, solución salina 0.85% estéril, etanol, agua destilada, diversos medios de cultivo, antibióticos (para el cultivo de hongos).

3.2.3. Equipos

Cámara digital marca SONY, GPS marca GARMIN Etrex modelo LEGEND HCx, estufa para secar suelo a 105 - 110° C, estereoscopio, microscopio, balanza analítica a 0.1 g, campana de flujo laminar o área estéril,

incubadora, autoclave, aparato digestor, aparato de destilación, fotocolorímetro con un haz de luz de 660 nm.

3.3. Metodología

El estudio se desarrolló en tres fases: fase de pre campo, fase de campo y fase de gabinete.

3.3.1. Fase de pre campo

Fase inicial de la investigación, que consistió en el reconocimiento del área en estudio, que sirvió de base para la planificación de las diversas actividades.

3.3.2. Fase de campo

Fase que consistió en el desarrollo de las siguientes actividades:

3.3.2.1. Delimitación y georreferenciación de las parcelas

Para tal efecto se delimitaron parcelas o transectos de 75 m x 75 m en cada sistema de uso de la tierra (es decir, uno en cada sistema), cuyas características son las siguientes:

- **Ex cocal.** Se encuentra a una altitud de 695 msnm, con aproximadamente 7 años de edad -es decir, 7 años a partir de la eliminación del cultivo de coca-, período durante el cual el suelo se encontró cubierto por vegetación homogénea de macorilla (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn).

- **Bosque primario.** Constituido por especies propias de la zona y de un bosque primario, tales como: helechos arbóreos (*Cyathea incana*), lianas y algunos árboles semilleros de cedro (*Cedrela odorata* L.), tornillo (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke) y atadijo (*Trema micrantha* (L.) Blume). Cabe mencionar que hace algunos el bosque contenía mayor cantidad de árboles de *Cedrela odorata* L., *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke e higuierilla (*Micrandra spruceana*), los mismos que fueron selectivamente extraídos por el propietario. Este sistema de uso de la tierra se localiza a una altitud de 794 msnm.

- **Sistema agroforestal.** Con seis años de edad promedio, se localiza a una altitud de 557 msnm. Sistema de uso de la tierra constituido por la asociación de plantas de cacao variedad CCN 51 (*Theobroma cacao* L.), árboles de la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Martius) establecidos cada 4 m como contorno del sistema, y árboles de cedro (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* G. King) instalados cada 15 m al interior de la parcela, complementándose con árboles de guaba (*Inga edulis* C. Martius) plantados cada 30 m.

3.3.2.2. Muestreo de suelos para el análisis físico químico

Se realizó luego de haberse delimitado las tres parcelas, para lo cual en cada sistema de uso de la tierra se tomaron 11 muestras distribuidas mediante un trazo en zig-zag a lo largo y ancho de cada parcela. Cada unidad de muestreo 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.

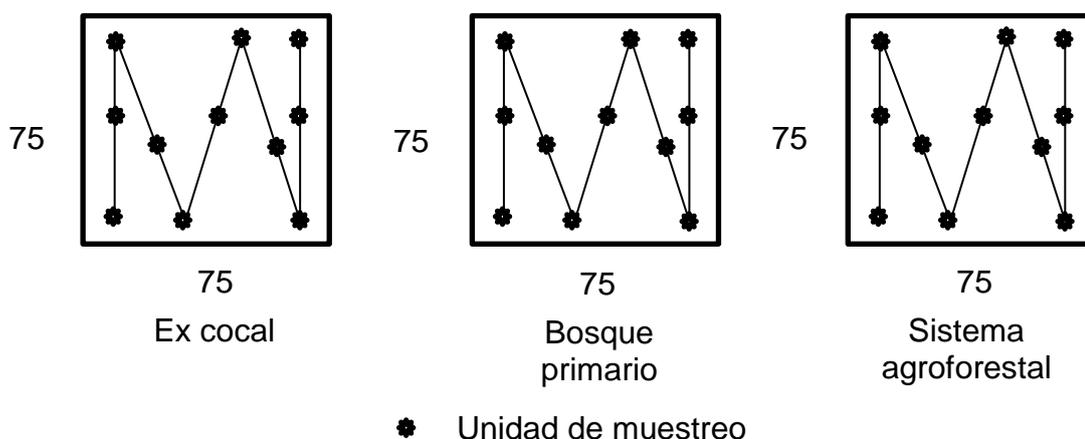


Figura 1. Diagrama de muestreo de suelos para análisis físico químico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.

3.3.2.3. Determinación de las propiedades físicas y químicas

El análisis de las muestras obtenidas se realizó en el Laboratorio de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Cuadro 3. Indicadores físicos y químicos evaluados.

Propiedades del suelo	
Indicadores físicos y químicos	Método de determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Aluminio intercambiable	Método de Yuan
Nitrógeno total	Método del micro-Kjeldahl
Fósforo disponible	Método del Olsen modificado
Potasio disponible	Extracción con acetato de amonio
Bases intercambiables	Reemplazamiento con acetato de amonio
CIC	Saturación con acetato de amonio

3.3.2.4. Muestreo de los organismos del suelo

3.3.2.4.1. Microorganismos, meso y macrofauna

Se utilizó el método de muestreo sugerido por el Programa *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) (LAVELLE, 1984; ANDERSON e INGRAM, 1993), y consistió en tomar 10 muestras de cada sistema de uso de la tierra; para ello se delimitaron cinco fajas de 75 x 15 m, distribuidas en sentido de uno de los lados del transecto y paralelas entre sí. En cada una de ellas se ubicaron dos unidades de muestreo, haciendo un total de 10, de las que se procedió a extraer las muestras de suelo mediante el marco metálico, a profundidades de 10, 20 y 30 cm, respectivamente (Figura 2).

a. Evaluación del componente microbiano

Actividad realizada en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), siguiendo la metodología propuesta 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, realizándose diluciones seriales. La dilución dependió del tipo de microorganismos que se deseaba aislar. Para bacterias se empleó las diluciones 10^{-5} - 10^{-6} y para hongos 10^{-2} - 10^{-3} . Con cada dilución se tuvo 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 identificada

las UFC se realizó la purificación de algunos hongos y bacterias elegidos; el criterio que determinó el aislamiento tanto de bacterias y hongos fue la elección de colonias que mayor cantidad de repeticiones presentaran y las más expansivas en las cajas de Petri, de cada uno de los diferentes sistemas de uso de la tierra. Al cabo de 3 a 7 días de incubación, se obtuvieron las colonias de bacterias y hongos.

Para estimar 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 promedio de 5.60 kg. Sin embargo, para mayor comodidad y facilidad se acondicionó una muestra de 10 g para cada estrato. Finalmente, se realizó el cálculo que permitió determinar la cantidad de colonias o UFC por 5,600 g (6,250 cm³) de suelo.

b. Evaluación de la meso y macrofauna

Actividad que consistió en coleccionar los macro invertebrados de cada estrato o profundidad, los mismos que fueron colocados en solución de alcohol al 80% si se trataba de insectos de cuerpo endurecido, y en formol de 4-10% si correspondían a larvas e insectos de cuerpo no endurecido (DECAËNS *et al.*, 1994). Asimismo, en el campo, mediante una guía de identificación, los organismos fueron clasificados a nivel de órdenes. Los organismos restantes o no encontrados inicialmente, fueron colectados en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), donde para realizar una correcta clasificación de organismos pequeños se empleó el estereoscopio. En el referido laboratorio se realizó

asimismo, la identificación a nivel de especie de los microorganismos, meso y macrofauna.

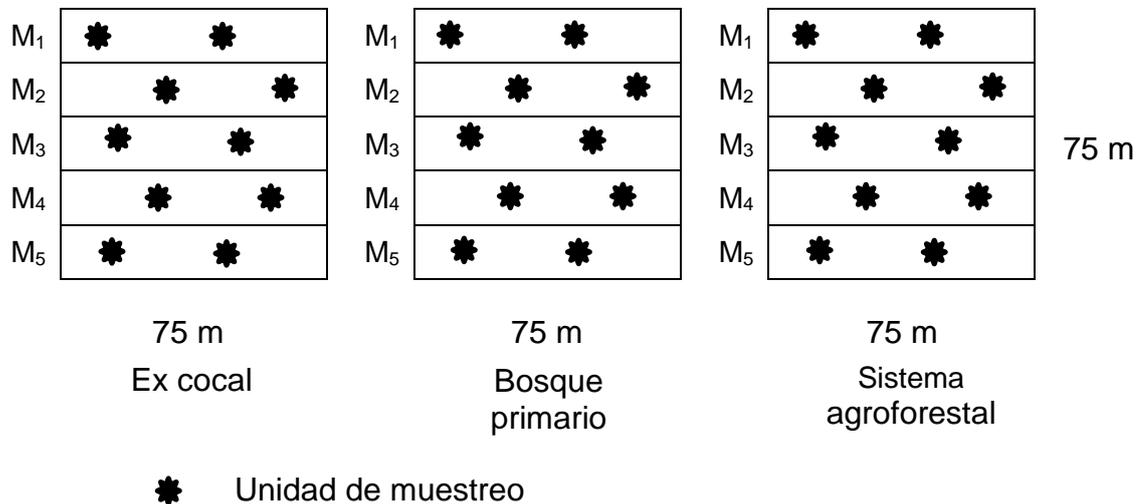


Figura 2. Diagrama de muestreo de suelos para análisis biológico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.

3.3.2.4.2. Diversidad de especies

A efectos de medir la diversidad alfa se empleó el índice de Shannon – Wiener (H'), tomando como referencia lo propuesto por MORENO (2001).

- Índice de Shannon – Wiener (H')

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

Donde:

H' = Índice de diversidad (bits/individuo).

P_i = Abundancia relativa de especies.

S = Número total de especies de la muestra.

\ln = Logaritmo natural.

3.3.3. Fase de gabinete

Fase que consistió en procesar los datos obtenidos, los cuales se expresan en los resultados mediante cuadros y figuras. Asimismo, se procedió a determinar la correlación existente entre los diversos factores o propiedades de los suelos.

Con el propósito de representar diferencias estadísticas, se agruparon los sistemas de uso de la tierra como tratamientos (ex cocal, bosque primario y sistema agroforestal), en cada uno de los cuales se evaluaron las propiedades físicas, químicas y biológicas a tres profundidades (10, 20 y 30 cm) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tratamientos del experimento.

Tratamientos	Tipo de sustrato
T ₁	Ex cocal
T ₂	Bosque primario
T ₃	Sistema agroforestal

Con la finalidad de determinar la relación existente entre las propiedades físicas y químicas del suelo con la meso y macrofauna, los datos fueron evaluados mediante el coeficiente de correlación de Pearson, a través de la siguiente expresión:

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

Al respecto, según HERNANDEZ *et al.* (2006), 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

3.3.3.1. Variables dependientes

- Propiedades físicas de los suelos.
- Propiedades químicas de los suelos.
- Propiedades biológicas de los suelos.

3.3.3.2. Variables independientes

- Sistema de uso de la tierra: ex cocal.
- Sistema de uso de la tierra: bosque primario.
- Sistema de uso de la tierra: sistema agroforestal.

IV. RESULTADOS

4.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en los tres sistemas de uso de la tierra en estudio

Respecto a la textura de cada uno de los suelos de los sistemas de uso de la tierra, se observa que el suelo de ex cocal presenta textura arcillosa debido a la actividad productiva y al método de cultivo a que fue sometido. Contrariamente a ello es lo observado en el suelo del sistema agroforestal de seis años de edad, constituido por la asociación de plantas de cacao variedad CCN 51 (*Theobroma cacao* L.), árboles de la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Martius) establecidos cada 4 m como contorno del sistema, y árboles de cedro (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* G. King) instalados cada 15 m al interior de la parcela, complementándose con árboles de guaba (*Inga edulis* C. Martius) plantados cada 30 m, donde debido a la heterogeneidad de especies, la textura de estos suelos es liviana (franco limoso), lo cual genera un suelo con buen drenaje y fácil para labores culturales. Asimismo, se observa los valores de pH, donde el suelo de ex cocal presenta un pH fuertemente ácido 5.49; y valores de materia orgánica donde el suelo de bosque primario presenta nivel medio, constituyendo un suelo bien estructurado y con buena reserva de nutrientes. Del mismo modo se observa las concentraciones de N, P y K disponibles para las plantas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de suelos de los tres sistemas de uso de la tierra.

Tratamientos (sistemas de uso de la tierra)	Análisis mecánico			Textura	pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CIC
	Arena	Arcilla	Limo		1:1	%	%	ppm	kg/ha	
	%	%	%							
Ex cocal (T ₁)	25.68	45.04	29.28	Arcilloso	5.49	1.34	0.06	2.82	223.94	--
Bosque primario (T ₂)	27.68	29.04	43.28	Franco Arcillo Limoso	6.56	3.69	0.17	52.39	194.78	26.64
Agroforestal (T ₃)	25.68	21.04	53.28	Franco Limoso	7.28	3.02	0.14	49.55	169.61	20.18

Para el caso de las bases intercambiables, se tiene que para el sistema de uso ex cocal la Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) presenta valor medio con un porcentaje de saturación de bases muy alto (74%) (Cuadro 6). En los sistemas de uso bosque primario y sistema agroforestal, la Capacidad de Intercambio Catiónico presenta un nivel alto (Cuadro 5), sucediendo lo mismo con el porcentaje de saturación de bases, lo cual propicia que todos los nutrientes estén disponibles para las plantas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de suelos de los tres sistemas de uso de la tierra.

Tratamientos (sistemas de uso de la tierra)	Cambiabiles (cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
								Bases	Ácidos	Saturación
	Ca	Mg	K	Na	Al	H		cambiabiles	cambiabiles	de Al
Ex cocal (T ₁)	4.13	1.05	0.00	0.00	0.59	1.19	6.95	74.49	25.51	8.43
Bosque primario (T ₂)	20.73	5.05	0.10	0.76	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00
Agroforestal (T ₃)	18.52	1.03	0.06	0.57	0.00	0.00	--	100.00	0.00	0.00

4.2. Diversidad de microorganismos, meso y macrofauna en los suelos de los tres sistemas de uso de la tierra

4.2.1. Microorganismos

4.2.1.1. Suelo de ex cocal (T₁)

Cuadro 7. Diversidad de microorganismos en el suelo de ex cocal.

Repetición	Tipo de microorganismo	Cantidad de microorganismos (col/ml)/profundidad (cm)				Índice de Shannon-Wiener (H')		
		p=10	p=20	p=30	Total	p=10	p=20	p=30
R ₁	Aerobios viables	8'960,000	3'360,000	2'240,000	14'560,000	-0.37	-0.37	-0.37
	Actinomicetos	11'200,000	5'600,000	3'360,000	20'160,000	-0.35	-0.33	-0.33
	Mohos y levaduras	2'800,000	1'120,000	560,000	4'480,000	-0.26	-0.24	-0.22
	Total	22'960,000	10'080,000	6'160,000	39'200,000	0.97	0.94	0.92
R ₂	Aerobios viables	6'720,000	3'360,000	1'680,000	11'760,000	-0.36	-0.36	-0.36
	Actinomicetos	11'200,000	6'720,000	3'360,000	21'280,000	-0.35	-0.32	-0.31
	Mohos y levaduras	4'480,000	1'680,000	560,000	6'720,000	-0.32	-0.28	-0.23
	Total	22'400,000	11'760,000	5'600,000	39'760,000	1.03	0.96	0.90
R ₃	Aerobios viables	8'400,000	8'960,000	4'480,000	21'840,000	-0.36	-0.34	-0.34
	Actinomicetos	8'400,000	6'720,000	3'360,000	18'480,000	-0.36	-0.37	-0.37
	Mohos y levaduras	3'360,000	1'680,000	560,000	5'600,000	-0.30	-0.23	-0.18
	Total	20'160,000	17'360,000	8'400,000	45'920,000	1.03	0.93	0.88
R ₄	Aerobios viables	5'600,000	4'480,000	2'800,000	12'880,000	-0.37	-0.37	-0.36
	Actinomicetos	7'840,000	5'600,000	3'360,000	16'800,000	-0.35	-0.35	-0.35
	Mohos y levaduras	2'240,000	1'120,000	560,000	3'920,000	-0.28	-0.23	-0.21
	Total	15'680,000	11'200,000	6'720,000	33'600,000	0.99	0.94	0.92
R ₅	Aerobios viables	5'040,000	2'240,000	1'120,000	8'400,000	-0.37	-0.37	-0.37
	Actinomicetos	6'720,000	3'360,000	1'680,000	11'760,000	-0.34	-0.35	-0.35
	Mohos y levaduras	1'120,000	1'120,000	560,000	2'800,000	-0.21	-0.30	-0.30
	Total	12'880,000	6'720,000	3'360,000	22'960,000	0.92	1.01	1.01
Promedio	18'816,000	11'424,000	6'048,000	Promedio	0.99	0.96	0.93	

El índice de diversidad de Shannon – Wiener muestra que los microorganismos en el suelo de ex cocal presentan mayor diversidad hasta los 10 cm de profundidad, disminuyendo hacia los 20 cm y 30 cm. Los valores que se obtienen son de 0.99, 0.96, 0.93 nats/individuo para las profundidades de 10, 20, y 30 cm, respectivamente (Figura 3).

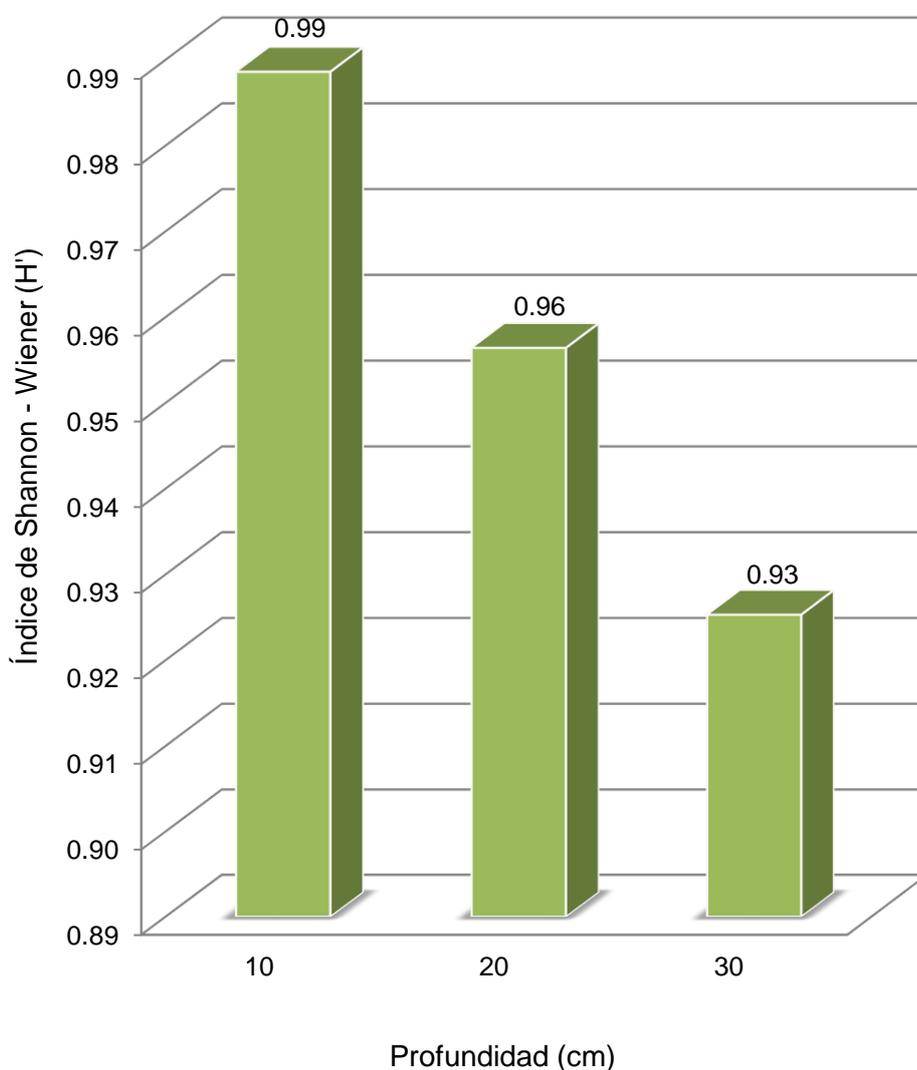


Figura 3. Índice de diversidad de Shannon – Wiener, de los microorganismos a tres profundidades diferentes en un suelo de ex cocal.

4.2.1.2. Suelo de bosque primario (T₂)

Cuadro 8. Diversidad de microorganismos en el suelo de bosque primario.

Repetición	Tipo de microorganismo	Cantidad de microorganismos (col/ml)/profundidad (cm)				Índice de Shannon-Wiener (H')		
		p=10	p=20	p=30	total	p=10	p=20	p=30
R ₁	Aerobios viables	103'600,000	78'400,000	15'680,000	197'680,000	-0.37	-0.37	-0.35
	Actinomicetos	126'000,000	106'400,000	33'600,000	266'000,000	-0.36	-0.35	-0.33
	Mohos y levaduras	47'600,000	33'600,000	12'320,000	93'520,000	-0.30	-0.29	-0.32
	Total	277'200,000	218'400,000	61'600,000	557'200,000	1.03	1.01	1.00
R ₂	Aerobios viables	120'400,000	61'600,000	22'400,000	204'400,000	-0.37	-0.36	-0.37
	Actinomicetos	138'320,000	58'800,000	30'800,000	227'920,000	-0.36	-0.37	-0.34
	Mohos y levaduras	53'200,000	25'200,000	5'600,000	84'000,000	-0.30	-0.30	-0.22
	Total	311'920,000	145'600,000	58'800,000	516'320,000	1.03	1.03	0.93
R ₃	Aerobios viables	141'120,000	70'000,000	33'600,000	244'720,000	-0.36	-0.37	-0.37
	Actinomicetos	156'800,000	100'800,000	44'800,000	302'400,000	-0.35	-0.33	-0.34
	Mohos y levaduras	33'600,000	16'800,000	5'600,000	56'000,000	-0.23	-0.22	-0.18
	Total	331'520,000	187'600,000	84'000,000	603'120,000	0.95	0.92	0.88
R ₄	Aerobios viables	104'160,000	44'800,000	14'560,000	163'520,000	-0.37	-0.36	-0.36
	Actinomicetos	148'400,000	92'960,000	25'200,000	266'560,000	-0.34	-0.30	-0.34
	Mohos y levaduras	26'320,000	15'680,000	8'400,000	50'400,000	-0.22	-0.23	-0.30
	Total	278'880,000	153'440,000	48'160,000	480'480,000	0.93	0.90	1.01
R ₅	Aerobios viables	75'600,000	54'320,000	28'560,000	158'480,000	-0.34	-0.36	-0.36
	Actinomicetos	200'480,000	109'200,000	40'880,000	350'560,000	-0.29	-0.32	-0.36
	Mohos y levaduras	36'960,000	28'560,000	19'040,000	84'560,000	-0.25	-0.28	-0.33
	Total	313'040,000	192'080,000	88'480,000	593'600,000	0.88	0.96	1.05
Promedio		302'512,000	179'424,000	68'208,000		0.96	0.96	0.97

Según el índice Shannon – Wiener, en el suelo de bosque primario la diversidad es similar a 10 cm y 20 cm de profundidad, siendo ligeramente superior a 30 cm de profundidad. Los valores obtenidos son 0.96, 0.96 y 0.97 nats/individuo, respectivamente (Figura 4).

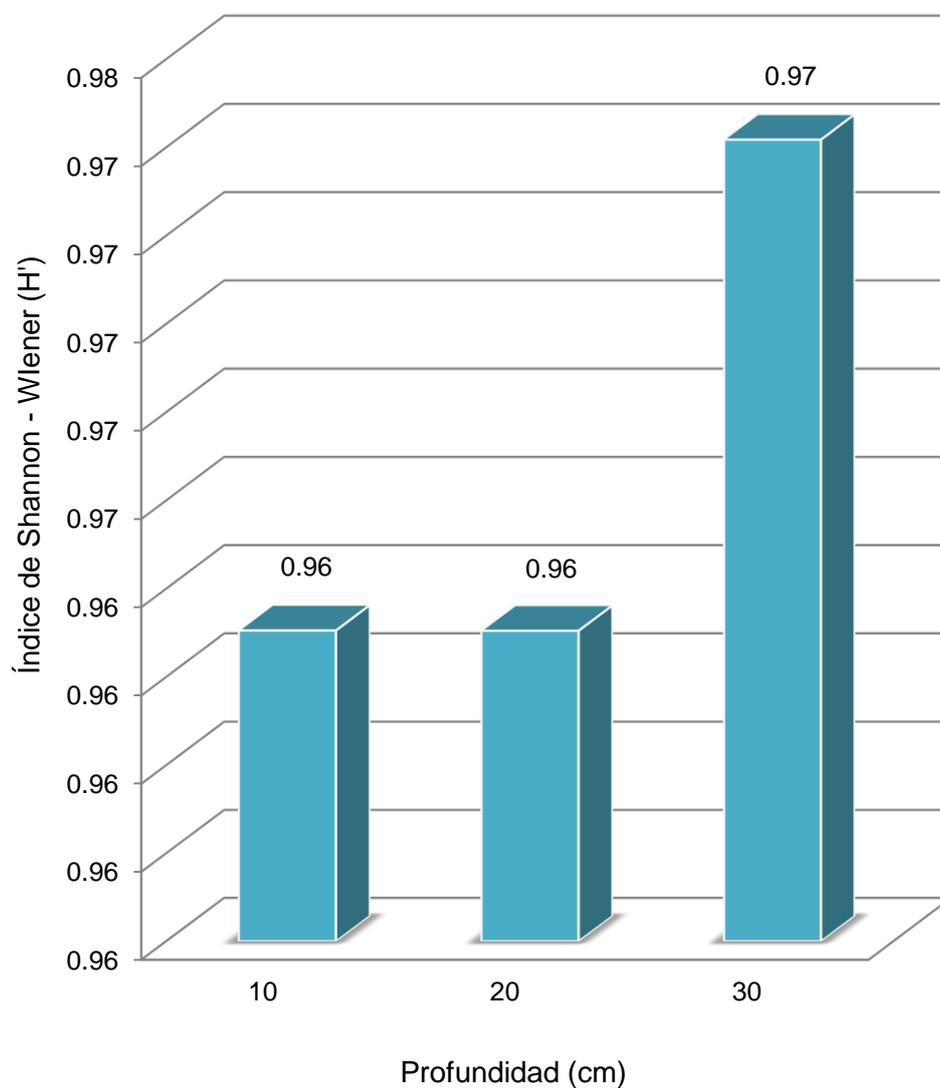


Figura 4. Índice de diversidad de Shannon – Wiener, de los microorganismos a tres profundidades diferentes en un suelo de bosque primario.

4.2.1.3. Suelo de sistema agroforestal (T₃)

Cuadro 9. Diversidad de microorganismos en el suelo de sistema agroforestal.

Repetición	Tipo de microorganismo	Cantidad de microorganismos (col/ml)/profundidad (cm)				Índice de Shannon-Wiener (H')		
		p=10	p=20	p=30	Total	p=10	p=20	p=30
R ₁	Aerobios viables	30'240,000	21'280,000	12'320,000	63'840,000	-0.35	-0.36	-0.35
	Actinomicetos	42'000,000	28'560,000	18'480,000	89'040,000	-0.37	-0.37	-0.37
	Mohos y levaduras	38'640,000	26'320,000	16'240,000	81'200,000	-0.37	-0.37	-0.37
	Total	110'880,000	76'160,000	47'040,000	234'080,000	1.09	1.09	1.09
R ₂	Aerobios viables	43'680,000	26'320,000	20'160,000	90'160,000	-0.36	-0.35	-0.37
	Actinomicetos	55'440,000	48'160,000	26'320,000	129'920,000	-0.37	-0.36	-0.36
	Mohos y levaduras	39'200,000	32'480,000	13'440,000	85'120,000	-0.36	-0.36	-0.34
	Total	138'320,000	106'960,000	59'920,000	305'200,000	1.09	1.07	1.06
R ₃	Aerobios viables	47'600,000	35'280,000	10'080,000	92'960,000	-0.36	-0.36	-0.32
	Actinomicetos	57'120,000	42'000,000	23'520,000	122'640,000	-0.37	-0.37	-0.36
	Mohos y levaduras	45'360,000	35'840,000	17'360,000	98'560,000	-0.36	-0.36	-0.37
	Total	150'080,000	113'120,000	50'960,000	314'160,000	1.09	1.10	1.04
R ₄	Aerobios viables	56'560,000	41'440,000	36'400,000	134'400,000	-0.36	-0.37	-0.37
	Actinomicetos	86'240,000	49'280,000	44'240,000	179'760,000	-0.35	-0.37	-0.36
	Mohos y levaduras	39'760,000	31'360,000	19'600,000	90'720,000	-0.33	-0.35	-0.32
	Total	182'560,000	122'080,000	100'240,000	404'880,000	1.05	1.08	1.05
R ₅	Aerobios viables	62'720,000	53'200,000	35'840,000	151'760,000	-0.35	-0.37	-0.37
	Actinomicetos	120'400,000	56'560,000	44'240,000	221'200,000	-0.35	-0.37	-0.36
	Mohos y levaduras	55'440,000	44'800,000	25'200,000	125'440,000	-0.34	-0.36	-0.34
	Total	238'560,000	154'560,000	105'280,000	498'400,000	1.04	1.09	1.07
Promedio	164'080,000	114'576,000	72'688,000		1.07	1.09	1.06	

A 20 cm de profundidad del suelo de sistema agroforestal se observa la mayor diversidad según el índice de Shannon – Wiener con un valor de 1.09 nats/individuo. El menor valor de diversidad se presenta a 30 cm con un valor de 1.06 nats/individuo (Figura 5).

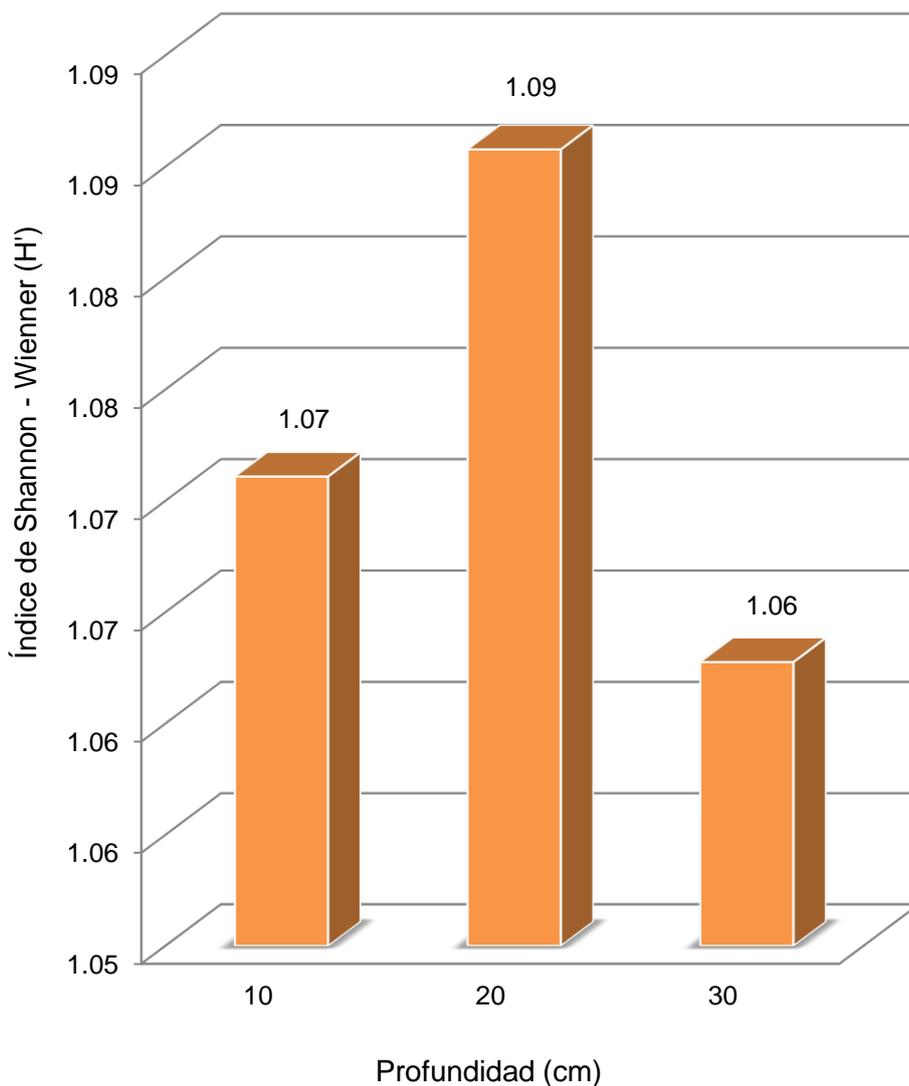


Figura 5. Índice de diversidad de Shannon – Wiener, de los microorganismos a tres profundidades diferentes en un suelo de sistema agroforestal.

4.2.2. Meso y macrofauna

4.2.2.1. Suelo de ex cocal (T₁)

Cuadro 10. Diversidad de meso y macrofauna en el suelo de ex cocal.

Repetición	Profundidad del suelo (cm)	Organismos	Cantidad de microorganismos	Total	Índice de Shannon – Wiener (H')	
R ₁		Cucaracha gris (<i>Blaberus craniifer</i>)	1		-0.24	
	10	Isula (<i>Paraponera clavata</i>)	2	9	-0.33	0.85
		Hormigas negras (<i>Messor barbarus</i>)	6		-0.27	
	20	Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	2	2	0	0
	30	Ausencia	0	0	0	0
R ₂	10	Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	1		-0.26	
		Hormigas negras (<i>Messor barbarus</i>)	7	8	-0.12	0.38
	20	Ausencia	0	0	0	0
	30	Ausencia	0	0	0	0
R ₃	10	Hormigas negras (<i>Messor barbarus</i>)	5	5	0	0
	20	Hormigas negras (<i>Messor barbarus</i>)	1	1	0	0
	30	Ausencia	0	5	0	0
R ₄	10	Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	6	6	0	0
	20	Ausencia	0	0	0	0
	30	Ausencia	0	0	0	0
R ₅	10	Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	5	5	0	0
	20	Ausencia	0	0	0	0
	30	Ausencia	0	0	0	0

El índice de diversidad de Shannon – Wiener muestra que la meso y macrofauna en el suelo de ex cocal es más diversa hasta los 10 cm de profundidad con un valor de 0.25. A los 20 cm y 30 cm la diversidad disminuye hasta alcanzar valores de 0 nats/individuo. Esto puede interpretarse como la presencia de un solo tipo de organismo o ninguno de ellos presentes (Figura 6).

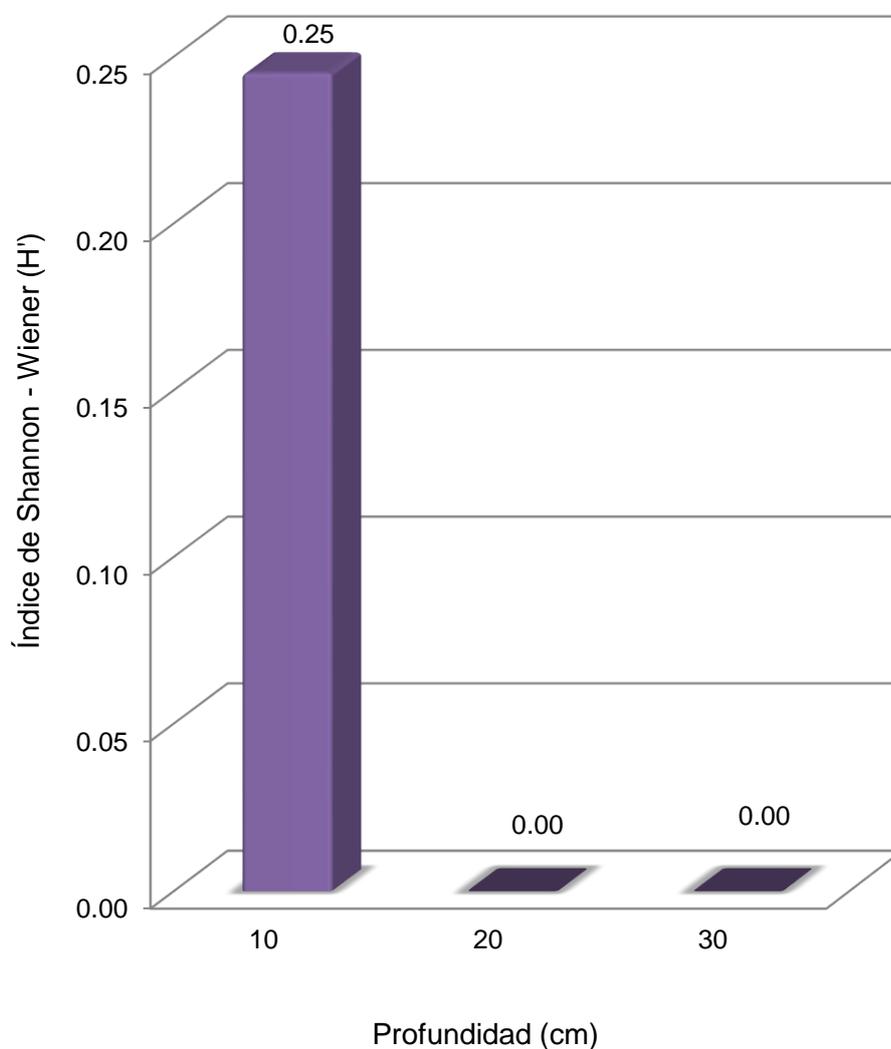


Figura 6. Índice de diversidad de Shannon – Wiener, de la meso y macrofauna a tres profundidades diferentes en un suelo de ex cocal.

4.2.2.2. Suelo de bosque primario (T₂)

Cuadro 11. Diversidad de meso y macrofauna en el suelo de bosque primario.

Repetición	Profundidad del suelo (cm)	Organismos	Cantidad de microorganismos	Total	Índice de Shannon – Wiener (H')	
R ₁	10	Larvas de cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	9		-0.37	
		Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	6		-0.34	
		Araña saltarín (<i>Salticus scenicus</i>)	2	26	-0.20	1.51
		Escarabajos (<i>Stator limbatus</i>)	4		-0.29	
		Hormigas negras (<i>Messor barbarus</i>)	5		-0.32	
	20	Lombrices (<i>Lombricus terrestres</i>)	1	1	0.00	0.00
30	Ausencia	0	0	0.00	0.00	
R ₂	10	Larvas de cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	5		-0.31	
		Gusanito marrón (<i>Glomeris marginata</i>)	1		-0.12	
		Lombríz (<i>Lombricus terrestres</i>)	1		-0.12	
		Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	12	27	-0.36	1.44
		Araña saltarín (<i>Salticus scenicus</i>)	6		-0.33	
		Cucaracha (<i>Blaberus craniifer</i>)	2		-0.19	
	20	Lombríz (<i>Lombricus terrestres</i>)	1	1	0.00	0.00
30	Ausencia	0	0	0.00	0.00	
R ₃	10	Larvas de cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	10		-0.29	
		Hormigas negras (<i>Messor barbarus</i>)	2		-0.26	
		Araña saltarín (<i>Salticus scenicus</i>)	2	16	-0.26	1.07
		Cucaracha (<i>Blaberus craniifer</i>)	2		-0.26	
	20	Lombríz (<i>Lombricus terrestres</i>)	3		-0.31	
	30	Larvas de cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	2	5	-0.37	0.67
R ₄	10	Lombríz pequeña (<i>Lombricus terrestres</i>)	1	1	0.00	0.00
		Cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	2		-0.28	
		Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	6		-0.36	
		Restos de cucaracha (<i>Blaberus craniifer</i>)	5	14	-0.37	1.20
	20	Isula (<i>Paraponera clavata</i>)	1		-0.19	
30	Lombriz pequeña (<i>Lombricus terrestres</i>)	2	2	0.00	0.00	
R ₅	10	Cucaracha en descomposicion (<i>Blaberus craniifer</i>)	1	1	0.00	0.00
		Larvas de cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	3		-0.34	
		Restos de cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	2		-0.29	
		Restos de cucaracha (<i>Blaberus craniifer</i>)	2	13	-0.29	1.56
		Hormigas negras (<i>Messor barbarus</i>)	4		-0.36	
	20	Isula (<i>Paraponera clavata</i>)	2		-0.29	
	30	Larvas de cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	5	5	0.00	0.00
	Lombríz (<i>Lombricus terrestres</i>)	2		-0.27		
Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	1	3	-0.37	0.64		

A 10 cm de profundidad en el suelo de bosque primario se observa mayor diversidad de la meso y macrofauna del suelo según el índice de Shannon – Wiener, con un valor de 1.36 nats/individuo. Menor diversidad se presenta a 20 y 30 cm de profundidad, con un valor de 0.13 nats/individuo (Figura 7).

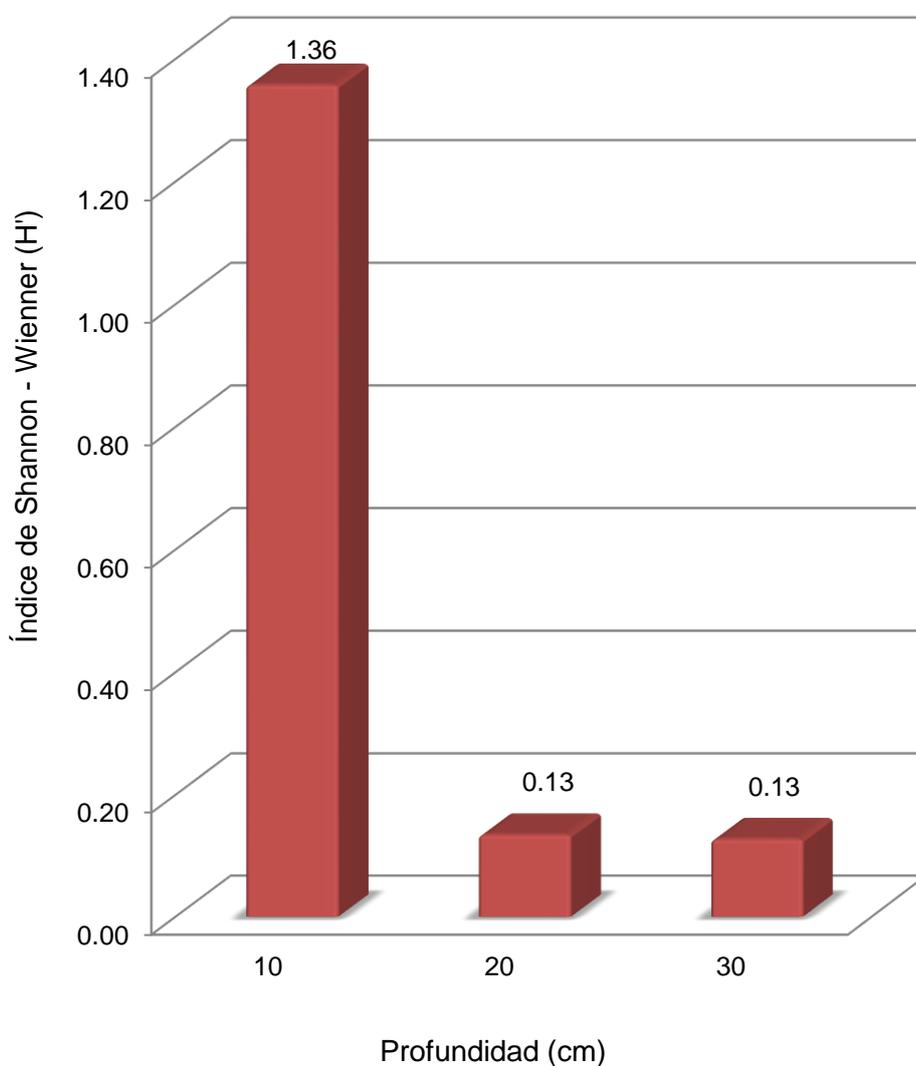


Figura 7. Índice de diversidad de Shannon-Wiener, de la meso y macrofauna a tres profundidades diferentes en un suelo de bosque primario.

4.2.2.3. Suelo de sistema agroforestal (T₃)

Cuadro 12. Diversidad de meso y macrofauna en el suelo de sistema agroforestal.

Repetición	Profundidad del suelo (cm)	Organismos	Cantidad de microorganismos	Total	Índice de Shannon – Wiener (H')	
R ₁	10	Cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	1	22	-0.14	
		Gusanito blanco (<i>Onychiurus armatus</i>)	5		-0.34	
		Resto de cucaracha (<i>Blaberus craniifer</i>)	1		-0.14	
		Caracol (<i>Helix pomatia</i>)	2		-0.22	
		Lombrices (<i>Lombricus terrestres</i>)	11		-0.35	
		Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	2		-0.22	
	20	Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	1	1	0	0
30	Ausencia	0	0	0	0	
R ₂	10	Cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	1	10	-0.23	
		Gusanito blanco (<i>Onychiurus armatus</i>)	7		-0.25	
		Lombrices (<i>Lombricus terrestres</i>)	2		-0.32	
	20	Ausencia	0	0	0	0
	30	Ausencia	0	0	0	0
R ₃	10	Cien pies (<i>Blaniulus guttulatus</i>)	2	11	-0.31	
		Cucaracha (<i>Blaberus craniifer</i>)	3		-0.35	
		Gusanito blanco (<i>Onychiurus armatus</i>)	2		-0.31	
		Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	4		-0.37	
	20	Ausencia	0	0	0	0
	30	Ausencia	0	0	0	0
R ₄	10	Lombrices (<i>Lombricus terrestres</i>)	1	13	-0.20	
		Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	7		-0.33	
		Gusanitos marrones (<i>Glomeris marginata</i>)	5		-0.37	
	20	Ausencia	0	0	0	0
	30	Ausencia	0	0	0	0
R ₅	10	Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	1	2	-0.35	
		Gusanito blanco (<i>Onychiurus armatus</i>)	1		-0.35	
	20	Hormigas amarillas (<i>Ants sp.</i>)	1	1	0	0
	30	Ausencia	0	0	0	0

El comportamiento del índice de diversidad en el suelo de sistema agroforestal, es similar al suelo de ex cocal, es decir, a 20 cm y 30 cm de profundidad no existe presencia de meso y macrofauna.

Según el índice de diversidad Shannon – Wiener, la meso y macrofauna en el suelo de sistema agroforestal es más diversa hasta los 10 cm de profundidad, con un valor de 0.95. A 20 cm y 30 cm de profundidad del suelo la diversidad disminuye hasta alcanzar valores de 0 nats/individuo. Esto se interpreta como la presencia de un solo tipo de organismo o ninguno de éstos presentes (Figura 8).

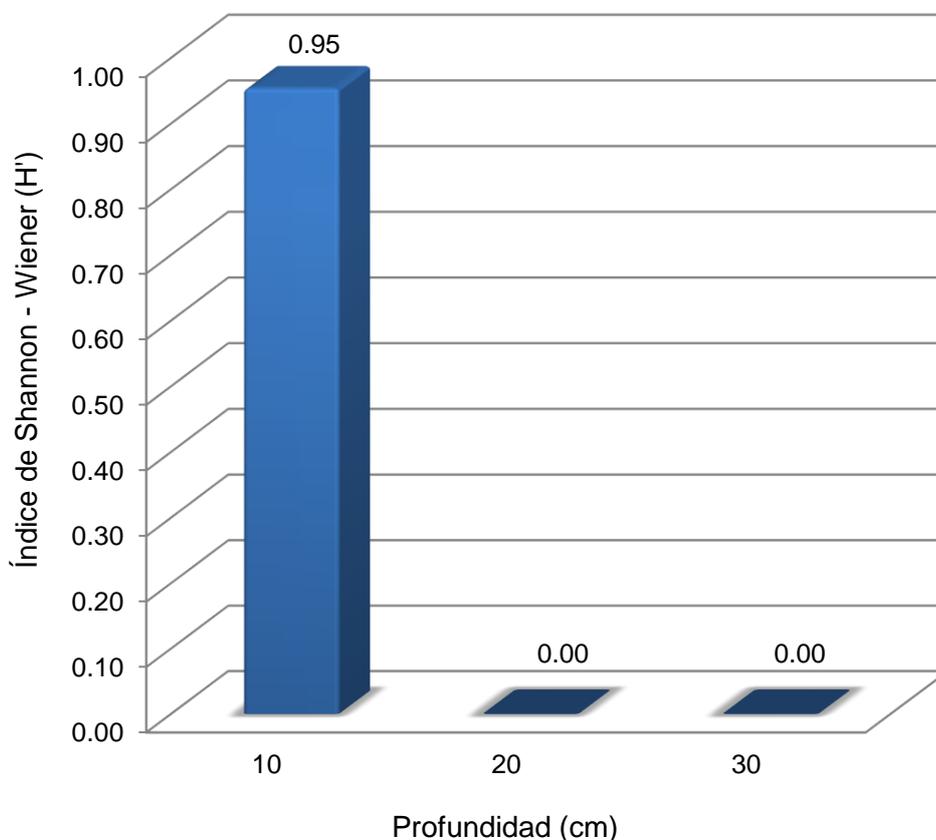


Figura 8. Índice de diversidad de Shannon - Wiener, de la meso y macrofauna a tres profundidades diferentes en un suelo de sistema agroforestal.

4.2.3. Comparación de la diversidad entre microorganismos y la meso y macrofauna por profundidad del suelo para cada sistema de uso de la tierra, según el índice de Shannon-Wiener

El bosque primario en general es el que mejor comportamiento presentó, más aún en lo que respecta a la diversidad de la meso y macrofauna, dado que en todas sus profundidades están presentes. Sin embargo, el sistema agroforestal presenta buen comportamiento en cuanto a diversidad de microorganismos, los mismos que están presentes en todos los sistemas de uso de la tierra y en las tres profundidades del suelo (Figura 9).

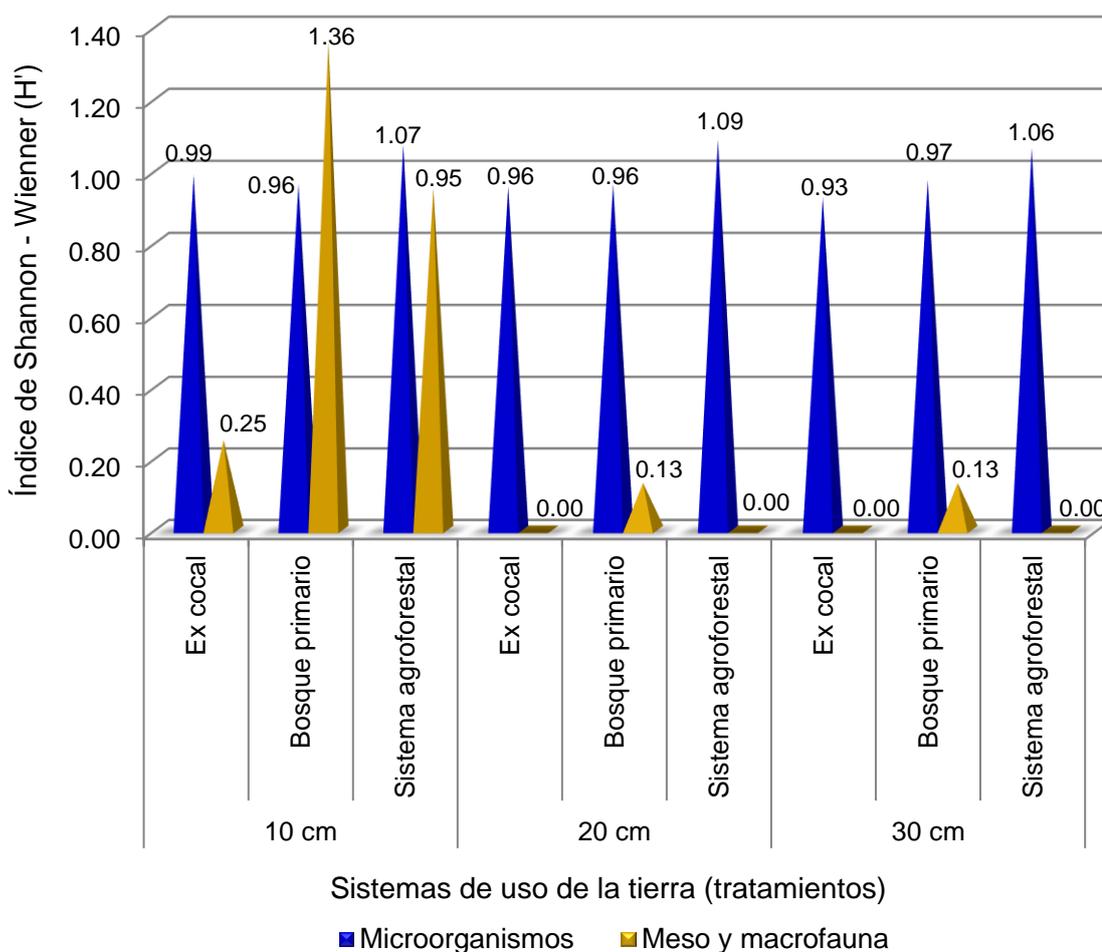


Figura 9. Comparación de la diversidad entre microorganismos y la meso y macrofauna por profundidad del suelo para cada sistema de uso de la tierra, según el índice de Shannon-Wiener.

4.3. Correlación entre las propiedades físicas, químicas y diversidad biológica del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra

Porcentajes mayores al 39% indican que la cantidad de arena como componente en los suelos afecta a la diversidad de organismos en los mismos, la cantidad de arcilla en los suelos genera una correlación negativa considerable respecto a la diversidad, mientras que el limo genera una correlación positiva considerable (>75%), el pH presentó una correlación positiva considerable, mientras que el nitrógeno, fósforo y capacidad de intercambio catiónico presentaron una correlación positiva débil y media; otra propiedad que afecta la diversidad es el potasio debido a que la correlación negativa alcanzada estuvo entre considerable y muy fuerte (Cuadro 13).

Cuadro 13. Coeficiente de determinación en la correlación entre algunas propiedades del suelo y los índices de diversidad de especies.

Índice	Propiedades del suelo							
	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	pH	N (%)	P (ppm)	K ₂ O (kg/ha)	CIC
H'	-0.476	-0.774	0.83	0.82	0.28	0.479	-0.858	0.311

Cuadro 14. Prueba de Duncan para el índice de diversidad de los sistemas de uso de la tierra.

Sistema de uso del suelo	Shannon - Wiener	
	a	b
Sistema agroforestal	1.07	
Bosque primario		0.97
Ex cocal		0.96
Sig.	1.000	0.527

Letras diferentes muestran significancia estadística.

En el índice de diversidad graficado, se observa que los mayores valores se registraron en el suelo del sistema agroforestal, mientras que en el del ex cocal y del bosque primario los valores de diversidad mostraron similitud. En el ex cocal, el suelo comprendido entre 0 a 10 cm de profundidad presentó mayor índice de diversidad en comparación a las demás profundidades. Resultados diferentes se obtuvieron en los demás sistemas de uso de la tierra evaluados, alcanzando mayor diversidad el sistema agroforestal a una profundidad comprendida entre los 10 cm y 20 cm (Figura, 10).

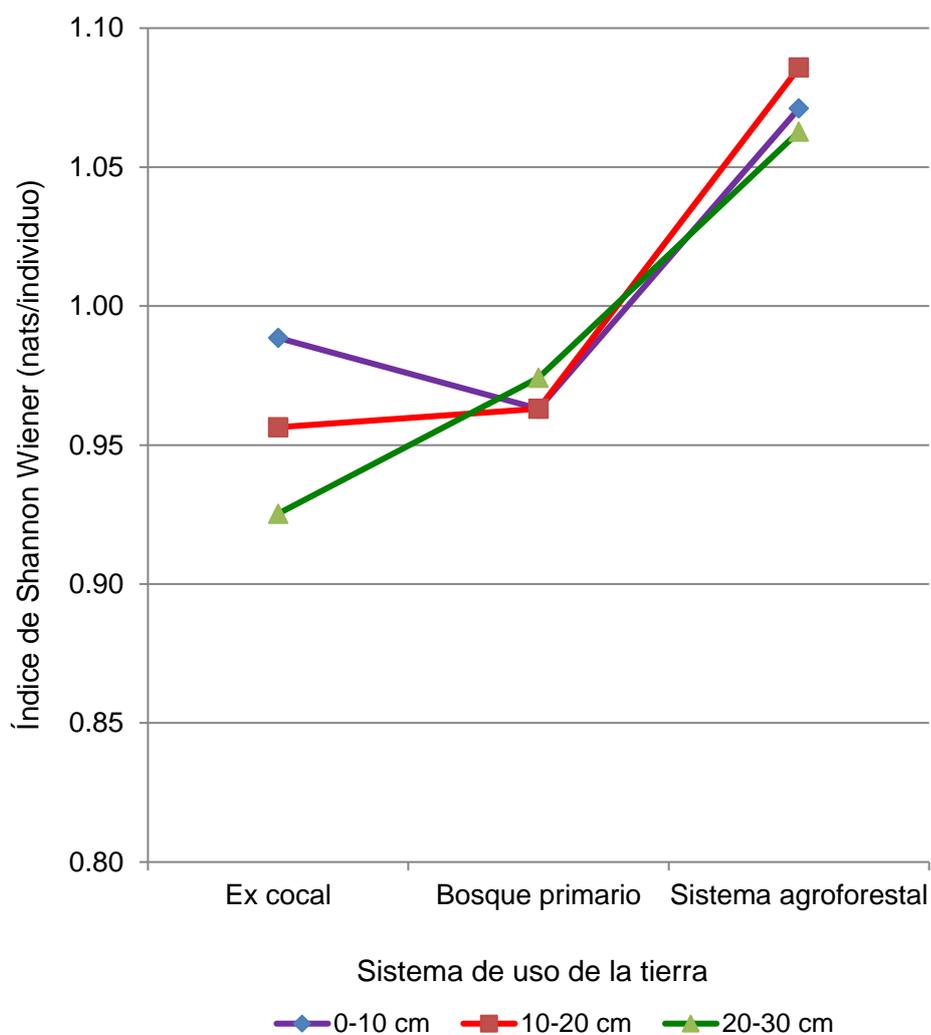


Figura 10. Índice de Shannon Wiener a tres profundidades en diferentes sistemas de uso de la tierra.

V. DISCUSIÓN

5.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en los tres sistemas de uso de la tierra

5.1.1. Ex cocal (T₁)

El sistema de uso de la tierra ex cocal considerado como tratamiento 1 (T₁), presenta un suelo con textura pesada (arcilloso), por lo que oponen resistencia a las labores agrícolas como el poceado, cultivo, arado, etc. El suelo es poco estructurado, con menos poros, por lo que el drenaje es pobre y por consiguiente la escorrentía superficial mayor que la infiltración, pudiendo provocar erosión laminar.

El suelo presenta un pH fuertemente ácido (5.49), lo cual nos indica que los cationes ácidos predominantes son el aluminio, hidrógeno, hierro, zinc, cobre y manganeso.

El valor de 1.34 % de materia orgánica muestra que el suelo posee un nivel bajo o pobre de este componente, lo cual es debido a que la materia orgánica ha sido arrastrada por lluvia, consecuentemente el nivel de nitrógeno (0.06 %) también es bajo.

Al respecto, RUIZ MURRIETA (1993) corrobora los resultados obtenidos al indicar que la erradicación del cultivo de coca no mejora el problema de la deforestación. La eliminación del cultivo deja el suelo más

desnudo que con el cultivo. Si se quema, el suelo queda expuesto a la lluvia con la consiguiente erosión y lavado de nutrientes. Si se aplican herbicidas defoliantes, la parcela se agranda, porque muere parte de la vegetación que bordea al cultivo. Ello es avalado también por DOUROJEANNI (s.d.), quien asigna a la coca una serie de efectos erosivos causados por varias características del cultivo de coca, vinculadas a su localización, a las técnicas de laboreo, y a la industrialización primaria (fabricación de pasta de cocaína).

En cuanto al fósforo disponible, el valor de 2.82 ppm indica que su concentración es baja debido a la escasez de materia orgánica, y como consecuencia la concentración de fósforo orgánico es baja, debiendo ser fijado o retenido mediante otro compuesto fosfatado no disponible para las plantas.

La concentración de potasio disponible (223.94 kg/ha), también es baja, debido probablemente a la presencia de arcilla.

Asimismo, la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICe = 6.95 cmol(+)/kg) presenta un valor medio con un porcentaje de saturación de bases cambiables de 74.49 %, cuyo valor es muy alto.

Para la recuperación de este tipo de suelo se recomienda adicionar materia orgánica y realizar el encalado, que contribuirá a la instalación exitosa de los cultivos.

La OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA DROGA Y EL DELITO (2011) manifiesta al respecto, que la coca se cultiva normalmente con escasa o nula cobertura de suelo y como monocultivo, muchas veces en pendientes pronunciadas y bosques primarios, lo que lleva a la degradación

del suelo por erosión y pérdida de las propiedades físico químicas del mismo, lo cual no hace más que confirmar los resultados de la investigación.

Por su parte, investigadores como LORENZ y MAYNARD (1980) y SAMSON (1980), tratan de explicar en base a cálculos de la cantidad de nutrientes extraídos del suelo por tonelada de cosecha (kg/ton), que la coca consume menos nitrógeno que el resto de los cultivos, excepto brócoli, ají y ananá (órganos reproductivos, en general más ricos en nutrientes), consume menos fósforo que todos los cultivos (excepto brócoli y ají) y menos potasio que todos los cultivos, excepto el maíz.

5.1.2. Bosque primario (T₂)

Este sistema de uso de la tierra considerado como tratamiento 2 (T₂), presenta un suelo de textura ligera (franco arcillo limoso), razón por la que dichos suelos son sueltos, propicios para labores culturales, presentando además escorrentía menor que la infiltración, por lo que tienen buen drenaje. Estos resultados mantienen concordancia con lo expresado por SÁNCHEZ (1981), quien considera que más de las dos terceras partes del sistema radical de los bosques adultos, se encuentran dentro de los 20-30 cm superiores del suelo. Aparentemente la naturaleza superficial de las raíces de los bosques y en especial los tropicales, proporcionan un medio efectivo de mantener el ciclo de nutrientes casi cerrado.

El pH de 6.56 indica que el suelo es ligeramente ácido, siendo casi un pH neutro en donde la mayoría de los nutrientes están disponibles para las plantas.

El porcentaje de materia orgánica de 3.69 muestra que se encuentra en el suelo en un nivel medio, haciendo que sea un suelo bien estructurado y con buena reserva de nutrientes; del mismo modo el porcentaje de nitrógeno tiene correlación con la materia orgánica, por lo que presenta un nivel medio (0.17 %).

Al respecto, WILCKE *et al.* (2002) sustenta los resultados obtenidos en la investigación al afirmar que en los bosques tropicales, la materia orgánica del suelo contiene la mayoría de los nutrientes esenciales para las plantas, estando muy vinculada la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre de la capa orgánica con la tasa de mineralización.

En relación al fósforo disponible, se observa que su concentración es alta (52.39 ppm), lo cual es debido al alto contenido de materia orgánica.

En cuanto al potasio disponible (194.78 kg/ha), indica que su presencia en el suelo posee un nivel bajo, siendo algunas veces este elemento retenido en las capas intersticiales de la arcilla.

JORDAN (1985) corrobora los resultados, al afirmar que en el bosque no perturbado, especialmente en zonas de alta precipitación, la mayor parte de los nutrientes se encuentran en la vegetación en pie; de esa manera se hallan relativamente protegidos de la erosión y la lixiviación. Los nutrientes retornan al suelo a través de la caída de hojarasca, ramas, frutos, descomposición de raíces, que en general es más acelerada en los bosques tropicales que en los de zonas templadas. La descomposición de la hojarasca ocurre de manera relativamente rápida, dependiendo de la calidad del material orgánico y la época y cantidad de su caída a lo largo del año; los nutrientes

son absorbidos por las raíces, las cuales en zonas de bosque lluvioso se encuentran localizadas principalmente en las capas más superficiales del suelo. Ese ciclo relativamente cerrado de nutrientes explica por qué los suelos asociados con una vegetación tan abundante son a menudo relativamente pobres en nutrientes y no muy fértiles cuando se los utiliza para la agricultura con monocultivos.

El mismo autor menciona que luego del corte del bosque, parte de los nutrientes que estaba contenido en la biomasa vegetal se pierden por lavado o volatilización, y parte se incorporan al suelo. La capa de humus a menudo es destruida por la quema y por la exposición a la radiación solar. Aunque la quema produce en la mayoría de los casos un aumento en el contenido de nutrientes del suelo (especialmente calcio, magnesio y potasio), aumento del pH y disminución de la saturación de aluminio, este efecto tiene duración variable.

Respecto a la capacidad de intercambio catiónico (26.64 cmol(+)/kg), el valor indica un nivel alto en donde casi todos los cationes básicos están presentes para poder ser intercambiados por las plantas, lo cual es corroborado por el porcentaje de saturación de bases cambiables (100 %). Estos resultados guardan relación con lo expresado por SÁNCHEZ *et al.* (1990), quien indica que el grado de acidez o pH del suelo es importante porque de él depende la disponibilidad de los nutrientes. Muchos compuestos precipitan a pH bajos (suelos ácidos), como el fósforo, azufre, calcio, magnesio, o a pH muy altos (suelos básicos), como el hierro, zinc, cobre, manganeso. Esto hace que, aun cuando el contenido del elemento es alto en el suelo éste no esté disponible para las plantas por hallarse precipitado o fijado; el P es uno de los nutrientes limitantes del crecimiento en los suelos tropicales. La acidez

del suelo, por lo tanto, contribuye a generar el ambiente edáfico oligotrófico (pobre en nutrientes) que caracteriza a muchos suelos tropicales.

5.1.3. Sistema agroforestal (T₃)

Sistema de uso de la tierra o tratamiento 3 (T₃), cuyo suelo es de textura liviana (franco limoso), con buen drenaje y fácil para las labores culturales. La infiltración es mayor que la escorrentía.

BEER (1988) y RAO *et al.* (1998) confirman los resultados al determinar que el mejoramiento del suelo en sistemas agroforestales está vinculado al crecimiento de los árboles fijadores de nitrógeno o de árboles/arbustos de raíces profundas que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a través de la fijación biológica, reciclaje de nutrientes desde capas profundas hacia la superficie del suelo (especialmente en zonas secas) y acumulación de materia orgánica en el suelo.

El pH de 7.28 nos muestra un suelo ligeramente alcalino, lo que hace posible que todos los nutrientes estén disponibles para las plantas.

El suelo presenta un nivel medio de contenido de materia orgánica (3.02 %), lo cual contribuye a que el suelo tenga buena estructura y porosidad, y consiguientemente buen drenaje. FASSBENDER *et al.* (1991) y BEER *et al.* (1998) concuerdan con los resultados al afirmar que los árboles de sombra en cultivos perennes (p. ej., café y cacao) aportan hojarasca y residuos de podas que cubren el suelo, reduce el impacto de las gotas de la lluvia, la velocidad de escorrentía y la erosión, mejoran la estructura, el contenido de nitrógeno y la retención de nutrientes en el suelo.

El nitrógeno (0.14 %) está en un nivel medio.

Referente al fósforo disponible (49.55 ppm), su concentración es alta, debido al fósforo orgánico proveniente de la materia orgánica.

En cuanto al potasio disponible (169.61 kg/ha), es un nivel bajo como consecuencia seguramente de la presencia de la arcilla.

Respecto a la capacidad de intercambio catiónico, el valor de 20.18 cmol(+)/kg indica que su nivel es alto; asimismo, el porcentaje de saturación de bases cambiables también está en ese nivel (100 %), propiciando que todos los nutrientes estén disponibles para las plantas.

En resumen, MONTAGNINI (1992) y FASSBENDER (1993) relacionan los resultados con lo encontrado por ellos, al determinar que los árboles en sistemas agroforestales cumplen funciones ecológicas de protección del suelo disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento. Por su parte, YUNG (1989) sostiene que los sistemas agroforestales también pueden modificar las características físicas del suelo como su estructura (por la adición de hojarasca, raíces y tallos incrementan los niveles de materia orgánica), la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio. Finalmente, GUTIÉRREZ (1995), afirma que el sistema radicular extendido y profundo aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes. Además, las formas arbóreas constituyen un mecanismo efectivo de capturar y retener carbono atmosférico, corroborando los resultados de la investigación.

5.2. Diversidad de microorganismos, meso y macrofauna en los suelos de los tres sistemas de uso de la tierra

En cuanto a la diversidad de meso y macrofauna, en general el suelo de bosque primario obtuvo mayores índices, evidenciando presencia de organismos en las tres profundidades estudiadas. FRAGOSO y LAVELLE (1992), concuerdan con los resultados de la investigación al afirmar que la diversidad de meso y macrofauna alcanzados en los bosques, evidencian la importancia de la variabilidad florística y de la heterogeneidad de los recursos en el suministro de las fuentes de alimento y refugio necesarias para conservar la diversidad de las comunidades edáficas. Ello también se relaciona con la cobertura presente en estos bosques, que provee un aporte considerable de hojarasca y sombra para mantener estables los valores de temperatura y humedad en el suelo, todo lo cual favorece el desarrollo de comunidades más diversas. En este sentido, GRANADOS y BARRERA (2007) encontraron mayor número de especies, géneros y familias en relictos de bosques en comparación con las áreas sin cobertura arbórea y, de modo general, concluyeron que las áreas con mayor diversidad y riqueza de plantas y un porcentaje más alto de cobertura pueden manifestar una mayor diversidad de la macrofauna del suelo.

Sin embargo, el suelo manejado bajo sistema agroforestal ha evidenciado mayor diversidad de meso y macrofauna en comparación al suelo de ex cocal, principalmente en los primeros 10 cm de profundidad, resultados que son variables debido a que la mayoría de las prácticas de manejo del suelo, independientemente de sus efectos sobre el pH, tiene un efecto negativo sobre su meso y macrofauna. Esto según LAVELLE *et al.* (1992), se debe a que las comunidades de meso y macrofauna del suelo son muy sensibles a los cambios de la cobertura del suelo, es decir, a los cambios de uso de las tierras.

Un comportamiento muy interesante se observa en la diversidad de microorganismos en el suelo del sistema agroforestal, cuyos índices de diversidad son mayores en comparación al suelo de ex cocal y bosque primario, lo cual puede ser efecto de la colonización de nuevas especies. Esto puede explicarse debido a que los suelos de ex cicales al no poseer componentes que aporten mayor cantidad de materia orgánica, restringen el crecimiento y desarrollo de mayor cantidad de microorganismos, manteniendo los que debido a la profundidad de sus raíces existen; asimismo, dado que el ciclo en el bosque primario es cerrado comparativamente a un sistema agroforestal donde existe indudablemente ambientes favorables para dicha colonización, la diversidad de microorganismos en éste es mayor. Al respecto, ICRAF (1996) en un estudio efectuado en sistemas de multiestratos y plantaciones de pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth) con cobertura de centrosema (*Centrosema macrocarpum* (DC.) Benth.) con 10 años de edad, encontró que ambos sistemas conservaron el mayor número de especies de macro invertebrados respecto al sistema natural (bosque primario). Dichas especies ofrecían también nichos ecológicos para muchos colonizadores exóticos. Consecuentemente, la recuperación de pastizales degradados a través de sistemas agroforestales puede ser una opción viable para la recolonización de la macrofauna del suelo (Barros *et al.*, 2000; citado por PASHANASI, 2001).

5.3. Correlación entre las propiedades físicas, químicas y diversidad biológica del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra

Referente a la correlación entre algunas propiedades del suelo y los microorganismos, se ha encontrado que hay relaciones positivas y negativas, las cuales no solo representan el efecto de los suelos sino del manejo de los mismos.

Se registró por ejemplo, que porcentajes mayores al 39% de arena como componente en los suelos afecta a la diversidad de organismos en los mismos (correlación negativa), situación similar sucede con la cantidad de arcilla en los suelos, dado que al generar una correlación negativa considerable respecto a la diversidad, indica que a mayor cantidad de este componente, menor diversidad de organismos en el suelo. Por su parte, el limo en el suelo genera una correlación positiva considerable (>75%), evidenciando que la cantidad de limo en el suelo genera una relación directamente proporcional con la diversidad de organismos. Así también el pH presentó una correlación positiva considerable, mientras que el nitrógeno, fósforo y capacidad de intercambio catiónico presentaron una correlación positiva débil y media, lo cual advierte que su presencia en el suelo propicia una relación directamente proporcional con la diversidad de organismos. Otra propiedad que afecta la diversidad de organismos es el potasio debido a que la correlación negativa alcanzó valores entre considerable y muy fuerte.

Al respecto, CABRERA y CRESPO (2001) manifiestan que el uso indiscriminado de maquinaria convencional, ha generado una pérdida de materia orgánica por aerobiosis, disminuyendo su contenido y afectando la estructuración natural de la capa arable, lo cual afecta a los microorganismos del suelo.

La comunidad microbiana del suelo es un componente lábil de la fracción orgánica, contiene de 1 a 3% del carbono total y hasta 5% del nitrógeno total del suelo. Las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como la presencia de plantas, tienen influencia sobre el número y la actividad de las poblaciones microbianas (LUNA *et al.*, 2002).

Sin embargo, es probable que la degradación física y química del suelo, o sea la pérdida de su estructura (por efecto de la erosión, sedimentación, disgregación o compactación) y fertilidad (materia orgánica, nutrientes), esté íntimamente relacionada con la disminución de las poblaciones o la pérdida cuantitativa y/o cualitativa de invertebrados clave de la macrofauna edáfica que regulan el ciclo de la materia orgánica y la producción de estructuras físicas biogénicas (LAVELLE, 2000; PANKHURST *et al.*, 1994, 1997).

Por su parte, PRIMAVESI (1982) sostiene que existe una relación específica entre los animales de un cierto suelo y sus condiciones edafológicas. Así, por ejemplo, se sabe que a medida que el suelo empeora en sus condiciones físicas y químicas, disminuye la relación entre ácaros y colémbolos. Lo anterior está relacionado con los diferentes tipos de cobertura vegetal que tenga el suelo.

El mismo investigador sostiene que cuanto mayor sea el contenido en materia orgánica, tantos más animales habrá, es decir, animales saprófagos, que se alimentan de materia orgánica. Estos animales saprófagos generalmente también aprecian a las bacterias y a los hongos, porque a través de estos reciben proteínas fácilmente digeribles. Por otro lado, a las bacterias les gustan las deyecciones animales, porque son alimentos predigeridos donde las sustancias complejas se han desdoblado a productos más simples.

VI. CONCLUSIONES

1. En el sistema agroforestal (T₃), el suelo presenta mejor textura, por lo que presenta buen drenaje y facilidad para la aplicación de labores culturales.
2. Los sistemas bosque primario y sistema agroforestal presentan pH cuyos valores son cercanos a neutro, por lo que todos los nutrientes están disponibles para las plantas. Asimismo, la concentración de fósforo disponible en ambos sistemas es alta, debido al fósforo orgánico proveniente de la materia orgánica.
3. La prueba de medias de Duncan para el índice de diversidad indica que el suelo del sistema agroforestal presenta diferencia estadísticamente significativa frente a los del suelo de ex cocal y bosque primario; es decir, el suelo del sistema agroforestal presenta mayor diversidad de organismos.
4. El suelo de ex cocal presentó mayor índice de diversidad en los 10 primeros centímetros de profundidad del suelo, en tanto hubo mayor diversidad en el sistema agroforestal a una profundidad comprendida entre 10 cm y 20 cm.
5. A mayor cantidad de arena, arcilla y potasio en los suelos, se observa menor diversidad de organismos (correlación negativa), mientras que el limo, pH, nitrógeno, fósforo y capacidad de intercambio catiónico presentaron una correlación positiva respecto a los índices de diversidad; es decir, la cantidad de los mismos es directamente proporcional a los índices de diversidad de organismos.

VII. RECOMENDACIONES

1. Adicionar materia orgánica y realizar el encalado para recuperar los suelos del sistema de uso ex cocal, lo cual contribuirá al desarrollo exitoso de los cultivos.
2. Realizar la práctica de sistemas agroforestales, como alternativa productiva y de conservación de suelos con especies fijadoras de nitrógeno.
3. Conservar áreas boscosas como zonas intangibles para la conservación de suelos y aguas.

**PROPERTIES PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL OF THE SOIL
UNDER THE INFLUENCE OF THREE SYSTEMS LAND USE IN DISTRICT
JOSÉ CRESPO Y CASTILLO, TINGO MARÍA**

VIII. ABSTRACT

The indiscriminate felling of forests, inadequate management of soil and agrochemicals, and the increased demand for food resulting from population growth, have led to the deterioration of the physical, chemical and biological characteristics of the soils. Therefore research objectives were to: evaluate the physical, chemical and biological properties of soils in three systems of land use; and find the correlation between the physical, chemical and biological properties in the three systems of land use. The experimental field was politically located in the José Crespo y Castillo district, Leoncio Prado province, Huánuco region. Each system of land use consisted of a treatment: former cocal 7 years old (T₁), primary forest (T₂), and agroforestry system average age 6 years (T₃); each consisted of a plot of 75 x 75 m, of which 11 soil samples extracted to determine the physical and chemical properties, and 10 soil samples to 10, 20 and 30 cm deep, for determining the diversity of micro, meso and macrofauna. The diversity of organisms in the soil was determined by the diversity index Shannon - Wiener. The results were: the floor of agroforestry system (T₃) has better texture (silty loam); the soil pH of systems of primary forest and agroforestry system has values close to neutral, and the concentration of phosphorus available in both systems is high; the soil diversity

index (Shannon - Wiener) of agroforestry system presents statistical difference respect to the soil of primary forest and former cocal to were similar; the soil of former cocal presented higher diversity index in the 10 first centimetres in depth, while the agroforestry system had greater diversity between 10 cm and 20 cm deep; the sand, clay and potassium presented negative correlation with diversity index, while silt, pH, nitrogen, phosphorus and cation exchange capacity showed positive correlation regarding to diversity index.

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, (<http://soils.usda.gov/sqi/soil/>, informe, documentos, 09 Oct. 2009).
- ALEGRE, J.C., FERNÁNDES, E.C.M. 1991. Runoff and erosion losses under forest, low-input and alley-cropping in slopes. p. 227-228. In: T. McBride (Ed.). TropSoils Technical Report 1988-1989. North Carolina State University. Raleigh, North Carolina.
- 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 n° 4. Yurimaguas, Perú.
- BAUTISTA, C., ETCHEVERS, B., DEL CASTILLO, R., GUTIÉRREZ, C. 2004. La calidad de los suelos y sus indicadores. [En línea]: AEET, (<http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>, 30 Nov. 2005).
- BEER, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. Rev. Agroforestry Systems. 7:103-114.

- BEER, J., MUSCHLER, R., KASS, D., SOMARRIBA, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Rev. Agroforestry Systems*. 56:249-257.
- BIBLIOTECA DE CAMPO. 2002. Manual Agropecuario Tecnológicas Orgánicas de la granja integral Autosuficiente. Fundación Hogares Juveniles Campesinos. Bogotá, Colombia. 109 p.
- BUENDIA, F. 1996. Características de los bosques secundarios. [En Línea]: Hegoa, (<http://www.hegoa.ehu.es/es/bosquessecundarios/sensintro,dctos>, 08 Nov. 2009).
- BURGUES, A., RAW, F. 1971. Biología del suelo. Barcelona, España, Paraninfo, Omega. 470 p.
- BURGUES, A. 1960. Biología y ecología del suelo. Zaragoza, España, Acribia. 186 p.
- CABRERA, G., CRESPO, G. 2001. Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola*. 35(1):3-4.
- DECAËNS, T., LAVELLE, P., JIMÉNEZ, J., ESCOBAR, G., RIPPSTEIN G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.* 30(4):157-168.
- DOUROJEANNI, M.J. s.d. The environmental impact of coca cultivation and cocaine production in the peruvian amazon basin. Mimeografiado.

- DOUROJEANNI, M.J. 1990. Amazonía: Qué hacer? Centro de Estudios Teológicos de la Amazonía (CETA). Iquitos, Perú.
- FASSBENDER, H.W., BEER, J., HEUVELDOP, J., IMBACH, A., ENRÍQUEZ, G., BONNEMANN, A. 1991. Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *Journal Forest Ecology and Management*. 45:173-183.
- FASSBENDER, H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2da edición. CAITE. Turrialba, Costa Rica. 490 p.
- FRAGOSO, C., LAVELLE, P. 1992. Earthworms communities of tropical rain forest. *Rev. Soil Biol. Biochem*. 24(12):1397.
- GRANADOS, A., BARRERA, J.I. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica en la cantera Soratama, Bogotá, DC. *Universitas Scientiarum, Revista de la Facultad de Ciencias. Edición especial II*. 12:73.
- GUTIÉRREZ, M. 1995. *Agriculturas para la vida*. Cali, Colombia.
- HERNANDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, P. 2006. *Metodología de la investigación*. 4 ed. México, Mc Graw-Hill. 850 p.
- HUAMANI, H., MANSILLA, L., ZAVALA, W. 1998. Evaluación de enmiendas orgánicas e inorgánicas en la recuperación de suelos degradados bajo sistemas de cultivos en fajas. Tingo María, Perú, CIUNAS.
- ICRAF (International Center for Research in Agroforestry). 1996. *Annual Report*. Nairobi, Kenya. p. 39-69.

- JORDAN, C.F. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. Principles and their application in management and conservation. New York, John Wiley and Sons. 190 p.
- LAL, R. 1988. Soil erosion research on steep lands. In: p. 45-53. W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (Eds.). Conservation Farming on Steep Lands. SWCS, Ankeny, IA.
- LAVELLE, P. 1984. The Soil Systems Humid Tropics. En: Biology International. 9:2-17.
- LAVELLE, P., SPAIN, A. V., BLANCHART, E., MARTIN, A., MARTIN, S. 1992. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. En: Myths and Science of Soils of the Tropics. SSSA Special Publication. Madison, Wisconsin, EE.UU. p. 157-185.
- LORENZ, O.A., MAYNARD, D.N. 1980. Knott's Handbook for Vegetable Growers. Wiley-Interscience, Second Edition. New York.
- LUNA, M., VEGA, C., FRANCO, M.O., VÁSQUEZ, S., TRUJILLO, N., RAMÍREZ, E., DENDOOVEN, L. 2002. Actividad microbiana en suelos. Avance y perspectiva. 21:328-332.
- MONTAGNINI, F. 1992. Sistema agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2 ed. San José, Costa Rica, Organización para Estudios Ttropicales. 622 p.
- MORENO, E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. México, M&T SEA. 86 p.

- ODUM, E. 1972. Ecología. 3 ed. México, D.F., Nueva Editorial Interamericana. 639 p.
- OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA DROGA Y EL DELITO. 2011. Monitoreo de cultivos de coca 2010. Bolivia.
- PANKHURST, C.E., DOUBE, B.M., GUPTA, V.V.S.R., GRACE P.R. (eds.). 1994. Soil biota: Management in sustainable farming systems. CSIRO, East Melbourne. 262 p.
- PANKHURST, C.E., DOUBE, B.M., GUPTA, V.V.S.R. (eds.). 1997. Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford.
- PASHANASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. IIAP. Rev. Folia Amazónica. 12(1-2):75-97.
- PORTA, C.J., LÓPEZ, A.M., ROQUERO DE LABURU, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. España, Mundi-Prensa. p. 929.
- PRIMAVESI, A. 1982. Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. 5 ed. Buenos Aires, Argentina, Ateneo. 499 p.
- RAMÍREZ, G.R.M., LUNA, M.B., MEJÍA, CH.A., VELÁZQUEZ, M.O., TSUZUKI, R.G., VIERNA, G.L., MÜGGENBURG, I. 1992. En: Manual de prácticas de microbiología general. Laboratorio de microbiología experimental. Facultad de Química, UNAM.

- RAMIREZ-TRUJILLO, A. 2003. Ecología aplicada. Fundación Universidad de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 325 p.
- RAO, M.R., NAIR, P.K., ONG, C.K. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 38:3-50.
- RUIZ MURRIETA, J. 1993. Alimentos del bosque amazónico. MAB, UNESCO, ORCYT.
- SAMSON, J.A. 1980. Tropical Fruits. Tropical Agriculture Series. Longman, London.
- SÁNCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. New York, Wiley.
- SÁNCHEZ, P.A., PALM, C.A., SMYTH, T.J. 1990. Approaches to mitigate tropical deforestation by sustainable soil management practices. *Developments in Soil Science*. 20:211-220.
- SCHARGEL, R., DELGADO, F. 1990. Características y manejo de los suelos utilizados en la producción de carne en Venezuela. En VI Cursillo sobre Bovinos de Carne. FCV-UCV, Maracay, Venezuela. p. 187-220.
- STOCKING, M.A. 1988. Socio-economics of soil conservation in developing countries. *J. Soil Water Conserv.* 43:381-385.
- TABOADA, M.A., ALVAREZ, C.R. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2 ed. Buenos Aires, Argentina, Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 237 p.

VOLKE, S.T., VELASCO, T.J.A., DE LA ROSA PÉREZ, D.A. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. p. 19-31.

WILCKE, W., YASIN, S., ABRAMOWSKI, U., VALAREZO, C., ZECH, W. 2002. Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. *European Journal of Soil Science*. 53:15–27.

ANEXO

Anexo 1. Comparación de la diversidad entre microorganismos del suelo para cada sistema de uso de la tierra, según índice de Shannon-Wiener.

Cuadro 15. Comparación de la diversidad entre microorganismos del suelo para cada sistema de uso, según índice de Shannon-Wiener.

Organismos	Profundidad = 10 cm			Profundidad = 20 cm			Profundidad = 30 cm		
	Ex cocal	Bosque primario	Sistema agrof.	Ex cocal	Bosque primario	Sistema agrof.	Ex cocal	Bosque primario	Sistema agrof.
Microorganismos	0.99	0.96	1.07	0.96	0.96	1.09	0.93	0.97	1.06
Meso y macrofauna	0.25	1.36	0.95	0.00	0.13	0.00	0.00	0.13	0.00

Cuadro 16. Análisis de Varianza (ANVA) para el índice de Shannon-Wiener.

Origen	GL	SC	CM	F	Sig.
Modelo corregido	8	0.136	0.017	8.155	0.000**
Intersección	1	44.920	44.920	21,515.717	0.000**
Sistemas	2	0.125	0.062	29.889	0.000**
Profundidad	2	0.003	0.002	0.812	0.452 ^{ns}
Sistemas * profundidad	4	0.008	0.002	0.959	0.442 ^{ns}
Error	36	0.075	0.002		
Total	45	45.131			
Total corregido	44	0.211			

ns: no presenta diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

** : Diferencias estadísticas ($p < 0.01$).

Anexo 2. Panel fotográfico de la investigación.



Figura 11. Muestreo de suelo sistema ex cocal, para análisis físico químico.



Figura 12. Muestreo del suelo sistema bosque primario, para análisis físico químico.



Figura 13. Muestreo de suelo sistema agroforestal, para análisis Físico químico.



Figura 14. Muestreo del suelo del sistema ex cocal, para análisis biológico.



Figura 15. Colecta de organismos del sistema ex cocal, para su identificación.



Figura 16. Muestreo del suelo sistema bosque primario, para análisis biológico.



Figura 17. Colecta de organismos sistema bosque primario, para identificación.



Figura 18. Muestreo del suelo sistema agroforestal, para análisis biológico.



Figura 19. Colecta de organismos sistema agroforestal, para identificación.



Figura 20. Meso y macrofauna colectada en el suelo de los sistemas agroforestal, bosque primario y ex cocal.

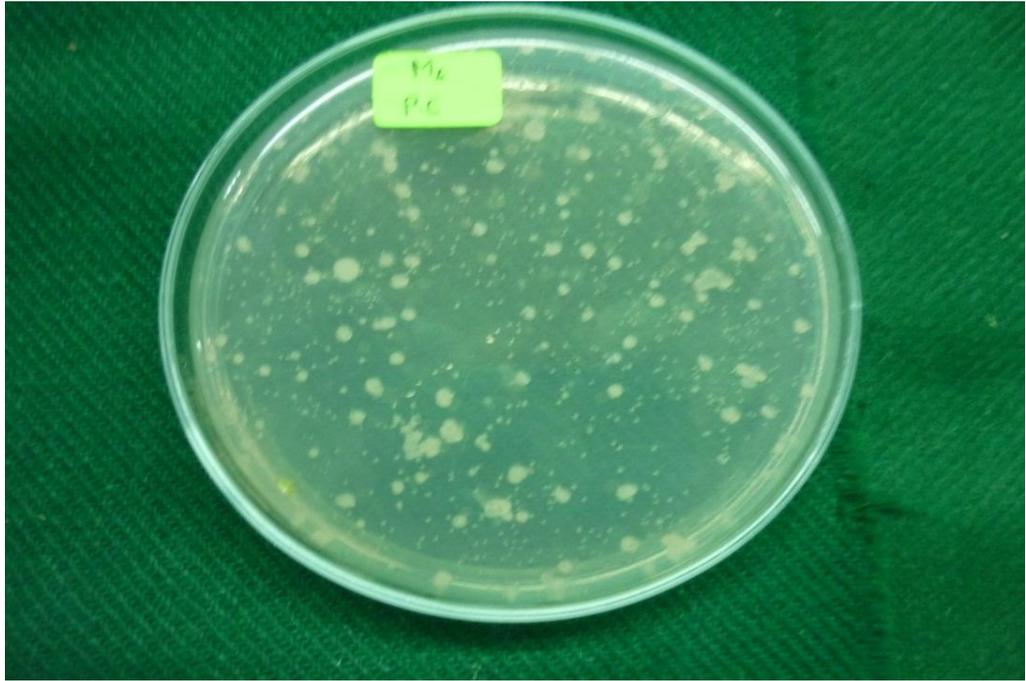


Figura 21. Microorganismos del suelo incubando en laboratorio.

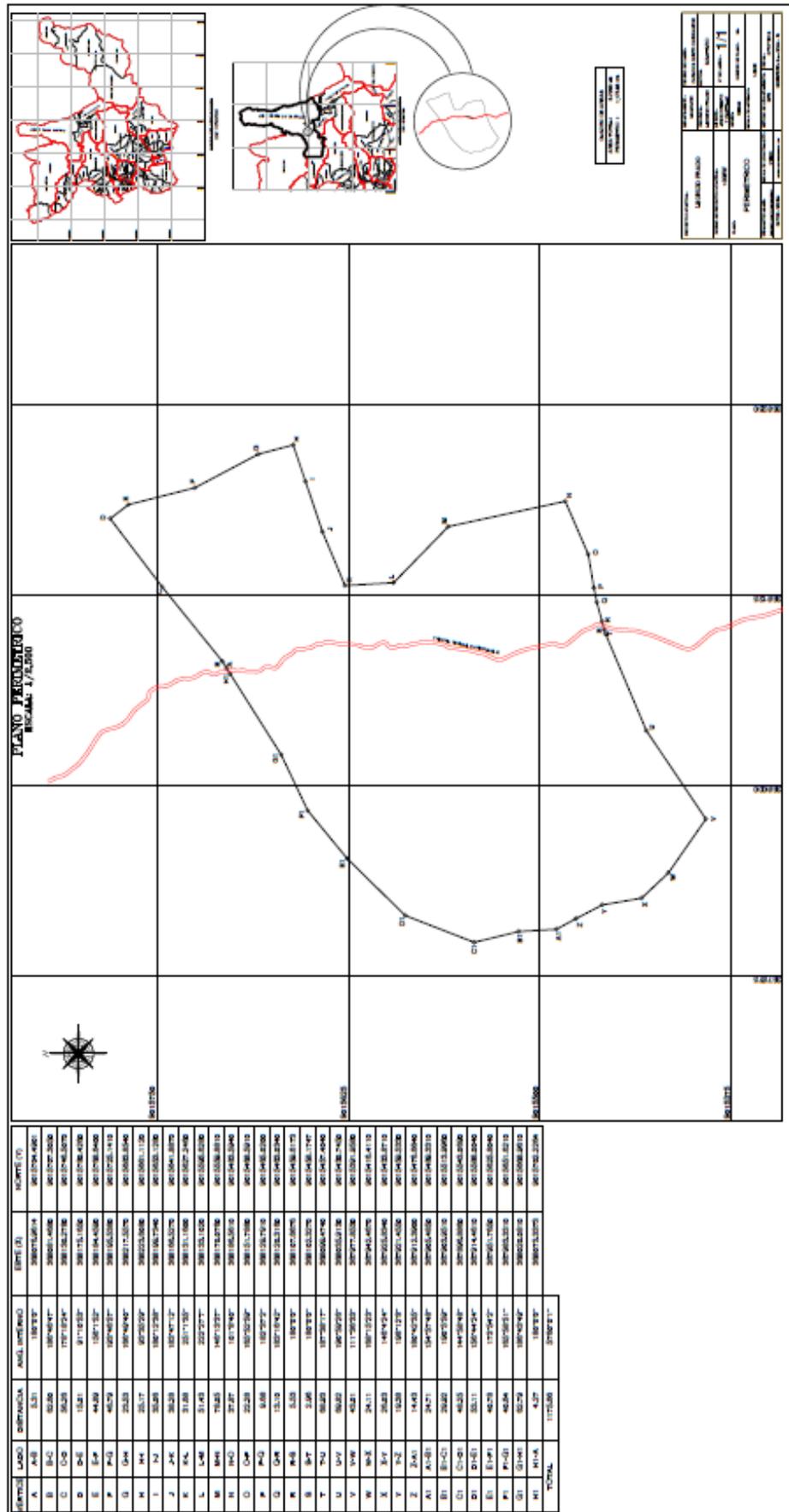


Figura 22. Plano de ubicación de las parcelas.