

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



DENSIDAD Y DIVERSIDAD BIOLÓGICA EN SISTEMAS DE USO
DEL SUELO EN PALO DE ACERO, DISTRITO DE MONZÓN

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

EMILIO ANTHONY RIOS VELASQUEZ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 02 de Mayo del 2019, a horas 7:30 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

“DENSIDAD Y DIVERSIDAD BIOLÓGICA EN SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN PALO DE ACERO, DISTRITO DE MONZÓN”

Presentado por el Bachiller: **EMILIO ANTHONY RIOS VELASQUEZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 13 de Mayo de 2019


Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ
PRESIDENTE


Ing. MSc. SANDRO J. RUIZ CASTRE
MIEMBRO


Ing. MSc. VICTOR M. BETETA ALVARADO
MIEMBRO




Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza y mi protección.

A mis padres, Emilio Rios (Q.E.P.D) y Elvira Velasquez, por el amor que siempre me han brindado, por sus sabios consejos y esfuerzos que hicieron posible mi formación como persona y profesional.

A mis estimados hermanos Adrián y Cynthia, por todo su amor y sus consejos.

A mi novia Marcia Solange, por todo su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron a mi formación profesional.
- Al Ing. MSc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo; por su valiosa colaboración y supervisión de la tesis.
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, Ing. MSc. Nelino Florida Rofner, Ing. MSc. Víctor Manuel Beteta Alvarado, Ing. MSc. Sandro Junior Ruiz Castre por su colaboración en el presente trabajo.
- Al Ing. Lévano Crisóstomo José. por su gran apoyo en mi formación profesional.
- A mis familiares Rios y Velasquez, a mis cuñados Wilson y Dina, a las familias Yactayo y Abregu, al estimado profesor Lucio Ramírez Figueroa, a mis grandes amigos Juan Diego y Jaime, Julio, Kevin quienes confiaron en mi persona y me apoyaron en el desarrollo de mi carrera profesional.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Suelo.....	3
2.1.1. Factores edáficos	3
2.2. Muestreo de suelos.....	4
2.2.1. Tipos de muestreo.....	4
2.2.2. Formas de muestreo	5
2.3. Análisis de suelo	6
2.4. Calidad física del suelo	6
2.5. Sistema de manejo de suelo	8
2.5.1. Manejo sustentable de suelos	8
2.6. Fertilidad del suelo	8
2.7. Indicadores de la calidad física del suelo	9
2.7.1. Textura del suelo.....	9
2.7.2. Clase textural	10
2.7.3. Densidad aparente del suelo	11
2.7.4. Conductividad hidráulica	12
2.7.5. Resistencia del suelo a la penetración	12
2.7.6. Estabilidad de los agregados del suelo	13
2.7.7. Granulometría	14
2.7.8. Temperatura del suelo	14

2.8. Características de las propiedades químicas del suelo	15
2.8.1. Reacción del suelo (pH)	15
2.8.2. El pH	15
2.8.3. Escala del pH	16
2.8.4. Factores que afectan el pH	17
2.9. Materia orgánica	17
2.9.1. Niveles de materia orgánica	18
2.10. Capacidad de intercambio catiónico	18
2.10.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos	19
2.10.2. Factores de CIC	20
2.10.3. Importancia de la capacidad de cambio	20
2.11. Nutrientes del suelo	21
2.11.1. El fósforo en el suelo	22
2.11.2. El potasio en el suelo	22
2.12. El nitrógeno en el suelo	23
2.13. Indicadores de calidad biológica del suelo	24
2.13.1. Respiración microbiana	24
2.14. Propiedades biológicas del suelo	24
2.14.1. Diversidad de especies	25
2.15. Macrofauna del suelo	26
2.15.1. Importancia de la macrofauna del suelo	27
2.15.2. Grupos funcionales de la macrofauna del suelo	28
2.15.3. Indicadores de fauna y monitoreo biológico de la calidad	

del suelo	29
2.16. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo .	31
2.17. Sistemas de producción y prácticas de manejo.....	31
2.18. Investigaciones realizadas en sistemas de uso de suelo	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	38
3.1.1. Lugar de ejecución	38
3.1.2. Ubicación política	39
3.1.3. Zona de vida	39
3.1.4. Geología y suelo	39
3.1.5. Clima.....	39
3.1.6. Fisiografía y pendiente	40
3.1.7. Hidrografía	40
3.1.8. Accesibilidad	40
3.1.9 Descripción de los sitios de muestreo	41
3.2. Materiales y equipos	42
3.2.1. Materiales de campo	42
3.2.2. Materiales de laboratorio	42
3.2.3. Equipos de campo.....	42
3.2.4. Equipos de laboratorio.....	42
3.2.5. Equipos de laboratorio.....	42
3.2.6. Reactivos	42
3.3. Tipo y nivel de investigación	43

3.3.1.	Tipo de investigación.....	42
3.3.2.	Nivel de investigación.....	43
3.4.	Método y diseño de la investigación.....	43
3.4.1.	Método de la investigación	43
3.4.2.	Diseño de la investigación	43
3.5.	Metodología	44
3.5.1	Estado actual del suelo (físicoquímico) en cuatro sistemas de producción.....	44
3.5.2	Evaluar la macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso de la tierra distrito de Monzón	45
3.5.3	Evaluar la densidad y diversidad biológica en los cuatro sistemas de producción en el distrito de Monzón.....	47
3.5.4	Evaluar la relación existente entre la macrofauna edáfica y las propiedades físicas y químicas del suelo en el distrito de Monzón	48
IV.	RESULTADOS	52
4.1.	Caracterización físico y químico en cuatro sistemas de De uso del suelo.....	52
4.2.	Identificación y cuantificación de macrofauna en los diferentes sistemas del suelo en el distrito de Monzón	53
4.3.	Determinar la densidad y diversidad biológica en los sistemas de uso del suelo en el distrito de Monzón	56

4.4.	Determinar la relación existente entre la macrofauna edáfica y las propiedades físicas y químicas del suelo en el distrito de Monzón.....	62
V.	DISCUSIÓN	64
VI.	CONCLUSIONES.....	69
VII.	RECOMENDACIONES.....	70
VIII.	ABSTRACT.....	71
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	ANEXO.....	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Agrupamiento general de las clases texturales	10
2 Niveles de pH del suelo.....	16
3 Niveles de la materia orgánica	18
4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5).....	21
5 Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5.5).....	21
6. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen)	22
7. Niveles de contenido de potasio.....	23
8. Niveles de contenido de nitrógeno.	23
9. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la Macrofauna.....	26
10. Ubicación en coordenadas UTM de la zona de estudio.....	38
11. Parámetros físicos de las propiedades del suelo (variable).....	49
12. Parámetros físicos en los sistemas de uso de suelo	52
13. Propiedades químicas en los sistemas de uso de suelo.....	53
14. Identificación de la macrofauna edáfica clase – orden y familia	55
15. Densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso de suelo.	56
16. Densidad de macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso	57
17. ANVA de la densidad de macrofauna respecto a los sistemas de uso y profundidad de muestreo.....	58

18.	Densidades media (individuos/m ²) a diferentes profundidades del suelo (promedio $\pm$ error estándar).....	59
19.	Grupos taxonómicos de la macrofauna con respecto a los diferentes sistemas de uso de suelo y profundidad de muestreo	60
20.	Grupo taxonómicos (especies) a diferentes profundidades del suelo (promedio $\pm$ error estándar).....	61
21.	índice de diversidad de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades Shannon – Wiener	62
22.	Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna.....	63
23.	Promedio de la resistencia a la penetración del suelo	80
24.	Densidad aparente de los suelos en los cuatro sistemas de uso.....	80
25.	Resultado del muestreo de la macrofauna en los diferentes sistemas de uso del suelo.	81
26.	Grupo funcional de la macrofauna en los diferentes sistemas de uso del suelo.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema del plan de muestreo.....	46
2 Densidad de macrofauna del suelo a diferentes profundidades de muestreo	59
3 Grupos taxonómicos del suelo a diferentes profundidades de muestreo...	61
4. Vista panorámica del predio	83
5. Sistema de uso plátano	83
6. Muestreo de suelos sistema de uso plátano.....	84
7. Sistema de uso maíz.....	84
8. Sistema de uso pasto	85
9 Sistema de uso cacao	85
10. Georreferenciación del sistema de pasto.....	86
11. Recolección de la macrofauna del suelo.....	86
12. Recolección de macrofauna, en el sistema plátano.....	87
13. Recolección de macrofauna, en el sistema cacao.....	87
14. Observación de la macrofauna en el laboratorio de entomología	88
15. Identificación de la macrofauna en el laboratorio de entomología	88
16. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	89

RESUMEN

La investigación se desarrolló con la finalidad de evaluar la densidad y diversidad biológica en sistemas de uso del suelo en Palo de Acero, distrito de Monzón; los objetivos específicos fueron: realizar la caracterización físico y químico, identificación y cuantificación de macrofauna, densidad y diversidad biológica y relación existente entre la macrofauna edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo a diferentes profundidades en los sistemas de uso del suelo (pasto, cultivos de plátano, cacao y maíz). Los resultados obtenidos respecto a la caracterización físico y químico de los sistemas de uso del suelo son sensibles a cambios en el manejo agrícola y por ende en las propiedades evaluadas. Los indicadores biológicos encontrados fueron 15 ordenes, predominando la Himenóptera seguido por Haplotaxida e isóptera y finalmente la Isopoda, densidad (63 Ind.m^2 a 84 Ind.m^2), biomasa (7.95 g.m^2 a 10.78 g.m^2), la diversidad y densidad predominó en el pasto y el plátano con mayor número de individuos, presenta un bajo índice de diversidad en promedio (0.33 a $0.45 H'$), la densidad aparente y la materia orgánica se relacionan directamente con la macrofauna edáfica, siendo indicadores de actividad biológica importantes para su conservación y calidad de suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Los procesos que ocurren en el suelo son medidos por los organismos que lo habitan. Entre ellos se destaca la macrofauna, porque directa o indirectamente afecta la estructura y fertilidad del suelo.

Desde el momento que un sistema natural es modificado para desarrollar actividades agrícolas, los mayores cambios ocurren en las propiedades físicas y químicas del suelo y en su biota asociada. Las comunidades presentes van a estar determinadas por la intensidad del cambio inducido respecto al ecosistema natural y por la habilidad de los organismos para adaptarse a esos cambios. En particular, la macrofauna del suelo responde al manejo en escalas de tiempo de meses o años, por lo que ha sido destacada por su potencial como indicador biológico (LAVELLE y SPAIN, 2001).

Por lo tanto, se plantea la necesidad de valorar los posibles efectos positivos o negativos que pueden ocasionar los diferentes sistemas de uso sobre este recurso, principalmente aquellos que no son acordes a su vocación natural. En este sentido la generación de indicadores de calidad de suelo se convierte en una herramienta fundamental al momento de estimar el estado actual de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como la influencia de los sistemas de producción en dichas propiedades; lo cual es de vital importancia para la toma de decisiones enfocadas a conservar y garantizar la sostenibilidad y productividad del suelo y de los sistemas productivos que en él se desarrollan.

El presente trabajo contribuye en el conocimiento actual del papel que desempeña la macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso evaluados. En base a ello se formula la siguiente interrogante ¿De qué manera influye los sistemas de uso de la tierra en la densidad y diversidad biológica del suelo?, planteándose como hipótesis: Los sistemas de uso de la tierra influyen en la densidad y diversidad biológica del suelo, en base a lo propuesto se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar la densidad y diversidad biológica en sistemas de uso del suelo en Palo de Acero, distrito de Monzón.

1.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización físico y químico en cuatro sistemas de uso del suelo.
- Identificar y cuantificar la macrofauna en los diferentes sistemas de uso de la tierra.
- Determinar la densidad y diversidad biológica en los diferentes sistemas de uso de la tierra.
- Determinar la relación existente entre la macrofauna edáfica y las propiedades físicas y químicas del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El suelo

Se define al suelo como cuerpos naturales, producto de la acción del clima y los organismos vivientes sobre materiales litológicos, ubicados en una determinada posición topográfica a través del tiempo. Desde el punto de vista agrícola, el suelo es un factor de producción, que desempeña el rol no solo de soporte o sostén de las plantas, sino también de proporcionar una dispensa a almacén de las sustancias necesarias para el crecimiento de los vegetales (ESTRADA, 1976).

El suelos desde el punto de vista agrícola, es un factor de producción, que desempeña el rol no solo de soporte o sostén de las plantas, sino también de despensa o almacén de las sustancias necesarias, para el crecimiento de los vegetales (GRILLO, 1975).

Se considera que con buenas prácticas conservacionistas y uso eficiente de las tierras, no solamente tendremos rendimientos elevados, sino también una mínima erosión (CONSTANTINESCO, 1976).

2.1.1. Factores edáficos

Explica que la composición florística de las formaciones, o sea el tipo de vegetación o el tipo de bosque (asociación) está influenciado también en su

carácter específico por otro grupo de factores que son los edáficos, entre los que se encuentra el suelo, que tiene mayor influencia en la impresión de carácter del tipo de bosque dentro de una formación climática. La influencia del suelo es importante en la distribución local de los árboles, crecimiento, forma, calidad de la madera, tolerancia y regeneración (DAUBENMIRE, 1993).

2.2. Muestreo de suelos

Es una práctica muy delicada porque de él dependerá el éxito del análisis, si la muestra ha sido mal tomada de nada servirán las mejores técnicas o instrumentos de laboratorio. La toma de muestras debe tener en cuenta las variaciones de los suelos de acuerdo a la profundidad del perfil y el área del terreno. La vista de la variabilidad del suelo, parece imposible establecer un método completamente satisfactorio para la toma de muestras de tal forma que los detalles del procedimiento deben quedar determinados por el propósito y finalidad con que se toma la muestra otros puntos también para obtener un correcto análisis de suelo son el manipuleo (manejo) a cargo del técnico del laboratorio, el uso adecuado correcto de los instrumentos y de los reactivos, etc. (FORSYTHE, 1975).

2.2.1. Tipos de muestreo

- Muestreo del perfil del suelo

Consiste en la toma de muestra de cada horizonte hasta la sección de control. Las muestras servirán: para la clasificación taxonómica, cartografía de suelos y para estudios de fertilidad potencial.

- **Muestreo superficial del suelo**

Consiste en la toma de muestras de la capa arable, que generalmente es alrededor de 20 a 30 cm. Este muestreo se realiza con fines de diagnóstico de la fertilidad actual, para establecer programas de fertilización.

2.2.2. Formas de muestreo

Los suelos varían tanto horizontalmente (superficie), como verticalmente (profundidad), por tanto al hacer el muestreo es necesario que se incluya todo el rango de variabilidad de tal manera que la heterogeneidad del suelo, sea reducida al máximo y obtener al final un resultado promedio de análisis. Para ello la muestra debe ser una muestra compuesta. La cual se encuentra formada por a 20 a 30 sub muestras o muestras individuales tomadas de diferentes puntos de cada área delimitada hacer reconocimiento del terreno y al iniciar el muestreo debe limpiarse la superficie del terreno para evitar posibles contaminaciones. No deben mezclarse muestras de diferentes lotes. No se debe tomar muestras de los siguientes lugares: al pie de zanjas, lugares de acumulación de materiales vegetales, lugares donde haya habido quemas, zonas pantanosas o de acumulación de sales.

Las muestras individuales deben cumplir lo siguiente: Cada muestra individual debe ser el mismo volumen, si se utiliza una pala se hace primero un hoyo en forma de "V" o rectangular removiendo de un lado una capa de tierra de 3 cm de grueso tomando la muestra, las muestras deben ser tomadas al azar con respecto al volumen teniendo un número suficiente de muestras individuales para que quede representado adecuadamente el volumen total del que se toma

la muestra. El área de terreno escogido para muestrear debe ser homogéneo para el objetivo del análisis y así tener una mayor exactitud (AZABACHE, 1991).

2.3. Análisis de suelos

Es el proceso que tiene por finalidad, entre otras, evaluar la fertilidad del suelo por medios de métodos analíticos físicos y/o químicos. El procedimiento consiste en extraer un constituyente del suelo. Fenómeno dependiente de la constitución de este último, para ponerlo en una forma tal que puede ser determinado por las técnicas analíticas propias del método (FORSYTHE, 1975).

2.4. Calidad física del suelo

DORAN y LINCOLN (1999) menciona que la calidad y las interacciones del recurso suelo es un componente fundamental en la biósfera para la producción de alimentos y energía, como así también el mantenimiento de la calidad ambiental. MOSCATELLI *et al.* (2005) hace referencia que la calidad de suelos de diversas áreas de nuestro planeta ha declinado significativamente, donde los sistemas en equilibrio fueron reemplazados paulatinamente por la actividad agrícola. Este proceso de agriculturización creciente y desmedido, sumado al manejo inadecuado de las tierras ha conducido al deterioro de la estructura del suelo y a la consecuente reducción de la materia orgánica, con una disminución de la fertilidad física, química y biológica del suelo. BORNEMISZA (1987) por otro lado afirma que la agricultura continúa y el uso de sistemas de labranza agresivo deteriora las propiedades del

suelo e incremento de superficies afectadas por procesos erosivos y de degradación.

La alteración de las condiciones del suelo por prácticas de manejo pueden afectar la producción de los cultivos, por un lado, a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, actividad microbiana y dinámica de nutrientes; y por otro lado modificando propiedades físicas del suelo como la agregación y porosidad (MOSCATELLI *et al.*, 2005). La calidad física de los suelos está supeditada a como la resistencia mecánica, la transmisión y el almacenaje de fluidos en la zona de exploración de las raíces. Los suelos con buena calidad física deben tener características de almacenaje y transmisión de fluidos que permitan proporcionar concentraciones adecuadas de agua, nutrientes disueltos y aire como para promover el máximo desarrollo de los cultivos y una mínima degradación ambiental (FERRERAS *et al.*, 2009).

Se dice una estimación indirecta de la capacidad de almacenar agua y aire en la zona de exploración de las raíces es a través de la estabilidad de la estructura, debido a que este parámetro gobierna los aspectos relacionados con la compactación, como los vinculados con el almacenaje y movimiento de agua y aire (AGUILAR *et al.*, 2001). Existe amplio consenso en identificar valores óptimos de parámetros tales como la densidad aparente, la porosidad, el contenido de carbono orgánico y la capacidad de retención de agua del suelo. Todos ellos pueden determinar la calidad física del suelo, con la finalidad de mejorar la productividad de los cultivos manteniendo a la vez la calidad ambiental (AGUILAR *et al.*, 2002). La resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para detectar efectos de las prácticas de manejo en el suelo (BAUDER y BLACK, 1981; GUERRERO, 2000).

2.5. Sistemas de manejo de suelo

Los resultados observados por DE AGULIAR (2008) en un manejo agroforestal sugieren cierta indicación de memorias de calidad física de suelo, comparado con un cafetal a pleno sol. ACEBEDO *et al.* (2005) menciona, la alteración de las condiciones del suelo por prácticas de manejo puede afectar la producción de los cultivos, por un lado, a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, actividad microbiana y dinámica de nutrientes y por otro lado, modificando propiedades físicas del suelo como la agregación y porosidad. La siembra directa, es decir la no labranza puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos puesto que contribuyen, para mantener o incrementar el nivel de carbono orgánico del suelo (FERRERAS *et al.*, 2007).

2.5.1. Manejo sustentable de suelos

El uso sustentable de las tierras agrícolas, requiere conservar las propiedades edáficas, que son importantes desde el punto de vista de la fertilidad y el laboreo del suelo (BROWN *et al.*, 2001). Los sistemas de manejo son sustentables para las tierras agrícolas, generalmente se basan en prácticas de manejo conservacionistas tales como la labranza reducida, la incorporación de materia orgánica y la rotación de cultivos (SANCHEZ, 1981).

2.6. Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y

desarrollo de las plantas. En tal sentido, la definición involucra a las características físicas del suelo tales como la textura, estructura, composición, profundidad y otras dependientes de estas como densidad, capacidad retentiva de humedad, aireación, porosidad, color, grado de erosión (SANCHEZ, 2007).

2.7. Indicadores de la calidad física del suelo

Existe una variedad de indicadores físicos de la calidad del suelo, éstos varían de acuerdo a las características predominantes del lugar en estudio. CHEN (2000) recomienda como indicadores la textura, profundidad, tasa de infiltración de agua del suelo, densidad aparente, y capacidad de retención de agua. DORAN y LINCOLN (1999) recomiendan como indicadores la textura, estructura, densidad aparente, espesor del horizonte superior, estabilidad de agregados, temperatura e infiltración.

Brejeda y Moorman (2001), citado por ACEBEDO *et al.* (2005) sugirieron que la textura del suelo se relaciona con la porosidad, infiltración y disponibilidad de agua; la densidad aparente, relacionada con la tasa de infiltración y conductividad hidráulica; y la estabilidad de agregados, que se relaciona con la resistencia a la erosión y contenido de materia orgánica.

2.7.1. Textura del suelo

Se refiere la proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje. En la fracción mineral del suelo, son de interés edafológico solamente las partículas menores de 2 mm de diámetro (SÁNCHEZ, 2007). Mientras que WILD (1992) menciona que es la distribución de fracciones de arena, limo y arcilla contenidas en el suelo; excluye a partículas minerales más

grandes que la arena (2 mm de diámetro), las cuales son consideradas como modificadores texturales recibiendo las siguientes denominaciones: grava (0.2 – 2 cm), gravilla (2 – 5 cm), guijarros (15 – 25 cm), rodador (25 – 50 cm) y los bloque (+ 50 cm); son considerados dentro de este grupo a los agregados estables por efecto de materia orgánica.

2.7.2. Clase textural

Las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena limo y arcilla, por consiguiente, estas combinaciones son casi infinitas. No obstante, se han fijado solo doce clases texturales básicas; que se enumeran en orden de incremento de la fracción fina; y en relación al suelo se denominan: (ZAVALETA, 1992).

Cuadro 1. Agrupamiento general de las clases texturales

Grupo textural	Denominación empírica	Clases Textural
Arenoso	Suelos de textura gruesa	Arenas
		Arenas Franca
Franco	Suelo de textura moderadamente gruesa	Franco Arenoso
		Franco Arenoso fino
		Franco Arenoso muy fino
		Franco
	suelos de textura media	Franco Limoso
		Limoso
		Franco Arcilloso
		Franco Arcillo Arenoso
Arcilloso	suelos de textura moderadamente fina	Franco Arcillo Limoso
		Arcillo-Arenoso
		Arcillo-Limoso
		Arcilloso

SERRADA (2008) indica que la abundancia de limo favorece la presencia de microporos a través de los cuales el agua no drena al quedar retenida por fuerzas de capilaridad. La riqueza en arcilla, sobre todo si el suelo es pobre en materia orgánica, favorece la compactación debido al carácter aglomerante de los materiales arcillosos, y tanto más si el suelo tiene una alta pedregosidad.

2.7.3. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente depende del grado de soltura o porosidad del suelo, es un valor más variable que depende además de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura (SÁNCHEZ, 2007).

La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo secado en horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas. Las densidades de las partículas minerales se encuentran en los suelos arenosos, arcillosos entre <1.0 a $>1.7 \text{ g/cm}^3$; en suelos franco arcillosos de 1.0 a 1.5 g/cm^3 y en suelos francos de 1.5 a 1.7 g/cm^3 (USDA, 1999).

La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo. Esta condición puede ser alterada por cultivación; pisoteo de animales; maquinaria agrícola; y el clima, por ejemplo, por impacto de gotas de lluvia (Arskead *et al.*, 1996; citado por USDA, 1999). Los estratos compactados del suelo tienen altas densidades aparentes y restringen el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo.

La densidad aparente del suelo puede servir como un indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces. Típicas densidades aparentes del suelo fluctúan entre 1.0 y 1.7 g/cm³ y generalmente aumentan con la profundidad en el perfil (ACEBEDO *et al.*, 2005). En suelos que contienen altas proporciones de arcillas expandibles las densidades aparentes varían con el contenido del agua, el cual debería ser medido al momento del muestreo.

La densidad del suelo está relacionada con la textura, los suelos arenosos obtienen mayores valores frecuentemente entre 1.35 a 1.85 kg/dm³ (AREVALO *et al.*, 2002). LOK (2005) indica que los sistemas agroforestales tienen mayor potencial en recuperar la densidad de suelo en relación de los cultivos de café a pleno sol. DE AGUIAR (2008) encontró que los valores de densidad parecen explicar mejor al efecto de manejo de suelo, que representa un indicador mejor de calidad de suelo, evidenciando así también el efecto sobre la estructura.

2.7.4. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es la capacidad de un medio poroso para transmitir agua FILGUEIRA *et al.* (2006) evidenció que los tipos de manejo de suelo influyen en el movimiento de agua en el suelo y es altamente dependiente, para el mismo tipo de suelo.

2.7.5. Resistencia de suelo a la penetración

FERRERAS *et al.* (2007) concluyó que los suelos evidenciaron pérdida de carbono orgánico y estabilidad estructural aumentaron la

susceptibilidad a la compactación de suelos, y aquellos suelos que presentaron mejor característica de estructuración y menor resistencia a la penetración, pueden presentar un mejor comportamiento frente a factores que inciden en la degradación. Y suelos con inestabilidad estructural de agregados fueron suelos compactados, USDA (1999) con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos.

2.7.6. Estabilidad de los agregados del suelo

DE AGUIAR (2008) mencionó que no encontró diferencias significativas entre sistemas en cuanto a distribución de diferentes clases de agregados en la superficie, sin embargo, se observó mejor agregación a mayores profundidades en bosques secundarios en relación a áreas cultivadas. FERRERAS *et al.* (2007) menciona que los indicadores de fertilidad física más sensibles o los que aportan mayor información relevante son el porcentaje de agregados estables a los pre tratamientos con agua y etanol, concluyendo así que los suelos con inestabilidad estructural de agregados fueron suelos muy compactados. Muchos autores han estudiado el efecto del grado de estructuración del suelo en la susceptibilidad a la erosión. Si bien parece no haber una relación universal entre erosión y la distribución de tamaño de agregados, el valor de cambio en el diámetro medio ponderado o CDMP (uno de los índices más usados de distribución de tamaños), muestra buena correlación con la resistencia de suelos a la erosión (FASSBENDER, 1975).

Altos valores de CDMP siempre se relaciona con mayor erosión. La pérdida de suelo como distribución del tamaño de agregados en los sedimentos

depende del grado en que los agregados se rompen. Es importante la ruptura de los agregados, como función de la magnitud de fuerzas que actúan sobre los agregados, dentro de las que el impacto de la gota de la lluvia es el más importante. Los suelos con agregados grandes y estables pueden tener mayor resistencia a la erosión, debido a que no se romperán fácilmente ante el impacto de la gota de lluvia (DE AGUIAR, 2008). Los resultados de la distribución del tamaño de agregados y su estabilidad fueron discutidos considerando los factores que, dados los sistemas de manejo comparados, intervienen en la dinámica de la descomposición de materia orgánica (MO) y consecuentemente, en la formación y estabilidad de macro- agregados (FASSBENDER, 1987).

2.7.7. Granulometría

DE AGUIAR (2008) menciona que la textura arcillosa permite una verdadera estructuración del suelo, igual que los efectos de uso y manejo.

2.7.8. Temperatura del suelo

El calentamiento del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre resultado de considerar el balance energético de onda corta y de onda larga. La cantidad de radiación neta que llega a la superficie del suelo depende de factores externos al mismo. La presencia de una importante cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación global, no solo por efecto de la sombra que hace disminuir la radiación directa, también afecta al cambiar el albedo. El bosque es más eficaz que el césped, así en verano un suelo de un bosque denso puede llegar a estar 10 °C más frío que un suelo sin cubierta vegetal (USDA, 1999).

2.8. Características de las propiedades químicas del suelo

La composición química del suelo incluye la medida de la reacción de un suelo (pH) y de sus elementos químicos (nutrientes). Su análisis es necesario para una mejor gestión de la fertilización del cultivo, elegir las plantas más adecuadas y obtener los mejores rendimientos de cosecha (ACEBEDO *et al.*, 2005).

2.8.1. Reacción del suelo (pH)

La reacción del suelo es quizás la propiedad química más importante de un suelo, como medio destinado al cultivo de plantas, la cual se expresa en términos de pH. Este efecto más que nada es en forma indirecta, ya que influye en forma decisiva en la disponibilidad de la mayoría de nutrientes, en las propiedades químicas, y biológicas del suelo (FASSBENDER, 1987).

2.8.2. El pH

El pH expresa la cantidad de iones (H^+) en suelos como también en solución acuosa es normalmente una fracción muy pequeña de una equivalente, por litro, se ideó la escala de pH como el logaritmo del recíproco (logaritmo negativo) de la actividad de los iones H^+ en la solución representándose este valor mediante la ecuación:

$$pH = \log. 1/ (H^+)$$

Es la medición electroquímica de la concentración efectiva de los iones H^+ y OH^- de la solución suelo, por medio de un electrodo, inmerso en la suspensión suelo/agua (AREVALO y SANCO, 2002). A $pH = 7$ la concentración

de iones de H^+ es igual a la concentración efectiva de los iones OH^- . Un pH menor que 7 indica que la concentración es ácida y es alcalina si el pH de la solución es mayor que 7 (CEPEDA, 1991 y ZAVALETA, 1992).

Escala del pH

La escala de pH se establece en una recta numérica que va desde el 0 hasta el 14. El número 7 corresponde a las soluciones neutras. El sector izquierdo de la recta numérica indica acidez, que va aumentando en intensidad cuando más lejos se está del 7. Pero en los suelos se han encontrado valores entre 3.5 y 10, el Cuadro 2, muestra algunas inferencias generales y los valores de pH; pero el grado de acidez y alcalinidad han sido sensiblemente modificados acorde con aquellas inferencias por su significado en el manejo de los suelos (ZAVALETA, 1992). EL pH óptimo para el desarrollo de las plantas esta dado entre los valores de pH de 6.5 y 7.5 pH mayores o menores a este rango traerán consigo problemas por toxicidad. Los suelos que se encuentran en la gama de pH 5.8 a 7.5 tienen más probabilidades de dar problemas que aquellos que tienen los valores altos o bajos. Los que presentan pH menores o igual a 5.0, indican que tienen deficiencia en elementos como: Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ o como también pueden tener elementos que estén volviendo tóxico al suelo como: Zn^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , etc. (FASSBENDER y BORNEMISZA, 1987).

Cuadro 2. Niveles de pH del suelo

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4.5
Fuertemente ácido	4.6-5.4
Moderadamente ácido	5.5-6.5
Neutro	6.6-7.3

Moderadamente alcalino

7.4-8.5

Fuertemente alcalino

Mayor de 8.5

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS

2.8.3. Factores que afectan el pH

2.8.3.1. Relación suelo/agua

Cuando se diluye una suspensión de suelo, es decir, cuando se incrementa la cantidad de agua con relación al suelo, el pH se incrementa. La relación suelo/agua más aceptada es 1:1.

2.8.3.2. Concentraciones de CO₂

La actividad biológica de las raíces y de los microorganismos incrementa la concentración de CO₂ en el aire del suelo formando el ácido carbónico al reaccionar con el agua.

2.8.3.3. Otros factores

Clima (temperatura, precipitación, altitud, etc.), las prácticas de cultivo, el horizonte muestreado, la desecación del suelo y el contenido de sales solubles del suelo (FASSBENDER, 1987 y GUERRERO, 1996).

2.9. Materia orgánica

Los autores denominan indistintamente materia orgánica o humus a la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo. No existe una definición de humus con la que todos los especialistas estén de acuerdo; pero, en general, el término humus designa a las “sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de materias

orgánicas de origen exclusivamente vegetal”. Contiene aproximadamente un 5% de nitrógeno, por lo que su valor en el suelo se puede calcular multiplicando por 20 su contenido en nitrógeno total (GUERRERO, 2000).

2.9.1. Niveles de materia orgánica

Se ha demostrado que el contenido de materia orgánica es muy variado. Por consiguiente, el mismo valor numérico tendría significado a nivel regional. Así, mientras en un valle aluvial de la costa un 2% es alto este mismo valor en la sierra sería bajo y en la amazonia baja sería este valor medio. De allí que los niveles de bajo, medio alto y muy alto deben ser juzgados a nivel regional y de acuerdo a las necesidades de un cultivo determinado.

Cuadro 3. Niveles de la materia orgánica

Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	menos de 2
Medio	2 – 4
Alto	mayor de 4

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.10. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico, es una de las características más importantes de un suelo, ya que ésta es la capacidad del suelo de retener cationes cargados positivamente y se debe a que el suelo (complejo coloidal) presenta cargas negativas. Existe una correlación entre la textura y la capacidad de cambio, aumentando ésta para los suelos de textura fina y disminuyendo para suelos de textura gruesa ya que las arenas y margas arenosas son pobres en

arcilla coloidal y casi siempre deficientes como también en humus (FASSBENDER, 1987).

2.10.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), amonio (NH_4^+), sodio (Na) e hidrógeno (H). Los primeros cuatro son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En los suelos ácidos, una gran parte de los cationes son hidrógeno y aluminio en diversas formas.

También contribuyen a la CIC las clases, cantidades y combinaciones de los minerales arcillosos y las cantidades de materia orgánica y su estado de descomposición. Los cationes no son retenidos con las mismas energías de enlace. Los sitios de intercambio de la materia orgánica, solo enlazan en forma débil a los cationes. Las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , con más energía que el K^+ . Esta característica puede afectar la disponibilidad de los nutrientes. Los suelos con arcillas caoliníticas tienen una menor energía de enlace y, por lo tanto, para un nivel analítico determinado o un porcentaje de saturación de un elemento se mostrará una disponibilidad relativa mayor.

Si la CIC está neutralizada principalmente por calcio, magnesio, potasio y sodio, se dice que está saturada de bases. Sin embargo, si los cultivos o el lixiviado han removido la mayor parte de los cationes básicos, el suelo está

bajo saturación de bases o alto en saturación ácida. Las cantidades totales de cationes ácidos relativas a la CIC son una medida de la saturación ácida. Ésta también es una medida de las necesidades de encalado de un suelo (aplicar cal) (CEPEDA, 1991).

2.10.2. Factores de CIC

Los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes son varios, entre ellos: tamaño de las partículas. Cuanto más pequeña sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio; tipo de cationes cambiabiles (monovalentes, divalentes, de gran tamaño, etc.) y el pH. Los cationes que frecuentemente ocupan las posiciones de cambio en los suelos son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} . En los suelos ácidos predominan H^+ y Al^{3+} , en los suelos alcalinos predominan las bases, fundamentalmente el Na^+ y en los neutros el Ca^{2+} . Todos los cationes adsorbidos excepto los protones y aluminio, que constituyen la llamada acidez de reserva, se consideran bases. El porcentaje de saturación de bases expresa la proporción de bases que hay respecto del total de la capacidad de intercambio de cationes (CIC).

2.10.3. Importancia de la capacidad de cambio

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , entre otros.
- Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.

- Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

Cuadro 4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5)

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	menos de 12
Medio	12 – 20
Alto	mayor de 20

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

Cuadro 5. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5.5)

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	menor de 4
Medio	10 - 20
Alto	mayor de 30

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.11. Nutrientes en el suelo

Los nutrientes son sustancias químicas disueltas en la humedad del suelo, necesarias para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas. Los nutrientes vitales son 13 elementos minerales. Son imprescindibles, porque si un suelo contiene cero gramos de los elementos, las plantas no crecen. Y los nutrientes vegetales son aquellos elementos químicos que en mayor o menor proporción son necesarios para el desarrollo de las plantas, y que en general éstas toman del suelo por las raíces, y del aire por las hojas. Por tanto, el correcto desarrollo de un cultivo dependerá del contenido nutricional del suelo. Pero la cantidad de nutrientes a añadir al suelo no depende solo del estado químico del suelo sino también de factores como el clima local, la estructura física, la

existencia de cultivos previos y presentes, actividad microbiológica, etc. Por tanto, con una evaluación es posible saber la cantidad de fertilizantes a añadir (ZAVALA, 1999).

2.11.1. El fósforo en el suelo

El fósforo, luego del nitrógeno, es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos. Interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular y se lo considera un nutriente esencial para las plantas. La única entrada al sistema proviene del agregado de fertilizantes fosfatados, mientras que las salidas pueden dar por extracción en los granos cosechados, erosión, escurrimiento y lixiviación (de escasa importancia) (GUERRERO, 2000).

Cuadro 6. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen)

Nivel	Fósforo (ppm)
Muy Bajo	< 5
Bajo	5.1 – 15
Normal	15.1 – 30
Alto	30.1 – 40

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.11.2. El potasio en el suelo

Es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Los vegetales necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejantes al requerimiento de nitrógeno. El dióxido de potasio cumple un rol importante en la activación de un gran número de enzimas (conociéndose más de 60 activadas por este catión), que actúan en diversos procesos metabólicos

tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; también tiene incidencia en el balance de agua y en el crecimiento Meristemático. Al participar de estos procesos metabólicos el K actúa favoreciendo el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos (GUERRERO, 2000).

Cuadro 7. Niveles de contenido de potasio

Nivel	Potasio Kg/ha
Muy Bajo	menos de 300
Medio	300 – 600
Alto	más de 600

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.12. El nitrógeno en el suelo

La mayor parte del nitrógeno presente en los suelos minerales se encuentra por tanto formando parte de la materia orgánica que en el suelo se deposita a la muerte de los microorganismos y de las plantas que ellos se benefician. En esta forma el nitrógeno no es aprovechable por la planta. El nitrógeno varía más en cantidad en el suelo que otros elementos esenciales para el desarrollo vegetal, también absorbidos en el suelo (GUERRERO, 2000). La cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire (FERNANDEZ, 2006).

Cuadro 8. Niveles de contenido de nitrógeno

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	< 0.1
Medio	0.1 – 0.2

Alto	> de 0.2
------	----------

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.13. Indicadores de calidad biológica del suelo

2.13.1. Respiración microbiana

La biomasa microbiana es de carácter dinámico y está estrictamente relacionado con la dinámica de materia orgánica del suelo, y siendo directamente influenciada por factores biótico y abiótico (temperatura y humedad), FAO (2002), afirma que la biomasa microbiana es un índice muy eficaz índice para diagnosticar alteraciones en las características biológicas del suelo. En este sentido, el estudio de las interacciones de factores intrínsecos de suelo, como la biomasa microbiana es de vital importancia. El desenvolvimiento microbiano ha sido más evidente en las capas superficiales que en las capas más profundas en el suelo (FERRERAS *et al.*, 2007) confirmando estas indicaciones cuando se encontró reducción de 72 a 56% de biomasa de C y N, respectivamente, cuando se comparó a profundidades de 0 – 10 cm como a de 20 – 30 cm.

2.14. Propiedades biológicas del suelo

Las propiedades biológicas del suelo son muy dinámicas por lo que tienen la ventaja de servir de señales tempranas de degradación o de mejoría de los suelos. SANCHEZ (2007) selecciona como indicadores biológicos el carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana, el nitrógeno potencialmente mineralizable y la respiración edáfica. También se consideran como indicadores biológicos la población de lombrices de tierra y el rendimiento de los cultivos; así mismo, 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 son fáciles de medir, ACEVEDO y MARTINEZ (2003).

Como resultado de la diversidad de estos organismos e intensidad de su actividad, son afectadas la distribución del agua en el perfil, el nivel de erosión, el crecimiento de las plantas y la emisión de gases a la atmósfera (CURRY y GOOD, 1992).

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

2.14.1. Diversidad de especies

La macrofauna del suelo incluye a los invertebrados visibles a simple vista que viven, total o parcialmente, dentro del suelo o inmediatamente sobre él. Éstos invertebrados (lombrices de tierra, termites, hormigas, milpiés, ciempiés, arañas, escarabajos, gallinas ciegas, grillos, chicharras, caracoles, escorpiones, chinches y larvas de moscas y de mariposas) pueden incluir más de un millar de especies en un sólo ecosistema y alcanzar densidades y biomásas de más de

un millón de individuos y más de una tonelada por hectárea, respectivamente. Estos organismos ejecutan múltiples funciones en el ecosistema y pueden ser divididos en varias clases, usando diversas clasificaciones funcionales (DECAENS *et al.*, 2001)

2.15. Macrofauna del suelo

Este grupo está integrado por los animales que tienen un ancho de cuerpo mayor a 2 mm (MASTER, 2004) y que pertenecen a distintos Filos, Clases y Órdenes (Cuadro 9).

Cuadro 9. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna

Phylum	Clase	Sub-Clase	Orden	Nombre común
Annelida	Clitellata	-	Oligochaeta	
	Arachnida	-	Araneae	Araña
			Coleóptera	
			Díptera	
			Hemíptera	
	Insecta	-	Hymenóptera	
Arthropoda			Homóptera	
			Isóptera	
			Orthoptera	
	Crustacea	-	Isópoda	
	Myriapoda	Chilopoda		
		Diplopoda		
Nematoda	Adenophorea	-	Mermithida	
Mollusca	Gasteropoda	-		

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

A través de sus actividades físicas (mezcla del mantillo con el suelo, construcción de estructuras y galerías, agregación del suelo) y metabólicas (utilización de fuentes orgánicas disponibles, desarrollo de relaciones mutualistas y antagonistas) participan en muchos procesos. Al fragmentar las partículas, producir pelotas fecales, estimular la actividad microbiana, intervienen en el ciclo de la materia orgánica y de los nutrientes. Con la redistribución de la materia orgánica y de los microorganismos, la mezcla de suelo con partículas orgánicas y la producción de pelotas fecales causan mejoras en la agregación. También modifican la aeración e infiltración y la textura, a través de la construcción de galerías y al traer a la superficie y mezclar suelo de las capas inferiores del perfil (MASTER, 2004). Como resultado de la diversidad de estos organismos e intensidad de su actividad son participen de la distribución del agua en el perfil, el nivel de erosión, el crecimiento de las plantas y la emisión de gases a la atmósfera (DORAN y LINCOLN, 1999).

2.15.1. Importancia de la macrofauna del suelo

La biota del suelo tiene una marcada influencia en la dinámica de los nutrientes ya que sus niveles tróficos son los encargados de descomponer paulatinamente los residuos orgánicos con los que posibilitan el proceso de

reciclaje de nutrientes (LOK, 2005); el mismo autor menciona que estos organismos también accionan sobre las características físicas del suelo a través de la formación de túneles y galerías que aumentan la porosidad y la infiltración del agua y modifican y crean agregados.

2.15.2. Grupos funcionales de la macrofauna del suelo

Para reducir la innata complejidad de la trama trófica del suelo han sido propuestas distintas clasificaciones de grupos funcionales (FAO, 2002). Una de ellas, quizás la más útil, es la que divide a la macrofauna del suelo de acuerdo al comportamiento alimenticio. Los herbívoros se alimentan de las partes vivas de las plantas, los depredadores de animales vivos y los detritívoros de la materia orgánica no viva de origen animal y vegetal, de los microorganismos asociados, de heces de vertebrados e invertebrados, así como también de compuestos producto del metabolismo de otros organismos (FAO, 2002; WARDLE y BARDGETT, 2004).

Las interacciones bióticas entre estos grupos funcionales intervienen en la regulación de los procesos edáficos. Cuando la complejidad de las mismas es grande, es muy probable que los efectos indirectos en la regulación de las funciones de los ecosistemas sean muy importantes (DUBS *et al.*, 1999).

Como consecuencia de la herbívora realizada por invertebrados se afecta la cantidad y calidad de recursos que ingresan al suelo y por lo tanto a los individuos detritívoros y depredadores (WARDLE y BARDGETT, 2004). A su vez la calidad y cantidad de los detritos que ingresan al sistema tienen gran importancia en la evolución y mantenimiento de la diversidad de los detritívoros,

lo que afecta los ciclos de nutrientes y en consecuencia a los productores primarios y a los consumidores (herbívoros y depredadores) (ACEBEDO *et al.*, 2005). Por otra parte, los depredadores pueden ejercer importantes efectos en la producción primaria neta y en la descomposición lo cual a su vez tienen implicancias a nivel de las comunidades y de los ecosistemas (MASTERS, 2004; WARDLE y BARDGETT, 2004).

2.15.3. Indicadores de fauna y monitoreo biológico de la calidad del suelo

El uso de las alteraciones en las comunidades bióticas como indicadores de cambios ambientales se inició al comienzo del siglo XX con el sistema desarrollado por Kolkwitz y Marsson entre 1908 y 1909 (MORÓN, 2001). De acuerdo a la presencia de ciertos organismos, fueron clasificadas zonas que presentaban una severa degradación de las condiciones ambientales como consecuencia de la descarga de residuos orgánicos.

La elección de un indicador debe ser realizada para situaciones locales específicas (ETCHEVERS *et al.*, 2001) y los indicadores básicos deben ser útiles en un rango de situaciones ecológicas y socioeconómicas (DORAN y LINCOLN, 1999). Según estos autores, los indicadores deben:

- Estar relacionados con los procesos ecosistémicos
- Integrar propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, las cuales son difíciles de medir directamente.
- Ser relativamente fáciles de usar en condiciones de campo para poder ser evaluados por los productores.

- Ser sensibles a las variaciones de manejo y climáticas.

Cambios en la abundancia, diversidad o actividad de morfoespecies pueden ser buenos indicadores, pero es necesario demostrar que los mismos son el resultado de la perturbación causada por la actividad humana y no de las fluctuaciones naturales (LOK, 2005).

Los índices de diversidad fueron los indicadores utilizados más frecuentemente. Tienen la ventaja que mucha información puede ser representada por un simple índice, pero ello algunas veces ha conducido a resultados errados particularmente en agroecosistemas perturbados por el laboreo, la cosecha de pasto y el pastoreo (PORTA, 1999).

Las especies cuya presencia o abundancia reflejan alguna característica del hábitat dentro del cual se encuentran, pueden ser consideradas como bioindicadoras (GERALDES, 1995).

Sin embargo, también pueden ser útiles especies que tengan otras combinaciones de especificidad y fidelidad. Dado que a lo largo del tiempo la especificidad del hábitat tiene mayor resistencia a los cambios que la densidad, es más frecuente que las especies se muevan dentro de las categorías de fidelidad que en las de especificidad. Con los cambios ambientales, la abundancia y en consecuencia la fidelidad de una especie indicadora, puede disminuir rápidamente, lo cual las convierte en una especie vulnerable (alta especificidad y baja fidelidad) con dificultades para ser muestreada (FAO, 2002).

Cuando son monitoreados cambios ambientales, las especies que abarcan un amplio rango de hábitats, con valores intermedios de especificidad

(“detectoras”), pueden ser más útiles que las especies “características” para indicar la dirección de los mismos, dado que éstas últimas, por su alta especificidad, están restringidas a un solo hábitat (CORREA, 2011).

2.16. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo

La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos. Por ejemplo, el test de CE para salinidad puede no ser útil en algunos sectores del país, donde la salinidad no es un problema (DORAN y LINCOLN, 1999).

El mejoramiento de la calidad de un suelo se percibe, en general, por aumento o disminución en el valor de algunas características. Por ejemplo, puede incrementarse la tasa de infiltración o de aireación, debido a un aumento de la cantidad de macro poros, a un mayor tamaño y estabilidad de los agregados y una mayor cantidad de materia orgánica. Pero pudiesen reducirse la densidad aparente, la resistencia a la labranza, el crecimiento radical, la tasa de erosión y la pérdida de nutrimentos (FERRERAS *et al.*, 2009).

2.17. Sistemas de producción y prácticas de manejo

Desde el momento que un sistema natural es modificado para desarrollar actividades agrícolas, los mayores cambios ocurren en las propiedades del suelo y en la abundancia, biomasa y diversidad de la biota del suelo. Las comunidades presentes van a estar determinadas por la intensidad

del cambio inducido respecto al ecosistema natural y por la habilidad de los organismos para adaptarse a esos cambios (BROWN *et al.* 2001).

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

La siembra directa, como resultado de la falta de movimiento y la presencia de rastrojo en superficie, modifica fundamentalmente el ambiente de la parte más superficial del perfil. El contenido de materia orgánica aumenta, la estructura mejora, la capacidad de almacenar agua es mayor y las variaciones de la temperatura del suelo disminuyen (BROWN *et al.* 2001).

Los residuos en superficie benefician a los invertebrados de varios modos: son fuente de alimento, brindan hábitat y contribuyen a estabilizar el microclima del suelo (FAO, 2002). Son suelos biológicamente más activos y diversos que los que se encuentran en laboreo convencional y que tienen mayor capacidad de proporcionar nutrientes (CLAPPERTON, 2000).

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

colonizados, lo que determina un aumento de la diversidad de la fauna del suelo (FAO, 2002).

2.18. Investigaciones realizadas en sistemas de uso del suelo

PASHANASHI (2001) evaluó la comunidad de macro-invertebrados del suelo en 22 sistemas de uso del suelo en las zonas de Yurimaguas y Pucallpa. Se separaron, manualmente, 10 muestras por sistema de uso de 25 cm x 25 cm x 30 cm durante la estación lluviosa.

El bosque primario, no intervenido e intervenido, tiene una diversidad muy rica. Asimismo, su densidad (382 a 853 individuos/m²) y su biomasa, dominada por oligochaetas, isópteras y miriápodos (57,8 a 91,1 g peso fresco/m²), son bastante altas. Los cultivos de esta comunidad, cuya densidad es de 362 a 574 individuos/m² y cuya biomasa es de 5,1 a 32,4 g peso fresco/m², se encuentran severamente agotados (PASHANASHI, 2001).

Las pasturas tienen baja diversidad. La densidad de su población varía en un rango de 654 a 1,034 individuos/m². Su biomasa es tan alta como de 38,4 a 165,9 g peso fresco/m², debido a la colonización de la lombriz peregrina, *Pontoscolex corethrurus*. En las purmas, la densidad poblacional está en un rango de 334 a 838 individuos/m²; mientras que la biomasa varía entre 4,2 y 102 g peso fresco/m². Cabe destacar que, en algunos casos, la riqueza taxonómica es mayor que la del bosque primario (PASHANASHI, 2001).

Finalmente, los sistemas agroforestales con cobertura de leguminosas tienen la más alta diversidad. Lo contrario ocurre en los sistemas con cobertura de malezas que están por debajo del bosque secundario. Su

densidad poblacional se encuentra en un rango que va desde 557 hasta 2,896 individuos/m², mientras que su biomasa varía entre 18,5 y 170,5 g peso fresco/m², debido a la conservación de gran parte de la fauna del bosque primario que, además, es colonizada por especies oportunistas de terrenos disturbados (miriápodos, oligochaetas e isópteras) (PASHANASHI, 2001).

ACEVEDO y MARTINEZ (2003) evaluaron efecto de la labranza en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La intensificación de la agricultura con prácticas tradicionales de labranza, que incluyen inversión del suelo, tiene como efecto la disminución de la materia orgánica del suelo. La cero labranza, con residuos sobre la superficie del suelo, sube el contenido de materia orgánica de éste afectando positivamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas y por lo tanto, su productividad. La labranza tradicional con inversión de la capa superficial del suelo, ayuda al control de malezas y formación de una cama de semillas, sin embargo, expone el suelo a la erosión hídrica y eólica y a la oxidación acelerada (quema) de su materia orgánica. El balance de carbono del suelo en condiciones de labranza tradicional resulta negativo. La productividad del suelo aumenta o disminuye de acuerdo a su contenido de carbono orgánico.

CARDENAS (2008) al determinar la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María con el propósito de conocer la dinámica de la mesofauna edáfica, cuantificarla y cualificarla, así como identificar a nivel de ordenes predominantes en el suelo, la relación con la materia orgánica, en diferentes estratos; con 5 repeticiones por cada suelo a lo largo de un transecto. Los resultados obtenidos muestran el suelo con cobertura forestal, tiene la mayor cantidad de individuos representantes de la mesofauna con 16,304 individuos

estimados en un m, el suelo degradado con 448 individuos estimados en un m² con la menor cantidad entre los cuatro suelos evaluados; por lo tanto el mejor indicador de materia orgánica es el de un suelo forestal ya que existe una relación directa entre cantidad de miembros de la mesofauna y cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

REATEGUI (2009) al evaluar los indicadores físicos, químicos y biológicos en diferentes sistemas de uso del suelo en cuatro parcelas con diferentes sistemas de uso (maizal, cafetal, bosque secundario y pastizal), con un muestreo y análisis del suelo y un transecto con cinco monolitos de 25 x 25 x 30 cm de profundidad por sistema en el distrito Hermilio Valdizán; los resultados obtenidos en los diferentes sistemas del suelo fueron: El cafetal presentó una textura franco arcillo limosa, una densidad aparente (0.9 g/cm³), resistencia (2.5 kg/cm²), pH moderadamente ácido (5.58), contenido medio de materia orgánica (2.75%) y nitrógeno (0.12%), bajo contenido de fósforo (2.21 ppm) y potasio (283.56 kg/h). Los suelos del bosque secundario tienen una densidad aparente (1.1 g/cm³), textura franco arcillosa, resistencia (1.5 kg/cm²), pH moderadamente ácido (6.23), bajo contenido de materia orgánica (1.19%) y nitrógeno (0.07%), contenido medio de fósforo (7.85 ppm) y potasio (351.14 kg/ha). Los suelos del pastizal presentaron una textura de franco arcillosa, baja densidad aparente de 1.0 g/cm³, alta resistencia a la compactación (2.9 kg/cm²), pH fuertemente ácido (5.36), bajo contenido de materia orgánica (1.97%) y nitrógeno (0.09%), contenido medio de fósforo (7.94 ppm) y potasio (339.22 kg/ha). Los suelos de maizal presentaron: textura franca arcillo limosa, baja densidad aparente (1.0 g/cm³), resistencia de (1.7 kg/cm²), pH fuertemente ácido (5.01), contenido

medio de materia orgánica (2.15%) y nitrógeno (0.10%), bajo contenido de fósforo (0.98 ppm) y potasio (209.36).

Los indicadores biológicos estudiados en los diferentes sistemas de uso de suelo; se encontró 11 grupos taxonómicos de especies; con mayor diversidad en el bosque secundario (10), seguido por el maizal con 10, el cafetal 8 y el pastizal con 6. La mayor densidad (1030 ind.m^{-2}) y biomasa de macrofauna (194.70 g.m^{-2}) se encontró en el pastizal de 0 – 10 cm de profundidad. La correlación entre las propiedades físicas, químicas del suelo y la macrofauna, el incremento y la disminución de la temperatura del suelo indica una fuerte relación positiva con respecto a la abundancia, distribución y la actividad de la macrofauna en el suelo.

CORREA (2011) al evaluar la calidad del suelo bajo diferentes sistemas de uso (purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente) en tulumayo, para esto evaluaron los indicadores físicos, químicos y biológicos. Como indicadores físicos: la textura, estructura, estabilidad de agregados, densidad aparente, profundidad efectiva, infiltración, capacidad de retención de agua, temperatura del suelo y resistencia a la penetración. Como indicadores químicos: materia orgánica, reacción del suelo, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico y como indicadores biológicos: biomasa microbiana, respiración edáfica y número de lombrices. De acuerdo a sus indicadores físicos, químicos y biológicos, obtuvo como resultados que los suelos de bosque secundario (purma de 15 años), son de mejor calidad, seguido del cultivo permanente (cítricos), pasturas (brizanta) y el suelo de menor calidad fue el cultivo anual (maíz). De los cuatro sistemas de

uso, de acuerdo al análisis de varianza y prueba de Duncan, presentan diferentes calidades de suelo.

PORTOCARRERO (2013) realizó una evaluación del efecto de tres sistemas de uso de la tierra sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el caserío de Puerto Rico, distrito de Nuevo Progreso, Región San Martín; cada sistema de uso de la tierra consistió en un tratamiento: Ex cocal de cinco a siete años de edad, bosque primario, y sistema agroforestal de cinco años de edad. Los resultados indicaron que el suelo de sistema agroforestal presentó mejor textura (Franco limoso); el pH del suelo de los sistemas bosque primario y sistema agroforestal presenta valores cercanos a neutro, por lo que todos los nutrientes están disponibles para las plantas. Mientras la concentración de fósforo disponible en ambos sistemas es muy alta, debido al fósforo orgánico proveniente de la materia orgánica; existen diferencias estadísticas en los índices de diversidad del suelo del sistema agroforestal frente a los del suelo del ex cocal y bosque primario que fueron similares. El suelo del ex cocal presentó mayor índice de diversidad en los diez primeros centímetros de profundidad, mientras hubo mayor diversidad en el sistema agroforestal a una profundidad de 10 y 20 cm; la cantidad de arena, arcilla y potasio en los suelos, presentó una correlación negativa frente a los índices de diversidad de organismos, mientras que las cantidades de limo, pH nitrógenos, fósforo y capacidad de intercambio catiónico presentaron correlación positiva respecto a los índices de diversidad.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción de la zona en estudio

3.1.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en el centro poblado de Palo de Acero, distrito de Monzón, provincia de Huamalíes, aproximadamente a 20 kilómetros siguiendo la carretera Tingo María –Monzón, específicamente en el fundo EL PORVENIR perteneciente al señor Lucilo Velásquez Herrera, en cuatro sistemas de uso del suelo (pasto, plátano, cacao y maíz), y se encuentra entre las coordenadas UTM (Zona 18 M, Datum WGS 84):

Cuadro 10. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio

Sistemas de uso	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
Pasto	380658	897890	
Cultivo de plátano	380661	8978908	670
Cultivo de cacao	380662	8978906	
Cultivo de maíz	380669	8978909	

Fuente: datos tomados del GPS

3.1.2. Ubicación política

Región	:	Huánuco.
Provincia	:	Huamalíes.
Distrito	:	Monzón
Sector	:	Palo de Acero
Fundo	:	El Porvenir.

3.1.3. Zona de vida

HOLDRIDGE (1993) citado por Mapa Ecológico del Perú – ZEE (2007) el área estudiada corresponde a la zona de vida: Bosque muy húmedo premontano tropical (Bmh-pt).

3.1.4. Geología y suelos

Los suelos se caracterizan por ser en una mayoría de origen coluvio aluvial aptos para la agricultura y otros tipos de actividades; estos suelos funcionan como una especie de esponja que retiene el agua en las partes más altas, que posteriormente es drenado a las partes más bajas en forma de arroyos que garantiza un suministro de agua en tiempo de sequía (PEAH, 2000).

3.1.5. Clima

La estación Meteorológica José Abelardo Quiñones, registra una precipitación promedio anual de 2739 mm y varía en intensidad, duración y

frecuencia; muchas veces se manifiestan violentamente en forma de gotas gruesas, de poca duración y en pleno sol. Se registra una temperatura máxima de 28 °C, temperatura mínima de 15.6 °C y una temperatura promedio de 24.7 °C.

3.1.6. Fisiografía y pendiente

El área de estudio presenta una fisiografía de terraza plana a ondulada, cubiertas de una densa vegetación de bosque secundario, quebradas estrechas y profundas, por donde discurre un riachuelo. La pendiente varía desde ligeramente inclinada, valores que va de 10% a más.

3.1.7. Hidrografía

Existen riachuelos que discurren de las partes altas de la zona que estos a su vez desembocan al río Monzón que es tributario del río Huallaga.

3.1.8. Accesibilidad

La vía de acceso a la zona donde se realizó la investigación es a través de la carretera Tingo María - Monzón, asfaltada aproximadamente 4.2 km, hasta la altura del puente bella y de ahí empieza una carretera afirmada hasta la zona de estudio, el tiempo de recorrido en moto lineal hasta el lugar del sector de Palo de Acero del predio El Porvenir donde se encuentran ubicadas los cultivos es de 2 horas aproximadamente.

3.1.9. Descripción de los sitios de muestreo

- **Pasto (Nudillo o grama de ganado)**

Pastizal de 10 años de edad, con un área de 2 ha. El terreno presenta una pendiente de 8% y el tipo de pasto es natural.

- **Sistema de uso cultivo de plátano (*Musa sp*)**

Cultivo de plátano con dos años de establecidos con un área de 1 ha y el terreno presenta una pendiente de 8%. No se realizó la quema para la instalación de la especie.

- **Sistema de uso cultivo de cacao (*Theobroma cacao*)**

Cultivo en producción de aproximadamente de 18 meses de edad con un área de 1 ha asociado con plátano y el terreno presenta una pendiente de 6%.

- **Sistema de uso cultivo de maíz (*Zea maiz*)**

Monocultivo de maíz de 3 meses de edad con un área de 3 ha sembrada uniformemente en línea recta y el terreno presenta una pendiente de 4%.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de campo

Mapa de ubicación de la zona de trabajo, wincha, tarjetas de campo, balde de plástico de 5 L, bolsas plásticas, etiquetas de papel, papel aluminio, cilindro de aluminio de 3" de diámetro, cilindro de plástico de 6" de diámetro, envases de vidrio de 100 mL, alambre de aluminio, botellas plásticas de 3 L, con probeta de 100 mL, martillo, machete, pala recta, tubo de muestreador.

3.2.2. Materiales de laboratorio

Probeta de 100 mL, tubos de ensayo, pipetas, tamiz de 5.20 y 0.25 mm de diámetro, botellas de vidrio, bureta, agitador magnético.

3.2.3. Equipos de campo

Se utilizó el termómetro de suelo, penetrómetro, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS).

3.2.4. Equipos de laboratorio

Balanza de precisión, estufa, peachímetro, espectrofotómetro y estereoscopio

3.2.5. Reactivos

Agua destilada, alcohol y formol

3.3. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptivo porque se describe las características físicas químicas y biológicas de cada uno de los sistemas de uso, correlacional – causal, porque a través de esta se relaciona las propiedades fisicoquímicas con la macrofauna presentes en los sistemas de uso.

3.3.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es probabilístico debido a que se aplicó un muestreo aleatorio para obtener datos representativos.

3.4. Método y diseño de la investigación

3.4.1. Método de la investigación

Descriptivo – comparativo y explicativo

Es de alcance descriptivo - comparativo, explicativo, debido a que se describió y se realizó una comparación los diferentes sistemas de usos de los suelos, y es explicativo porque se explica la relación de causa – efecto entre la variable independiente y dependiente.

3.4.2. Diseño de la investigación

El diseño que se empleó en la presente investigación, fue transversal debido a que se utilizó la metodología de (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

Asimismo, la investigación fue de carácter transversal, porque los datos se recolectaron en un solo momento, mediante el muestreo y análisis de suelos, se evaluaron la compactación, densidad aparente y la macrofauna del suelo entre un periodo de seis meses.

3.5. Metodología

3.5.1. Realizar la caracterización físico y químico en cuatro sistemas de uso del suelo

Para cumplir con el objetivo planteado se tuvo que realizar las siguientes actividades:

- Muestreo de suelos**

Se ubicó y geo referenció las cuatro parcelas con los diferentes sistemas de uso de la tierra para realizar el muestreo correspondiente. Los suelos se muestrearon al azar, con la ayuda de una pala recta y un tornillo muestreador.

- Determinación de las propiedades físicas y químicas**

Se recolectaron muestras de suelo de los diferentes tipos de uso de la tierra, algunas propiedades se determinaron in situ y los otros fueron llevados al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su

respectivo análisis. El muestreo fue determinado alrededor de las muestras para determinar la macrofauna (Figura 1).

3.5.2. Identificación y cuantificación de macrofauna en los diferentes sistemas de uso del suelo en el distrito de Monzón

Realizándose para el cumplimiento de este objetivo las siguientes actividades:

- Muestreo de la fauna edáfica del suelo**

Para el método de muestreo y evaluación de los diferentes sistemas de uso, se consideró la metodología de evaluación de calidad de suelo recomendada por John Doran y Lincoln Nebraska del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) y la metodología utilizada por Gustavo Moscatelli y Vicente Nakama del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA); El muestro se realizó en época de verano, a través del trazo de un transecto en línea recta de 40 m, con monolitos a intervalos de 10 m (5 monolitos por parcela). Cada monolito fue evaluado una profundidad de 0 – 10 cm, de 10 – 20 cm y de 20 – 30 cm, se utilizó un cuadrado muestreador de 25 x 25 x 10 cm, asimismo en los cuatro sistemas de uso, se evaluó los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo con sus respectivos indicadores y los métodos de su determinación, considerados de acuerdo a la zona de estudio. Los organismos fueron identificados por unidades taxonómicas (clases y órdenes) en el laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. La densidad fue calculada en individuos/m² y la biomasa en gramos de peso fresco/m².

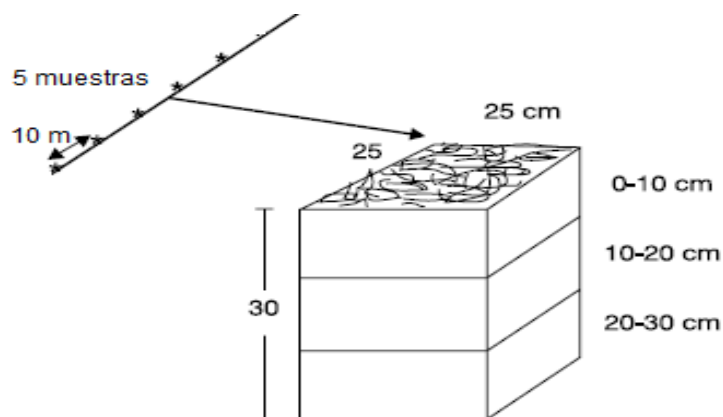


Figura 1. Esquema del plan de muestreo.

- **Conteo y estructura de la comunidad del suelo**

El conteo de la fauna edáfica se realizó in situ y se depositaron en soluciones de alcohol al 80% para insectos de cuerpo endurecido y en formol del 4% hasta 10% para las larvas e insectos de cuerpo no endurecido. Se cuantificó la biomasa (g/m^2) y densidad (individuos/m^2) de todos los macro invertebrados por medio de estereoscopio y se pesó en una balanza de precisión siguiendo la metodología de (DECAENS *et al.*, 1994).

Mediante las claves de identificación, se determinaron por grupo taxonómico, se contabilizó el número de individuos de cada unidad taxonómica por monolito, se determinó el total de individuos por taxón y se calculó el porcentaje de abundancia o densidad relativa promedio de cada unidad taxonómica por cada sistema de suelo.

Se elaboró una gráfica de porcentajes de abundancia.

Se pesó para determinar la biomasa de la macrofauna de los diferentes sistemas de suelo.

$$\text{DRM} = \text{Densidad relativa por monolito} = \frac{\text{Sumatoria de los monolitos}}{\text{Total de Monolitos}}$$

$$\% \text{ Frecuencia} = \frac{\text{Sumatoria de densidades}}{\text{Número de unidades taxonómicas}}$$

3.5.3. Determinar la densidad y diversidad biológica en los cuatro sistemas de uso del suelo en el distrito de Monzón

- Diversidad de especies

Para determinar el índice de diversidad de especies se utilizó las fórmulas de Simpson y Shannon Wiener.

- Riqueza de la diversidad biológica alfa

Las variables de estudio e índices de diversidad alfa son calculadas mediante:

Índice de Diversidad de Shannon - Wiener (H')

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

Dónde: n_i = Abundancia de género

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

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

3.5.4. Evaluar la relación existente entre la macrofauna edáfica y las propiedades físicas y químicas del suelo en el distrito de Monzón

Se realizó el análisis de los datos recolectados tanto en campo y laboratorio, se procedió a ordenar y realizar el procesamiento de los datos para la obtención de los cuadros mediante el programa Microsoft Excel 2013. Para determinar la relación entre las propiedades físico, químicos y biológicos, se usó la prueba del coeficiente de Pearson (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

- Variables a evaluar

Las variables a evaluar en la investigación fueron:

- Variables independientes**
- Sistemas de uso del suelo (Pasto, cultivo de plátano, cultivo de cacao y cultivo de maíz).
- Estrato del suelo
- Profundidad del suelo
- Muestras de suelos (campo y análisis en laboratorio).

- Variables dependientes

- Densidad de la macrofauna
- Índice de diversidad

Para evaluar la macrofauna como indicador biológico en los diferentes tipos de uso de tierra, se determinaron los siguientes componentes físicos, químicos y biológicos del suelo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variables)

Parámetros físicos	Método de su determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Temperatura del suelo	Método directo (termómetro)
Resistencia a la penetración	Método directo (penetrómetro)
Parámetros químicos	
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Parámetros biológicos	
Densidad de la macrofauna	Método directo por conteo
Diversidad de especies	Método Shannon – Winner

- Análisis de datos

Para determinar grado de relación entre las características del suelo y el tiempo, se realizó el análisis de regresión y correlación simple, basado en los siguientes modelos matemáticos (CALZADA, 1996).

Ecuación de regresión

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i$$

Coeficiente de correlación

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Asimismo; Se utilizó la prueba estadística r para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón (HERNÁNDEZ *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.

0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0.10 = Correlación positiva muy débil

+0.25 = Correlación positiva débil.

+0.50 = Correlación positiva media.

+0.75 = Correlación positiva considerable.

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1.00 = Correlación positiva perfecta.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización físico y químico en cuatro sistemas de uso del suelo

4.1.1. Características físicas

Las características físicas del suelo muestran que estos sistemas presentan la clase textural: pasto franco limoso, maíz arcillo limoso, cacao franco arcilloso, finalmente textura franca para el sistema plátano, mientras que la densidad aparente no muestra diferencias significativa entre sistemas de uso que oscilan de (1.35 – 1.40 g/cm³); mientras que los cultivos de cacao y maíz mostraron mayor resistencia a la penetración al suelo con (2.4 – 2.5 kg/cm²) y las temperaturas varían de 23.5 °C a 27 °C, como se observa (Cuadro 12).

Cuadro 12. Parámetros físicos en los sistemas de uso de suelo

Sistemas	Da (g/cm ³)	Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Temperatura (°C)	Textura (%)
Pasto	1.35	1.50	24	FrLo
Plátano	1.37	1.80	23.5	Fr
Cacao	1.40	2.50	26	FrAr
Maíz	1.38	2.40	27	ArLo

FrAr: franco arcilloso, FrLo: franco limoso, ArLo: arcillo limoso, Fr: franco

4.1.2. Características químicas

El Cuadro13 muestra el análisis químico del suelo de los diferentes sistemas de uso, donde los suelos con cultivos de cacao presentaron pH moderadamente ácido (6.14), contenido medio de materia orgánica (3.90%) y nitrógeno (0.18%), contenido bajo de fósforo (2.78 ppm) y potasio (208.41 kg/ha); suelos con pasto presentan pH neutro (7.09), alto contenido de materia orgánica (4.33%) y nitrógeno (0.20%), contenido medio de fósforo (10.84 ppm) y bajo en potasio (233.90 kg/ha); suelos con cultivo de plátano presentan pH moderadamente ácido (6.58), contenido medio de materia orgánica (2.20%), nitrógeno (0.10%), y fósforo (12.94 ppm) y bajo contenido de potasio (105.95 kg/ha); suelos con cultivo de maíz presentan pH neutro (6.28), contenido alto de materia orgánica (5.42%) y nitrógeno (0.24%), y un contenido medio de fósforo (12.77 ppm) y potasio (347.35).

Cuadro 13. Propiedades químicas en los sistemas de uso de suelo

Sistemas	pH	MO	N%	P	K	CIC	Ca	Mg
Pasto	7.09	4.33	0.20	10.84	233.90	6.24	5.00	0.68
Plátano	6.58	2.20	0.10	12.94	107.95	4.20	3.00	0.98
Cacao	6.14	3.90	0.18	2.78	208.41	4.18	3.26	0.40
Maíz	6.28	5.42	0.24	12.77	347.35	5.31	4.03	0.65

4.2. Identificación y cuantificación de macrofauna en los diferentes sistemas de uso del suelo en el distrito de Monzón

4.2.1. Identificación de la macrofauna edáfica en los diferentes sistemas de uso de suelo

Se identificaron 15 órdenes del total de macrofauna en los sistemas de uso de suelo, encontrándose 14 en el pasto, 11 en el cultivo de plátano y cacao, 8 en el cultivo de maíz; Himenóptera fue el más predominante seguido por Haplotaxida e isóptera, Himenóptera fue superior en el sistema pasto con el cultivo de plátano encontrándose 54 y 36 individuos m^2 , asimismo Haplotaxida fue superior en el cultivo de plátano con 56 individuos m^2 , finalmente la orden Isópoda predominó en el pasto fue superior con 10 individuos m^2 , los demás ordenes identificados se aprecian (Cuadro 14) con sus respectivos clases y familias.

Cuadro 14. Identificación de la macrofauna edáfica clase – orden y familia

Taxonomía			Sistemas de uso de suelos				
Clase	Orden	Familia	Pasto	Plátano	Cacao	Maíz	Total
<i>Insecta</i>	<i>Hymenóptera</i>	<i>Formicidae</i>	54	36	9	24	123
<i>Clitellata</i>	<i>Haplotaxida</i>	<i>Lumbricidae</i>	7	56	18	21	102
<i>Arachnida</i>	<i>Araneae</i>	<i>Araneidae</i>	1	1	3	0	5
<i>Insecta</i>	<i>Isoptera</i>	<i>Termitidae</i>	5	0	0	0	5
<i>Insecta</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Elateriforme</i>	2	1	1	4	8
<i>Myriapoda</i>	<i>Chilopoda</i>	<i>Nn</i>	1	3	1	2	7
<i>Insecta</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Chrysomelidae</i>	4	3	4	2	13
<i>Insecta</i>	<i>Larvas</i>	<i>Nn</i>	4	0	4	0	8
<i>Malacostraca</i>	<i>Isópoda</i>	<i>Crustacea</i>	10	0	5	6	21
<i>Artropoda</i>	<i>Diplopoda</i>	<i>Nn</i>	5	1	0	0	6
<i>Insecta</i>	<i>Dermaptera</i>	<i>Nn</i>	3	2	5	0	10
<i>Insecta</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Acrididae</i>	1	0	0	6	7
<i>Insecta</i>	<i>Dictióptera</i>	<i>Blátidos</i>	2	5	3	0	10
<i>Gastropoda</i>	<i>Gastropoda</i>	<i>Nn</i>	7	5	0	0	12
	<i>Otros</i>	<i>Nn</i>	11	1	1	3	16
Total			117	114	55	68	354

4.3. Determinar la densidad y diversidad biológica en los sistemas de uso del suelo en el distrito de Monzón

4.3.1. Densidad y biomasa de macrofauna entre sistemas de uso del suelo

Los suelos del sistema pasto con el cultivo de maíz presentaron una variación similar con una densidad de 84 y 81 Ind.m⁻² respectivamente, seguido por el cultivo de plátano y cacao con 72 y 63 Ind.m⁻², asimismo la biomasa de los sistemas pasto, plátano y maíz presentaron una variación de 10.78, 9.98 y 9.78 g.m⁻² mientras el sistema cacao presentó inferioridad con 7.95 g.m⁻² en comparación con el resto de los sistemas, (Cuadro 15).

Cuadro 15. Densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso de suelo

Sistema de uso	Densidad (Ind.m ⁻²)	Biomasa (g.m ⁻²)
Pasto	84	10.78
Plátano	72	9.78
Cacao	63	7.95
Maíz	81	9.98

4.3.2. Densidad de la macrofauna del suelo

En total fueron colectados 354 individuos correspondientes a 15 grupos taxonómicos. En el Cuadro 16 se presenta el número total de individuos colectados para los distintos grupos taxonómicos en cada sistema de uso. Los dos grupos más

abundantes fueron Haplotaxida e Himenóptera. La cantidad de grupos encontrados se debe al manejo de cada sistema de uso de suelos, en menor cantidad de individuos se mostró el sistema maíz con 8 grupos taxonómicos, plátano con 11 grupos taxonómicos, cacao con 11 grupos taxonómicos y finalmente pasto con 14 grupos taxonómicos.

De acuerdo al número de individuos colectados por unidad de superficie, en el muestro de los usos del suelo quedaron separados en tres grupos: la mayor densidad se obtuvo en pasto con 117 ind/m²; seguido del cultivo de plátano 114 ind/m², el cultivo de maíz con 68 ind/m²; y mientras el sistema cacao obtuvo 55 ind/m² (Cuadro 16).

Cuadro 16. Densidades de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso

Densidad	Sistemas de uso de suelo				
	Plátano	Cacao	Maíz	Pasto	Total
Ind./ m ²	114	55	68	117	354

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

- Densidad de la macrofauna

Se cumple por ANVA con una confiabilidad del 95% y un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ (Cuadro 17), existe un efecto altamente significativo ($p\text{-valor} = 0.0004$) de las densidades de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades de muestreo, mientras no se registró evidencia estadística entre la

densidad de la macrofauna del suelo y los sistemas de uso ($p\text{-valor} = 0.3072$) y al no ser significativo, para el nivel de significancia que fijamos no se realizara prueba de comparaciones múltiples.

Cuadro 17. ANVA de la densidad de macrofauna respecto a los sistemas de uso y profundidad de muestreo

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	significancia
modelo	5	12123.17	2424.63	15.45	0.0023	*
Sistemas	3	706.00	235.33	1.50	0.3072	Ns
Profundidad	2	11417.17	5708.58	36.38	0.0004	**
Error	6	941.50	156.92			
Total	11	13064.67				

Fuente elaboración propia *: significativo **: altamente significativo. Ns: No significativo.

Se observa en el Cuadro 18, que existe tres grupos diferenciados estadísticamente, con un ($p\text{-valor} = 0.0004$) altamente significativo, reportándose que a la profundidad de 0 - 10 cm se obtuvieron las mayores densidades de macrofauna con un promedio de 67.00 individuos/m², asimismo las menores densidades se encontraron a las profundidades de 20 - 30 cm con 0.75 individuo/m², en tanto se obtuvo coeficiente de variación muy dispersa y poco homogénea de 30.06% y un $r^2 = 0.93$ que se ajusta al modelo.

Cuadro 18. Densidades medias (individuos/m²) a diferentes profundidades del suelo
(promedio $\pm$ error estándar)

Profundidad del suelo	promedio $\pm$ EE
0 cm - 10 cm	67.00 $\pm$ 9.84 a
10 cm - 20 cm	44.25 $\pm$ 6.34 b
20 cm - 30 cm	0.75 $\pm$ 0.48 c
p-valor	0.0004
Coeficiente de variación	30.06
r ²	0.93

Letras distintas en la misma columna expresan diferencia estadística según prueba Duncan a un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$).

En la Figura 2, de 0 - 10 cm de profundidad de muestreo, se encontraron mayor cantidad de individuos, disminuyendo de 20 - 30 cm de profundidad.

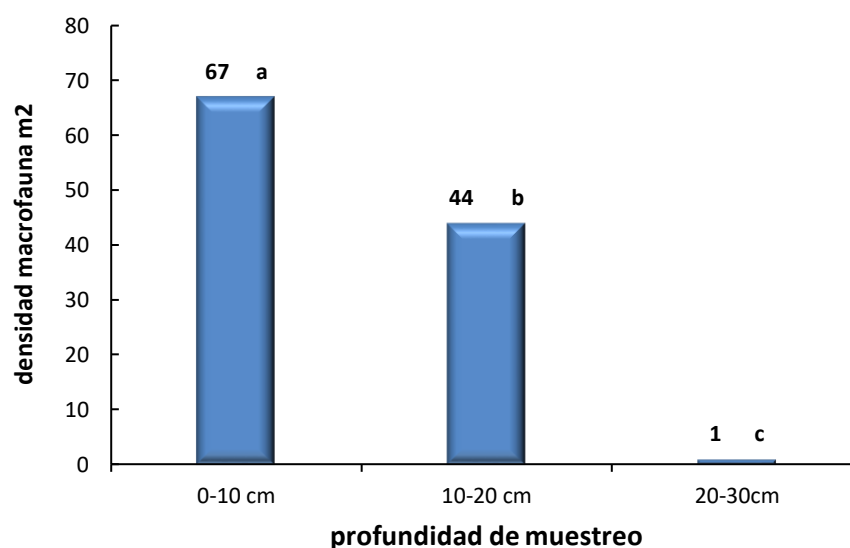


Figura 2. Densidad de macrofauna del suelo a diferentes profundidades de muestreo

- Grupos taxonómicos

Se cumple por ANVA con una confiabilidad del 95% y un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ (Cuadro 19), que existe un efecto altamente significativo ($p\text{-valor} = 0.0001$) de los grupos taxonómicos a diferentes profundidades de muestreo, mientras no se registró significancia entre los grupos taxonómicos y los sistemas de uso ($p\text{-valor} = 0.2853$) y al no ser significativo, para el nivel de significancia que fijamos no se realiza prueba de comparaciones múltiples.

Cuadro 19. Grupos taxonómicos de la macrofauna con respecto a los diferentes sistemas de uso de suelo y profundidad de muestreo

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	significancia
modelo	5	420.17	84.03	201.68	<0.0001	**
Sistemas	3	2.00	0.67	1.60	0.2853	ns
Profundidad	2	418.17	209.08	501.80	<0.0001	**
Error	6	2.50	0.42			
Total	11	135.71				

** : Altamente significativo. ns: No significativo.

Se observa en el Cuadro 20, que existe tres grupos diferenciados estadísticamente, con un ($p\text{-valor} = <0.0001$) altamente significativo, reportándose que a la profundidad de 0 - 10 cm se obtuvo mayores especies de macrofauna encontrándose 14 grupos taxonómicos, asimismo se obtuvo una escasa variedad de especies a las profundidades de 20 - 30 cm encontrándose 1 grupo taxonómico, en tanto se obtuvo un coeficiente de variación homogénea de 7.45% y un $r^2 = 0.99$ que se ajusta al modelo.

Cuadro 20. Grupos taxonómicos (especies) a diferentes profundidades del suelo
(promedio $\pm$ error estándar)

Profundidad del suelo	promedio $\pm$ EE (especies)
0 cm - 10 cm	14.25 $\pm$ 0.48 a
10 cm - 20 cm	7.25 $\pm$ 0.25 b
20 cm - 30 cm	0.50 $\pm$ 0.29 c
p-valor	<0.0001
Coeficiente de variación	7.45
r^2	0.99

Letras distintas en la misma columna expresan diferencia estadística según prueba Duncan a un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$).

En la Figura 3, de 0 - 10 cm de profundidad de muestreo, se presenta un alto número de taxones de macrofauna edáfica, disminuyendo a los 20 - 30 cm de profundidad.

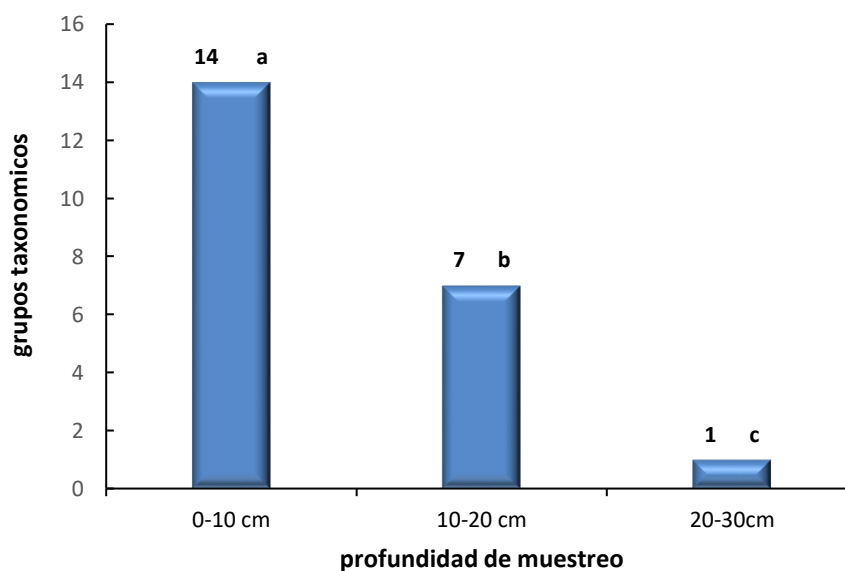


Figura 3. Grupos taxonómicos del suelo a diferentes profundidades de muestreo

4.3.4. Diversidad de la macrofuna del suelo

En relación con la diversidad los sistemas con mayor y menor intensidad de uso del suelo, respectivamente fueron pasto con un índice de 1.00 H' , seguido plátano 0.98 H' el sistema cacao con 0.66 H' , finalmente maíz obtuvo 0.58 H' siendo estos índices a la profundidad de 0 -10 cm, asimismo se mostró un descenso de la diversidad a los 10 - 20 cm, para todos los sistemas tal como muestra (Cuadro 21).

Cuadro 21. Índice de diversidad de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades Shannon Wiener

	Maíz	Plátano	Cacao	Pasto
Prof.	H'	H'	H'	H'
0 - 10 cm	0.58	0.98	0.66	1.00
10 - 20 cm	0.33	0.34	0.36	0.36
20 - 30 cm	0.09	0.00	0.10	0.00
promedio	0.33	0.44	0.44	0.45

H' - índice de diversidad biológica de Shannon y Wiener

4.4. Determinar la relación existente entre macrofauna edáfica y las propiedades físicas y químicas del suelo en el distrito de Monzón

Se observa en el Cuadro 22, que la correlación entre la densidad de la macrofauna del suelo y la densidad aparente del suelo es positiva (0.96) y significativa (p -valor = 0.035290), es decir que la densidad de la macrofauna del

suelo es directamente proporcional a la densidad aparente del suelo y que ambas variables crecen y decrecen conjuntamente.

Por otro lado, la correlación entre la macrofauna del suelo y la materia orgánica del suelo es fuerte, negativa (-1) y altamente significativa (p-valor = 0.00111), es decir que la macrofauna es inversamente proporcional a la materia orgánica del suelo, en tanto si una de estas variables se incrementa la otra disminuye o viceversa.

Mientras que las demás propiedades del suelo no determinaron significancia con la densidad u otras propiedades fisicoquímicas del suelo con la macrofauna edáfica.

Cuadro 22. Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna.

propiedades biológicas	propiedades físicas	coef. de Pearson	p - valor	significancia
Densidad macrofauna	densidad aparente	0.96	0.03345	*
macrofauna	Materia orgánica	-1	0.00111	*

5% de nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y una probabilidad del 95% estadísticamente se encontró correlación entre las variables de estudio, (* significativo).

V. DISCUSIÓN

El primer indicador físico que se determinó en los cuatro sistemas de uso fue la textura del suelo mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos, Obteniendo para el pasto textura franco limoso, plátano franco, cacao franco arcilloso y maíz arcillo limoso y de estructura granular adecuados para los cultivos existentes. La densidad aparente en los cuatro sistemas de uso del sector Palo Acero, se aprecia valores determinadas de acuerdo a su textura oscilando desde 1.35 g/cm^3 a 1.40 g/cm^3 en los suelos de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 12), asimismo SANCHEZ (2007) hace referencia que la densidad aparente depende del grado de soltura o porosidad del suelo, textura, estructura y contenido de materia orgánica, siendo estos valores aceptables para el crecimiento radicular en los cuatro sistemas de uso de suelo. La resistencia a la penetración relacionada con la densidad aparente presentó valores desde 1.5 g/cm^2 hasta 2.5 kg/cm^2 catalogados como suelos suaves, para USDA (1999) con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos.

La temperatura del suelo en los cuatro sistemas de uso, nos muestra una variación que va de 23.5°C a 27°C . USDA (1999) menciona que el calentamiento del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre resultado de considerar el balance energético de onda corta y

de onda larga. La cantidad de radiación neta que llega a la superficie del suelo depende de factores externos al mismo. La presencia de una importante cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación global, no solo por efecto de la sombra que hace disminuir la radiación directa, también afecta al cambiar el albedo.

Las propiedades químicas del suelo, de los cuatro sistemas de uso (Cuadro 13), se observa reacción neutra, aptos para asimilar la disponibilidad de nutrientes por las plantas. FASSBENDER y BORNEMISZA (1987) hacen referencia que el pH óptimo para el desarrollo de las plantas esta dado entre los valores de pH de 6.5 y 7.5 pH mayores o menores a este rango traerán consigo problemas por toxicidad, encontrándose los suelos de los cuatro sistemas en esos rangos óptimos de contenido de pH, la materia orgánica de acuerdo al nivel regional y de acuerdo a las necesidades de los cultivos para estos sistemas se encuentran en niveles de medio a alto oscilando entre 2.20% a 5.42%, de la misma manera presentó un comportamiento similar el nitrógeno con contenidos medios a alto que la ubican desde 0.10% hasta 0.24%; que para FERNANDEZ (2006) el nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos.

El fósforo disponible para los cuatro sistemas de uso evaluados presentaron suelos con contenidos de muy bajo a bajo, esté elemento se le puede atribuir de la procedencia de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización y la cantidad de fósforo total en el suelo, del mismo modo se puede atribuir a las pérdidas por lixiviación (GUERRERO, 2000).

El potasio disponible kg/ha en los cuatro sistemas de uso presentaron contenidos de bajo a medio 107.95 kg/ha hasta los 347.35 kg/ha. GUERRERO (2000) menciona que la variación de este elemento está influenciado por la intensidad de las pérdidas: extracción de cultivos, lixiviación y erosión.

La capacidad de intercambio catiónico del suelo, para los diferentes sistemas de uso evaluados presentaron un bajo potencial de capacidad de cambio, plátano con cacao obtuvo 4.20 cmol/g suelo, cacao 4.18 cmol/g suelo, maíz 5.31 cmol/g suelo y finalmente pasto con 6.24 cmol/g suelo, mostrando que estos suelos presentan un bajo potencial de nutrientes que pueden estar disponibles para los cultivos.

La posición de los sistemas de uso respondió a la intensidad del uso del suelo, pasto y plátano obtuvieron mayor densidad 117 y 114 individuos m², el sistema maíz y cacao obtuvieron 68 y 55 individuos una posición intermedia entre ambos sistemas, encontrándose 15 grupos taxonómicos asociados entre estos sistemas, cabe a resaltar que la composición de las comunidades de macrofauna de los distintos usos del suelo respondieron a diferencias en las propiedades del suelo (Cuadro 14 y 16), y en la cantidad y calidad de los residuos, como consecuencia de las diferencias en la vegetación, tal como afirma REATEGUI (2009) al evaluar los indicadores biológicos en diferentes sistemas de uso del suelo en cuatro parcelas con diferentes sistemas de uso (maizal, cafetal, bosque secundario y pastizal), encontró 11 grupos taxonómicos de especies; con mayor diversidad en el bosque secundario (10), seguido por el maizal con 10, el cafetal 8 y el pastizal con 6. SANCHEZ, (2007) menciona que las propiedades biológicas del suelo son

muy dinámicas por lo que tienen la ventaja de servir de señales tempranas de degradación o de mejoría de los suelos.

La diversidad biológica por el método de Shannon y Wiener va de acuerdo al número de taxones encontrados por sistemas, encontrándose buenos índices de diversidad, pero mejores en plátano y pasto con 0.98 y 1.0 H' , siendo diverso en cuanto a la macrofauna encontrada en los distintos usos de suelo, asimismo la diversidad se ve afectada conforme el grado de perturbación a través de los sistemas de uso, tal como menciona (DUBS *et al*, 2004). La formación de parches en los cuales la hojarasca presenta diferentes calidades conduce al incremento de microhabitats en el sistema, lo que puede a su vez promover el incremento en la diversidad o la abundancia de la fauna del suelo, por esta razón implica diferencias de los índices encontrados en estos sistemas de uso evaluados. REATEGUI (2009) encontró mayor densidad ($1,030 \text{ ind.m}^{-2}$) y biomasa de macrofauna (194.70 g.m^{-2}) en el pastizal de 0 – 10 cm de profundidad.

Se obtuvo la relación directa entre la macrofauna y las propiedades materia orgánica y densidad aparente del suelo quien afirmado por (Satchell, 1967, citado por CURRY, 1992b) menciona que en suelos ricos en bases, con buen drenaje, donde la materia orgánica está distribuida en el perfil (“mull”) soportan altas densidades de lombrices, mientras que en aquellos que tienen contenidos discretos de materia orgánica (“mull”) la fauna está representada por pequeños artrópodos y enquitraidos que habitan la superficie, asimismo (MASTERS, 2004) menciona que la estructura del suelo determina la distribución de la fauna. Existe una clara y positiva relación entre el número y tamaño de los poros y el tipo de animales que lo

habitan. De tal la macrofauna edáfica presentaría un descenso en su densidad, tal como muestra la relación en el (Cuadros 19, 20, 21 y 22). REATEGUI (2009) encontró una correlación entre las propiedades físicas, químicas del suelo y la macrofauna, el incremento y la disminución de la temperatura del suelo indica una fuerte relación positiva con respecto a la abundancia, distribución y la actividad de la macrofauna en el suelo.

VI. CONCLUSIONES

1. La caracterización física y química de los sistemas de uso del suelo son sensibles a cambios en el manejo agrícola y por ende en las propiedades evaluadas.
2. La diversidad, la densidad predominó en el pasto con un mayor número de individuos, seguido por el sistema plátano.
3. Se encontraron 15 grupos taxonómicos que estuvieron asociadas a los distintos usos de suelo, los taxones Haplotaxida y Himenóptera presentaron alta densidad, los índices de diversidad de Shannon y Winner en el pasto presentó un buen índice de diversidad biológica.
4. La densidad aparente y la materia orgánica se relacionan directamente con la macrofauna edáfica del suelo, siendo indicadores de actividad biológica, importantes para su conservación y calidad del suelo.

VII. RECOMENDACIONES

1. Trabajar la riqueza y la biomasa edáfica del suelo como indicador de la complejidad estructural del hábitat de estos individuos en los sistemas estudiados.
2. Los indicadores propuestos son adecuados para monitorear la calidad química y física del suelo, porque son fáciles de medir y son sensibles a variaciones de manejo y clima.
3. Realizar los índices de diversidad biológica por taxones, para determinar los taxones más diversos en los diferentes tipos de usos de suelos a evaluar, y relacionar con las propiedades del suelo.
4. Comparar con un suelo original como línea base o testigo con los índices de diversidad biológica para relacionarlas con las propiedades físicas y químicas de los diferentes sistemas de uso de la tierra.

EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD Y DIVERSIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO EN SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA, EN EL DISTRITO DE MONZON

VIII. ABSTRACT

The research was developed with the purpose of evaluating the density and biological diversity in land use systems in Palo de Acero, district of Monzon; the specific objectives were: to carry out the physical and chemical characterization, identification and quantification of macrofauna, density and biological diversity and existing relationship between the edaphic macrofauna with the physical and chemical properties of the soil at different depths in the systems of land use (grass, plantain, cocoa and corn crops). The results obtained with respect to the physical and chemical characterization of land use systems are sensitive to changes in agricultural management and, therefore, in the properties evaluated. The biological indicators found were 15 orders, predominating the Hymenoptera followed by Haplotaxida and Isoptera and finally the Isopoda, density (63 Ind.m² to 84 Ind.m²), biomass (7.95 g.m² to 10.78 g.m²), diversity and density predominates in the pasture and the banana with greater number of individuals, presents a low index of diversity in average (0.33 to 0.45 H'), the bulk density and the organic matter are directly related to the edaphic macrofauna, being indicators of biological activity important for its conservation and soil quality.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEBEDO, E., XARRASCO, A., LEON, O., SILVA, P., CASTILLO, G., BORIE, G., MARTINEZ, E., GONZALES, S., AHUMADA, I., 2005. Criterios de calidad del suelo agrícola. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/> informe, 22 Feb. 2006).
- ACEVEDO, J., MARTINEZ, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos. Serie ciencias agronómicas. 13 – 27 p.
- AGUILAR, M., AGUILAR, F., CARVAJAL, F., AGÜERA, F. 2001. Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales del terreno agrícola.
- AGUILAR, F., AGUILAR, M., CARVAJAL, F., AGÜERA, F, SANCHEZ, P. 2002. Efectos de la morfología del terreno, densidad muestral y métodos de interpolación en la calidad de modelos digitales de elevaciones. *In*: XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Universidad de Almería.
- ARÉVALO, L., SANCO, M. 2002. Manual de laboratorio para análisis físico químico del suelo. S.I. ICRF – CHEMONICS. 48 p.
- AZABACHE, L.A. 1991. Fertilidad de suelos. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. 06 – 11 p.

- BAUDER, A & AL BLACK. 1981. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 1166-1170.
- BORNEMISZA, E. 1987. Introducción a la química de suelos. Edición Eva V. San José, Costa Rica. 74 p.
- BROWN, G., FRAGOSO, C., BAROIS, I., ROJAS, P., RODRIGEZ, C. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Departamento de biología de suelos, instituto de ecología. Xalapa, México. 31p.
- CALZADA, J. 1996. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídica S.A. 3 ed. Lima, Perú. 643 p.
- CARDENAS, P. 2008. Determinación de la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María. Tesis para optar el Título de Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 77 p.
- CEPEDA, D. 1991. Química de Suelos. 2 ed. Trillas S.A., México. 167 p.
- CLAPPERTON, J. 2000. Creating healthy productive soil. In Congreso Nacional de AAPRESID (8., Mar del Plata, Argentina). p. 35-40.
- CONTANTINESCO, L. 1976. Conservación de suelos para países de desarrollo. Boletín N° 10 FAO. Roma.
- CORREA, P. 2011. Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en el predio Tulumayo – UNAS - Tingo María. Tesis para optar el Título de Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 108 p.

- CURRY, J.P.; GOOD, J.A. 1992. Soil faunal degradation and restoration. *Advances in Soil Science* 17: 171-215.
- CHEN, Z. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. [En línea]: (<http://www.fftc.agnet.org/>, 12 Feb. 2006).
- DAUBENMIRE, R. 1993. Tratado de auto ecológico de plantas. 5ª Ed. Omega, Madrid, España.
- DE AGUIAR, M. 2008. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais – Brasil.
- DECÄENS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J.J.; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN, G.; SCHNEIDMADL, J.; SANZ, J.I.; HOYOS, P.; THOMAS, R. J. 2001. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. In Jiménez, J.J.; Thomas, R. J. U. (Eds.). *Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the Neotropical savannas of Colombia*. Cali, CIAT. Publicación CIAT no. 324. p. 19-41.
- DORAN, J., LINCOLN, N. 1999. Guía para la evaluación de la calidad del suelo. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>, Documento, 22 Nov. 2005).
- DUBS, F.; LAVELLE, P.; BRENNAN, A; EGGLETON, P.; HAIMI, J.; IVITS, E; JONES, D.; KEATING, A.; MORENO, A.G.; SCHEIDEGGER, C.; SOUSA, P.; SZEL, G.; WATT, A. 2004. Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: European gradient study. In *International Colloquium on Soil Zoology and Ecology*. (14, 2004, France). Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. p. 252.
- ESTRADA, J. 1976. Fertilidad de suelos. Ed. Agronomía. La Molina. Lima, Perú.

- FASSBENDER, H. 1975. Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. 404 p.
- FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA, San José, Costa Rica.
- FASSBENDER, H., BORNEMISZA, E. 1987. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. 40 p.
- FAO. 2002. Desafíos Y Oportunidades para el Sector Forestal en Virtud Del Protocolo De Kyoto.
- FERRERAS L, MAGRA G; BESSON P; KOVALEVSKI E; GARCIA F., 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. Ci. Suelo (Argentina) 25(2): 159-172.
- FERNANDEZ R. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos. Instituto Mexicano del petróleo, México D.F.
- FILGUEIRA R, SORACCO CG, SARLI GO, FOURNIER LL. 2006. Estimación de las propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el modelo de flujo estacionario y transitorio. Ci. Suelo (Argentina). 24:0-0.
- FORSYTHE, W. 1975. Física de suelos. Manual de laboratorio. IICA. México.
- GRILLO, F. 1975. La producción y consumo de alimentos en el Perú. Publicación Cultivos Andinos. Ayacucho. Perú. 300 p.
- GUERRERO, A. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi – Prensa. Editorial Grafo S.A. Bilbao, España. 46-55-59 pp.
- GUERRERO, A. 2000. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 2ª reimpresión. Edit. Aedos S.A. España.

- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, P. 2006. Metodología de investigación. 4 ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 736 p.
- HOLDRIDGE, L. R. 1993. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción al inglés por Humberto Jiménez Saa; Ecología Basada en Zonas de Vida. 1ª ed. San José. Costa Rica. IICA, 1982).
- LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. 2001. Soil Ecology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.
- LUIZÃO, R.C.C.; BARROS, E.; LUIZÃO, F.J.; ALFAIA, S.S. 2002. Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry system in Rondônia, Amazônia, Brasil. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystem for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja.
- LOK, S. 2005. Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción del ganado vacuno. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de ciencia animal. Cuba. 119 p.
- MASTERS, G. 2004. Belowground herbivores and ecosystem processes. Ecological Studies 173:93-112.
- MOSCATELLI, G., SOBRAL, R, NAKAWA, V. 2005. Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos. [En línea]: (<http://www.inta.gov.ar>,Articulo,07 Dic.2005).
- MORÓN, M.A. 2001. Los insectos como reguladores del suelo en los agroecosistemas. In Reunião Sul-Brasileira sobre Pragas de Solo. (8., 2001, Londrina, Brasil). p. 45-57.

- PASHANASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica*. Lima, Perú. 12(1-2): 75-797.
- PORTA, M., LÓPEZ, A., ROQUERO, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España. 622 p.
- PORTOCARRERO, J. 2013. Evaluación del efecto de tres sistemas de uso de la tierra sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el caserío de Puerto Rico, distrito Nuevo Progreso. Tesis para optar título de Ing. Recursos Naturales Renovables – Mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 10 p.
- REÁTEGUI, H. 2009. Efecto de los sistemas de uso en los macro invertebrados bajo cinco condiciones en el distrito de Rupa Rupa. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 64 p.
- SÁNCHEZ, J. 2007. Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A. 19 p.
- SANCHEZ, P. 1981. Suelos del Trópico Características y Manejo. Traducido por Edilberto Camacho, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 634 p.
- SERRADA, R. 2008. Apuntes de Selvicultura; Influencia de los factores ecológicos en la vegetación. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid, España. 94- 96 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 1993. Soil survey manual. United States Departament of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.

- USDA.1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 88 p.
- VERHOEF, H.; VAN SELM, A.J. 1983. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology* 6:387:394.
- WARDLE, D., BARDGETT, R. 2004. Indirect effects of invertebrate herbivory on the decomposer subsystem. *Ecological Studies* 173: 53:69.
- WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi - Prensa. Madrid – España. 1045.
- ZAVALA, S. W. 1999. Estudio Morfopedológico Como base para la recuperación de suelo Degradados en Tingo María. Tesis Ms C. UNAM la Molina Perú.
- ZAVALETA, G. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. Lima, Perú.
- ZERBINO, M.S., MORÓN, A. 2003. Macrofauna del suelo y su relación con propiedades físicas y químicas en rotaciones cultivo-pastura. In Morón, A.; Díaz, R. (Eds. técnicos). Simposio “40 años de rotaciones agrícolas – ganaderas”. Montevideo, INIA. Serie Técnica no. 134. p. 45-53.

ANEXO

Anexo 1. Cuadros de datos obtenidos en campo

Cuadro 23. Promedio de la resistencia a la penetración del suelo

Nº Muestra	Sistemas de uso			
	Pasto	Plátano	Maíz	Cacao
1	1.6	1.7	2.4	2.5
2	1.6	1.7	2.5	2.5
3	1.5	1.9	2.4	2.4
4	1.5	1.8	2.4	2.5
Promedio	1.5	1.8	2.4	2.5

Cuadro 24. Densidad aparente de los suelos en los cuatro sistemas de uso

Densidad aparente						
Sistema de uso	Peso fresco	Peso seco	Peso cilindro	Diámetro cilindro	H del cilindro	Volumen
Pasto	240.31	243.78	203.5	4.5	7	100.15
Plátano	240.31	243.78	203.5	4.5	7	100.15
Maíz	381.11	252.25	203.5	4.5	7	100.15
Cacao	217.68	196.45	203.5	4.5	7	100.15

Cuadro 25. Resultado del muestreo de la macrofauna en los diferentes sistemas de uso de suelo

Grupo taxonómico	Sistemas de uso de suelo				total
	Plátano	Cacao	Maíz	Pasto	
Himenópteros*	36	9	24	54	123
Haplotaxida***	56	18	21	7	102
Isópoda*	0	5	6	10	21
Isóptera*	0	0	0	5	5
Diplopoda*	1	1	0	5	6
Chilopoda*	3	1	2	1	7
Araneae*	1	3	0	1	5
Coleóptera*	3	4	2	4	13
Larvas	0	4	0	4	8
Dermáptera*	2	5	0	3	10
Orthóptera*	0	0	6	1	7
Dictióptera*	5	3	0	2	10
Gastropoda**	5	0	0	7	12
otros	1	1	3	11	16
total	114	55	68	117	354

Cuadro 26. Grupo funcional de la macrofauna en los diferentes sistemas de uso de suelo

Grupo Funcional	Sistemas de uso de suelos			Taxonomía				Total
	Clase	Orden	Familia	Pasto	Plátano	Cacao	Maíz	
Depredadores, Ingenieros del suelo	Insecta	Hymenóptera	Formicidae	54	36	9	24	123
Detritívoros, Ingenieros del suelo	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	7	56	18	21	102
Depredadores	Arachnida	Araneae	Araneidae	1	1	3	0	5
Detritívoros, Ingenieros del suelo	Insecta	Isoptera	Termitidae	5	0	0	0	5
Detritívoros, Hervívoros	Insecta	Coleoptera	Elateriforme	2	1	1	4	8
, Depredadores				1	3	1	2	7
Depredadores	Myriapoda	Chilopoda	Nn	1	3	1	2	7
Detritívoros, Hervívoros	Insecta	Coleoptera	Chrysomelidae	4	3	4	2	13
, Depredadores				4	0	4	0	8
Depredadores	Insecta	Larvas	Nn	4	0	4	0	8
Detritívoros	Malacostraca	Isópoda	Crustacea	10	0	5	6	21
Detritívoros	Artropoda	Diplopoda	Nn	5	1	0	0	6
Detritívoros, Depredadores	Insecta	Dermaptera	Nn	3	2	5	0	10
Herbívoros	Insecta	Orthoptera	Acrididae	1	0	0	6	7
Detritívoros, Hervívoros	Insecta	Dictyoptera	Blátidos	2	5	3	0	10
, Omnívoros				7	5	0	0	12
Detritívoros, Depredadores	Gastropoda	Gastropoda	Nn	7	5	0	0	12
		Otros	Nn	11	1	1	3	16
Total				117	114	55	68	354

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 4. Vista panorámica del predio



Figura 5. Sistema de uso plátano



Figura 6. Muestreo de suelos en el sistema de uso plátano



Figura 7. Sistema de uso maíz



Figura 8. Sistema de uso pasto (Nudillo o grama de ganado)



Figura 9. Sistema de uso cacao.



Figura 10. Georreferenciación del sistema de pasto



Figura 11. Recolección de la macrofauna del suelo



Figura 12. Recolección de macrofauna, en el sistema plátano



Figura 13. Recolección de macrofauna, en el sistema cacao



Figura 14. Observación de la macrofauna en el laboratorio de entomología

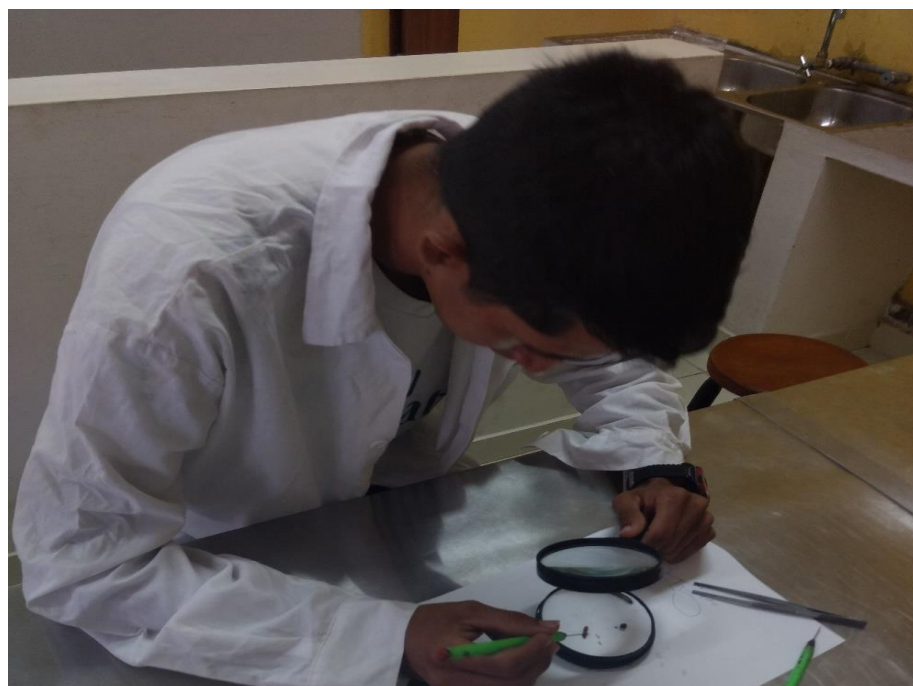


Figura 15. Identificación de la macrofauna en el laboratorio de entomología

