

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**“INDICADORES DE LA CALIDAD DE SUELOS EN TRES
SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA, SECTOR SHITARI,
HUAMALIES”**

TESIS PARA EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

OMAR HUAMAN IGLESIAS

2016

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido estar aquí y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Juan Huamán Cueva y Elva Iglesias Tafur como tan bien a mis abuelos **Carmen y Hernán** porque con sus esfuerzos han formado la persona que soy y apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mis hermanos Sheyla, Juan Carlos Huamán Iglesias por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables – Conservación de Suelos y Agua que contribuyeron a mi formación profesional.
- A mi asesor Ing. Juan Pablo Rengifo Trigozo, por su valiosa colaboración.
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. MS.c. José Lévano Crisóstomo, Ing. Jaime Torres García, Ing. Mg. Wilfredo Alva Valdiviezo.
- A mi tío Vicente Huamán Cueva, Oswaldo Ramírez, Dina, Diomel y Hernan Iglesias Tafur, quienes contribuyeron en mi formación, que con su ejemplo de vida me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.
- A Lisseth Alinsson Zaravia Bravo, por haberme apoyado en la realización del presente trabajo de investigación.
- A Rony Cuellar Celestino e Iván Ramos Chepe, por su apoyo incondicional en todos los años de mi carrera universitaria, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre podre confiar en ellos.
- A todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi agradecimiento.

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.....	13
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	18
2.9.1. Niveles de materia orgánica	18
2.10. Capacidad de intercambio catiónico	19
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	21
2.11. Nutrientes del suelo	22
2.11.1. El fósforo en el suelo	22
2.11.2. El potasio en el suelo	23
2.12. El nitrógeno en el suelo	24
2.13. Indicadores de calidad biológica del suelo	25
2.13.1. Respiración microbiana	25
2.14. Macrofauna del suelo	25
2.14.1. Importancia de la macrofauna del suelo	27
2.14.2. Grupos funcionales de la macrofauna del suelo	28
2.14.3. Indicadores de fauna y monitoreo biológico de la calidad del suelo	29
2.15. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo .	31

2.16. Investigaciones realizadas sistemas de uso de suelo.....	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Descripción de la zona de estudio	35
3.1.1. Ubicación política y geográfica	36
3.1.2. Características ambientales de la zona de estudio	36
3.1.3. Geología y suelo	36
3.1.4. Climatología	36
3.1.5. Accesibilidad	37
3.1.6. Fisiografía y pendiente	37
3.2. Materiales y equipos	37
3.2.1. Materiales de campo	37
3.2.2. Materiales de laboratorio	38
3.2.3. Equipos de campo.....	38
3.2.4. Equipos de laboratorio	38
3.3. Metodología	38
3.3.1. Enfoque metodológico.....	38
3.3.2. Etapa pre campo	39
3.3.3. Etapa de campo	39
3.3.3.1. Muestreo de suelos	38
3.3.3.2. Muestreo de la fauna edáfica del suelo	39
3.3.3.3. Diversidad de especies.....	41
3.3.3.3. Variables a evaluar	42
3.3.4. Etapa de gabinete	43

3.4. Variables a evaluar	44
3.4.1. Variables independientes	44
3.4.2. Variables dependientes.....	44
3.4.3. Análisis de datos	44
IV. RESULTADOS	47
4.1. Indicadores físicos y químicos del suelo en tres sistemas de Uso de la tierra.....	47
4.2. Identificación y cuantificación de macrofauna de suelo en diferentes sistemas de uso	49
4.3. Relación entre las características físicas – químicas del suelo con la densidad y biomasa de la macrofauna	54
V. DISCUSIÓN.....	56
VI. CONCLUSIONES.....	60
VII. RECOMENDACIONES.....	61
VIII. ABSTRACT.....	62
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Agrupamiento general de las clases texturales	10
2. Niveles de pH del suelo.....	17
3. Niveles de la materia orgánica	19
4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5)	21
5. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5.5)	22
6. Niveles de contenido de fósforo (método de Olsen).....	23
7. Niveles de contenido de potasio.....	24
8. Niveles de contenido de nitrógeno.	24
9. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna.....	26
10. Parámetros físicos de las propiedades del suelo (variable).....	43
11. Características propiedades físicas de suelo de los sistemas de uso.....	47
12. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	48
13. Identificación de la macrofauna edáfica clase – orden y familia	50
14. Densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso de suelo.	51
15. Densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso y profundidades.....	52
16. Biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades.....	53

17.	Diversidad de especies de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades índice Shannon – Wiener.....	54
18.	Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna	55
19.	Promedio de la resistencia a la penetración del suelo	70
20.	Densidad aparente de los suelos en los tres sistemas de uso.....	70
21.	Resultados muestreo de la macrofauna edáfica.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema del plan de muestreo.....	41
2. Distribución de la densidad de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades de muestreo en tres sistemas de uso de suelo.....	52
3. Distribución de la biomasa a diferentes profundidades de muestreo en tres sistemas de suelo.....	53
4. Muestreo de suelos sistema de uso cacao.....	72
5. Muestra densidad aparente sistema cítrico más cacao.....	72
6. Muestreo macrofauna edáfica sistema cítrico más cacao	73
7. Medición resistencia a la penetración	73

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el sector shitari provincia de Huamalíes; región Huánuco donde se evaluó la calidad de suelo en tres sistemas de uso, evaluando las propiedades físicas, químicas y biológicas como densidad, biomasa e índices de diversidad de la macrofauna del suelo. Los objetivos de la investigación fueron: determinar los indicadores físicos y químicos del suelo, identificar y cuantificar la macrofauna a diferentes profundidades en tres sistemas de uso de la tierra (cultivo de plátano con cacao, cítrico con cacao y cultivo de cacao) y correlacionar las propiedades fisicoquímicas del suelo con las propiedades biológicas. Los resultados obtenidos presentaron suelos de textura franca óptimos para los cultivos establecidos, de estructura granular, y buena densidad aparente de (1.45 a 1.51 g/cm³) y resistencia a la penetración de (1.5 a 1.8 g/cm²). Los indicadores químicos presentan reacciones extremadamente acidas con contenidos medios en materia orgánica, nitrógeno y fósforo y bajo en potasio, asimismo obtuvo un bajo potencial de nutrientes por su baja capacidad de cambio (7.48 a 10.52 meq/g suelo). Para los indicadores biológicos se obtuvieron un bajo índice de diversidad (0.65 a 0.98 H'), con densidades desde los 72 hasta los 84 ind.m⁻², y biomasa 7.9 hasta 10.78 g.m⁻², asimismo Himenóptera fue el más predominante seguido por Haplotaxida e isóptera en los tres sistemas, finalmente se obtuvo la relación entre la biomasa edáfica del suelo con la materia orgánica y el nitrógeno, y la densidad de especies con K₂O.

I. INTRODUCCIÓN

La provincia de Huamalíes posee excelentes suelos para el desarrollo de la agricultura, presenta una proporción mínima de tierras aptas para cultivos anuales en comparación con los suelos con aptitud forestal y protección. Uno de los impactos más visibles de la ocupación del territorio en la provincia de Huamalíes es el proceso acelerado de deforestación y transformación del paisaje, debido a la presencia de cultivos ilícitos. De las áreas intervenidas, algo más del 50% corresponden a tierras con conflictos de uso, donde la provincia no está ajena a estos problemas. Frente a este contexto y al existir una limitada información sobre el índice de la calidad del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra en la provincia de Huamalíes, se plantea la siguiente interrogante ¿Los índices de calidad del suelo influirán en los tres sistemas de uso de la tierra del sector Shitari, Huamalíes?

La presente tesis se justifica en base a la necesidad de identificar aquellas prácticas agrícolas o usos del suelo que están contribuyendo con la conservación de los suelos. La investigación se orienta en analizar las consecuencias que generan los conflictos de uso en la fertilidad del suelo. En tal sentido en busca de una agricultura sustentable, los indicadores de calidad física y química proporcionarían información valiosa que reforzarían el entendimiento en la funcionalidad del suelo a corto plazo y la dirección del ecosistema si se encamina a su recuperación, preservación o degradación, así mismo como punto

de partida en los planes y proyectos de manejo, para la preservación y medidas de mitigación de la degradación de los sistemas de uso de los suelos. En base a lo planteado se propone la siguiente hipótesis: Los índices de calidad de los suelos influye en los tres sistemas de uso de la tierra en el sector Shitari de la provincia de Huamalíes. Para demostrar la hipótesis se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar los índices de calidad de los suelos en los tres sistemas de uso de la tierra en el sector de Shitari, Huamalíes.

Objetivos específicos

- Determinar los indicadores físicos y químicos del suelo en tres sistemas de uso de la tierra (cultivo de plátano con cacao, cultivo de cítrico con cacao y cultivo de cacao).
- Identificar y cuantificar la macro fauna en los tres sistemas de uso de la tierra (cultivo de plátano con cacao, cultivo de cítrico con cacao y cultivo de cacao) a diferentes profundidades.
- Correlacionar las propiedades fisicoquímicas del suelo con las propiedades biológicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. 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 ZEISS (2000) 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; DEXTER, 2004). 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 AGUIAR (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.

Según Brejeda y Moorman (2001), citado por ACEBEDO *et al.* (2005) sugirió 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).

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 (WILD, 1992).

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
	suelos de textura media	Franco
		Franco Limoso
		Limoso
suelos de textura moderadamente fina	Franco Arcilloso	
	Franco Arcillo Arenoso	
		Franco Arcillo Limoso

		Arcillo-Arenoso
Arcilloso	suelos de textura fina	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 g/cm³; en suelos franco arcillosos de 1.0 a 1.5 g/cm³ y en suelos francos de 1.5 a 1.7 g/cm³ (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 (COVAZOS, 1992).

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:

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

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 $\text{pH} = 7$ la concentración de iones de H^+ es igual a la concentración efectiva de los iones OH^- ; un cambio de pH indica cambio en la concentración de iones H^+ y 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).

2.8.3. 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

2.8.4. Factores que afectan el pH

2.8.4.1. 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.

2.8.4.2. Concentraciones de CO_2

La actividad biológica de las raíces y de los microorganismos incrementa la concentración de CO_2 en el aire del suelo formando el ácido carbónico al reaccionar con el agua.

2.8.4.3. 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 (NAVARRO, 2003).

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 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 cambiables (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 suelo 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 macronutrientes 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) (NAVARRO, 2003).

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 (NAVARRO, 2003).

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 (NAVARRO, 2003).

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. Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos (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 (2001), 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. 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	
Arthropoda	Insecta	-	Coleóptera		
			Díptera		
			Hemíptera		
			Hymenóptera		
			Homóptera		
			Isóptera		
	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).

2.14.1. 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).

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 (LOK, 2005).

2.14.2. 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, 2001). 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, 2001; 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 (DORAN Y ZEISS, 2000).

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).

2.14.3. 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 (GERALDES *et al.*, 1995). 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 (LOPEZ, 1998).

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, 2001).

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 (CAMAYO, 2011).

2.15. 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).

2.16. Investigaciones realizadas sistemas de uso de suelo

CAMAYO (2011) reportó en una investigación en suelos residuales de la laguna Los Milagros – Aucayacu, en cuatro sistemas de uso del suelo como son bosque secundario, cultivo de coca, cultivo de café y cultivo de yuca; en la cual se realizó la cuantificación de macrofauna y su relación con las propiedades de los suelos. Se observó que la textura del suelo en los cuatro sistemas de uso fue de franco arenoso; sin embargo se observó una variación en la densidad aparente, densidad real, temperatura, resistencia de penetración, porcentaje de

humedad y porcentaje de espacio poroso en los cuatro sistemas de usos del suelo. De igual manera en los indicadores de las propiedades químicas del suelo difirieron en los cuatro sistemas de uso de suelos. En cuanto a las propiedades biológicas se identificaron ocho grupos taxonómicos, como son Himenópteros, Oligoqueta, Isópoda, Isóptera, Chillipoda, Aranea, Coleóptero y larvas.

PORTOCARRERO (2011) 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.

BROWN y FRAGOSO (2001) determino que en una evaluación de 9 sistema muestreados (bosque, vegetación secundaria, pasto, caña de azúcar, cítricos, café, cacao, cocotales y milpas) en la caña de azúcar fue donde se encontró mayor densidad casi (3000 Ind. m^{-2}) y biomasa más de (60 g m^{-2}) de macrofauna, en este sistema las lombrices de tierra predominan en cuanto a la biomasa (82% de total) y las hormigas en cuanto a la abundancia (52% del total), bajo estas condiciones y con los futuros cambios previsto en el manejo de la caña a nivel nacional (recolecta verde), la macrofauna edáfica probablemente jugara un papel cada vez más importante en la descomposición de la materia orgánica y en el mantenimiento de las estructura del suelo bajo los cañaverales. Los cocotales y las milpas tuvieron la menor biomasa de todos los ecosistemas estudiados con poco más de 10 g m^{-2} las milpas soportan una biomasa baja, posiblemente por la escasa cantidad de materia orgánica y por la intensidad de la labor (perturbación física) presente en este ecosistema. A pesar de la baja abundancia total de organismos, la alta biomasa encontrada en el cacao, cítricos y pastos se debe a la contribución de las lombrices de tierra (81 - 96% del total).

Según WELLINGTON (1995); la mayor densidad poblacional ocurre en el estrato superficial del suelo (0-10 cm de profundidad). Además MERINO et al., citado por WELLINGTON (1995) señala que hay un decrecimiento gradual en la densidad de los artrópodos con la profundidad del suelo y que algunos grupos son más abundantes en los estratos más profundos del suelo. Así mismo GILL citado por WELLINGTON (1995), verifico en Estados Unidos que los factores físicos del ambiente, tales como humedad del suelo, temperatura del suelo y presencia de hojarasca, fueron de mayor importancia en la determinación de la distribución vertical y de la abundancia de los artrópodos del suelo.

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

CABRERA (2012) la evaluación de la macrofauna edáfica, en ecosistemas con diferentes grado de conservación/perturbación en cuba permiten proponer como indicador de la valoración del estado del suelo el comportamiento de las poblaciones de lombrices de tierra, a través de su riqueza de especies, su densidad (ind.m⁻²) y su biomasa (gm⁻²); así como la proporción que presenta la comunidad epígea con función detritívora, tanto en la densidad como en la biomasa, con respecto a los restantes grupos funcionales de la macrofauna. También permiten identificar a las hormigas como indicadores de perturbación del medio edáfico, debido a su habilidad para sobrevivir mayormente en suelos agrícolas, a pesar de los disturbios de dicho medio, lo que se evidenció por su prevalencia en abundancia y resistencia en sistemas que tenían algún nivel de intervención antrópica.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

La presente investigación se realizó en el sector shitari, ubicado en la provincia de Huamalíes, región Huánuco, aproximadamente a 20 kilómetros siguiendo la carretera Tingo María -Monzón. Los predios donde se realizó la presente investigación pertenecen al señor Aquiles Puerta Cántaro, con cultivos de Plátano con cacao y cítrico con cacao y al señor Samuel Luciani Antonio, con cultivo de cacao y se encuentra en las coordenadas UTM (Zona 18 M, Datum WGS 84) para el primer predio:

Este : 380920 m.

Norte : 8977718 m.

Altitud : 699 msnm.

Para el segundo predio:

Este : 381065 m.

Norte : 8977026 m.

Altitud : 703 msnm.

3.1.1. Ubicación política y geográfica

Región : Huánuco.

Provincia : Huamalíes.

Distrito : Cahicoto.

Sector : Shitari.

3.1.2. Características ambientales de la zona de estudio

Según Holdrige (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).

3.1.3. Geología y suelo

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).

3.1.4. Climatología

La estación Meteorológica José Abelardo Quiñones, registra una precipitación promedio anual de 3500 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 22.5 °C.

3.1.5. 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 de los predios donde se encuentran los cultivos es de 2 horas aproximadamente.

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 río shitari. La pendiente varía desde ligeramente inclinada, valores que va de 10% a más.

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 Termómetro de suelo, cronómetro, penetrómetro, GPS (Global Positioning System) y cámara fotográfica.

3.2.4. Equipos de laboratorio

Balanza gramera, estufa, pH metro, espectrofotómetro de absorción atómica.

3.3. Metodología

3.3.1. Enfoque metodológico

El presente trabajo de investigación se realizó de forma descriptiva, considerando cuatro sistemas de uso del suelo:

- Suelo con cultivo de plátano con cacao (*Musa sp.*)
- Suelo con cultivo de cítrico (*Citrus sinensis*) y cacao (*Musa sp.*).
- Cultivo de cacao (*Theobroma cacao*).

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); consideran la repetición de cuatro muestras por cada sistema de manejo a una profundidad de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de la superficie del suelo. Para determinar los índices de la calidad de los suelos en los tres 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.

3.3.2. Etapa pre campo

Se realizó la recopilación de toda la información necesaria del área en estudio; así como información de suelos, sistemas de uso que vienen dando en el área, mapa base del área, material cartográfico y un reconocimiento general de toda el área donde se van a fijar los puntos de muestreo para su respectiva evaluación; así mismo, se separaría indicadores que serán evaluados directamente en campo y los indicadores que serán evaluados en laboratorio.

3.3.3. Etapa de campo

3.3.3.1. Muestreo de suelos

Se ubicaron y geo referenciaron los tres cultivos de los diferentes propietarios, para realizar el muestreo correspondiente. Los suelos se muestrearán al azar, con la ayuda de una pala recta.

- **Determinación de las propiedades físicas y químicas**

Se recolectaron muestras de suelo de los diferentes tipos de uso de tierra por el método de zig zag, algunas propiedades se determinaran in situ y los otros que fueron llevados al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis. El muestreo se realizará alrededor de las muestras para determinar la macrofauna (Figura 1).

3.3.3.2. Muestreo de la fauna edáfica del suelo

El muestro se realizó mediante el trazo de un transecto en línea recta de 40 m, con monolitos a intervalos de 10 m (5 monolitos por parcela). Cada monolito tuvo 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 para el diseño, método recomendado por el Programa Tropical Soil Biology And Fertility – TSBF (Anderson e Ingram, 1993, citado por PASHANASI, 2001). Los organismos fueron identificados por unidades taxonómicas (clases y órdenes) en el laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. La densidad fue medida en individuos/m² y la biomasa en gramos de peso fresco/m².

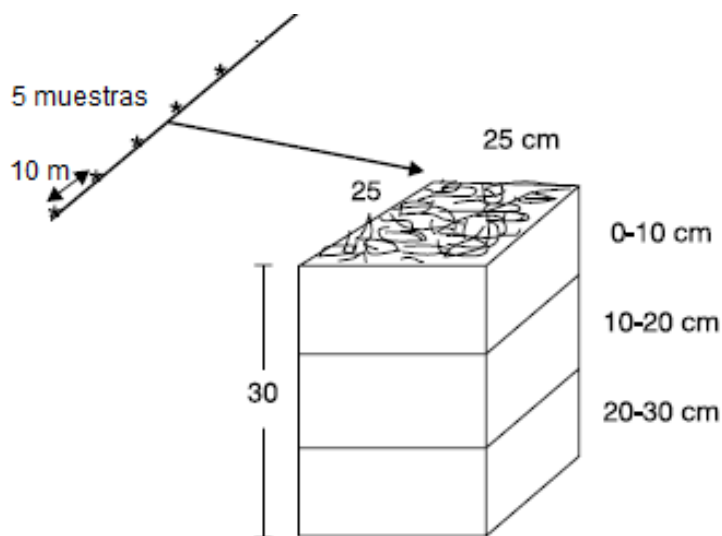


Figura 1. Esquema del plan de muestreo.

- **Metodología de 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% 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 una balanza de precisión. Los valores de biomasa fueron multiplicados por un valor de corrección (19% para las lombrices, 9% hormigas, 11% escarabajos, 6% arañas y 13% para el resto de macroinvertebrados) debido a la pérdida de peso durante la fijación en alcohol y formol (DECAENS *et al.*, 1994).

Mediante las claves de identificación, se determinó el grupo taxonómico, se contabilizó el número de individuos de cada unidad taxonómica por monolito, se

sumaron el total de individuos por taxón y se calculó el porcentaje de abundancia o densidad relativa promedio de cada unidad taxonómica en cada sistema de suelo.

Se elaboró una gráfica de porcentajes de abundancia.

Se pesó para determinar la biomasa de la macro fauna en los diferentes sistemas de suelo.

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

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

3.3.3.3. Diversidad de especies

Para determinar el índice de diversidad de especies se utilizó la fórmula Shannon Wiener.

- Riqueza de la diversidad biológica alfa

Las variables de estudio e índices de diversidad alfa son:

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 = $\sum n_i$

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

3.3.3.4. Variables a evaluar

Para poder evaluar la macrofauna como indicador biológico en los diferentes tipos de uso de tierra, se evaluaron los siguientes componentes físicos, químicos y biológicos del suelo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Parámetros físicos de las propiedades del suelo (variable)

Parámetros físicos	Método de su determinación
Estructura del suelo	Método directo
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 Blakc
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
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo
Diversidad de especies	Método Shannon – Winner

3.3.4. Etapa de gabinete

En esta etapa 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 citado por HERNÁNDEZ *et al.* (2006).

3.4. Variables a evaluar.

3.4.1. Variables independientes

- Sistemas de uso del suelo (cultivo de plátano con cacao, cultivo de cítrico con cacao y cultivo de cacao).
- Muestras de suelos (campo y análisis en laboratorio).

3.4.2. Variables dependientes

- Densidad de la macrofauna
- Biomasa de la macrofauna
- Índice de diversidad

3.4.3. 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 citado por CALZADA (1996).

Ecuación de regresión

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

Coefficiente 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. Indicadores físicos y químicos del suelo en tres sistemas de uso de la tierra

4.1.1. Características físicas

Las características físicas de suelo nos muestran que todos estos sistemas presentan clases texturales francas de estructura granular con densidad aparente relacionado con su textura oscilan desde los 1.45 hasta los 1.51 g/cm³, y temperaturas de 25.8 a 26.5 °C, y resistencias que varían desde los 1.5 hasta los 1.8 g/cm² catalogados como suelos suaves (Cuadro 11).

Cuadro 11. Características propiedades físicas de suelo de los sistemas de uso

Sistema	Textura	estructura	Densidad	Temperatura	Resistencia
Cacao con plátano	Franco	Granular	1.45 g/cm ³	25.8 °C	1.5 g/cm ²
Naranja con cacao	Franco	Granular	1.51 g/cm ³	26.5 °C	1.8 g/cm ²
Cacao	Franco	Granular	1.48 g/cm ³	26.2 °C	1.6 g/cm ²

4.1.2. Características químicas

El análisis químico del suelo de los diferentes sistemas de uso, el mismo que se detalla en los siguientes párrafos: Los suelos del sistema cacao con plátano presenta una reacción extremadamente ácida (4.12), contenido medio en materia orgánica (2.99%) y nitrógeno (0.13%), y un contenido medio en fósforo (9.03 ppm) y bajo en potasio (97.96 kg/ha) y CIC 8.01 meq/100 g suelo (Cuadro 12).

Los suelos del sistema naranja con cacao presenta una reacción extremadamente ácida (4.33), con contenido medio en materia orgánica (2.99%) y nitrógeno (0.13%) contenido medio en fósforo (7.40 ppm) y bajo en potasio (102.46 Kg/ha) y CIC 10.52 meq/100 g suelo.

Los suelos del sistema cacao presenta una reacción extremadamente ácida (4.42), con un contenido medio en materia orgánica (2.69%) y nitrógeno (0.12%), contenido medio en fósforo (7.71 ppm) y bajo en potasio (171.92 kg/ha) y CIC 7.48 meq/ 100 g suelo.

Cuadro 12. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	pH	M.O	N	P	K ₂ O	CIC
	1:1	%	%	Ppm	Kg/ha	Meq/g
Cacao con plátano	4.12	2.99	0.13	9.03	97.96	8.01

Naranja con cacao	4.33	2.99	0.13	7.40	102.46	10.52
Cacao	4.42	2.69	0.12	7.71	171.92	7.48

Fuente análisis de suelos

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

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

Se identificaron 14 órdenes del total de macrofauna en los sistemas de uso de suelo, donde se encontraron: 9 en el sistema cacao con plátano, 5 en cítrico con cacao y 8 en el sistema cacao; Himenóptera fue el más predominante seguido por Haplotaxida e isóptera, himenóptera fue superior en el sistema cacao con plátano encontrándose 35 individuos m², asimismo haplotaxida fue superior en este sistema con 27 individuos m², finalmente la orden isóptera predominó con 15 individuos m², los demás ordenes identificados se aprecian en el Cuadro 13 con sus respectivos clases y familias.

Cuadro 13. Identificación de la macrofauna edáfica clase – orden y familia

Taxonomía	Sistemas de uso de suelos		
	Cacao con plátano	Cítrico con cacao	cacao
Clase - Orden – familia- nombre común			
<i>Insecta -Hymenóptera-formicidae (hormiga)</i>	35	28	32
<i>Clitellata-haplotaxida-lumbricidae (lombriz)</i>	27	24	25
<i>Arachnida-araneae-araneidae (araña)</i>	2	1	1
<i>Insecta-isoptera-termitidae (termitas)</i>	15	10	12
<i>Insecta-coleoptera-elateriforme (escarabajo)</i>	2	1	4
<i>Myriapoda-chilopoda-nn (cien pies)</i>	1	0	1
<i>Insecta-coleoptera-chrysomelidae (escarabajo)</i>	1	0	0
<i>Arachnida-pseudoescorpiones-nn (tijereta)</i>	0	1	0
<i>Malacostraca-isopoda-crustacea (picurito)</i>	0	2	1
<i>Myriapoda-diplopoda-nn (mil pies)</i>	1	1	1
<i>Insecta-coleoptera-tenebrionidae (escarabajo)</i>	0	1	0
<i>Insecta-coleoptera-scarabidae (escarabajo)</i>	0	2	3
<i>Coleóptera-curculionidae-nn (coleóptero)</i>	0	1	0
<i>Gastropoda-gastropoda (caracol)</i>	0	0	1
Total	84	72	81

4.2.2. Cuantificación de la macrofauna edáfica en los diferentes sistemas de uso de suelo

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

Los suelos de los sistema cacao con plátano y cacao presentaron una variación similar con una densidad de 84 y 81 Ind.m⁻² respectivamente, seguido por el sistema cítrico con cacao con 72 Ind.m⁻², asimismo para la biomasa los sistemas cacao con plátano y cacao presentaron una variación de 10.78 y 9.98 g.m⁻² mientras el sistema cítrico con cacao presento inferioridad con 7.95 g.m⁻² a comparación con el resto de los sistemas (Cuadro 14).

Cuadro 14. 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)
Cacao con plátano	84	10.78
Naranja con cacao	72	7.95
Cacao	81	9.98

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

El suelo de cacao con plátano y cacao presentaron mayor valor de densidad de macrofauna a las profundidades de 0 - 10 cm con 74 y 70 ind.m⁻² respectivamente, mientras el sistema cítrico con cacao obtuvo 58 ind.m⁻², a la

profundidad de 10 - 20 cm los tres sistemas oscilaron desde los 10 hasta los 14 ind.m⁻², finalmente a la profundidad 20 - 30 cm no se encontró invertebrados del suelos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso y profundidades

Profundidad	Densidad (Ind.m ⁻²)		
	Cacao con plátano	Cítrico con cacao	Cacao
0 – 10	74	58	70
10 – 20	10	14	11
20 – 30	0	0	0

Muestra la densidad de la macrofauna del suelo en 3 sistemas de uso, mostrando un descenso a medida que aumenta la profundidad, con una baja densidad en los sistemas de uso de suelo (Figura 2).

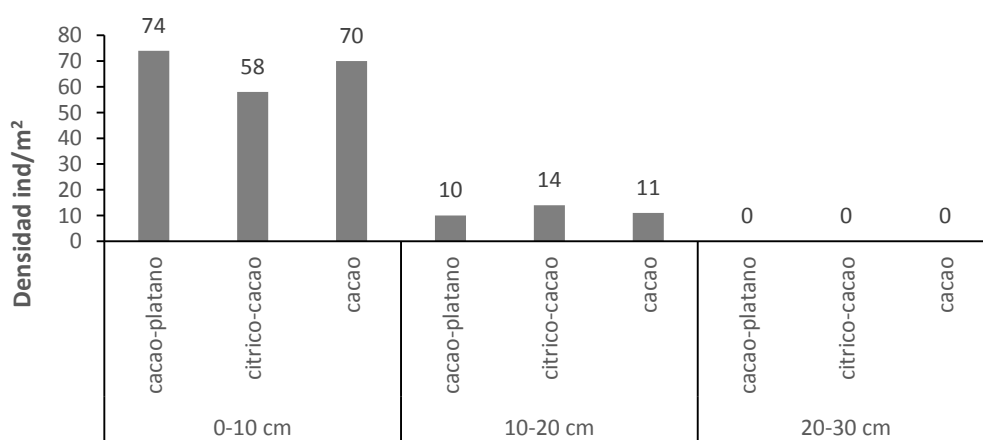


Figura 2. Distribución de la densidad de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades de muestreo en tres sistemas de uso de suelo

Los sistemas cacao con plátano y cacao presentaron una variación similar en biomasa presentaron 8.84 y 7.99 g.m^{-2} a los 0 - 10 cm de profundidad, mientras en el sistema cítrico con cacao presento 5.86 g.m^{-2} , de la misma manera a los 10 - 20 cm los valores oscilaron desde los 1.94 hasta los 2.09 g.m^{-2} , mientras a los 20 - 30 cm de profundidad no presentó biomasa por la ausencia de macrofauna edáfica (Cuadro 16).

Cuadro 16. Biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades.

Profundidad	Biomasa (g.m^{-2})		
	Cacao con plátano	Cítrico con cacao	Cacao
0 – 10	8.84	5.86	7.99
10 – 20	1.94	2.09	1.99
20 – 30	0	0	0

Se muestra la biomasa de la macrofauna evaluada en el suelo de los tres sistemas de uso (Figura 3).

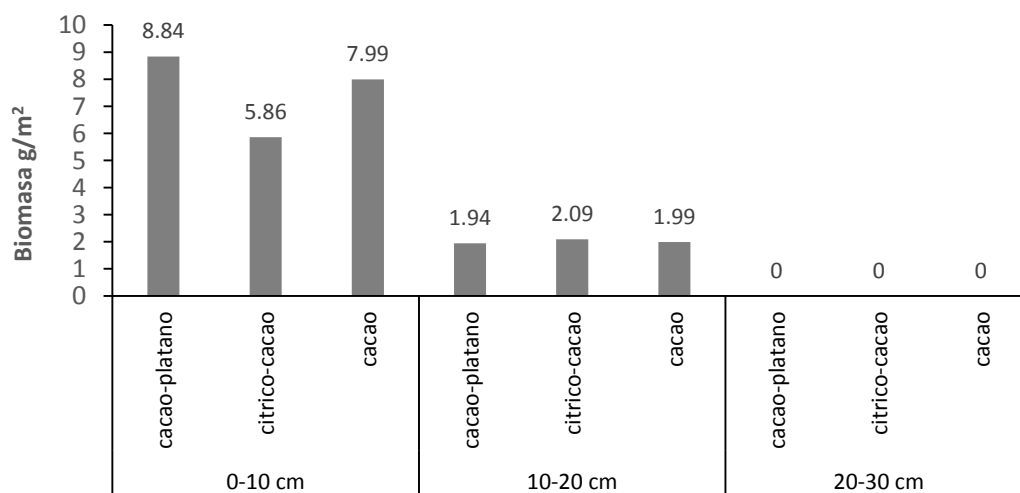


Figura 3. Distribución de la biomasa a diferentes profundidades de muestreo en tres sistemas de suelo

4.2.3. Diversidad de la macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso

La diversidad de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso en la localidad de Shitari, nos muestra los resultados obtenidos por el índice de diversidad de Shannon – Wiener (H'), donde un alto número de taxones en las muestras nos presenta una elevada diversidad, todos los sistemas obtuvieron una baja diversidad siendo el sistema cítrico con cacao el menor valor encontrado con un índice de 0.65 H' (Cuadro 17).

Cuadro 17. Diversidad de especies de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades índice Shannon – Wiener

Sistemas de uso	índice Shannon - Wiener
Plátano más cacao	0.98 H'
Cítrico más cacao	0.65 H'
Cacao	0.95 H'

H' : índice de Shannon y Wiener

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

Se muestra el análisis de correlación con un nivel de significancia de 0.10 que existe correlación positiva muy fuerte con un efecto significativo (p-valor), entre las variables biomasa de la macrofauna del suelo con las propiedades químicas materia orgánica y nitrógeno del suelo, asimismo la diversidad de especies con el K_2O del suelo, es decir estas variables son

directamente proporcionales mientras una tiende a subir la otra variable aumenta o viceversa (Cuadro 18).

Cuadro 18. Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna

Variable	variable	Pearson	p-valor	Sig.
Biomasa macrofauna	Materia orgánica	1.00	0.0178	*
Biomasa macrofauna	nitrógeno	1.00	0.0178	*
Densidad especies	K ₂ O	1.00	0.0325	*

Análisis de correlación con un nivel de significancia del 0.10, * significativo

V. DISCUSIÓN

5.1. Propiedades físicas del suelo

El primer indicador físico que se determinó en los tres sistemas de uso fue la textura del suelo, donde todos los sistemas presentan la clase textural franca y estructura granular adecuados para los cultivos existentes. La densidad aparente en los tres sistemas de uso de acuerdo a su textura oscilan desde 1.45 g/cm³ a 1.51 g/cm³ para suelos francos, asimismo según DE AGUIAR (2008) encontró que los valores de densidad parecen explicar mejor el efecto de manejo del suelo, que representa un mejor indicador de calidad de suelo, evidenciando así también el efecto sobre la estructura, siendo estos valores aceptables para el crecimiento radicular en los tres sistemas de uso de suelo. La resistencia a la penetración relacionada con la densidad aparente presentó valores desde 1.5 g/cm² hasta 1.8 g/cm², catalogados como suelos suaves, 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 tres sistemas de uso, nos muestra una variación que va de 25.8 °C a 26.2 °C, FASSBENDER (1987) menciona que 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.

5.2. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo en los diferentes sistemas de uso presentan valores que pueden afectar la disponibilidad de nutrientes en las plantas, el contenido de materia orgánica para estos sistemas se encuentran en niveles medios oscilando entre 2.69 y 2.99%, de la misma manera presentó un comportamiento similar el nitrógeno con contenidos medios que la ubican desde 0.12 hasta 0.13%. Del mismo modo el fósforo disponible para los 3 sistemas de uso evaluados presentan suelos con contenidos medios en fósforo, atribuyéndole la procedencia a la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización; la cantidad de fósforo total en el suelo se pierde por lixiviación (NAVARRO y NAVARRO 2003). Mientras que el potasio disponible kg/ha en los tres sistemas de uso presentaron contenidos bajo de 97.96 kg/ha hasta los 171.92 kg/ha. Según NAVARRO Y NAVARRO (2003) 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 presentaron un bajo potencial de capacidad de cambio, plátano con cacao obtuvo 8.01 cmol/g suelo, cítrico con cacao 10.52 cmol/g suelo, y finalmente cacao con 7.48 cmol/g suelo, mostrando que estos suelos presentan un bajo potencial de nutrientes que pueden estar disponibles para los cultivos.

5.3. Propiedades biológicas del suelo

En la presente investigación, se encontraron 14 órdenes de macrofauna edáfica, predominaron más las ordenes hemíptera, haplotaxida e

isóptera. En un estudio realizado en la Amazonía Peruana se evaluaron 127 comunidades de macrofauna proveniente de 37 localidades y 9 tipos de ecosistemas, encontrando que la macrofauna incluye más 14,500 especies de 18 grupos (BROWM *et al.*, 2001).

Los altos valores de densidad de macrofauna total del suelo se encontraron en el sistema cacao con plátano (84 Ind/m^2), seguido por el sistema cacao (81 Ind/m^2) y cítrico con cacao (72 Ind/m^2). Para las profundidades evaluadas, a los 0 - 10 cm se presentaron altas densidades en todos los sistemas siendo los sistemas cacao con plátano y cacao que presentaron mayor densidad 84 y 81 Ind/m^2 , seguido por cítrico con cacao con 58 Ind.m^2 , a los 10 - 20 cm de profundidad oscilaron desde los 10 hasta los 14 Ind/m^2 . 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 (GERALDEZ, 1995).

La biomasa total de la macrofauna del suelo fue mayor en cacao con plátano (10.78 g.m^2), seguido por los sistema cacao (9.98 g.m^2), y por último el sistema cítrico con cacao con 7.95 g.m^2 , mientras para las profundidades evaluadas cacao con plátano y cacao obtuvieron 0 - 10 cm de profundidad 8.84 g.m^2 y 7.99 g.m^2 respectivamente, mientras cítrico con cacao obtuvo 5.86 Ind/m^2 , a los 10 - 20 cm los tres sistemas presentaron una variación de 1.94 a 2.09 Ind/m^2 , finalmente en el tercer estrato de 20 - 30 cm no se obtuvo biomasa por la ausencia de macrofauna edáfica. DEXTER (2004) atribuye la disminución de la riqueza, densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo,

al uso de agroquímicos, a la reducción en la producción de raíces y a la modificación en el microclima del suelo.

La diversidad de la macrofauna en los tres sistemas de uso del sector de Shitari nos muestra los resultados obtenidos por el método de Shannon – Wiener donde se presentan bajos índices de diversidad en los tres sistemas, pero siendo menor el sistema cítrico con cacao con un índice de 0.65 H' , Según (WARDLE y BARDGETT, 1999) el índice de Shannon – Winner mide el grado de incertidumbre que existe para predecir la especie a la cual pertenece un individuo extraído aleatoriamente de la comunidad para un número dado de especies e individuos, la función tendrá valor mínimo cuando todos los individuos pertenecen a una especie y un valor máximo cuando todas las especies tengan la misma cantidad de individuos.

5.4. Relación entre las propiedades físicos y químicos y biológicos del suelo

Se relacionó un incremento de la biomasa edáfica del suelo entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno, de la misma manera la densidad de especies con el potasio disponible del suelo siendo una correlación fuertemente positiva y que ambas propiedades biológicas están asociados a estas propiedades fisicoquímicas.

VI. CONCLUSIONES

1. Los índices de calidad de suelos indican que estos sistemas poseen propiedades físicas más favorables que químicas, aceptando la hipótesis que los indicadores de calidad de suelo influyen en los sistemas de uso.
2. Se identificaron 14 órdenes de macrofauna en los sistemas de uso evaluados distribuidas, cacao con plátano 9, cacao 8 y cítrico con cacao 5; asimismo los himenópteros, haplotaxida e isópteras fueron los más predominantes en todos los sistemas.
3. El cultivo cacao con plátano y cacao presentaron mayor densidad de macrofauna con (84 y 81 Ind/m²), y biomasa (10.78 y 9.98 g.m⁻²), cítrico con cacao menor densidad con 72 Ind/m⁻², y biomasa edáfica con (7.95 g.m⁻²).
4. La diversidad de especies por el índice de Shannon y Wiener en los sistemas de uso fueron: cacao con plátano 0.98 H', cacao 0.95 H' y cítrico con cacao 0.65 H'.
5. Se estableció que a un incremento de la materia orgánica y nitrógeno en el suelo se incrementaría la biomasa edáfica, asimismo un incremento del K₂O se incrementaría la densidad de especies en el suelo.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la no utilización de productos químicos como (herbicidas), ya que alteran la macrofauna edáfica, en densidad poblacional e índices de diversidad biológica.
2. Relacionar de los índices de calidad del suelo entre las especies de macrofauna edáfica, que valoren la calidad y salud del suelo.
3. Realizar un plan fertilización en los sistemas de uso evaluados, ya que poseen una baja disponibilidad de nutrientes en el suelo, para obtener una buena producción de los cultivos instalados.

"QUALITY INDICATORS IN THREE SOILS SYSTEMS LAND USE, SECTOR SHITARI, HUAMALÍES"

VIII. ABSTRACT

The research was conducted in the province of Huamalíes Shitari industry; Huanuco region where the quality of soil in three systems use was evaluated by assessing the physical, chemical and biological properties such as density, biomass and diversity indices of soil macrofauna. The research objectives were to determine the physical and chemical soil indicators, identify and quantify the macrofauna at different depths in three systems of land use (cultivation of bananas with cocoa, citrus cocoa and cocoa cultivation) and correlate physicochemical properties of the soil with the biological properties. The results presented loamy soil optimum for established crops, grain structure, and good bulk density (1.45 to 1.51 g/cm³) and penetration resistance of (1.5 to 1.8 g/cm²). Chemical indicators have extremely acidic media reactions with organic matter content, nitrogen and phosphorus and low in potassium, also it obtained a low potential for its low nutrient exchange capacity (7.48 to 10.52 meq/g soil). Biological indicators for low diversity index ($H' 0.65$ to 0.98), with densities from 72 to 84 Ind.m⁻², and biomass were obtained 7.9 to 10.78 gm⁻², also Hymenoptera was the most predominant followed by Haplotaxida and isopter in the three systems, finally the relationship between soil biomass soil with organic matter and nitrogen, and density of species with K₂O was obtained.

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).
- 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.
- CABRERA, G.; ROBAINA, N. & PONCE DE LEÓN, D. 2011a. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Pastos y Forrajes. 34:331
- CAMAYO, J. 2011. Cuantificación de la macrofauna en relación con las propiedades de los suelos residuales de la laguna Los Milagros – Aucayacu. 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.
- CALZADA, J. 1996. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídica S.A. 3 ed. Lima, Perú. 643 p.
- CEPEDA, D. 1991. Química de Suelos. 2 ed. Trillas S.A., México. 167 p.
- CRESSIE, N. 1991. Statistics for spatial data. New York, John Wiley.
- CONTANTINESCO, L. 1976. Conservación de suelos para países de desarrollo. Boletín N° 10 FAO. Roma.
- 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.
- DORAN, J., LINCOLN, N. 1999. Guía para la evaluación de la calidad del suelo. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>, Documento, 22nov.2005).
- 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. 2001. Soil Biodiversity: What is it? Soil Biodiversity: Portal. Land and Water (AGL). FAO, (<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbi/soilbtxt.htm>).
- 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.
- GARCÍA, B. 1987. Consideraciones edáficas; selección de áreas de cacao. Tingo María. ONUDI. Perú. 233 p.

- 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. 1967. 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).
- 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).
- 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.
- PULGAR, J. 1981. Geografía del Perú. Las ocho regiones naturales del Perú. 8ava edición. Editorial Universo S.A. Lima, Perú.
- 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 Department 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.
- WARDLE, D., BARDGETT, R. 2004. Indirect effects of invertebrate herbivory on the decomposer subsystem. *Ecological Studies* 173: 53:69.
- WELLINGTON J. 1995. Abundancia, Distribuição Vertical e Fenologia da fauna de arthropoda de uma região de água mista, próxima de Manaus, am.
- 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.

ANEXO

Anexo 1. Cuadros datos obtenidos en campo

Cuadro 19. Promedio de la resistencia a la penetración del suelo

Nº Muestra	Sistemas de uso		
	Cacao + plátano	Naranja + cacao	Cacao
1	1.6	1.7	1.5
2	1.5	1.9	1.7
3	1.5	1.8	1.6
Promedio	1.5	1.8	1.6

o

Cuadro 20. Densidad aparente de los suelos en los tres sistemas de uso.

Densidad aparente						
Sistema de uso	Peso		Peso cilindro	Diámetro cilindro	H del cilindro	Volumen
	fresco	Peso seco				
Plat.+ cacao	240.31	243.78	203.5	4.5	7	100.15
Naran.+ cacao	238.12	252.25	203.5	4.5	7	100.15
Cacao	217.68	196.45	203.5	4.5	7	100.15

Cuadro 21. Resultados muestreo de la macrofauna edáfica

Taxonomía	Sistemas de uso de suelos		
	Cacao + plátano	Cítrico + cacao	cacao
Clase - Orden – familia-nombre común			
<i>Insecta -Hymenóptera-formicidae (hormiga)</i>	35	28	32
<i>Clitellata-haplotaxida-lumbricidae (lombriz)</i>	27	24	25
<i>Arachnida-araneae-araneidae (araña)</i>	2	1	1
<i>Insecta-isoptera-termitidae (termitas)</i>	15	10	12
<i>Insecta-coleoptera-elateriforme (escarabajo)</i>	2	1	4
<i>Myriapoda-chilopoda-nn (cien pies)</i>	1	0	1
<i>Insecta-coleoptera-chrysomelidae (escarabajo)</i>	1	0	0
<i>Arachnida-pseudoescorpiones-nn (tijereta)</i>	0	1	0
<i>Malacostraca-isopoda-crustacea (picurito)</i>	0	2	1
<i>Myriapoda-diplopoda-nn (mil pies)</i>	1	1	1
<i>Insecta-coleoptera-tenebrionidae (escarabajo)</i>	0	1	0
<i>Insecta-coleoptera-scarabidae (escarabajo)</i>	0	2	3
<i>Coleóptera-curculionidae-nn (coleóptero)</i>	0	1	0
<i>Gastropoda-gastropoda (caracol)</i>	0	0	1
Total	84	72	81

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 4. Muestreo de suelos sistema de uso cacao



Figura 5. Muestra densidad aparente sistema cítrico más cacao



Figura 6. Muestreo macrofauna edáfica sistema cítrico más cacao



Figura 7. Medición resistencia a la penetración