

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES



CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA
TIERRA SECTOR AFILADOR- TINGO MARIA

Tesis

Para optar el título de:

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

PRESENTADO POR:

KARIN DE LA CRUZ INUMA

Tingo María - Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°062-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 13 de noviembre de 2019, a horas 21:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA
TIERRA SECTOR AFILADOR – TINGO MARÍA”**

Presentado por el Bachiller: **DE LA CRUZ INUMA, KARIN**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENO”**.

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

Tingo María, 31 de julio de 2023

Ing. M.Sc. JOSÉ DOLORES LÉVANO CRISÓSTOMO
PRESIDENTE

Ing. JAIME TORRES GARCÍA
MIEMBRO

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO



Ing. M. Sc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 278- 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA SECTOR AFILADOR- TINGO MARIA	KARIN DE LA CRUZ INUMA	23 % Veintitrés

Tingo María, 13 de octubre de 2023


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION
Dr. Tomas Menacho Mallqui
DIRECTOR

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES



CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA
TIERRA SECTOR AFILADOR –TINGO MARIA

Autor	: KARIN DE LA CRUZ INUMA
Asesor	: Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
Programa de Investigación	: Ciencias básicas
Línea (s) de Investigación	: Biología y microbiología del suelo
Eje temático de Investigación	: Indicadores de la calidad del suelo
Lugar de Ejecución	: Distrito Rupa Rupa – departamento Huánuco
Duración	: Fecha de inicio : 14/11/2017
	Término : 15/10/2018
Financiamiento	: 2 530,20
	FEDU : No
	Propio : Si
	Otros : No

DEDICATORIA

A Dios por iluminar mi camino y darme la
sabiduría necesaria para afrontar con
perseverancia y tenacidad cada reto en mi vida.

Por acompañarme siempre: a mis padres
Juan de La Cruz Majino y Elita Inuma
Malpartida. Razón de ser de mi existencia,
este logro también es suyo.

A mis eternos hermanos, Juan, Liz, Sofía y
Hemmer de la Cruz Inuma, que han deseado
siempre mi realización personal y profesional; el
cariño ha estado presente desde pequeñas a través
de los años.

A mis hijos que son la razón para seguir
adelante: Nicole Elita Cueva de La Cruz,
Angela Briana y Mateo Gianluca Isminio de La
Cruz que son la bendición de mi hogar.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros de jurado de la presente investigación Dr. José Lévano Crisóstomo presidente de jurado de tesis, Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo, Ing. Jaime Torres García miembros de jurado, por los aportes brindados a la presente investigación.

Al Ing. Juan Pablo Rengifo Trigozo, patrocinador del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, mi alma mater por formarme profesionalmente.

A la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por aportar con sus conocimientos a fin de ser mejores profesionales y personas día a día.

A los docentes del Departamento de Conservación de Suelos y Aguas, por sus perseverancias buscando la excelencia en nuestra carrera.

A mi esposo Angel Crhistian Isminio Moreno el agradecimiento eterno, por las horas de esfuerzo y sacrificio para ver cumplidos mis sueños, y mi realización profesional.

A mis amigos, con quienes he compartido momentos inolvidables que tendré grabados en mi corazón.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Marco conceptual.....	4
2.1.1. Suelo	4
2.1.2. Importancia del suelo.....	4
2.1.3. Calidad del suelo.....	5
2.1.4. Muestreo de suelos.....	6
2.1.4.1. Tipos de muestreo	6
2.1.4.2. Formas de muestreo	7
2.1.5. Análisis de suelos.....	7
2.1.6. Propiedades físicas del suelo	8
2.1.6.1. Textura.....	8
2.1.6.2. Clase textural	9
2.1.6.3. Densidad aparente.....	10
2.1.6.4. Resistencia a la penetración.....	11
2.1.6.5. Temperatura	11
2.1.7. Propiedades químicas del suelo	12
2.1.7.1. Reacción (pH).....	12
2.1.7.2. El pH.....	13
2.1.7.3. Escala del pH	13
2.1.8. Materia orgánica	14
2.8.1. Niveles de materia orgánica.....	15
2.1.9. Capacidad de intercambio catiónico	15
2.1.9.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos.....	16
2.1.9.2. Factores del CIC	17
2.1.9.3. Importancia de la capacidad de cambio	17
2.1.10. El nitrógeno en el suelo	18
2.1.11. El fósforo en el suelo	19
2.1.12. El potasio en el suelo	20
2.1.13. Sistemas de producción y prácticas de manejo.....	21
2.1.14. Propiedades biológicas del suelo	22
2.1.14.1. Macrofauna del suelo.....	23
2.1.15. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia funcional	25

2.1.16. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo.....	27
2.1.17. Biomasa microbiana	29
2.1.18. La biodiversidad	29
2.1.18.1. Distribución de la biodiversidad.....	30
2.1.18.2. Valor de la biodiversidad.....	30
2.1.19. Diversidad de especies.....	31
2.1.19.1. Riqueza biológica.....	31
2.1.19.2. Diversidad alfa.....	32
2.1.20. Efecto de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo	33
2.1.21. Importancia de la macrofauna en las propiedades del suelo.....	35
2.2. Estado del Arte.....	35
2.2.1. Antecedentes de investigaciones realizadas	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.1. Lugar de ejecución.....	42
3.1.1. Ubicación política	42
3.1.2. Ubicación geográfica	43
3.1.3. Clima.....	43
3.1.4. Zona de vida.....	43
3.1.5. Geología.....	43
3.1.6. Suelo	44
3.1.7. Fisiografía	44
3.1.8. Pendiente.....	44
3.1.9. Hidrografía.....	44
3.1.10. Accesibilidad.....	44
3.2. Descripción de los lugares de muestreo.....	45
3.2.1. Parcela de <i>Citrus sp</i> (cítrico).....	45
3.2.2. Parcela con <i>Coffea arabica</i> L. (café).....	45
3.2.3. Parcela con <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao).....	45
3.3. Materiales y equipos.....	45
3.3.1. Materiales.....	45
3.3.2. Equipos.....	46
3.4. Tipo y nivel de investigación.....	46
3.4.1. Tipo de la investigación.....	46
3.4.2. Nivel de la investigación.....	47

3.5. Método y diseño de la investigación.....	47
3.5.1. Método de la investigación.....	47
3.5.1.1. Variable independiente.....	47
3.5.1.2. Variables dependientes.....	47
3.5.2. Componentes en estudio.....	48
3.4.3. Diseño de la investigación.....	48
3.6. Enfoque metodológico.....	48
3.7. Metodología.....	49
3.7.1. Determinar las propiedades físicoquímica del suelo (textura, densidad aparente (Da), temperatura, resistencia a la penetración, pH, materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio disponible (K), capacidad de intercambio catiónico (CIC), en los tres sistemas de uso, sector afilador.....	49
3.7.2. Identificar y cuantificar la cantidad y biomasa de organismos edáficos en los tres sistemas de uso, sector afilador.....	52
3.7.3. Determinar la densidad y diversidad de especies de macrofauna en los tres sistemas de uso de la tierra, sector afilador.....	54
3.7.4. Evaluar la relación entre las características físicas-químicas de los tres sistemas de uso con las características biológicas.....	57
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
V. CONCLUSIONES.....	69
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	70
VII. REFERENCIAS	72
ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Tamaño de las partículas del suelo.....	6
2. Agrupamiento general de las clases texturales.....	6
3. Densidad aparente y Densidad relativa de los suelos de acuerdo con su grupo textural.....	8
4. Relación textura/densidad aparente y porosidad del suelo.....	8
5. Niveles de resistencia a la penetración del suelo.....	9
6. Niveles de pH en el suelo	10
7. Intervalos de materia orgánica en el suelo	11
8. Capacidad de intercambio catiónico para un pH >5.5.....	13
9. Capacidad de intercambio catiónico para un pH < 5.....	13
10. Niveles de contenido de nitrógeno	14
11. Niveles de contenido de fósforo disponible	14
12. Niveles de contenido de potasio disponible (K ₂ O).....	15
13. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna	17
14. Actividades de la fauna en los procesos de descomposición y estructura del suelo	19
15. Coordenadas UTM de los tres sistemas de uso de la tierra	28
16. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variables).....	36
17. Textura de los suelos en tres sistemas de uso de la tierra.....	38
18. Densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura de los suelos.....	39
19. Características químicas del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra.....	41
20. Macrofauna del suelo identificados en los tres sistemas de uso de la tierra.....	42
21. Densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra.....	43
22. Densidad de macrofauna a diferentes profundidades en tres sistemas de uso de la tierra ..	44
23. Diversidad biológica metodo de Simpson y Shannon - Wiener en tres sistemas de uso ..	45
24. Correlación entre las propiedades del suelo con la macrofauna en tres sistemas de uso ...	45
25. Parámetros físicos encontrados en los tres sistemas de uso de la tierra	55
26. Unidades taxonómicas encontradas en el sistema de uso con cacao	55
27. Unidades taxonómicas encontrados en el sistema de uso con café	56
28. Unidades taxonómicas encontradas en el sistema de uso con cítricos	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de muestreo de suelos para el análisis físico y químico en los tres sistemas....	32
2. Esquema del plan de muestreo.	34
3. Muestreo de suelo en el sistema de uso con cacao.....	57
4. Medición de la resistencia a la penetración del suelo en el sistema con cacao.....	57
5. Pendiente del suelo en el sistema con cacao.	58
6. Georreferenciación del sistema de uso con cacao	58
7. Muestreo de suelo para densidad aparente en el sistema de uso con cacao.	59
8. Identificación de macrofauna en el sistemas de uso con cacao.....	59
9. Medición de la resistencia del suelo en el sistemas de uso con café.....	60
10. Georreferenciación del sistema de uso con café.....	60
11. Medición de la pendiente del suelo en el sistema de uso con café.....	61
12. Muestreo del suelo en el sistema de uso.....	61
13. Densidad aparente en el sistema de uso con café.....	62
14. Identificación de macrofauna en el sistema de uso con café.....	62
15. Sistema de uso con cítrico	63
16. Muestreo del suelo en el sistema de uso con cítrico.....	63
17. Medición de la resistencia del suelo en el sistema de uso con cítrico	64
18. Georreferenciación del sistema de uso con cítrico	64
19. Lombriz de tierra	65
20. Espécimen del orden Isópoda.....	65

RESUMEN

La investigación se realizó en el sector afilador, distrito de Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado. El objetivo fue determinar las propiedades físicas y químicas del suelo (textura, densidad aparente (Da), temperatura del suelo, resistencia a la penetración del suelo, pH, materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio disponible (K), capacidad de intercambio catiónico (CIC), identificar y cuantificar la cantidad y biomasa de organismos edáficos, determinar la densidad y diversidad de especies de macrofauna y evaluar la relación entre las características físico - químicas de los tres sistemas de uso del suelo con las características biológicas. La evaluación se realizó en tres sistemas de uso de suelo (cultivo de cacao, cítricos y café), a través de un muestreo de suelo y un transecto con cinco monolitos de 25 x 25 x 30 cm de profundidad por sistema. Los suelos de los tres sistemas tienen una textura franca a franca, típica densidad aparente y alta resistencia a la penetración, temperatura de 24,2 °C, química. Hay pobreza en nutrientes, baja fertilidad para cultivos tolerantes a ácidos. La macrofauna presentó 10 órdenes y 17 familias con 361 individuos en los tres sistemas de uso de la tierra, predominantemente los órdenes himenópteros y oligoquetos. A mayor valor del índice de SHANNON mostró una mayor biodiversidad del ecosistema, con un valor mayor al 60% de SIMPSON existe una mayor diversidad, el sistema de aprovechamiento con café y cítrico presentó buena diversidad de especies respectivamente. Los sistemas de uso de suelo ricos en biomasa fueron los cultivos de café y cítricos (11,2 y 10,2 g/m⁻²), debido a la estructura trófica del suelo, compleja y dinámica en los primeros centímetros de profundidad. La abundancia y biomasa de macroinvertebrados en los tres sistemas de uso de suelo se presentó en la capa superficial de 0 - 10 cm. La relación entre las características fisicoquímicas y biológicas determinó que las densidades de microorganismos en el suelo tienen un efecto positivo con el contenido de nitrógeno, un mayor contenido de materia orgánica en el suelo conduciría a una disminución de la resistencia a la penetración, y una buena cantidad de potasio del suelo a un aumento de la biomasa edáfica.

Palabras claves: propiedades, suelos, diversidad, sistemas, abundancia, biomasa.

ABSTRACT

The research was carried out in the sharpener sector, Rupa Rupa district, Leoncio Prado province. The objective was to determine the physical and chemical properties of the soil (texture, apparent density (Da), soil temperature, resistance to soil penetration, pH, organic matter (MO), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium available (K), cation exchange capacity (CIC), identify and quantify the amount and biomass of edaphic organisms, determine the density and diversity of macrofauna species and assess the relationship between the physical - chemical characteristics of the three systems of use of the land with the biological characteristics. The evaluation was carried out in three land use systems (Cocoa, citrus and coffee cultivation), through a soil sampling and a transect with five monoliths of 25 x 25 x 30 cm depth per system. The soils of the three systems of land use have a frank to loamy texture, typical apparent density and high penetration resistance, temperature of 24,2 ° C, chemical. There is poverty in nutrients, low fertility for acid-tolerant crops. The macrofauna presented 10 orders and 17 families with 361 individuals in the three systems of land use, predominantly the hymenoptera and oligochaeta orders. Higher value of the SHANNON index showed a greater biodiversity of the ecosystem, with a value greater than 60% of SIMPSON there is a greater diversity, the use system with coffee and citrus presented good diversity of species respectively. The land use systems rich in biomass were coffee and citrus crops (11,2 and 10,2 g/m²), due to the trophic structure of the soil, complex and dynamic in the first centimeters of depth. The abundance and biomass of macroinvertebrates in the three land use systems was presented in the 0 - 10 cm surface layer. The relationship between the physicochemical and biological characteristics determined that the densities of microorganisms in the soil have a positive effect with the nitrogen content, a higher content of organic matter in the soil would lead to a decrease in penetration resistance, and a good amount of potassium from the soil to an increase in edaphic biomass.

Keywords: properties, soils, diversity, systems, abundance, biomass.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable que sufre degradación cuando se utiliza para actividades agrícolas sin el control adecuado, lo que limita su capacidad productiva y su idoneidad. Como parte del dispositivo natural y social, cumple características fundamentales de naturaleza biológica, nutritiva, depurativa y de ayuda mecánica. Alberga numerosas y numerosas especies microbianas, animales y vegetales responsables de la actividad metabólica, crítica para la formación, el funcionamiento y la fertilidad del suelo, lo que provoca el deterioro del suelo agradable.

Los suelos de la provincia de Leoncio Prado son objeto de distintas prácticas agrícolas que, al ser utilizadas sin el debido control, afectan su potencial productivo, perdiendo por ello su integridad estructural y orgánica. A partir del momento en que un sistema herbáceo é alterado para aumentar las actividades agrícolas, los mejores cambios surgen dentro de las propiedades del suelo y su biota asociada.

La presente investigación se justifica contemplando la necesidad de identificar aquellas prácticas agrícolas o usos insuficientes del suelo que tienen un efecto nocivo sobre la grandeza del suelo; para ello, la investigación determinará la bondad de los suelos tomando como referencia las características físicas, químicas y biológicas que tal información nos permitirá reconocer su funcionalidad en el corto, mediano y largo plazo, con miras a su recuperación o auge.

Sin embargo, pese a la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece, por lo que urge el reto de enfrentar el triple desafío de intensificar, preservar e incrementar su calidad; para tal efecto es necesario conocer la calidad del suelo en tres sistemas de uso de la tierra en el sector afilador provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, por lo que se genera la siguiente interrogante: ¿los sistemas de uso influyen en la calidad del suelo en el sector afilador, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado? Por consiguiente, se plantea la hipótesis: Ha: los sistemas de uso influyen en la calidad del suelo en el sector afilador, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado; Ho: los sistemas de uso no influyen en la calidad del suelo en el sector afilador, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado”. En base a lo propuesto se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Determinar la calidad del suelo en diferentes sistemas de uso sector afilador, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado.

1.2. Objetivo específico

- Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo (textura, densidad aparente (Da), temperatura, resistencia a la penetración, pH, materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio disponible (K), capacidad de intercambio catiónico (CIC), en los tres sistemas de uso sector afilador.
- Identificar y cuantificar la cantidad y biomasa de organismos edáficos en los tres sistemas de uso, sector afilador.
- Determinar la densidad y diversidad de especies de macrofauna en los tres sistemas de uso, sector afilador.
- Evaluar la relación entre las características físicas – químicas de los tres sistemas de uso con las características biológicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco conceptual

2.1.1. El suelo

El MINAG (2011) Explica que el suelo es un sistema dinámico y complejo donde emergen fenómenos físicos, químicos y biológicos de nivel profundo. Cubre la superficie de la corteza terrestre como una manta ininterrumpida. Además de ayudar y aportar nutrientes a las plantas, el suelo también alberga una variedad de organismos, según Álvarez (2008); de hecho, los suelos albergan algunos de los grupos biológicos más diversos del planeta. Mientras que Kramer (1989) afirma que el suelo es un sistema complejo formado por diferentes proporciones de cuatro componentes: aire, suelo disuelto, materia orgánica muerta y restos de minerales o rocas, que conforman la matriz sólida y su espacio poroso, respectivamente.

2.1.2. Importancia del suelo

Chilón (2014) explica que el suelo es un cuerpo herbáceo e imparcial, complejo y dinámico, que se encuentra en el mejor equilibrio, reacciona a los estímulos como un "ente vivo", nace, crece, se desarrolla y puede morir, y merece ser apreciado por su fragilidad. El suelo que se origina de la roca "madre" que promueve la manera geológica mediante los movimientos de los minoristas climáticos, y manera a los microorganismos cobrar "existencia" y emerger como un cuerpo "residente", en consecuencia la idea para la curación de suelos eficientes, degradados, contaminados es regenerar la vida biológica del suelo.

2.1.3. Calidad del suelo

Jiménez y González (2006) cómo los datos sobre la biología física, química y del suelo que proporciona el agradable es la herramienta ideal para determinar o conocer en qué estado de deterioro se encuentra el suelo en un momento determinado, así como qué medidas son necesarias para un mayor funcionamiento. Doran y Parkin, 1994; citado por Jiménez y González, (2006) mencionan que la calidad del suelo es una característica que depende de la integración de diferentes residencias fisicoquímicas y orgánicas, resultados de manejo y estructuras de cultivo, junto con las condiciones climáticas. Es dinámico y algunas poblaciones o rasgos particulares, al ser sensibles a pequeños ajustes de diversa índole, consistentes en el control agronómico, pueden actuar como signos de alta calidad.

La excelencia y la aptitud del suelo son conceptos iguales, que no siempre se consideran sinónimos (Doran y Parkin, 1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un fin específico a lo largo de una amplia escala temporal (Carter et al., 1997).

El reino de las casas dinámicas del suelo junto con el material orgánico ser contado contenido, la variedad de organismos, o mercancía microbiana en un momento seleccionado constituye la aptitud del suelo (Romig et al., 1995).

Debido a la falta de distinción entre tierra y suelo en el pasado, esta idea a menudo se equiparaba con la productividad agrícola. Las buenas tierras eran aquellas que aumentaban la producción y al mismo tiempo reducían la erosión. Se habían desarrollado estructuras basadas en esas ideas para categorizarlas. (Doran y Parkin, 1994).

Aunque la tecnología del suelo es importante, no se ha desarrollado hasta el punto de poder especificar lo que se entiende por excepcional. (Rodríguez, 2012).

2.1.4. Muestreo de suelos

Dado que será necesario el cumplimiento del análisis, se trata de una práctica muy delicada si el patrón se ha interpretado incorrectamente, unos buenos métodos o equipos de laboratorio no ayudarán mucho. El muestreo debe tener en cuenta los diferentes tipos de suelos en función de la ubicación del terreno y la intensidad del perfil. Un técnico de laboratorio debe manipular (manejar) muestras adecuadamente y utilizar el equipo y los reactivos adecuados para producir un análisis de suelo preciso, entre otras cosas. (Forsythe, 1975).

2.1.4.1. Tipos de muestreo

- **Muestreo del perfil del suelo.** Consiste en el muestreo de cada horizonte tanto como la fase de manejo. Las muestras pueden utilizarse para la categoría taxonómica, la cartografía del suelo y la investigación de la fertilidad de las capacidades.

- **Muestreo superficial del suelo.** Implica recolectar muestras de la capa cultivable, que suele tener entre 20 y 30 cm de espesor. Para diagnosticar la fertilidad actual y determinar las aplicaciones de fertilización, se realiza este muestreo.

2.1.4.2. Formas de muestreo

Los suelos cambian de horizontal (suelo) como vertical (profundidad), por lo que en el muestreo es muy importante incluir toda la variabilidad para reducir al máximo la heterogeneidad del suelo y obtener un resultado medio de evaluación. Para ello, la muestra debe ser una muestra compuesta. Ésta se compone de 20 a 30 submuestras o muestras individuales tomadas de diferentes puntos de cada zona delimitada para estudiar el campo y, al comienzo del muestreo, el suelo del sector debe limpiarse para evitar posibles contaminaciones. No deben mezclarse las muestras de una misma masa. Las muestras de suelo no deben tomarse en la parte más baja de zanjas, lugares en los que se acumule material vegetal, lugares en los que se hayan producido quemaduras, regiones pantanosas o zonas en las que se hayan

acumulado sales. Las proximidades del terreno elegidas para el muestreo tienen que ser homogéneas para el objetivo de la evaluación y, por lo tanto, tener mayor precisión (Azabache, 1991).

2.1.5. Análisis de suelos

Es una técnica que utiliza técnicas analíticas físicas y/o químicas para medir la fertilidad del suelo. El método implica extraer un componente del suelo y ponerlo en una forma que pueda identificarse con la ayuda de técnicas analíticas. (Forsythe, 1975).

2.1.6. Propiedades físicas del suelo

Según Chen (2000), los indicadores deberían incluir la profundidad del suelo, la densidad aparente, la tasa de infiltración de agua en el suelo y la textura del suelo. Brejeda y Moorman (2001), declarado por el uso de Acevedo et al. (2005) sostienen que la relación entre la textura del suelo y la disponibilidad de agua, la porosidad y la infiltración; la relación entre densidad aparente y conductividad hidráulica; y la relación entre la estabilidad de la combinación y la resistencia a la erosión y el contenido material del suelo. Según Sánchez (2007), las características se refieren a las particularidades que ayudan a identificar el suelo, como textura, estructura, color, composición mineralógica, densidad evidente, etc. Las propiedades, por su parte, hace referencia al comportamiento que muestra el suelo como consecuencia de sus propiedades, como por ejemplo, capacidad de retención de humedad, coeficientes hídricos, aireación, porosidad, permeabilidad, etc.

2.1.6.1. Textura

Se utiliza para expresar en porcentaje cuánta arena, limo y arcilla hay. La mayoría de las partículas efectivas en la porción mineral del suelo con diámetros inferiores a 2 mm son relevantes para la edafología. (Sánchez, 2007). Es la distribución de las fracciones de arena, limo y arcilla en el suelo; excluye los desechos minerales mayores que la arena (2 mm de diámetro), que pueden considerarse modificadores de la textura y se denominan grava (0,1-2 cm), grava (2-5 cm), guijarros (15-25 cm), rueda (25-50 cm) y bloques (50 cm). Dentro de este grupo se tienen en cuenta los agregados estables por el impacto de la dependencia orgánica. (Wild, 1992). Según Plaster & Eduard (2000), La disponibilidad y el movimiento de la humedad del suelo, la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la vigilancia de las raíces están influenciados por la textura del suelo. Además, afecta las características físicas del suelo que son susceptibles a la degradación, como la agregación del suelo, la disponibilidad de

humedad del suelo, la aireación del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la resistencia a la penetración de las raíces.

Tabla 1. Tamaño de las partículas del suelo.

Tamaño de las partículas del suelo	
Nombre del componente	Diámetro (mm)
Arena muy gruesa	2.00 – 1.00
Arena gruesa	1.00 – 0.50
Arena media	0.50 – 0.10
Arena fina	0.25 – 0.10
Arena muy fina	0.10 - 0.05
Limo	0.05 – 0.002
Arcilla	menos de 0.002

Fuente: laboratorio de análisis de suelos de la UNAS

2.1.6.2. Clase textural

Estas combinaciones son tan numerosas porque la base de las clases de textura son mezclas excepcionales de limo, arena y arcilla. Sin embargo, sólo se han establecido doce instrucciones texturales fundamentales, y éstas están indexadas de acuerdo con la creciente fracción satisfactoria del suelo, se denominan: (Zavaleta, 1992).

Tabla 2. Agrupamiento general de las clases texturales

Grupo textural	Denominación empírica	Clases Textural
Arenoso	Suelos de textura gruesa (Ligeros)	Arenas
		Arenas Franca
Franco	Suelo de textura moderadamente gruesa	Franco Arenoso
		Franco Arenoso fino
	suelos de textura media (Mediano)	Franco Arenoso muy fino
		Franco Franco Limoso

		Limoso
		Franco Arcilloso
Arcilloso	suelos de textura moderadamente fina (Pesado)	Franco Arcillo Arenoso
		Franco Arcillo Limoso
		Arcillo-Arenoso
	suelos de textura fina (Muy pesado)	Arcillo-Limoso
		Arcilloso

Las combinaciones de arena, limo y arcilla normalmente se describen de las siguientes maneras:

- textura fina; suelos formados por partículas de arcilla
- textura media; suelos de naturaleza limosa
- textura gruesa; suelos con alto contenido de arena.

2.1.6.3. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo, una medida más errática que también depende de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura, está influenciada por qué tan suelto o poroso es el suelo. (Sánchez, 2007). La relación entre la masa del suelo secado al horno y el volumen total, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas, se conoce como densidad aparente. Según USDA (1999), las densidades aparentes en suelos con altas proporciones de arcillas expandibles varían con el contenido de agua, el cual debe determinarse en el momento del muestreo. Las densidades de las partículas minerales se encuentran en los suelos arenosos, arcillosos entre 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.

Los indicadores de compactación y limitaciones en el crecimiento de las raíces incluyen la densidad aparente del suelo. La DA del suelo normalmente cae entre 1,0 y 1,7 g/cm³ y incrementa con la profundidad del perfil. (Acevedo y Martínez, 2003).

Los suelos más arenosos frecuentemente tienen valores más altos entre 1,35 y 1,85 kg/dm³ debido a la relación entre la densidad y la textura del suelo (Jaramillo, 2003). Según Lok (2005), los sistemas agroforestales tienen mayores posibilidades de recuperar la densidad del suelo que los cultivos de café cultivados a pleno sol.

Según Dalurzo et al. (2002), los valores de densidad parecen explicar mejor el impacto del manejo del suelo, sirviendo como un mejor indicador de la calidad del suelo y demostrando el impacto en la estructura.

Tabla 3. Densidad aparente y Densidad relativa de los suelos de acuerdo con su grupo textural.

Grupo textural	g/cm³	
Bouyoucos	Da	Dr
Franco arenoso	1,35 – 1,44	2,53 – 2,63
Franco	1,34 – 1,50	2,56 – 2,66
Limoso	1,35 – 1,49	2,45 – 2,65
Franco limoso	1,24 – 1,54	2,49 – 2,58
Franco arcilloso	1,35 – 1,49	1,74 – 2,78
Arenoso	1,34 – 1,49	2,58 – 2,66
Arcillo limoso	1,24 – 1,46	2,49 – 2,59
Arcilla	1,18 – 1,34	2,54 – 2,64

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

Tabla 4. Relación textura/densidad aparente y porosidad del suelo.

Clase textural	Da g/cm³	% Porosidad
Arenoso	1,6 – 1,8	30 - 35
Franco Arenoso	1,4 – 1,3	35 - 40
Franco	1,3 – 1,4	40 - 45
Franco Limoso	1,2 – 1,3	45 - 50
Arcilloso	1,0 – 1,2	50 - 60

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

2.1.6.4. Resistencia a la penetración

Ferreras *et al.* (2007) llegaron a la conclusión de que los suelos presentaron pérdida de carbono orgánico y estabilidad estructural, lo que aumentó la susceptibilidad a la compactación del suelo. Esos suelos, sin embargo, también mostraron mejores características estructurantes y menor resistencia a la penetración, lo que puede sugerir un mejor comportamiento frente a factores que inciden en la degradación. Además, los suelos compactados presentaron agregados con inestabilidad estructural.

Según USDA (1999), los cambios en la porosidad del suelo, la resistencia mecánica y la densidad aparente tienden a limitar el crecimiento de las raíces a niveles críticos. Entre los rangos de bajo $> 2 \text{ g/cm}^3$, medio 2 g/cm^3 y alto o adecuado $< 2 \text{ g/cm}^3$ se encuentra la resistencia del suelo.

Tabla 5. Niveles de resistencia a la penetración del suelo.

k/cm²	Nivel de resistencia
< 1	Suelos muy suaves
1 - 2	Suelos suaves
2 - 3	Suelos duros
3 - 4	Suelos muy duros
> 4	Suelos extremadamente duros

Fuente: Bazán (1996), citado por Huamán, (2021)

2.1.6.5. Temperatura

Cuando se tienen en cuenta los balances de energía de onda corta y onda larga, la cantidad de radiación neta que llega a la superficie de la Tierra determinará la cantidad de calentamiento del suelo. Los factores externos determinan cuánta radiación neta llega a la superficie del suelo. Una cubierta vegetal significativa reduce la cantidad de radiación global al alterar el albedo y el efecto de sombra, lo que disminuye la radiación directa. (USDA, 1999).

2.1.7. Propiedades químicas del suelo

El análisis del pH de un suelo y sus constituyentes químicos (nutrientes) está incluido en la definición de composición química del suelo. Su análisis es fundamental para seleccionar las plantas más adecuadas, gestionar de forma más eficaz la fertilización de los cultivos y conseguir los mejores rendimientos de los cultivos. (Acevedo *et al.*, 2005). Huerta (2010) analiza la composición química del suelo, incluidos sus componentes orgánicos e inorgánicos, así como los fenómenos que se producen por la interacción de estos elementos. Según Álvarez (2008), los rasgos químicos importantes incluyen la presencia de macro y micronutrientes, el pH y la capacidad de realizar un intercambio catiónico. Puedes crear un sustrato adecuado para el crecimiento del cultivo logrando un equilibrio entre estos tres elementos.

2.1.7.1. Reacción (pH)

La característica química más importante de un suelo, expresada en términos de pH, puede ser la reacción del suelo. Esto afecta las características químicas y biológicas del suelo, así como la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes (Fassbender, 1987). Según Sánchez (2007), la reacción del suelo afecta profundamente no sólo la existencia de los microorganismos y los procesos significativos en los que intervienen, sino el grado en que son asimilables muchos elementos químicos cruciales para la planta.

2.1.7.2. El pH

El pH 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 (Arévalo y Sanco, 2002). A $pH = 7$ 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).

2.1.7.3. Escala del pH

Establecida en una recta numérica que va del 0 al 14, en la tierra se encontraron valores entre 3,5 y 1,0. La Tabla 6 proporciona algunas conclusiones generales y valores de pH, pero debido a su importancia en el uso de la tierra, el grado de acidez y alcalinidad se ha modificado significativamente para corresponder con esas conclusiones. (Zavaleta, 1992).

Entre 6,5 y 7,5 es el rango de pH ideal para el desarrollo de las plantas. Debido a la toxicidad, los valores de pH por encima o por debajo de este rango pueden ser problemáticos. Es más probable que surjan problemas en suelos con un pH entre 5,8 y 7,5 que en suelos con un pH mayor o menor.

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).

Tabla 6. 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: Soil Survey Staff (1993).

2.1.8. Materia orgánica

Los autores se refieren al componente orgánico que es vital para el suelo como humus o materia orgánica. Aunque no existe una definición universalmente aceptada de humus, generalmente se entiende que hace referencia a "una variedad de sustancias orgánicas, de color marrón o negruzco, que se producen por la descomposición de materiales orgánicos

que son únicamente de origen vegetal". Su valor en el suelo se determina multiplicando su contenido total de N por 20 porque contiene alrededor del 5% de nitrógeno (Navarro, 2003). Asimismo, según Zavaleta (1992), la materia orgánica es necesaria para que un suelo tenga una constitución saludable. El compost se puede aplicar a suelos arenosos para mejorar su consistencia, y los suelos arcillosos también pueden beneficiarse de la adición de materia orgánica.

2.1.8.1. Niveles de materia orgánica

Se demostró el contenido de MO es extremadamente variable. Por lo tanto, a nivel regional, el mismo valor numérico tendría significancia. En un valle aluvial de la costa, el 2 por ciento es alto, pero en las montañas es bajo, y en el Amazonas es este valor promedio. Por lo tanto, los niveles de bajo, medio alto y muy alto deben evaluarse a nivel regional y de acuerdo con los requisitos de un cultivo en particular. (Fassbender, 1987; Navarro, 2003).

Tabla 7. Intervalos de materia orgánica en el suelo

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

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.1.9. Capacidad de intercambio catiónico

Una de las propiedades necesarias de la tierra es su CIC, que se refiere a su capacidad de retener cationes cargados positivamente a pesar de tener sus propias cargas negativas (complejo coloidal). Existe una correlación entre textura y variabilidad, esta última aumenta en suelos de textura fina y disminuye en suelos de textura gruesa porque las arenas y las margas arenosas son deficientes en humus y arcilla coloidal.. (Fassbender, 1987).

2.1.9.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos

En términos de crecimiento vegetal, el calcio (Ca), el magnesio (Mg), el potasio (K), el amonio (NH_4^+), el sodio (Na) y el hidrógeno (H) son los cationes más importantes. Los primeros cuatro son nutrientes que contribuyen directamente al crecimiento de las plantas. La humedad y la disponibilidad de nutrientes están significativamente influenciadas por el sodio y el hidrógeno. Una parte importante de los cationes en suelos ácidos son hidrógeno y aluminio en diversas formas.

Los tipos, cantidades y combinaciones de materia orgánica, así como los tipos, cantidades y estados de descomposición de los minerales arcillosos, afectan la

CIC. Con energías de enlace diferentes, los cationes no se retienen. Los cationes sólo se unen esporádicamente a los sitios de intercambio de la MO. Los cationes divalentes como Ca^{2+} y Mg^{2+} están más firmemente unidos por arcillas de alta capacidad de intercambio que el K^+ . La disponibilidad de nutrientes puede verse afectada por esta cualidad. Para un determinado nivel analítico o porcentaje de saturación de un elemento, los suelos con arcillas caoliníticas exhibirán una mayor disponibilidad relativa debido a su menor energía de enlace.

Se denomina base saturada si la CIC está neutralizada principalmente por Ca, Mg, K y Na. Sin embargo, el suelo tiene una saturación de bases baja o una saturación de ácido alta si los cultivos o los lixiviados han eliminado la mayoría de los cationes básicos. La saturación ácida está determinada por las cantidades totales de cationes ácidos en relación con la CIC. Esto sirve como indicador de cuánta cal requiere aplicar un suelo. (Cepeda, 1991).

2.1.9.2. Factores de CIC

El tamaño de las partículas es uno de los muchos elementos que determinan la CIC del suelo. La capacidad de cambio aumenta con el tamaño de las partículas y depende del tipo de cationes intercambiables (monovalentes, divalentes, grandes, etc.). 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+} . A excepción de los protones y el aluminio, que constituyen la llamada acidez de reserva, todos los cationes adsorbidos se consideran bases. La cantidad de bases presentes en relación con la capacidad total de intercambio catiónico (CIC) se expresa como porcentaje de la saturación de bases.

2.1.9.3. 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.

Tabla 8. 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)

Tabla 9. 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)

2.1.10. El nitrógeno en el suelo

Debido a esto, la mayor parte del N en los suelos minerales está en la materia orgánica que las plantas y los microorganismos que dependen de ellos mueren y dejan en el suelo. Así el N es aprovechable por las plantas. La cantidad de N en el suelo cambia más que la de otros nutrientes que también se absorben y son necesarios para el crecimiento de los cultivos (Navarro, 2003). Los aportes de MO y la fijación bacteriana del nitrógeno del aire permiten que el nitrógeno llegue al suelo. Las plantas, los animales y los microorganismos lo utilizan en el suelo y lo incorporan a sus tejidos. (Fernández, 2006). Para Sánchez (1981) Muchos suelos tienen niveles bajos de nitrógeno debido a su dinámica y ciclo biogeoquímico únicos. El N ingresa al suelo a través de aportes de MO (fertilizantes orgánicos (estiércol) y residuos de cultivos) y procesos de fijación bacteriana de la atmósfera.

Tabla 10. Niveles de contenido de nitrógeno.

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	< 0,1
Medio	0,1 – 0,2
Alto	> de 0,2

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.1.11. El fósforo en el suelo

El macronutriente que más restringe el rendimiento de los cultivos es el fósforo. Se considera un nutriente crucial para las plantas porque afecta una amplia gama de fases bioquímicas celulares. La única fuente de entrada al sistema es la adición de fertilizantes fosfatados, y las únicas fuentes importantes de producción son la extracción de los granos cosechados, la erosión, la escorrentía y la lixiviación. (Navarro, 2003) que se asimile, es necesario que esté como H_2PO_4^- o HPO_4^{2-} , en la disolución del suelo. De manera similar, dado que la forma HPO_4^{2-} del fósforo es la más asimilable, la absorción de P por los cultivos sería típica a pH bajo, es decir, cuando la solución del suelo tiene una acidez notable (Navarro, 2003). La concentración promedio de este elemento es de 180 mg/kg, a pesar de que Sánchez (1981) menciona que está relacionado con la cantidad de MO y la textura del suelo. Sin embargo, este elemento se ve obstaculizado por la fijación al suelo.

Tabla 11. 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)

2.1.12. El potasio en el suelo

Es un componente crucial de la nutrición de todos los seres vivos. Al igual que la necesidad de nitrógeno, las verduras requieren grandes cantidades de este nutriente. Se sabe que el dióxido de potasio activa más de 60 enzimas, que es una parte importante de muchos procesos metabólicos como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la síntesis de carbohidratos. El dióxido de potasio también afecta el equilibrio hídrico y el crecimiento merismático. El K promueve el desarrollo vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad del fruto al participar en estos procesos metabólicos (Navarro, 2003). Según Guerrero (2000), es un nutriente necesario para todos los seres vivos. Al igual que la necesidad de nitrógeno, las verduras requieren grandes cantidades de este nutriente. Se sabe que el potasio activa más de 60 enzimas, que es una parte importante de muchos procesos metabólicos como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la síntesis de carbohidratos. El potasio también afecta el equilibrio hídrico y el crecimiento meristemático. K promueve el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos al participar en estos procesos metabólicos.

Tabla 12. 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)

2.1.13. Sistemas de producción y prácticas de manejo

Tan pronto como se altera un sistema natural para sustentar las actividades agrícolas, comienzan a ocurrir los mayores cambios en las propiedades del suelo, así como en la abundancia, biomasa y diversidad de la biota del suelo. El grado de cambio inducido en relación con el ecosistema natural y la capacidad de adaptación de los organismos determinarán las comunidades que estén presentes. (Brown *et al.* 2001).

La cantidad de materia orgánica aumenta, el suelo se vuelve más estable, puede almacenar más agua y se reducen las fluctuaciones de temperatura en el suelo. (Brown *et al.* 2000). Los invertebrados se benefician de los desechos de la superficie de varias maneras, incluso como fuente de alimento, hábitat y como medio para ayudar a mantener el microclima del suelo. (FAO, 2002).

Dependiendo de la variación espacial y temporal, existen dos formas de analizar el impacto de la vegetación. El tipo, diversidad y manejo de las especies vegetales tienen un impacto en la macrofauna del suelo. (Dubs *et al.* 2004). La hojarasca es más heterogénea en ambientes con una cobertura vegetal diversa, como pastos o campos naturales, y como resultado, hay más recursos disponibles para la colonización, lo que conduce a un incremento de la diversidad de la fauna del suelo. (FAO, 2002).

2.1.14. Propiedades biológicas del suelo

El beneficio de actuar como indicadores tempranos del deterioro o mejora del suelo proviene del hecho de que las características biológicas del suelo son muy dinámicas. Como indicadores biológicos, Sánchez (2007) utiliza el potencial de mineralización del nitrógeno, la respiración edáfica y el C y N de la biomasa microbiana.

El rendimiento de los cultivos y el número de gusanos también se consideran indicadores biológicos. Además, responden rápidamente a los cambios en el uso de la tierra, son sensibles al estrés ambiental y son fáciles de medir. Las características biológicas y bioquímicas, como la respiración del suelo, la biomasa microbiana, las actividades enzimáticas,

los microorganismos y otras, son más sensibles y útiles para interpretar la dinámica de la MO y en las fases que transforman los residuos orgánicos.(Acevedo y Martínez, 2003). Mientras que Restrepo (2002) afirma que la actividad de organismos fijadores de N, simbióticos o de vida libre, así como de organismos depredadores de desechos orgánicos que consiguen energía de esos desechos y que participan en la mineralización de los nutrientes presentes en los desechos, son entre las propiedades microbiológicas.

Según Cabrera (2014), la cuantificación de variables biológicas es suficiente para revelar la propensión de un suelo a aumentar o disminuir la cantidad de materia orgánica y, como resultado, reflejar rápidamente el impacto de los cambios de manejo. Se cree que las prácticas de gestión afectan a la población microbiana, pero algunos estudios no han encontrado diferencias.

2.1.14.1. Macrofauna del suelo

Según Ramírez y Gonzales (1999), la macrofauna está formada por criaturas con un tamaño entre 2 y 20 milímetros. La macrofauna puede construir galerías para vivir y moverse activamente por el suelo. Este grupo está formado por oligoquetos (lombrices de tierra), isópodos, quilópodos, diplopodos, arácnidos, moluscos y formícidos.

Se les conoce como macroinvertebrados, y según Coyne (2000) incluyen organismos con un diámetro mayor a 2 mm y una longitud que oscila entre 10 y 200 mm. Porta *et al.* (1999) Se comparan con todos los visibles a simple vista, organismos de tamaño variable que conforman la fracción orgánica del suelo junto con otros organismos, plantas secas y residuos de origen animal.

Los animales con un ancho corporal de más de 2 mm que se clasifican en varios filos, clases y órdenes forman este grupo.

Tabla 13. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la Macrofauna.

Filo	Clase	Sub-Clase	Orden
Annélida	Clitellata	-	Oligochaeta
	Arachnida	-	Aránea
Arthropoda	Insecta	-	Coleóptera
			Díptera
			Hemíptera
			Hymenoptera
			Homoptera
			Isóptera

			Orthóptera
	Crustacea	-	ispóda
	Myriapoda	Chilopoda	
		Diplopoda	
Nemátoda	Adenophorea	-	Mermithida
Mollusca	Gastropoda	-	

Fuente: (CURRY Y GOOD, 1992)

La variedad de estos organismos y el nivel de su actividad tienen un impacto en la distribución del agua en el perfil, la severidad de la erosión, el crecimiento de las plantas y las emisiones de gases a la atmósfera (Curry y Good, 1992). En general, los organismos edáficos prefieren los ambientes húmedos. Cuando falta agua, se desplazan a zonas más profundas del perfil y se distribuyen más ampliamente. (Verhoef y Van Selm, 1983). El contenido de humedad es tan crucial que las densidades de población de macrofauna en suelos con muy bajo contenido de nutrientes pero niveles de humedad suficientes son significativamente más altas que las de suelos ricos en nutrientes pero más secos. (Luismo *et al.*, 2002).

- Importancia de la macrofauna del suelo

Dado que los niveles tróficos de la biota del suelo son responsables de la descomposición gradual de los desechos orgánicos, lo que permite el proceso de reciclaje de nutrientes, la biota del suelo tiene un impacto significativo en la dinámica de los nutrientes. Estos organismos también alteran y producen agregados, aumentan la porosidad y la infiltración de agua, y alteran las propiedades físicas del suelo formando galerías y túneles. (Lok, 2005).

2.1.15. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia funcional

Según Lavelle *et al.* (1992), citados por Brown *et al.* (2000), Los organismos que componen la fauna edáfica de la Tierra viven toda o una parte de su vida en la superficie inmediata del suelo, en troncos en descomposición y en la hojarasca. (e.g. tuzas). Para que estos organismos sobrevivieran en el suelo, tuvieron que adaptarse a un ambiente confinado con bajas concentraciones de oxígeno y luminosidad, pocos espacios abiertos, baja disponibilidad y baja calidad de alimentos. La fauna animal más destacada de los trópicos se conoce como macrofauna, que incluye invertebrados con un diámetro mayor a 2 mm y que son fácilmente visibles en la superficie o en el suelo. Sus componentes incluyen hormigas, termitas, gusanos, escarabajos, arañas, larvas de moscas y mariposas, caracoles, milpiés y ciempiés. Los escarabajos suelen ser los más diversos de estos organismos (tienen la mayor cantidad de

especies), aunque las termitas, las hormigas y las lombrices de tierra suelen dominar en términos de abundancia y biomasa. Toda la macrofauna puede tener una biomasa de varias toneladas por hectárea y una abundancia de varios millones de individuos por hectárea. La diversidad de la macrofauna edáfica tropical puede superar el millar de especies en ecosistemas complejos, a pesar de que aún no contamos con información exacta sobre este tema. (como los bosques tropicales).

Los mismos autores señalan que existen tres categorías de macrofauna: organismos epigeos, endógenos y anécicos. Cada categoría juega un papel específico en el funcionamiento del ecosistema edáfico, aunque los individuos dentro de la misma categoría (como los endógenos) pueden tener diferentes efectos en el suelo. La mayoría de los epigeos se alimentan de hojarasca (macroartrópodos detritívoros, pequeñas lombrices pigmentadas), mientras que algunos (larvas de mariposa, caracoles) consumen plantas vivas y otros (arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos) son depredadores de otros animales. El trabajo principal de los epigeos es romper la hojarasca y acelerar la descomposición.

2.1.16. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo

La fauna que excava tritura y combina los componentes de la tierra, esto ayuda a estructurarlo y promueve el desarrollo de horizontes Bw, permeabilidad y aireación. Debido a los efectos de la bioturbación (perturbación de la fauna), algunas de sus características pueden desaparecer cuando actúa sobre horizontes preexistentes. Cuando predomina una determinada población animal, el volumen trabajado por la fauna tiende a homogeneizarse, lo que establece una diferencia muy marcada respecto al material subyacente. El epipedio puede sufrir modificaciones importantes como resultado de una actividad biológica extremadamente intensa y, como resultado, puede volverse muy espeso y estar compuesto casi en su totalidad por excrementos y galerías rellenas. Este tipo de horizonte, que es típicamente un epipedio mólico, se identifica por el elemento formador de grupos grandes Verm (como en Verudoll o Vermustoll). (Blair *et al.*, 1996).

Los artrópodos, especialmente los colémbolos, que viven en los 5 cm superiores del suelo, constituyen la mayor parte de la macrofauna. Los colémbolos aumentan la superficie de la materia orgánica al romperla. Al mezclar materia orgánica y componentes minerales, las lombrices de tierra tienen un papel crucial en el suelo. Se cree que la cantidad de suelo contenida en los 22 cm superiores de un suelo es llevada a la superficie por las lombrices de tierra en 50 años a un ritmo de 10 toneladas por 0,4 ha/año en promedio.

Tabla 14. Actividades de la fauna en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.

Categoría	Ciclaje de nutrientes	Estructura del suelo
Microfauna (4 μm – 100 μm)	Regulan las poblaciones de bacterias y hongos. Alteran el ciclaje de nutrientes	Pueden afectar la estructura del suelo a través de interacciones con la microflora.
Mesofauna (100 μm – 2 mm)	Regulan las poblaciones de hongos y de la microfauna. Alteran el ciclaje de nutrientes. Fragmentan detritos vegetales.	Producen pelotas fecales. Crean bioporos. Promueven la humificación.
Macrofauna (2 mm – 20 mm)	Regulan los hongos y la microfauna. Estimulan la actividad microbiana.	Descomponen partículas orgánicas y minerales Redistribuyen la materia orgánica y microorganismos Promueven la humificación. Producen pelotas fecales.

Fuente: CORREIA (2000).

2.1.17. Biomasa microbiana

Peso total de microorganismos vivos presentes en un volumen o peso de suelo determinado. Masa total de microbios en un ambiente específico. (Cárdenas, 2008).

2.1.18. La biodiversidad

Halfiter *et al.*, (2001) citar la definición de biodiversidad del Convenio sobre la Diversidad Biológica, que explica que es la variedad de seres vivos de todas las fuentes, como los ecosistemas terrestres y marinos, otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte estos ecosistemas. También incluye la diversidad dentro de cada especie, entre especies y de ecosistemas. Una manera directa y fácil de aprender sobre la diversidad biológica es inventariar el área. Un inventario implica la catalogación de los componentes presentes en un momento y lugar específicos. Teóricamente, los inventarios implican muestrear, catalogar, cuantificar y mapear diferentes tipos de entidades, incluidos genes, personas, poblaciones, especies, ecosistemas y paisajes, así como combinar los datos para el estudio. Los inventarios deben contener algo más que listas. En términos generales, combinan datos ecológicos sistemáticos para dar una imagen de la biodiversidad en un momento y lugar determinados y así establecer el conocimiento fundamental para analizar su cambio. Según Pagiola y Ota (1997), la diversidad biológica, también conocida como biodiversidad, se refiere

a la diversidad de todos los seres vivos, así como a los complejos ecológicos donde coexisten. De todos los sistemas agroforestales, los agroforestales tienen el mayor potencial para proteger la biodiversidad. Son estructuralmente muy similares a los bosques, contienen múltiples estratos de vegetación, tienen una alta densidad de árboles y una alta diversidad florística.

2.1.18.1. Distribución de la biodiversidad

Las especies están distribuidas de manera desigual entre los diferentes grupos de organismos y en todo el mundo. Ha habido poco más de 1,5 millones de descripciones de especies vivas. Un millón de ellos están relacionados con animales y 500.000 están relacionados con plantas. Los insectos constituyen el 53% de todos los seres vivos mientras que grupos relativamente conocidos como los vertebrados y las plantas con flores sólo representan el 3% y el 15% de la biodiversidad total, respectivamente. La evolución que ha tenido lugar desde el inicio de la vida en la Tierra (hace unos 3.500 millones de años) hasta la actualidad ha propiciado esta heterogeneidad entre los distintos grupos taxonómicos. (Halffter *et al.*, 2001).

2.1.18.2. Valor de la biodiversidad

Según Etter (1991), se refiere a la variedad de sistemas biológicos a nivel genético, de especies y de sistemas ecológicos; como resultado, la biodiversidad son los datos genéticos presentes en la biota, la variedad de hábitats, ecosistemas y fases ecológicas, así como la variedad de especies de plantas, animales y microorganismos que viven en la Tierra. Sin embargo, también reciben atención los niveles genético y ecosistémico. Las especies son el foco principal de las discusiones sobre biodiversidad.

2.1.19. Diversidad de especies

Los invertebrados que viven total o parcialmente dentro o justo encima del suelo se consideran parte de la macrofauna del suelo. Más de mil especies de invertebrados, incluidas lombrices, termitas, hormigas, milpiés, ciempiés, arañas, escarabajos, gallinas ciegas, grillos, cigarras, caracoles, escorpiones, chinches y larvas de moscas y mariposas, pueden coexistir en un solo ecosistema y pueden alcanzar densidades y biomásas superiores a un millón de individuos y más de una tonelada por hectárea, respectivamente. Estos organismos se pueden clasificar en varias clases según las diversas funciones que desempeñan dentro del ecosistema. (Etter, 1991).

Según Franco (1989), Existen numerosos índices que estiman la diversidad de una comunidad, pero los fundados en la teoría de la información se han fortalecido a pesar de sus limitaciones. Este último determina la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar dentro de una comunidad infinita sean de la misma especie.

El interés en análisis de conservación de la naturaleza se centra en cambios en la riqueza de especies; dada esta presunción, es necesario usar un índice que considere especies raras, o especies menos comunes, de ahí el índice de Shannon-Wiener.

2.1.19.1.Riqueza biológica

Franco (1989) argumentó que debido a que la riqueza de especies es una medida del número de especies para una población o área determinada y su valor es independiente del tamaño de la muestra, es inherente al concepto mismo.

2.1.19.2.Diversidad alfa

Haft et al. (2001) afirmaron que se cree que la riqueza de especies de una comunidad es homogénea. Con una mentalidad pragmática, el concepto de diversidad alfa para esta estrategia se restringió al grupo de especies indicadoras que coexisten en regiones uniformes del paisaje. El segmento de vegetación que estudiamos, que se ubica en esta zona, es la unidad de muestreo; normalmente es comparable a una muestra comunitaria. Por supuesto, debido a factores como la pendiente del terreno, los efectos de los bordes, la distancia a los cuerpos de agua, etc., puede haber heterogeneidad dentro de cada segmento. Aunque su inclusión complica el diseño y aumenta el tiempo y el esfuerzo necesarios para la recopilación de datos, estas variables o factores se incluyen en el diseño de muestras para permitir un estudio más preciso.

Mientras que Halffter et al. (2001) mencionaron que después de determinar la diversidad alfa para cada segmento, se puede combinar datos de múltiples segmentos para conseguir información relacionada con cada tipo de vegetación y manejo de la tierra o área protegida dentro de un área protegida, o una combinación de los mismos. Franco (1989) sugiere que se han desarrollado diversos índices para cuantificar la diversidad, así tenemos: Consideración de criterios de heterogeneidad.

- Índice de diversidad de Shannon - Wiener (H')

Es una medida de lo difícil que es determinar a qué especie pertenece un individuo elegido al azar de una población. Su función va a tener un mínimo valor para un número definido de especies e individuos si todos los individuos son de la misma especie, y un máximo valor para un número definido de especies e individuos.

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

Los valores obtenidos con este índice suelen oscilar entre 1,5 y 3,5 y rara vez superan los 4,5. Shannon-Wiener puede utilizarse en estudios sobre

conservación de la naturaleza porque es sensible a los cambios en la abundancia de especies raras. (Moreno, 2001).

- Índice de Equitatividad

Para establecer los resultados en una escala de valores de 0 a 1, se recurre al Índice de Equitatividad cuya fórmula es la siguiente:

$$E = J = \frac{H'}{H_{MAX}} \dots\dots\dots(2)$$

E: Equitatividad

2.1.20. Efecto de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo

Los aspectos fisicoquímicos y biológicos del suelo, así como sus interacciones, están incluidos en la calidad del suelo. Debido a que la calidad o salud del suelo es un concepto integrado, se deben medir todos los parámetros. Pero dependiendo del suelo, la aplicabilidad de cada parámetro cambia. En algunas zonas del país donde la salinidad no es un problema, por ejemplo, es posible que la prueba de salinidad de la CE no sea aplicable. (Doran y Lincoln, 1999).

Un incremento o reducción en el valor de algunas propiedades generalmente indica qué tan bien se está comportando un suelo. Por ejemplo, un incremento en la cantidad de macroporos, un aumento en el tamaño y la estabilidad de los agregados y un aumento en la materia orgánica pueden conducir a un aumento en la tasa de infiltración o aireación. (Porta *et al.* 1999).

2.1.21. Importancia de la macrofauna en las propiedades del suelo

La materia orgánica y el contenido de humedad, el pH, la estructura del suelo y la aireación, así como otras características fisicoquímicas del suelo dañan directa e indirectamente a la fauna que allí habita. (Dubs *et al.* 2004).

Según Zerbino y Morón (2003), existe una correlación entre el contenido de nitrógeno total y carbono orgánico y la densidad de Coleoptera y Oligochaeta. Las altas densidades de lombrices de tierra se sustentan en suelos ricos en bases y bien drenados donde la materia orgánica se distribuye a lo largo del perfil (mull), mientras que en suelos con contenidos discretos de materia orgánica (mor), la fauna se compone de pequeños artrópodos que habitan en la superficie (Morón, 2001).

2.2. Estado del Arte

2.2.1. Antecedentes de investigaciones realizadas

En su estudio de 2003, Acevedo y Martínez examinaron cómo la labranza afectaba las características físicas, químicas y biológicas del suelo. La materia orgánica del

suelo se reduce como resultado de las técnicas tradicionales de labranza utilizadas para intensificar la agricultura, incluida la inversión del suelo. Con residuos en la superficie del suelo, la labranza cero aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, lo que beneficia sus características físicas, químicas y biológicas y, en consecuencia, su productividad. La labranza tradicional con inversión de la capa superior del suelo promueve la oxidación (quema) acelerada de la materia orgánica del suelo y al mismo tiempo expone el suelo a la erosión hídrica y eólica y al control de malezas. El balance de carbono del suelo en condiciones de labranza tradicional resulta negativo. Dependiendo de la cantidad de carbono orgánico presente, la productividad del suelo aumenta o disminuye.

En su investigación, realizado con cinco repeticiones para cada suelo a lo largo de un transecto, Cárdenas (2008) buscó comprender la dinámica de la mesofauna edáfica, cuantificarla y clasificarla, así como reconocer la relación con la materia orgánica a nivel de órdenes predominantes en el suelo, en diferentes estratos. Dado la existencia de una correlación directa entre el número de miembros de la mesofauna y la cantidad de MO presente, el suelo con cobertura forestal presenta el mayor número de individuos representativos de la mesofauna, con un estimado de 16,304 individuos por m^2 , en comparación con el suelo degradado, el cual tiene un estimado de 448 individuos por m^2 y la cantidad más baja entre los cuatro suelos evaluados.

Los indicadores biológicos estudiados en los diferentes sistemas de uso de suelo; se encontró 11 grupos taxonómicos de especies; con mayor diversidad en el bosque secundario (10), seguido por el maizal con 10, el cafetal 8 y el pastizal con 6. La mayor densidad ($1\,030\text{ ind.m}^{-2}$) y biomasa de macrofauna ($194,70\text{ g.m}^{-2}$) se encontró en el pastizal de 0 – 10 cm de profundidad. La correlación entre las propiedades físicas, químicas del suelo y la macrofauna, el incremento y la disminución de la temperatura del suelo indica una fuerte relación positiva con respecto a la abundancia, distribución y la actividad de la macrofauna en el suelo.

Barra (2016) al definir los indicadores físicoquímicos y biológicos en cuatro sistemas de uso del suelo en la microcuenca Picuroyacu Castillo Grande se ha encontrado al bosque secundario con densidad aparente ($1,90\text{ g/cm}^3$), textura franco arcilloso, resistencia a la penetración ($1,4\text{ kg/cm}^2$), pH fuertemente ácido, alto contenido de MO y N, medio en P y bajo en K. Cacao, textura franca arcillo arenoso, densidad aparente ($2,00\text{ g/cm}^3$), resistencia a la penetración ($1,4\text{ kg/cm}^2$), pH moderadamente ácido, alto contenido de MO, N y P y medio en potasio. Café, textura franca, densidad aparente ($2,00\text{ g/cm}^3$), resistencia a la penetración ($1,5\text{ kg/cm}^2$), pH extremadamente ácido, contenido medio de MO, N y P y K. Suelos excocal,

presentan una textura de franco arcilloso, DA ($2,34 \text{ g/cm}^3$), adecuada resistencia a la penetración ($1,5 \text{ kg/cm}^2$), pH extremadamente ácido, alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. Los indicadores biológicos del suelo: bosque secundario muestran una densidad de 153 ind.m^{-2} , café con 123 ind.m^{-2} , y cacao con 120 ind.m^{-2} , y ex cocal con 88 ind.m^{-2} . El bosque secundario presentó mayor biomasa, seguido por café y menor biomasa el cacao y ex cocal. Se registró la densidad de la recolección de 0 -10 cm; 90 ind.m^{-2} , en bosque secundario, 86 ind.m^{-2} en café; 81 ind.m^{-2} en cacao y 47 ind.m^{-2} en excocal respectivamente; la diversidad de especies del suelo fue, cultivo de café ($H=0,62$ y $D= 0,457$), cultivo de cacao ($H=0,61$ y $D=0,405$), bosque secundario ($H=0,60$ y $D= 0,343$) y excocal ($H=0,49$ y $D= 0,253$). De acuerdo a los indicadores estudiados se demostró que la perturbación, la degradación y la erosión son causadas por la actividad humana teniendo una influencia negativa en el suelo.

Silicuana (2017) analizó las características fisicoquímicas y biológicas, así como la identificación de especies vegetales en dos sistemas de manejo de tierra, agroforestal y convencional, en tres comunidades de la provincia de Tapacarí, ubicada en el extremo occidental de Cochabamba.

Del proyecto SARA, que trabaja desde hace 20 años para construir una agricultura sustentable basada en la preservación y mejoramiento de la fertilidad del suelo, el uso adecuado del agua y el establecimiento y manejo de huertos frutales bajo sistemas agroforestales, es fuente de las experiencias utilizadas para crear este trabajo. El documento analiza seis años de experiencia en el manejo de huertos frutales en sistemas agroforestales, donde mejorar la fertilidad del suelo de manera sostenible es de suma importancia. También menciona los sistemas convencionales tradicionales.

Los sistemas agroforestales dan un giro de 180 grados con respecto a la agricultura de monocultivo tradicional en su enfoque; como resultado, se apartan de los paradigmas y prácticas agrícolas convencionales. Los sistemas agroforestales se esfuerzan por crear sistemas de producción adecuados a los microclimas de cada región y a las prácticas agrícolas del agricultor.

Los resultados de los diversos análisis físicos, químicos, biológicos y de identificación de especies revelaron el estado actual de los suelos en ambos, y llegaron a la conclusión de que el uso de sistemas agroforestales sucesionales en la región andina es una alternativa para restaurar, preservar, y mejorar la fertilidad del suelo.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

Fue realizado en el distrito de Rupa Rupa, sector Afilador en tres sistemas de uso del suelo (cítrico, café y cacao), ubicado en el predio de la señora Cecilia Rivera Mayz, en un área aproximado de 5 ha de terreno aproximadamente cuyas coordenadas UTM son:

Tabla 15. Coordenadas UTM de los tres sistemas de uso de la tierra

Sistemas de uso del suelo	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)
	UTM		
	E	N	
Cítrico	390209	8970826	682
Café	391243	896859	703
Cacao	391216	8968874	661

3.1.1. Ubicación política

Región : Huánuco.
Provincia : Leoncio Prado.
Distrito : Rupa Rupa.
Sector : Afilador.

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente la zona donde se realizó la investigación se encuentra ubicada en las coordenadas 9°11'45.6" de Latitud Sur y 76°5'6.97" de Longitud Oeste, con una altitud de 660 m.s.n.m.

3.1.3. Clima

La estación meteorológica José Abelardo Quiñones, registra una precipitación promedio anual de 3 250 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 (SENAMHI, 2013).

3.1.4. Zona de vida

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).

3.1.5. Geología

La mayoría de los suelos son de origen aluvial coluviano, lo que los hace favorables para la agricultura y otro tipo de actividades. Estos suelos actúan como una especie de esponja, reteniendo el agua en las partes más altas antes de drenarla a las partes más bajas en forma de arroyos, asegurando el suministro de agua durante las sequías.

3.1.6. Suelo

Los suelos tienen una textura franco-arcillosa limosa, un rango de pH de fuerte a moderadamente ácido y bajos niveles de MO, N, P y K. Son principalmente de origen coluviano aluvial y favorables para la agricultura y otro tipo de actividades.

3.1.7. Fisiografía

La zona de análisis, donde se realizó la investigación, tiene una topografía montañosa a ondulada, densa vegetación de bosque secundario típico de la región e intervención humana.

3.1.8. Pendiente

La zona de evaluación de los sistemas de uso de la tierra presenta una pendiente variada desde ligeramente inclinada, hasta valores que va de 10% a 43%.

3.1.9. Hidrografía

Conformada por la quebrada Rivera cuyas aguas discurren de la parte alta de montaña para unirse con la quebrada Cocheros cuyas aguas son tributarios del río Huallaga.

3.1.10. Accesibilidad

El acceso al lugar en que se ha realizado el estudio mediante de la carretera Tingo María - Huánuco, asfaltada aproximadamente 3 km, hasta el grifo Hermanos Espinoza - Afilador, ubicándose los sistemas de uso a la margen izquierda de la carretera Tingo María Huánuco, mediante un camino de herradura hasta llegar a la zona de trabajo el tiempo de recorrido en moto lineal es de 10 minutos aproximadamente.

3.2. Descripción de los lugares de muestreo

3.2.1. Parcela de *Citrus* sp. (cítrico)

Es una parcela de 7 años aproximadamente, con cultivo de cítricos, naranja tanyelo, con un área de 3/4 ha, distanciamiento de 4 m x 4 m, con pendiente de 5% y con un microclima con una humedad relativa aproximada de 80%.

3.2.2. Parcela con *Coffea arábica* L. (café)

Parcela instalada de 7 años de la variedad Catimor, con un área de 1 ha, distanciamiento de 1 m x 1 m, con pendiente de 15% y con un microclima con una humedad relativa aproximada de 80%.

3.2.3. Parcela con *Theobroma cacao* (cacao)

Parcela establecida de 8 años de la variedad Criollo y CCN51, en producción, con un área de 1/2 ha, y un distanciamiento de 2 m x 2 m, con pendiente de 5% y colinda con el cultivo de cacao, presenta una humedad relativa aproximada de 80%.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales

Mapa de ubicación de la zona, wincha de 50 m, libreta de campo, fichas de campo, etiquetas de papel, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, cuadrado muestreador, cilindro volumétrico de aluminio de 3" de diámetro, machete, pala recta, lupa y papel secante.

Probeta de 100 mL, tubos de ensayo, pipetas, tamiz de 5,20 y 0,25 mm de diámetro, botellas de vidrio, bureta, agitador magnético. Agua destilada, alcohol y formol.

3.3.2. Equipos

Termómetro de suelo, penetrómetro, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS).

Balanza gramera de precisión, estufa, peachímetro y estereoscopio y espectrofotómetro de absorción

3.4. Tipo y nivel de investigación

3.4.1. Tipo de la investigación

En la ejecución de la investigación se utilizó un diseño descriptivo, correlacional – causal, considerando los tres sistemas de uso con *Theobroma cacao* L. (cacao), *Citrus* sp. (cítricos) y *Coffea arábica* L. (café).

3.4.2. Nivel de la investigación

La investigación se realizó a nivel probabilístico porque se obtuvieron datos representativos mediante muestreo.

3.5. Método y diseño de la investigación

3.5.1. Método de la investigación

Su alcance es descriptivo, comparativo y explicativo. Debido a que se describieron y compararon los diversos sistemas de uso de la tierra, es de naturaleza descriptiva, comparativa y explicativa. También es explicativo porque se explicó una relación de causa y efecto.

3.5.1.1. Variable independiente

Las variables independientes fueron los tres sistemas de uso *Theobroma cacao* L. (cacao), *Citrus* sp. (cítricos) y *Coffea arábica* L. (café).

3.5.1.2. Variables dependientes

Las variables dependientes para evaluar fueron: densidad, biomasa, abundancia de macrofauna y el Índice de diversidad en los tres sistemas de uso.

3.5.2. Componentes en estudio

Los componentes en estudio de la investigación fueron:

- Los sistemas de uso *Theobroma cacao* L. (cacao), *Citrus* sp. (cítricos) y *Coffea arábica* L. (café).
- Muestras de suelos (que fueron obtenidos en campo y analizadas en el laboratorio).
- Macrofauna del suelo, de tres sistemas de uso.

3.5.3. Diseño de la investigación

Se empleó el diseño de investigación de carácter transversal (Hernández *et al.*, 2006).

Debido a que los datos se recopilaban toda de una vez a través del muestreo y análisis del suelo, junto con la evaluación de la compactación, la densidad aparente y la macrofauna en el transcurso de seis meses, fue de naturaleza transversal.

3.6. Enfoque metodológico

La investigación fue realizada de forma descriptiva, considerando tres sistemas de uso de la tierra en el sector afilador:

- Parcela con *Citrus sinensis* (cítrico).
- Parcela con *Coffea arábica* L. (café).
- Parcela *Theobroma cacao* (cacao).

Los tres métodos de muestreo y evaluación que utilizó el sistema consideraron los métodos de análisis de la calidad del suelo recomendados por John Doran y Lincoln Nebraska del USDA y el método utilizado por Gustavo. Instituto Argentino de Tecnología Agropecuaria (INTA); consideraron cuatro muestras replicadas para cada sistema de manejo a 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad de la superficie del suelo. Se evaluaron los componentes fisicoquímicos y biológicos del suelo mediante indicadores y técnicas de medición pertinentes según el área de estudio para determinar indicadores de calidad del suelo en los tres sistemas de explotación.

3.7. Metodología

3.7.1. Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo, en los tres sistemas de uso, sector afilador

- Recopilación de información

Se recolectó un mapa base del área de estudio, materiales cartográficos y un conocimiento general de toda la zona que se establecieron los puntos de muestreo para sus respectivas evaluaciones, además de información sobre el suelo, sistemas de uso presentes en el área y otros datos relevantes. Asimismo, se identificaron los indicadores que fueron analizados en campo y los indicadores que se va a evaluar en el laboratorio.

- Georreferenciación de los cuatro tipos de cultivos

Se ubicaron y georreferenciaron las cuatro áreas de los distintos sistemas de uso para poder realizar el muestreo de suelo adecuado. Se utilizó una pala recta para muestrear los suelos hasta una profundidad de 30 cm.

- Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se realizó en forma de zig zag con un distanciamiento de 25 metros, recolectando de estas un promedio 20 sub muestras que fueron depositados en una bolsa de polietileno que fueron mezcladas y homogenizadas y posteriormente embolsado en promedio 1 kg para ser llevado al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis.

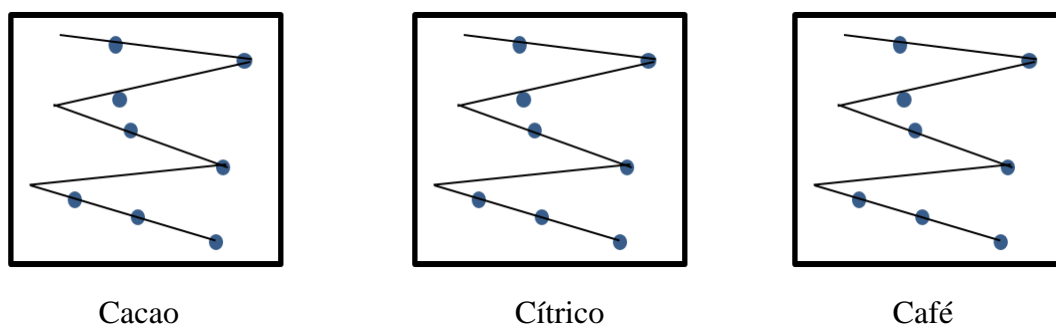


Figura 1. Diagrama de muestreo de suelos para el análisis físico y químico en los tres sistemas de uso

- Densidad aparente

Primero se identificaron los puntos de muestreo, seguido de la limpieza de la zona de 40 x 40 cm, y finalmente la introducción del cilindro metálico en el suelo en dirección vertical hasta cubrir su superficie para calcular la densidad aparente. Luego la muestra de suelo se horneó a 105 °C durante 72 horas para secarla y se registró el peso seco del suelo. Luego se

calculó la densidad aparente mediante la fórmula utilizando las medidas y el peso del cilindro y el peso fresco del suelo:

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

- **Resistencia a la penetración**

Para medir la resistencia del suelo, primero se identificaron los puntos de muestreo, se limpió el área y se realizó un corte en el suelo para introducir el penetrómetro en dirección horizontal con respecto al corte, registrando las lecturas en kg/m².

- **Temperatura del suelo**

La temperatura del suelo se determinó en los puntos de muestreo y se colocó el termómetro sobre el ras del suelo, registrándose los valores de lectura del termómetro en °C.

- **Textura y parámetros químicos del suelo**

La textura y los parámetros químicos del suelo fueron analizados en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tabla 16.

3.7.2. Población y biomasa de organismos edáficos en los tres sistemas de uso, sector afilador

- **Muestreo de la fauna edáfica del suelo**

El método de muestreo para la macrofauna del suelo fue similar al utilizado por Vargas-Machuca (2010), donde los sitios de muestreo se determinaron mediante un plan de muestreo sistemático utilizando un diseño de transecto lineal de 40 m y se obtuvieron a intervalos de 10 m entre cantos rodados, arrojando un total de 5 monolitos al sistema utilizado. Cada monolito se evaluó a 0 cm – 10 cm, 10 cm – 20 cm y 20 cm – 30 cm de profundidad. Fue desarrollado utilizando cuadrantes de muestreo de 25 x 25 x 10 cm (Fig. 2) a través del Programa de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales – TSBF (Anderson e Ingram, 1993, citado en Pashanasi, 2001). Los organismos fueron identificados por unidad taxonómica (clase y orden) en el Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Selva. La densidad se medirá en personas/metro cuadrado.

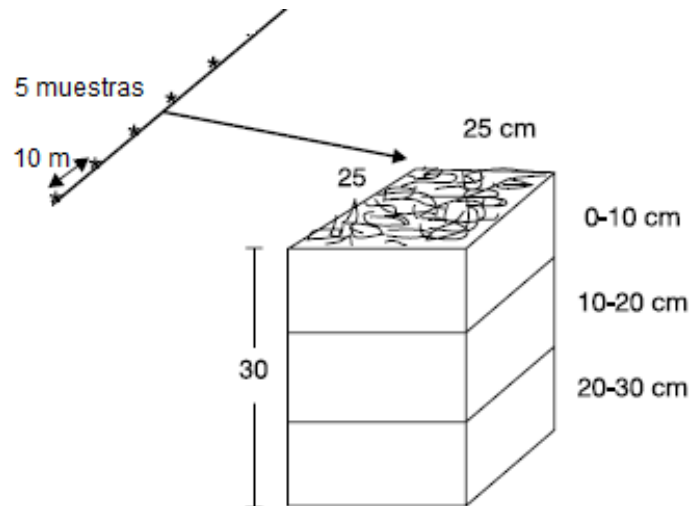


Figura 2. Esquema del plan de muestreo.

- Colección de especies de macrofauna del suelo

Luego de obtener el monolito, la muestra se dividió en estratos, las especies se colocaron en frascos con alcohol de 70° y los frascos se sellaron con su correspondiente enumeración y codificación, lo que ha facilitado su transporte al laboratorio para la correspondiente identificación.

- Identificación y conteo de la comunidad del suelo

La fauna edáfica se contó in situ y los insectos de cuerpo endurecido se colocaron en soluciones de alcohol al 80%, mientras que las larvas y los insectos de cuerpo blando se colocaron en soluciones de formalina al 4-10%. La biomasa (g/m^2) y la densidad (individuos/m^2) de todos los macroinvertebrados se calcularon utilizando un estereoscopio y una balanza de precisión. (Decaens *et al.*, 1994).

Las claves de identificación se utilizaron para identificar el grupo taxonómico, contar los individuos de cada unidad taxonómica por monolito, sumar el número total de individuos por taxón y calcular la densidad relativa promedio o porcentaje de abundancia de cada unidad taxonómica en cada uno.

Los porcentajes de abundancia se representaron en un gráfico.

La densidad relativa por monolito y el porcentaje de frecuencia se calcularon utilizando las fórmulas luego de pesarlas para determinar la biomasa de macrofauna en los distintos sistemas de uso del suelo:

$$\text{DRM} = \text{Densidad relativa por monolito} = \frac{\text{Sumatoria de los monolitos}}{\text{Total de Monolitos}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\% \text{ Frecuencia} = \frac{\text{Sumatoria de densidades}}{\text{Número de unidades taxonómicas}} \dots\dots\dots (5)$$

3.7.3. Determinar la densidad, biomasa y diversidad de especies de macrofauna en los tres sistemas de uso, sector afilador

- Densidad de macrofauna

Los datos de cada punto de muestreo se multiplicaron por 16 para obtener las unidades del número de individuos por m² (ind /m²), dado que para cada muestreo se utilizó un cuadrado de 25 cm de lado, que representa 1/16 de m². Con los datos obtenidos se calculó la densidad de la macrofauna mediante la metodología de (Correia y Oliveira, 2000).

- Biomasa de macrofauna

Para calcular la biomasa de macrofauna se utilizó el mismo procedimiento utilizado para calcular la densidad de la macrofauna: los datos (pesos) de cada punto de muestreo se multiplicaron por 16 para producir gramos por m² (g/m²). (Correia y Oliveira, 2000).

- Índice de diversidad de macrofauna

El índice de diversidad de especies se calculó utilizando las fórmulas de Simpson y Shannon Wiener.

- Riqueza de la diversidad biológica alfa

Utilizando las variables de estudio y los índices de diversidad alfa, fue posible cuantificar la riqueza de la diversidad biológica alfa:

- Índice de Diversidad de Simpson o índice de dominancia (D)

$$D = - \frac{\sum_{i=1}^s \frac{n_i (n_i - 1)}{N (N - 1)}}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (6)$$

Dónde:

S = Número de especies

N = Total de organismos presentes o (unidades cuadradas)

n = Número de ejemplares por especie

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

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log p_i \dots\dots\dots (7)$$

Dónde:

S = Número de especies (la riqueza de especies)

$p_i = \frac{n_i}{N}$ proporción de individuos de la especie/ respecto al total de

individuos (es decir la abundancia relativa de la especie)

n_i = Número de individuos de la especie o abundancia de género

N = Número de todos los individuos de todas las especies o abundancia total de los géneros = $\sum n_i$

- Indicadores físicos, químicos y biológico a evaluar

Para evaluar la macrofauna como indicador biológico en los tres sistemas de uso, se identificaron los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo.

Tabla 16. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variables)

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

3.7.4. Etapa de gabinete

En este punto, la información recopilada en el campo y en el laboratorio se analizaron, organizaron y procesaron utilizando el programa Microsoft Excel 2013 para crear las tablas. La prueba del coeficiente de Pearson mencionada por Hernández *et al.* (2014). Se puede utilizar para determinar la relación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas.

3.7.5. Análisis de datos

Con base en los siguientes modelos matemáticos, se realizaron estudios de regresión y correlación simple para definir la fuerza de la relación entre las características del suelo y el tiempo. (Calzada, 1996).

Ecuación de regresión

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

Coefficiente de correlación

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \dots\dots\dots (8)$$

Además, la relación entre dos variables medidas en un intervalo o nivel de relación se examinó mediante la prueba estadística r. (Hernández *et al.*, 2014).

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 Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo (textura, densidad aparente (Da), temperatura del suelo (T°), resistencia a la penetración, pH, materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio disponible (K), capacidad de intercambio catiónico (CIC), en los tres sistemas de uso

4.1.1. Propiedades físicas del suelo

- Textura del suelo de los tres sistemas de uso de la tierra

Las textura propiedad física franca está presente en el sistema de cacao, los sistemas cítrico y café textura franco arcillo limoso con buen drenaje, como se observa (Tabla 17).

Chen (2000) recomienda indicadores como la profundidad del suelo, la tasa de infiltración de agua, la DA y la capacidad de retención de agua. Mientras que Sánchez (2007) afirma que el término “propiedades” se refiere al comportamiento que exhibe el suelo como resultado de sus propiedades, entre ellas la aireación, la porosidad, la permeabilidad y la capacidad de retención de humedad. Este estudio sólo tuvo en cuenta las cualidades distintivas del suelo, como su textura, DA, resistencia a la penetración y temperatura.

Zavaleta (1992), las combinaciones de arena, limo y arcilla se denominan típicamente suelos de textura fina, suelos de textura media hechos de partículas de arcilla, suelos de textura gruesa hechos de limo y suelos con un alto contenido de arena. Durante la investigación se descubrieron suelos de textura media y fina para los tres sistemas de uso.

Tabla 17. Textura de los suelos en tres sistemas de uso de la tierra.

Textura	Cacao	Cítrico	Café
Arena (%)	30	28	22
Limo (%)	45	41	43
Arcilla (%)	25	31	35
Textura	Franco	Franco Arcillo Limoso	Franco Arcillo Limoso

- Densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura del suelo

En la Tabla 18, mayor densidad aparente lo presenta el sistema de café con 2.30 g/cm^3 seguido del sistema cacao 2.20 g/cm^3 y una menor densidad lo presenta el sistema cítrico con 2.10 g/cm^3 , con respecto a los parámetros de resistencia a la penetración, los tres sistemas presentan una resistencia de 1.5 g/cm^2 con una temperatura del suelo que oscila entre 24.1°C a 26°C .

Según Sánchez (2007), la densidad aparente está influenciada por la textura del suelo, la concentración de materia orgánica y su estructura, así como por lo suelto o poroso que sea el suelo. Mientras que según USDA (1999), las densidades aparentes en suelos con altas proporciones de arcillas expandibles dependen del contenido de agua, el cual debe determinarse al momento del muestreo. Las densidades de las partículas minerales se encuentran en los suelos arenosos, arcillosos entre $<1,0$ a $>1,7$ g/cm^3 ; en suelos franco-arcillosos de $1,0$ a $1,5$ g/cm^3 y en suelos francos de $1,5$ a $1,7$ g/cm^3 . Coincidiendo con el autor ya que las densidades aparentes se encuentran dentro de los rangos de suelos arenosos, arcillosos mayores de $1,7$ g/cm^3 .

Mientras que USDA (1999) manifiesta que la resistencia del suelo se encuentra entre los rangos bajo > 2 g/cm^3 , medio 2 g/cm^3 y alto o adecuado < 2 g/cm^3 . Coincidiendo con el autor ya que en la investigación los tres sistemas de uso se encuentran en los rangos de alto o adecuado.

Tabla 18. Densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura de los suelos en los tres sistemas de uso de la tierra

Tipos de cultivos	Densidad aparente	Resistencia	Temperatura
	g/cm^3	g/cm^2	$^{\circ}\text{C}$
Cacao	2,20	1,5	24,3
Cítrico	2,10	1,5	26,0
Café	2,30	1,5	24,1

4.1.2. Propiedades químicas de los tres sistemas de uso de la tierra

El rango de pH ideal para el desarrollo de las plantas, según Fassbender y Bornemiza (1987), se encuentra entre valores de pH de 6,5 y 7,5. En comparación con aquellos con valores altos o bajos, los suelos con un pH entre 5,8 y 7,5 tienen más probabilidades de causar problemas. Coincidiendo con el autor ya que el sistema de uso con cacao en un valor intermedio con problemas de producción y presenta un pH moderadamente ácido, mientras que los sistemas cítricos y café presentan un pH de moderada a fuertemente ácido.

Según Zavaleta (1992), la materia orgánica afecta la composición y consistencia del suelo. Los suelos arenosos con una consistencia excesivamente suelta se mejoran añadiendo MO (compost), y tierras arcillosas también pueden beneficiarse añadiendo MO. En la investigación los tres sistemas de uso tienen bajos niveles de materia orgánica, por lo que para aumentar la producción del cultivo se debe agregar materia orgánica sólida al suelo y aplicar MO líquida al cultivo.

Mientras que Fernández (2006) afirma que la MO y la fijación bacteriana del aire son las que permiten la entrada de nitrógeno al suelo. Las plantas, los animales y los microorganismos lo utilizan en el suelo y lo incorporan a sus tejidos. Los tres sistemas de uso muestran niveles bajos en la investigación.

Según Navarro (2003), dado que la forma HPO_4^{2-} del fósforo es la más asimilable, la absorción de P por los cultivos sería típica a pH bajo, o cuando la solución del suelo tiene una calidad notablemente ácida. En el estudio, los tres sistemas de uso tienen bajos niveles de fósforo y son fuerte y moderadamente ácidos.

El K es un nutriente crucial para todos los seres vivos, según Guerrero (2000). Al igual que la necesidad de nitrógeno, las verduras requieren grandes cantidades de este nutriente. Los niveles de potasio y nitrógeno en los tres sistemas de uso son extremadamente bajos, al igual que los demás nutrientes del suelo. Tabla 19.

Los usos del suelo para los distintos sistemas deberían ser menos intensivos. Estos suelos pueden gestionarse con un buen manejo agrícola, utilizando plantas tolerantes a la acidez que sean efectivas y eficientes en la utilización de nutrientes, particularmente fósforo. La fertilización dirigida debe realizarse de acuerdo con el análisis del suelo y los requerimientos nutricionales del cultivo, mediante cultivos asociados a abonos verdes, cultivos intercalados, cultivos con cubiertas vegetales, praderas con gramíneas ricas en fósforo. Ya que los diferentes sistemas de uso de la tierra muestreados presentan bajos recursos nutricionales como (P, N, K), asimismo bajo contenido de materia orgánica (Tabla 19).

Tabla 19. Características químicas del suelo de los tres sistemas de uso de la tierra

Tipos de cultivos	pH	M.O	N	P	K ₂ O
	1:1	%	%	ppm	kg/ha
Cacao	6,20	1,45	0,07	7,29	49,98
Cítrico	5,02	1,39	0,07	5,52	64,97
Café	4,68	1,58	0,08	4,48	86,96

4.2. Identificación y cuantificación de macrofauna de suelo en los tres sistemas de uso de la tierra sector afilador

4.2.1. Identificación de macrofauna en los tres sistemas de uso de la tierra

Villalobos *et al.*, (2000) encontraron que Oligochaeta (lombrices de tierra) y Coleóptera fueron los grupos más representativos, en un sistema de cultivo de maíz, pero su evaluación se realizó en época seca. En la investigación se identificaron 10 órdenes de macrofauna en los tres sistemas de uso, se encontraron 08 en el sistema de uso con cacao, 07

en el sistema de uso con cítrico y 09 en el sistema de uso con café; Himenóptera y Haplotaxidas fueron los más predominantes en los tres sistemas de uso, predominando las Haplotaxidas (lombrices) en el sistema de uso con cacao con 56 ind.m⁻², en el sistema de uso con cítrico 61 ind.m⁻² y en el sistema de uso con café 81 ind.m⁻², mientras que las himenópteras (hormigas) predominaron en el sistema de uso con cacao 36 ind.m⁻², en el sistema de uso con cítrico y café presentaron 34 ind.m⁻² respectivamente. Asimismo; Isópoda, Ortóptera, isóptera y el resto de los taxones presentaron escasa densidad de individuos, como se muestra Tabla 20.

Ramírez y Gonzales (1999) indican que la macrofauna se encuentra compuesta por organismos desde 2 mm de longitud y que llegan hasta los 20 mm y se mueve activamente en el suelo y pueden elaborar galerías en las cuales viven. Forman parte de este grupo los isópodos, quilópodos, diplópodos, arácnidos, moluscos y formícidos, isópteros, coleópteros y oligoqueto (lombrices de tierra). En la investigación se encontraron todos estos microorganismos, incluidos las lombrices de tierras.

Mientras Pashanasi (2001) quien dice que las comunidades de la macrofauna varían en su composición, riqueza y diversidad, debido a la perturbación del suelo causado por el cambio de manejo del suelo. Coincidiendo con el autor, ya que los cambios de uso, sector afilador son notables por encontrarse cerca de la zona urbana.

Tabla 20. Macrofauna del suelo identificados en los tres sistemas de uso de la tierra

Grupo Taxonómico (Clase – Orden)	Cacao (ind.m ⁻²)	Cítrico (ind.m ⁻²)	Café (ind.m ⁻²)	Total ind. (ind.m ⁻²)
Insecta - Hymenóptera	36	34	34	104
Oligochaeta-Haplotaxida	56	61	81	198
Crustáceo -Isópoda	0	5	4	9
Miriapodas - Chilopoda	0	0	0	0
Miriapodas - Diplopoda	0	0	1	1
Larvas	3	3	1	7
Insecta - dictyoptera	1	1	0	2
Insecta-Isóptera	3	8	17	28
Insecta - lepidóptera	0	2	1	3
Insecta - Coleóptera	2	1	0	3
Insecta - ortóptera	0	0	3	3
Arachnida - Araneae	0	0	1	1

Insecta - hemíptera	0	0	0	0
gastropoda	1	0	0	1
Insecta-dermáptera	0	0	0	0
sinfilidos	1	0	0	1
Otros	0	0	0	0
Total	103	114	143	361

4.3. Cuantificación de macrofauna de los tres sistemas de uso de la tierra sector afilador

4.3.1. Densidad y biomasa de la macrofauna en diferentes sistemas de uso de la tierra

De los tres sistemas de uso, sector afilador, el sistema de uso con café presentó mayor cantidad de individuos con una densidad de 143 ind.m⁻², seguido por el sistema de uso cítrico con 114 ind.m⁻², y el sistema de uso con cacao presentó 103 ind.m⁻², asimismo la biomasa en los tres sistemas de uso de la tierra el café presentaron una variación de 10,70 g.m⁻² seguido del sistema de uso con cítrico con 9,95 g.m⁻² mientras el sistema de uso con cacao presento inferioridad con 7,90 g.m⁻² (Tabla 21).

Esto aclara por qué, como mencionan Lavelle y España (2001), las comunidades de macrofauna de los sistemas de uso responden al clima, tipo de suelo, vegetación, tipo de cultivo y manejo. En este estudio se analizaron las respuestas de las comunidades a diferentes tipos de cultivos (café, cítricos y cacao) y el muestreo de suelos de los sistemas, donde el manejo y el tipo de vegetación son más significativos que las variaciones climáticas estacionales en la estructura de las comunidades.

Tabla 21. Densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra.

Sistema de uso	Densidad (Ind.m ⁻²)	Biomasa (g.m ⁻²)
Cacao	103	7,90
Cítrico	114	9,95
Café	143	10,70

4.3.2. Distribución de la densidad y biomasa de macrofauna en los tres sistemas de uso de la tierra a diferentes profundidades sector afilador

La distribución de la densidad y biomasa de macrofauna en los tres sistemas de uso, se encuentran en mayor cantidad a las profundidades de 0 - 10 cm con 75 ind.m⁻² en el sistema de uso con cacao, seguido del sistema de uso con café con 70 ind.m⁻² y en menor cantidad el sistema de uso del suelo con cítrico con 50 ind.m⁻², a la profundidad de 10 - 20 cm los tres sistemas oscilaron desde los 8.8 hasta los 11.2 ind.m⁻², finalmente a la profundidad 20 - 30 cm no se encontró invertebrados del suelo, esto nos dice que a medida que la profundidad aumente en el suelo, la macrofauna disminuye en el suelo (Tabla 22).

Blair et al. (1996) Estima que en un suelo en promedio hay 10 ton de lombrices de tierra por 0.4 ha/año y que en 50 años llevan hasta la superficie todo el volumen de suelo contenido en los primeros 22 cm. Coincidiendo con el autor ya que en los tres sistemas de uso, en los primeros 10 cm se encontraron la mayor cantidad de microorganismos, a medida que se incrementaban la profundidad los microorganismos disminuyen en cantidad.

Tabla 22. Densidad de macrofauna a diferentes profundidades en los tres sistemas de uso de la tierra

Profundidad	Densidad (Ind.m ⁻²)		
	Cacao	Cítrico	Café
0 – 10	75	50	70
10 – 20	8,8	10,2	11,2
20 – 30	0	0	0

4.3.3. Diversidad de la macrofauna del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra

La diversidad de la macrofauna en los tres sistemas de uso (Tabla 23) nos muestran los resultados obtenidos de la macrofauna por el método de Simpson (D) y el método de Shannon – Wiener (H'), donde un alto número de especies en las muestras nos presentan una elevada diversidad en los diferentes cultivos, observando que para el índice Shannon – Wiener (H'), los sistemas de uso con cultivos de café, cítrico y cacao presentaron valores similares de H' presentando una diversidad de calidad regular, mientras el índice Simpson para los tres sistemas de uso de la tierra nos indica una diversidad baja por presentar valores menores a 0,70 o 70%, en tanto los mayores valores de equidad lo presentaron los sistemas de uso de la tierra con café y cacao con 0,57 y 51 E.

Según Franco (1989), existen muchos índices que estiman la diversidad de una comunidad, pero los que se basan en la teoría de la información han ganado mayor fuerza a pesar de sus inconvenientes. Este último calcula la probabilidad de que dos personas elegidas al azar en una comunidad infinita sean miembros de la misma especie. Dado que la comunidad de uno de los microorganismos pertenece a la misma especie, el autor coincide con lo dicho.

Debido a que Shannon-Wiener es sensible a cambios en la abundancia de especies raras, según Moreno (2001), es aplicable a estudios de conservación de la naturaleza, donde los valores de este índice suelen oscilar entre 1,5 y 3,5 y rara vez llegan a 4,5. Estos valores en la investigación son inferiores a lo que menciona el autor.

Franco (1989) indica que para cuantificar la diversidad se han elaborado diferentes Índices, así tenemos: Considerando el criterio de la Heterogeneidad. Coincidiendo con el autor ya que en la investigación los tres sistemas de uso, son heterogéneos.

Moreno (2001) manifiesta que el índice de equitatividad presenta una escala de valores de 0 a 1. En la investigación los valores de los tres sistemas de uso, se encuentran dentro de esta escala de valores.

Tabla 23. Diversidad biológica método de Simpson y Shannon – Wiener en los tres sistemas de uso de la tierra

Tipos de cultivos	Simpson		Shannon-Wiener	
	D	%	H'	E
Cacao	0.40	40.5	0.61	0.51
Cítrico	0.45	45.5	0.62	0.48
Café	0.34	34.3	0.60	0.57

H': Índice Shannon y Wiener, D: Simpson, E: equidad.

4.4. Relación existente entre la macrofauna edáfica y las propiedades físicas y químicas del suelo en los tres sistemas de uso de la tierra en el sector afilador

Se observa en la Tabla 24, que la correlación entre la densidad de la macrofauna del suelo y la densidad aparente del suelo es positiva (0,96) y significativa (p-valor = 0,014290), es decir que la densidad de la macrofauna del suelo es directamente proporcional a la densidad aparente del suelo y que ambas variables crecen y decrecen conjuntamente, asimismo el factor de resistencia a la penetración es directamente proporcional a la densidad de la macrofauna del suelo (0,98). Por otro lado, la correlación entre la biomasa de la macrofauna del suelo y el K₂O del suelo es fuerte, negativa (-1) y altamente significativa (p-valor = 0,002343), es decir que la biomasa de la macrofauna del suelo es inversamente proporcional al K₂O del suelo, en tanto si una de estas variables se incrementa la otra disminuye o viceversa.

Se encontró que había una correlación entre un mayor contenido de N en la tierra, niveles más altos de biomasa edáfica y niveles más altos de MO en el suelo y que todos estos factores reducirían la resistencia a la penetración. En otras palabras, existe una gran probabilidad de que los indicadores físicos, químicos y biológicos estén relacionados.

Tabla 24. Correlación entre las propiedades del suelo con la macrofauna en los tres sistemas de uso de la tierra

Propiedades biológicas	Propiedades físicas	Coef. de Pearson	p - valor	significancia
Densidad macrofauna	densidad aparente	0,96	0,014290	*
Resistencia P	Densidad macrof.	0,98	0,000345	*
Biomasa macrofauna	K ₂ O	-1	0,002343	*

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

V. CONCLUSIONES

- Los suelos de los tres sistemas de uso presentan una textura franca a franco limoso, densidad aparente típicas y resistencia de la penetración alto, temperatura de 24.2 °C, químicamente presentan pobreza en nutrientes, de baja fertilidad para cultivos tolerantes a la acidez.
- La macrofauna presentó 10 órdenes y 17 familias con 361 individuos en los tres sistemas de uso, predominando la orden himenóptera y oligochaeta. Mayor valor del índice de SHANNON manifestó una mayor biodiversidad del ecosistema, con un valor mayor a 60% de SIMPSON se tiene una mayor diversidad, el sistema de uso con café y con cítrico presentó buena diversidad de especies respectivamente.
- Los sistemas de uso, ricos en biomasa fueron los cultivos con café y cítrico (11.2 y 10.2 g/m²), debido a la estructura trófica del suelo, compleja y dinámica en los primeros centímetros de profundidad.
- La abundancia y biomasa de macroinvertebrados en los tres sistemas de uso, se presentó en el estrato superficial de 0 - 10 cm.
- La relación entre las características fisicoquímicas y biológicas determinaron que las densidades de microorganismos en el suelo presentan un efecto positivo con el contenido de nitrógeno, a un mayor contenido de materia orgánica en el suelo conllevaría a una disminución de la resistencia a la penetración, y una buena cantidad de potasio del suelo a un incremento de la biomasa edáfica.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Realizar la investigación en diferentes estadios climáticos con dos a tres evaluaciones por mes y duplicar o triplicar las repeticiones en cada evaluación para entender mejor la dinámica poblacional de la macrofauna edáfica.
- Realizar una investigación de macrofauna edáfica entre suelos con cierto grado de contaminación y suelos relativamente no contaminados, para realizar la comparación entre estos.
- Caracterizar la vegetación circundante y los parámetros edáficos de los sistemas de uso de la tierra para encontrar relaciones de la diversidad y abundancia con dichos parámetros y en relación con la vegetación circundante.

VII. REFERENCIAS

- Acevedo, J., Martínez, E. (2003). *Sistema de labranza y productividad de los suelos*. Serie ciencias agronómicas. 13 – 27 p.
- Acevedo, E., Carrasco, A., León, O., Silva, P., Castillo, G., Borie, G., Martínez, E., González, S., ahumada, I. (2005). *Criterios de calidad del suelo agrícola*. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/informe>, 22 Feb. 2018).
- 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. 11 – 06 p.
- Blair, J., Bohlen, P., Freckman, D. (1996). *Soil Invertebrates as indicators of soil quality*. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality Methods*. SSSA, Madison WI. Special Publication no. 49. 291 p
- Brown, S. (1995). *Forest resources assessment 1990 global synthesis*. FAO forestry Paper 134, Rome Italy.
- Brown, G.G. Barois, I. Lavelle, P. (2000). *Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains*. Eur. J. Soil Biol. 36: 177 – 198 p.
- Brown, G.G., Fragoso, I., Barois, P., Rojas, J., Patrón, J., Bueno, A., Moreno, P. (2001). *Diversidad y Rol Funcional de la Macrofauna Edáfica en los Ecosistemas Tropicales Mexicanos*. México. 100 p.
- Calzada, J. (1996). *Métodos estadísticos para la investigación*. Ed. Jurídica S.A. 3 ed. Lima, Perú. 643 p.
- Clapperton, J. (2000). *Creating healthy productive soil*. In Congreso Nacional de AAPRESID (8., Mar del Plata, Argentina). p. 35-40.
- Cárdenas, P. (2008). *Determinación de la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 77 p.
- Cepeda, D. (1991). *Química de Suelos*. 2 ed. Trillas S.A., México. 167 p.
- Correia, M.E.F. Oliveira, L.C.M. (2000). *De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos*. Seropédica: Embrapa agrobiología. 46 p.
- Correa, P. (2011). *Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en el predio Tulumayo – UNAS - Tingo María*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 108 p.

- Coyne, M. (2000). *Microbiología del suelo: Un enfoque exploratorio*. Madrid, España, Paraninfo.
- Curry, J.P. Good, J.A. (1992). *Soil faunal degradation and restoration*. *Advances in Soil Science* 17: 171-215.
- Chen, Z. (2000). *Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops*. (<http://www.fftc.agnet.org/>, 12 Feb. 2006).
- Dalurzo, H.C. Vázquez, S. Ratto, S. (2002). *Indicadores físicos de calidad de suelos en oxisoles de misiones (Argentina)*. Jornadas científicas y tecnológicas de la universidad nacional del noroeste/ disponible en <http://www.unne.edu.ar/cyt/2002/cyt.htm>
- Daubenmire, R. (1993). *Tratado de auto ecológico de plantas*. 5o. Ed. Omega, Madrid, España.
- Decaëns, T. Lavelle, P. Jiménez, J.J. Escobar, G. Rippstein, G. Schneidmadl, J. Sanz, J.I. Hoyos, P. Thomas, R. J. (2001). *Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia*. In Jiménez, J.J.; Thomas, R. J. U. (Eds.). *Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the Neotropical savannas of Colombia*. Cali, CIAT. Publicación CIAT no. 324. p. 19-41.
- Decaëns, T. Lavelle, P. Jiménez, J. J. Escobar, G. And Rippstein, G. (1994) '*Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia*'. *European Journal of Soil Biology*, vol. 30, pp. 157–168.
- Doran, J. Lincoln, N. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad del suelo*. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>, Documento, 22 Nov. 2005).
- Doran, J.W. Parkin, T.B. (1996). *Indicadores cuantitativos de la calidad del suelo: un conjunto mínimo de datos*. Métodos para evaluar la calidad del suelo. Soil Science Society of America Publicación Especial, vol. 49, pp.25–37. Madison, WI.
- Dubs, F. Lavelle, P. Brennan, A. Eggleton, P. Haimi, J. Ivits, E. Jones, D. Keating, A. Moreno, A.G. Scheidegger, C. Sousa, P. Szel, G. Watt, A. (2004). *Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: European gradient study*. In *International Colloquium on Soil Zoology and Ecology*. (14, 2004, France). Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. p. 252.
- Etter, R.J. (1991). PopDyn: an ecological simulation program. *Bioscience* 41: 784-790.
- FAO. (2002). *Desafíos y Oportunidades para el Sector Forestal en Virtud Del Protocolo De Kyoto*.
- FAO. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura *Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo*. (<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/es/>).

- Fassbender, H. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2 ed. IICA, San José, Costa Rica. 40 p.
- Fernández, R. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos*. Instituto Mexicano del petróleo, México D.F.
- Franco, J. (1989). *Manual de ecología*. Trillas, México. 94 p.
- 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.
- Ferreras, L. Toresani, S. Bonel, B. Fernandez, E. Bacigaluppo, S. Faggioli, V. Beltrán, C. (2009). *Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos*. Ci. Suelo (Argentina). 27(1):103-114.
- Forsythe, W. (1975). *Física de suelos*. Manual de laboratorio. IICA. México.
- Guerrero, J. (2000). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. 2 ed. Aedos. S.A., España.
- Halffter, G. Moreno, C.E. Pineda, E.O. (2001). *Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera*. Manuales & Tesis vol. 2.
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, M.P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6 ed. México, McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. 656 p.
- Holdrige, L. (1993). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Jaramillo, D. (2003). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. pp 553-572.
- Jiménez, R. & González, V. (2006). *La calidad de suelos como medida para su conservación. Edafología*. Universidad Autónoma de Madrid. Dpto. de Geología y Geoquímica. Madrid, España, vol 13, 125-138 p.
- Lavelle, P. Spain, A.V. (2001). *Soil Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.
- Linares, D.E. Tapia, S.C. Gamarra, O. Torres, J. (2007). *Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el Parque Nacional Tingo María, Huánuco – Perú*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Consorcio Internacional Iniciativa Amazónica para la Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Naturales (IA). 5 p.
- Luizão, R.C.C. Barros, E. Luizão, F.J. Alfaia, S.S. (2002). *Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry system in Rondônia, Amazônia, Brasil*. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystem for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja.

- Lok, S. (2005). *Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción del ganado vacuno*. [Tesis de doctorado]. Instituto de ciencia animal. Cuba. 119 p.
- MINAG. (2011). *Cadena agropecuaria de papa*. Manejo y fertilidad de suelos. Guía técnica de orientación al productor. 50 p.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO y Sociedad Entomológica Aragonesa. Serie Manuales y Tesis SEA. 84 p.
- Morón, M.A. (2001). *Los insectos como reguladores del suelo en los agroecosistemas*. In Reunión Sul-Brasileira sobre Pragas de Solo. (8., 2001, Londrina, Brasil). p. 45-57.
- Moscattelli, G. Sobral, R. Nakawa, V. (2005). *Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos*. INTA, (<http://www.inta.gov.ar>, documento 10 Abr. 2018).
- Navarro, G. (2003). *Química agrícola*. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 Ed. Mundi Prensa, España.
- Pashanasi, B. (2001). *Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana*. Folia Amazónica. Lima, Perú. 12(1-2): 75-797.
- Porta, M. Lopez, A. Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España. 622 p.
- Ramírez, & Gonzáles, A. (1999). *Ecología Aplicada*. Fundación Universidad de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 325p.
- Reátegui, H. (2009). *Efecto de los sistemas de uso en los macro invertebrados bajo cinco condiciones en el distrito de Rupa Rupa*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 64 p.
- Sánchez, J. (2007). *Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas*. FERTITEC S.A. 19 p.
- SENAMHI. (2013). *Condiciones de tiempo. Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú*. Senamhi. (http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi. Artículo, 4 Feb. 2018).
- Simpson, E. H. (1949). *Measurement of diversity*. *Nature*. Literatura científica. 163-168 p.
- Soil Survey Staff. (1993). *Soil survey manual*. United States Departament of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.

- USDA. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 88 p.
- Verhoef, H. Van Selm, A.J. (1983). *Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture*. Holartic Ecology 6:387:394.
- Wellington, J. (1995). Abundancia, Distribuicao Vertical e Fenologia da fauna de arthropoda de uma região de agua mista, próxima de Manaus, am. Brasil.
- Wild, A. (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Ed. Mundi – Prensa. Madrid, España. 1045.
- Zavala, W. (1999). *Estudio morfopedológico como base para la recuperación de suelos degradados en Tingo María*. [Tesis de Maestría]. Escuela de postgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Zavaleta, A. (1992). *Edafología*. El suelo en relación con la producción. Editado por A&B S.A. lima, Perú, Consejo nacional de ciencia y Tecnología – CONCYTEC.
- Zerbino, M.S. Morón, A. (2003). *Macrofauna del suelo y su relación con propiedades físicas y químicas en rotaciones cultivo-pastura*. In Morón, A.; Díaz, R. (Eds. técnicos). Simposio “40 años de rotaciones agrícolas – ganaderas”. Montevideo, INIA. Serie Técnica no. 134. p. 45-53.

ANEXO

Anexo 1. Tabulación de datos

Tabla 25. Parámetros físicos encontrados en los tres sistemas de uso de la tierra.

Tipos de cultivos	Características del suelo	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Cacao	24.2	80
Cítrico	23.5	73
Café	23.3	73

Tabla 26. Unidades Taxonómicas encontradas en el sistema de uso de la tierra con cacao

Profundidad	Grupo taxonómico	Nº	Peso total (g)
0 - 10 cm	Himenóptera (Hormiga)	11	0.1957
	Lepidóptera (Larva Mariposa)	2	0.0019
	Aránea (arañas)	2	0.2599
	Coleóptera (escarabajo)	6	0.0924
	Gasterópoda (caracol de tierra)	1	0.0381
	Scolopendromorpha (cien Pies)	1	0.0126
	Homóptera (Chicharras)	4	0.2351
	Isóptera (Termitas)	6	0.0682
10- 20 cm	Oligochaeta (Lombriz)	1	0.0557
	Himenóptera (Hormiga)	27	0.4924
	Geophilomorpha (cien Pies)	1	0.0118
	Isópoda (Chanchito del suelo)	1	0.0301
	Aránea (Arañas)	1	0.1252
20 – 30	Coleóptera (Escarabajos)	2	0.0087
	Coleóptera (Escarabajos)	2	0.0111
	Himenóptera (Hormigas)	4	0.0712

Tabla 27. Unidades Taxonómicas encontradas en el sistema de uso de la tierra con café.

Profundidad	Grupo taxonómico	Nº de individuos	Peso total (g)
0 - 10 cm	Homóptera (Chicharras)	2	0.2568
	Himenóptera (Hormigas)	8	0.1811
	Aránea (Arañas)	2	0.1821
	Geophilomorpha (Cien pies)	2	0.0219
10- 20 cm	Collembola (colémbolos)	2	0.0921
	Isóptera (Termitas)	4	0.0167
	Himenóptera (Hormigas)	8	0.0778
20 – 30	Polidésmida (Mil pies)	2	0.0839
	Coleóptera (escarabajos)	1	0.0059

Tabla 28. Unidades Taxonómicas encontradas en el sistema de uso de la tierra con cítrico.

Profundidad	Grupo taxonómica	Individuos	Peso total (gr)
0 - 10 cm	Himenóptera (Hormigas)	17	0.0311
	Oligochaeta (Lombriz de tierra)	11	1.4218
	Geophilamorphia (Cien pies)	1	0.0106
	Isópoda (chanchito del suelo)	1	0.0251
	Aránea (Arañas)	2	0.3181
	Coleóptera(Escarabajos)	3	0.0914
10 – 20 cm	Oligochaeta (Lombriz del suelo)	7	0.9811
	Orthoptera (picudo)	1	0.2316
20 – 30 cm	Oligochaeta (Lombriz del suelo)	1	0.0325

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 3. Muestreo de suelo en el sistema de uso con cacao.



Figura 4. Medición de la resistencia del suelo en el sistema con cacao



Figura 5. Pendiente del suelo en el sistema con cacao



Figura 6. Georreferenciación del sistema de uso con cacao



Figura 7. Muestreo de suelo para densidad aparente sistema de uso con cacao



Figura 8. Identificación de macrofauna en el sistema de uso con cacao



Figura 9. Medición de la resistencia del suelo en el sistema con café.



Figura 10. Georreferenciación del sistema de uso con café.



Figura 11. Medición de la pendiente del suelo en el sistema con café



Figura 12. Muestreo de suelo en el sistema de uso con café.



Figura 13. Densidad aparente en el sistema de uso con café.



Figura 14. Identificación de macrofauna en el sistema de uso con café



Figura 15. Sistema de uso con cítrico.



Figura 16. Muestreo de suelo en el sistema de uso con cítrico.



Figura 17. Medición de la resistencia del suelo en el sistema con cítrico



Figura 18. Georreferenciación del sistema de uso con cítrico.




Figura 19. Lombriz de tierra.




Figura 20. Especimen del orden Isópoda.

Anexo 3. Análisis de suelos




UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Carretera Central Km1.21 - Tingo María - CELULAR 941531359
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:				PROCEDENCIA:																			
DE LA CRUZ INUMA KARIN				SECTOR:		AFILADOR				PROVINCIA				LEONCIO PRADO									
				DISTRITO:		RUPA RUPA				DEPARTAMENTO				HUANUCO									
N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%	
				Arena	Arcilla	Limo							Ca	Mg	K	Na	Al	H					Bas. Camb.
		REFERENCIA	CULTIVO	%	%	%	Textura	1:1	%	%	disponible		ppm	ppm									
1	S0875	M1	CACAO	30	25	45	Franco	6.20	1.45	0.07	7.29	49.98	12.48	7.64	4.47	0.19	0.19	--	--	--	100.00	0.00	0.00
2	S0876	M2	CITRICOS	28	31	41	Franco Arcillo Limoso	5.02	1.39	0.07	5.52	64.97	----	3.24	2.41	--	--	1.79	0.44	7.88	71.69	28.31	22.72
3	S0877	M3	CAFÉ	22	35	43	Franco Arcillo Limoso	4.68	1.58	0.08	4.48	86.96	----	3.35	2.21	--	--	3.40	0.60	9.56	58.15	41.85	35.57

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
TINGO MARIA, 16 DE JULIO 2019
RECIBO N° 0585920



Ing. Luis C. Mansilla Minaya
JEFE




Figura 21. Análisis de suelos de los tres sistemas de uso de la tierra