

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



CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE CULTIVOS EN EL SECTOR
ASERRADERO DISTRITO CASTILLO GRANDE

Tesis para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

ROSSANA RIVERO FASABI

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 040-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 30 de junio del 2022 a horas 10:30 a. m. a través de la plataforma virtual MS Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE CULTIVOS EN EL SECTOR ASERRADERO DISTRITO CASTILLO GRANDE”

Presentado por la Bachiller: **RIVERO FASABI, Rossana**, 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 RECURSOS NATURALES RENOVABLES, MENCIÓN: 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, 05 de octubre de 2022

Ing. M. Sc. **JOSE LEVANO CRISOSTOMO**
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. **EDILBERTO DIAZ QUINTANA**
MIEMBRO



DR. **ROBERTO OBREGON PEÑA**
MIEMBRO

Ing. M. Sc. **JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO**
ASESOR

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



CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE CULTIVOS EN EL SECTOR
ASERRADERO DISTRITO CASTILLO GRANDE

Autor : ROSSANA RIVERO FASABI

Asesor : Ing. M.Sc. RENGIFO TRIGOZO, Juan Pablo

Programa de Investigación : Ciencias Básicas

Línea (S) de Investigación : Físicos, químicos y biológicos del suelo

Eje temático de Investigación: Prácticas y uso de manejo que mejoren la calidad del suelo

Lugar de Ejecución : Aserradero

Duración : 06 meses

Financiamiento : S/. 4,544.70

FEDU : No

Propio : Si

Otros : No

Tingo María – Perú

2022

DEDICATORIA

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

A mis padres, Ernesto Rivero Gonzales y Gladis Fasabi Guerra, con su esfuerzo, apoyo, consejos, valores, por la motivación constante me permitieron ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mis hermanas Zayra Zuleyka y Gladis Rosalinda, Rivero Fasabi por esta siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

A mi esposo José Fernández Orbezo quien contribuyó en mi formación, con su ejemplo de vida me ayudó a afrontar los retos que se presentaron a lo largo de mi vida

A mi adorada hija Bianca Rossana Fernández Rivero, quien es la motivación para seguir adelante en mi formación profesional y de esta manera culminar satisfactoriamente la investigación

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por mi fe y devoción, por la fortaleza física y mental que me brindo en mi día a día para guiarme por un buen camino en mi formación profesional, desde los cielos, Dios nos protege y ayuda a que cada día sea especial, único y sobre todo lleno de bendiciones.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, mi alma mater, por albergarme en sus aulas durante mi formación profesional.
- A la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en especial a la escuela profesional de ingeniería en Conservación de Suelos y Agua por haberme permitido formarme en ella, gracias a sus docentes por inculcarme sus sabios conocimientos, experiencia, facilidades de aprendizaje para la culminación de mi carrera profesional y todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M.Sc. José Lévano Crisóstomo; Ing. M.Sc. Víctor Beteta Alvarado; Ing. M.Sc. Edilberto Días Quintana y al Ing. Jaime Torres García, por el tiempo tomado para la evaluación de mi tesis.
- Al Ing. M.Sc. Rengifo Trigozo Juan Pablo, asesor del presente trabajo de investigación, por su amistad, sus consejos y desinteresada asistencia en la presente tesis.
- A mis queridos suegros Edilberto Fernández Domínguez y Vilma Orbezo Piñan, por su apoyo incondicional en la culminación de la investigación y por la formación de una persona de bien para con su hijo.
- A mi cuñada que la quiero y la respeto Eulalia Fernández Orbezo y a su esposo Victor Vicente Gutiérrez Tinoco por su apoyo incondicional en cada momento de flaqueza de mi vida.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Marco teórico.....	18
2.2.1. Suelo.....	18
2.2.1.1. Factores edáficos	18
2.2.2. Muestreo de suelos	18
2.2.1.1. Tipos de muestreo	19
2.2.1.2. Formas de muestreo	19
2.2.3. Análisis de suelo	19
2.2.4. Calidad física del suelo	19
2.2.5. Sistema de manejo de suelo	20
2.5.1.1. Manejo sustentable de suelos	20
2.2.6. Fertilidad del suelo	20
2.2.7. Características de las propiedades físicas del suelo	21
2.2.7.1. Textura del suelo	21
2.2.7.2. Clase textural.....	21
2.2.7.3. Densidad aparente del suelo.....	22
2.2.7.4. Resistencia del suelo a la penetración	23
2.2.7.5. Estabilidad de los agregados del suelo.....	23
2.2.7.6. Temperatura del suelo	24
2.2.8. Características de las propiedades químicas del suelo	24
2.2.8.1. Reacción del suelo (pH).....	24
2.2.8.2. El pH	25
2.2.8.3. Escala del pH.....	25
2.2.8.4. Factores que afectan el pH	26
2.2.9. Materia orgánica.....	26
2.2.9.1. Niveles de materia orgánica	26
2.2.10. Capacidad de intercambio catiónico.....	27
2.2.10.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos	27

2.2.10.2. Factores de CIC.....	28
2.2.10.3. Importancia de la capacidad de cambio	28
2.2.11. Nutrientes del suelo	29
2.2.11.1. El nitrógeno en el suelo	29
2.2.11.2. El fósforo en el suelo.....	30
2.2.11.3. El potasio en el suelo.....	30
2.2.12. Sistemas de producción y prácticas de manejo.....	31
2.2.13. Características de las propiedades biológicas del suelo	31
2.2.13.1. Macrofauna del suelo	31
2.2.14. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia	
Funcional.....	33
2.2.15. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo.....	33
2.2.16. Biodiversidad.....	35
2.2.16.1. Distribución de la biodiversidad	36
2.2.16.2. Valor de la biodiversidad	36
2.2.17. Diversidad de especies.....	36
2.2.17.1. Riqueza bilógica.....	37
2.2.17.2. Diversidad alfa	37
2.2.18. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo	38
2.2.19. Importancia de la macrofauna en las propiedades del suelo.....	38
III. MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1. Lugar de ejecución.....	39
3.1.1. Ubicación política y geográfica	39
3.1.2. Características ambientales de la zona de estudio	39
3.1.3. Geología y suelo	39
3.1.4. Climatología	40
3.1.5. Fisiografía y pendiente	40
3.1.6. Accesibilidad	40
3.2. Descripción de los sitios donde se realizará el muestreo.....	40
3.2.1. Parcela con pasto natural	40
3.2.2. Parcela con cítrico	40
3.2.3. Parcela con plátano	41

3.2.4.	Parcela con yuca	41
3.3.	Materiales, insumos y equipos.....	41
3.3.1.	Materiales	41
3.3.2.	Equipos	41
3.4.	Tipo y nivel de investigación.....	41
3.4.1.	Tipo de la investigación.....	41
3.4.2.	Nivel de la investigación	41
3.5.	Método y diseño de la investigación	42
3.5.1.	Método de la investigación	42
3.5.2.	Diseño de la investigación	42
3.6.	Metodología.....	42
3.6.1.	Enfoque metodológico.....	42
3.6.2.	Etapa pre campo	43
3.6.3.	Etapa de campo.....	43
3.6.4.	Para determinar las propiedades físicas y químicas en los cuatro tipos de cultivos en el sector aserradero	43
3.6.5.	Para la determinar la diversidad alfa de la macrofauna en cuatro tipos de cultivos en el sector aserradero	47
3.6.6.	Etapa de gabinete	48
3.6.7.	Variables a evaluar	48
3.6.8.	Análisis de datos	48
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1.	Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo en cuatro tipos de cultivos en el sector aserradero.....	54
4.1.1.	Propiedades físicas del suelo	54
4.1.2.	Propiedades químicas del suelo	58
4.1.3.	Propiedades biológicas del suelo	63
4.2.	Diversidad alfa de la macrofauna de suelo en cultivos en el sector aserradero ...	69
4.2.1.	Riqueza de especies	69
4.2.2.	Estructura de las especies	70
4.2.3.	Relación de la macrofauna del suelo versus las propiedades del suelo en el sector aserradero.....	71

V. CONCLUSIONES 73

VI. PROPUESTAS A FUTURO..... 74

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 75

ANEXO..... 78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Agrupamiento general de las clases texturales	22
Tabla 2. Niveles de pH del suelo	25
Tabla 3. Niveles de la materia orgánica	27
Tabla 4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5).....	28
Tabla 5. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5.5).....	29
Tabla 6. Niveles de contenido de nitrógeno	29
Tabla 7. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen).....	30
Tabla 8. Niveles de contenido de potasio.	30
Tabla 9. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna.....	31
Tabla 10. Actividades de la fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.....	33
Tabla 11. Ubicación en coordenadas UTM de los diferentes tipos de cultivos.....	39
Tabla 12. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variables).....	46
Tabla 13. Textura de los suelos encontrados en los cuatro tipos de cultivos.....	48
Tabla 14. Densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura de los suelos encontrados en los cuatro tipos de cultivos.....	49
Tabla 15. Características químicas del suelo de los cuatro tipos de cultivos.....	50
Tabla 16. Macrofauna del suelo en los cuatro tipos de cultivos.....	51
Tabla 17. Densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso de suelo.....	51
Tabla 18. Densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso y profundidades.....	54
Tabla 19. Biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes	

Profundidades.....	55
Tabla 20. ANVA de la densidad de macrofauna con respecto a los diferentes tipos de cultivos y profundidad de muestreo.....	56
Tabla 21. Densidades (individuos/m ²) en diferentes sistemas (promedio error \pm estándar).....	56
Tabla 22. Densidades (individuos/m ²) en diferentes profundidades del suelo (promedio error \pm estándar).....	57
Tabla 23. ANVA de la biomasa de macrofauna con respecto a los cuatro tipos de cultivos y profundidad de muestreo.....	57
Tabla 24. Biomasa medias (g/m ²) en diferentes tipos de cultivos (promedio error \pm estándar).....	58
Tabla 25. Biomasa medias (g/m ²) a diferentes profundidades del suelo (promedio error \pm estándar).....	58
Tabla 26. Grupos taxonómicos de la macrofauna con respecto a los cuatro tipos de cultivos y profundidad de muestreo.....	59
Tabla 27. Grupos taxonómicos (especies) a diferentes profundidades del suelo (promedio error \pm estándar).....	59
Tabla 28. Diversidad de especies de macrofauna del suelo, índice de Simpson y Shannon – Wiener.....	60
Tabla 29. Correlación entre las propiedades del suelo con cultivos y la macrofauna.....	60
Tabla 30. Parámetros físicos encontrados en los suelos de los diferentes tipos de cultivos ...	61
Tabla 31. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con cultivo de plátano.....	61
Tabla 32. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con cultivo de yuca.....	62
Tabla 33. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con pasto natural.....	62

Tabla 34. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con cultivo de cítrico.....	63
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Tamaño de la fauna edáfica (BLAIR <i>et al.</i> , 1996).....	35
Figura 2. Esquema del plan de muestreo.....	45
Figura 3. Densidad de la macrofauna del suelo en cuatro tipos de cultivos.....	66
Figura 4. Densidad de macrofauna del suelo en diferentes profundidades de muestreo.....	69
Figura 5. Medición de la resistencia del suelo con cultivo de plátano.....	82
Figura 6. Muestreo para determinar la densidad aparente del suelo	82
Figura 7. Muestreo de suelo con cultivo de plátano	83
Figura 8. Muestreo de macrofauna del suelo con cultivo de yuca	83
Figura 9. Muestreo de macrofauna en cultivo de cítrico	84
Figura 10. Georeferenciación del terreno en pasto natural.....	84
Figura 11. Pasto natural.....	85
Figura 12. Macrofauna del suelo con cultivo de plátano.....	85
Figura 13. Lombriz de tierra.....	86
Figura 14. Especimen del orden Isópoda.....	86

RESUMEN

El estudio se realizó en el sector de aserradero del distrito de Castillo Grande de la provincia de Leoncio Prado, y se midió la calidad del suelo de cuatro cultivos en el distrito de Huánuco, evaluando la densidad de macrofauna del suelo, biomasa y características físicas, índices químicos y de biodiversidad, etc. Objetivo: Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo, identificar y cuantificar la macrofauna del suelo a diferentes profundidades para cuatro cultivos (plátano, cítricos, yuca y gramíneas nativas), y evaluar la macrofauna del suelo y sus propiedades fisicoquímicas del suelo. Los resultados mostraron que la textura del suelo fue de franco a franco limoso, la densidad aparente fue (2.16-2.32 g/cm³) y la impermeabilidad fue (1.4-1.5 g/cm²). Las propiedades químicas se caracterizan por su pobreza en nutrientes, son suelos de fertilidad media y alta para el cultivo de especies tolerantes a la acidez. La macrofauna edáfica presentó 10 órdenes y 17 familias con un total de 443 individuos en los cuatro tipos de cultivos, predominando la orden himenóptera y oligochaeta. El índice de SHANNON manifestó una mayor biodiversidad del ecosistema, SIMPSON a un valor mayor del 60% presentó una mayor diversidad, presentando el cultivo con yuca y cítrico una buena diversidad de especies 61 S 40 H, 62 S 45 H respectivamente, finalmente la relación entre las características fisicoquímicas y biológicas determinaron que la densidad de los microorganismos en el suelo presentó un efecto positivo con el contenido de nitrógeno.

ABSTRACT

The study was carried out in the sawmill sector of the Castillo Grande district of the Leoncio Prado province, and the soil quality of four crops in the Huánuco district was measured, evaluating the density of soil macrofauna, biomass and physical characteristics, chemical and biodiversity indices, etc. Objective: To determine the physicochemical properties of the soil, identify and quantify the soil macrofauna at different depths for four crops (banana, citrus, cassava, and native grasses), and evaluate the soil macrofauna and its soil physicochemical properties. The results showed that the texture of the soil was from loam to silt loam, the apparent density was (2.16-2.32 g/cm³) and the impermeability was (1.4-1.5 g/cm²). The chemical properties are characterized by its poverty in nutrients. , are soils of medium and high fertility for the cultivation of species tolerant to acidity. The edaphic macrofauna presented 10 orders and 17 families with a total of 443 individuals in the four types of crops, predominating the order Hymenoptera and Oligochaeta. The SHANNON index showed a greater biodiversity of the ecosystem, SIMPSON at a value greater than 60% presented a greater diversity, presenting the cultivation with cassava and citrus a good diversity of species 61 S 40 H, 62 S 45 H respectively, finally the relation between the physicochemical and biological characteristics determined that the density of microorganisms in the soil had a positive effect with the nitrogen content.

I. INTRODUCCIÓN

La naturaleza de los suelos y su biota asociada cambia más desde el momento en que se alteran los sistemas naturales para desarrollar actividades agrícolas. Las comunidades que existan dependerán de la intensidad de los cambios provocados por los ecosistemas naturales y de la capacidad en que los organismos puedan adaptarse a variaciones. La macrofauna reacciona a manejos en niveles temporales de meses o años, por lo que se destaca por su potencial como biomarcador (Lavelle y Spain, 2001).

El suelo es considerado el recurso más importante para la vida en la Tierra porque es la base básica para el desarrollo agrícola y forestal. Como parte de los sistemas naturales y sociales, realiza funciones esenciales de propiedades biológicas, nutricionales, depurativas y de apoyo mecánico. Alberga una multitud de diferentes especies microbianas, animales y vegetales responsables de actividades metabólicas que son esenciales para su formación, función y fertilidad. Aun así, los diferentes regímenes de uso de la tierra pueden causar diversos niveles de perturbación y, al alterar sus propiedades, tanto física, química y biológica, pueden tener alteraciones como la degradación y la erosión, lo que puede llevar al deterioro de la calidad del suelo. El trabajo se justifica dada la importancia de reconocer las prácticas de la agricultura o el manejo que afectan negativamente en la macrofauna del suelo.

Los indicadores de calidad física, química y biológica facilitan datos valiosos que mejorará la comprensión de la función del suelo y la orientación del ecosistema en el corto plazo, ya sea para su restauración, conservación o degradación, y el punto de partida para proyectos de planificación y gestión, utilizando medidas para proteger y mitigar la degradación del manejo de la tierra. El estudio contribuiría al conocimiento de las alteraciones de los sistemas de uso sobre la comunidad biológica del suelo. En base a ello nos hacemos la interrogante ¿Los tipos de cultivos influirán en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y modificará la calidad de los mismos en el sector aserradero?, planteándose como hipótesis: Ha: los tipos de cultivos influyen sobre las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo y modifica la calidad estos en el sector aserradero; Ho: los tipos de cultivos no influyen sobre las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo y tampoco modifica la calidad de estos en el sector aserradero. En base a lo que se propuso se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

- Determinar la calidad del suelo en cuatro tipos de cultivos en el sector aserradero, distrito de Castillo Grande.

1.2. Objetivo específico:

- Determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas en cuatro tipos de cultivos en el sector Aserradero.
- Determinar la diversidad alfa de la macrofauna del suelo en cuatro tipos de cultivos en el sector Aserradero.
- Evaluar la relación que existe entre la macrofauna edáfica y las propiedades físicas y químicas del suelo de los cuatro tipos de cultivos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

La consistencia poblacional de la macrofauna del suelo es más alta en la capa de la superficie, de 0 y 10 cm, y los factores físicos ambientales, la humedad, la temperatura y las hojas en el suelo son necesarias para determinar la distribución vertical y la abundancia de los macroinvertebrados. En el suelo, la densidad de macrofauna disminuye gradualmente a medida que aumenta la profundidad, en tanto, existen grupos de mayor cantidad en la parte más profunda del suelo (Wellinton, 1995).

El estudio de Pashanashi (2001) tuvo como objetivo evaluar las comunidades de macroinvertebrados del suelo en 22 sistemas de uso de la tierra en las regiones de Yurimaguas y Pucallpa. Durante la temporada de lluvias, se separaron manualmente 10 muestras cada una utilizando un sistema de 25 cm x 25 cm x 30 cm.

No perturbado e ininterrumpido, el bosque primario tiene una rica diversidad. Su densidad es igualmente alta (de 382 a 853 animales/m²) y la biomasa, principalmente oligoquetos, homópteros y ciempiés (de 57,8 a 91,1 g de las especies mencionadas/m²). Los rebaños tenían densidades de población de 362 a 574 animales/m² y una biomasa de 5,1 a 32,4 g a/m y estaban gravemente diezmados (Pashanashi, 2001).

La diversidad de pastos es baja. Su densidad de población varía de 654 a 1.034 personas por metro cuadrado. Debido a la colonización de la lombriz de tierra del halcón peregrino *Pontoscolex corethrurus*, su biomasa alcanza de 38,4 a 165,9 g peso fresco/m²; en tanto que la biomasa tiene una variación de 4.2 y 102 g peso fresco/m². En algunos acontecimientos, la herencia taxonómica es máximo que en los carrascales primarios (Pashanashi, 2001).

Finalmente, los sistemas agroforestales con leguminosas son diversos. En los sistemas cubiertos de maleza debajo del bosque secundario sucede lo contrario. Sus densidades de población oscilan entre 557 y 2.896 individuos/m², mientras que su biomasa cambia entre 18,5 y 170,5 g peso fresco/m², debido a que la mayor parte de la fauna del bosque primario se encuentra protegida, además, es colonizada por especies oportunistas (Miriápodos, Oligochaetes e Isóptera) de tierras perturbadas (Pashanashi, 2001).

Acevedo y Martínez (2003) tuvieron como objetivo estudiar los efectos de la labranza sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La agricultura intensiva que utiliza la gestión agrícola tradicional, incluida la renovación del suelo, tiene el efecto de reducir la materia orgánica del suelo. El cultivo sin aprovechamiento de residuos de cosecha en la parte superficial del suelo aumenta su contenido de materia orgánica, lo que afecta positivamente sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, afectando así su rendimiento. El labrado inverso tradicional de la capa superior del suelo promueve el control de malezas y la formación de semilleros, pero el suelo está expuesta a la erosión del agua y el viento y acelera la oxidación (quema) de los nutrientes. El balance de carbono del suelo bajo condiciones agrícolas convencionales es negativo. Dependiendo de la cantidad de carbono orgánico, la productividad del suelo aumenta o disminuye.

Aunque en un estudio de Linares et al. (2007) el objetivo fue estudiar el suelo macroscópico en varios sistemas de uso de suelo en el Parque Nacional Tingo María en Huánuco. Los grupos taxonómicos reconocidos han sido los mismos en todos los sistemas: bosque primario (BP), bosque secundario manejado (BS), agroforestería cafetalera (SAC) y agroforestería (SA). Los diferentes sistemas de prospección no mostraron diferencias significativas en los macrosistemas del suelo; sin embargo, densidades similares (896 ind m⁻²) se encontraron en SAC y SA de varios cultivos, y luego en BP (880 ind m⁻²) y BS (714 ind m⁻²), concernientemente. La biomasa de la macrofauna del suelo en SAC (18,55 g m⁻²) fue significativamente mayor que en SA (15,45 g m⁻²) y BP (9,64 g), entre los que predominan los bípodos (45%) y los oligoquetos (34%). -2) y BS (8 g m⁻²). La conclusión obtenida sugiere que la variedad de especies de plantas en los sistemas agroforestales cafetaleros y multiculturales puede conducir a mayores concentraciones de megafauna, posiblemente debido a la humedad aparente que se observa en ellos.

En la investigación de Cárdenas (2008), el objetivo fue establecer la mesofauna de suelo bajo en diferentes capas de cobertura de Tingo María a fin de comprender, cuantificar y caracterizar la dinámica de la fauna del suelo y, al mismo tiempo, en su mayor parte Identificación a nivel de malla, relación con la materia orgánica, en varios franjas, repetido 5 veces para cada estrato a lo largo del transecto. Los resultados mostraron que el suelo cubierto de bosque presentó el mayor número de individuos que representan la mesofauna, estimado en 16.304 individuos por metro cuadrado, y el suelo degradado, estimado en 448 personas por

metro cuadrado, el menor número de los 4 suelos estudiados, por su parte, el mejor indicador de materia orgánica es la hojarasca forestal, ya que hay una relación directa entre la cantidad de mesófago y la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

Bioindicadores investigados en varios sistemas de uso del suelo, se encontraron once especies taxonómicas, siendo las especies forestales secundarias las que más (10), seguidas de maizales (10), cafetales (8) y pastizales (6).

2.2. Marco teórico

2.2.1. El suelo

Método activo y complicado en el que suceden alteraciones físicas químicas y biológicas de diversa potencia y se expande tanto un manto constante incluso la extensión la tierra. (MINAG, 2011).

Además de ser el sostén y la fuente de nutrientes para las plantaciones, el suelo es un hábitat para muchos organismos. Los suelos acogen algunos de los biomas diversos de la Tierra. La dinámica de la vida en los suelos afirma que los suelos proporcionen múltiples servicios ecológicos a toda la biosfera bajo diferentes condiciones ambientales. (FAO, 2015).

2.2.1.1. Factores edáficos

Demuestra que la conformación florística de un estrato, es decir, variedad de vegetación o bosque (comunidad), también se encuentra influenciada por otro conjunto de factores del suelo sobre sus características específicas, a partir de lo cual influye el tipo de bosque. Hay más clima en las características del suelo. Distribución local, crecimiento, morfología, calidad de la madera, tolerancia al suelo y renacimiento de árboles (Daubenmire, 1993).

2.2.2. Muestreo de suelos

Hábito delicado ya que de ella va a depender el éxito del estudio. El muestreo debe tener en cuenta la variación del suelo en función del fondo del perfil y el área del sitio; obtener los análisis de suelo preciso necesita el uso de técnicos de laboratorio, uso correcto de instrumentos y reactivos, etc. (Forsyth, 1975).

2.2.2.1. Tipos de muestreo

- **Muestreo del perfil del suelo.** Se basa en tomar una muestra de los horizontes hasta la zona de control. Las muestras se utilizarán: para taxonomía, mapeo de suelos y para investigaciones de fertilidad potencial.
- **Muestreo superficial del suelo.** Se trata de tomar muestras de la capa superior del suelo, por lo general de 20 a 30 cm. Esta muestra se toma para la evaluación de fertilidad actual, para determinar programas de fertilización.

2.2.2.2. Formas de muestreo

El suelo varía horizontal (área) como verticalmente (profundidad), por lo que al muestrear se requiere incluir toda la gama de variaciones para minimizar la heterogeneidad del suelo y, en última instancia, obtener los resultados de la prueba. En tal sentido, debe ser una muestra compuesta. Que consta de 20 a 30 submuestras o muestras individuales recabadas de varios puntos de cada área demarcada para identificar la zona, y al iniciarse la muestra se debe limpiar la superficie del terreno para evitar toda contaminación. No se mezcla muestras de varios lotes. Tampoco deben tomar muestras de suelo: en el fondo de zanjas, donde se haya acumulado materia vegetal, donde se hayan producido incendios, pantanos, acumulaciones de sal. El área de terreno seleccionada para el muestreo debe ser homogénea para fines analíticos y por lo tanto más precisa (Azabache, 1991).

2.2.3. Análisis de suelos

Desarrollo intencional de examinar la proliferación del suelo por medio de análisis físicos y/o químicos. Esta técnica radica en sacar un ingrediente del suelo, para colocarlo de tal manera que pueda ser señalado por las técnicas analíticas de este método (Forsythe, 1975).

2.2.4. Calidad del suelo

La calidad es una herramienta ideal para reconocer o entender en qué estado de degrado se encuentran las funciones del suelo en un momento dado y qué se necesita hacer para funcionar mejor porque brinda información de las propiedades físicas, químicas y

biológicas. Jiménez y González (2006). Atributo a la calidad del suelo ya que necesita de una combinación de diferentes propiedades fisicoquímicas y biológicas, los efectos de los sistemas de manejo y cultivo y las condiciones climáticas. Es dinámico y algunas poblaciones o rasgos específicos son sensibles a pequeñas alteraciones en diferentes especies (incluido el manejo agronómico) y pueden usarse como indicadores de calidad (Doran y Parkin, 1994,).

2.2.5. Sistemas de manejo de suelo

Acebedo et al. (2005) mencionaron que los cambios en los estados del suelo podrían perjudicar la productividad de cultivos por la forma de manejo, a través de sus efectos sobre segregación de materia orgánica, actividad microbiana y dinámica de nutrientes, así como cambios en el suelo y sus propiedades físicas. Los agregados son como suelo y porosidad. La ausencia de labranza puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo porque ayuda a mantener o aumentar el nivel de carbono orgánico en el suelo (Ferrerías et al., 2007)

2.2.5.1. Manejo sustentable de suelos

El uso sostenible de las tierras agrícola necesita la preservación de las propiedades del suelo, que son de mucha importancia partiendo desde la fertilidad y la capacidad de cultivo del suelo (Brown et al., 2001). Los sistemas de gestión de las tierras agrícolas son sostenibles y, a menudo, se rigen en prácticas de gestión de la conservación, como la labranza reducida, incorporar materia orgánica y la rotación de cultivos (Sánchez, 1981)

2.2.6. Fertilidad del suelo

Es una la interacción de características, incluida la capacidad de facilitar las restricciones requeridas para la mejor evolución de las plantas. Se refiere a las propiedades físicas del suelo, como textura, estructura, composición, profundidad y otras propiedades que dependen de estas propiedades, como condensación, disposición de retención de agua, permeabilidad al gas, porosidad, color, grado de depresión. (Sánchez, 2007).

2.2.7. Características de las propiedades físicas del suelo

Chen (2000) propuso como indicadores la textura del suelo, la profundidad, la permeabilidad al agua, la densidad aparente y la capacidad conservar el agua. Doran y Lincoln (1999) aconsejan como señales la textura, la estructura, la densidad aparente, el espesor de la capa superficial, la estabilidad de los agregados, la temperatura y la permeabilidad. Brejeda y Moorman (2001), Acevedo et al. (2005) propusieron que la textura del suelo está relacionada con la porosidad, la permeabilidad y recursos de agua. Densidad vinculada con la permeabilidad y la conductividad hidráulica. Estabilidad general en relación con la energía a la erosión y contenido orgánico.

2.2.7.1. Textura del suelo

Hace referencia a las proporciones de arcillas, limo y arena, su composición determina la textura del suelo por horizonte (Guerrero, 2000). Los suelos aptos para cultivos son aquellos que permiten fácilmente la penetración de la raíz, aireado, bien drenado, que retenga bien el agua y los fertilizantes, y los requerimientos se enumeran desde arcillosos hasta arenosos (Crespo, 1997).

El interés de conocer la capa de textura del suelo es poder generar información aproximada sobre las propiedades comunes del suelo y por tanto recomendar las técnicas de manejo necesarias (caída, riego y fertilización). Sin embargo, también se puede utilizar para valorar y valorar terrenos en función de la facilidad de uso (Henríquez y Cabalceta, 1999).

2.2.7.2. Clase textural

Los grados de textura se demuestran por varias combinaciones de limo y arcilla y, como tales, las combinaciones son casi ilimitadas. Sin embargo, sólo se han establecido 12 clases texturales básicas, ordenadas en forma creciente de subsecciones, en el caso de los suelos se califican: (Zavaleta, 1992).

Tabla 1. Agrupamiento general de las clases texturales.

Grupo textural	Denominación empírica	Clases Textural
Arenosa	Textura gruesa	Arenas
		Arenas Franca
Franca	Textura gruesa moderada	Franca Arenosa
		Franca Arenosa fina
		Franca Arenosa muy fina
	Textura media	Franca
		Franca Limosa
		Limosa
Arcillosa	Textura fina moderada	Franca Arcillosa
		Franca Arcilla Arenosa
		Franca Arcilla Limosa
Arcillosa	Textura fina	Arcilla-Arenosa
		Arcilla-Limosa
		Arcillosa

Campos y Cornelio (2006) afirman que los tipos de textura corresponden a suelos franco arenoso, franco mixto y franca arcillosa. Los suelos franco arcillosos conservan mayor proporción de agua, mientras que los suelos franco arenosos son ideales para las plantas, pero los suelos franco arenosos con capacidad limitada de conservación de agua y estas condiciones se limitan con el tiempo en período de sequía.

2.2.7.3. Densidad aparente del suelo

Es la relación del peso seco entre el volumen de suelo, incluidos los vacíos entre los sólidos (Navarro, 1994). Su valor oscila entre 1,0 g/cm³ para arcilla bien estructurada y 1,8 g/cm³ en suelo arenoso compactado. Los suelos arenosos tienen un espacio vacío total relativamente pequeño y una densidad aparente relativamente alta. La DA del suelo se incrementa con la profundidad debido a la poca o nula existencia de sustrato orgánico, menor aglomeración y mayor compactación (Aguilera y Martínez, 1996).

El valor de la densidad está relacionado con otras propiedades edáficas, por ejemplo, la textura, cantidad de material orgánico, porosidad, compactación, conductividad térmica e impermeabilidad. En un enfoque agrícola, la densidad aparente de bajo valor este asociado a las condiciones del cultivo (Navarro, 2003). Algunos ejemplos de valores de DA se dan en la tabla 3 y se puede observar que el valor de esta propiedad reduce a medida que aumenta el contenido de arcilla en el suelo.

2.2.7.4. Resistencia de suelo a la penetración

Ferreras et al. (2007) puntuó la disminución de carbono orgánico y la estabilidad estructural del suelo suman la susceptibilidad y apiñan el suelo, y que los suelos con mejores propiedades estructurales y baja fortaleza a la infiltración podrían reaccionar respondiendo más rápidamente a los factores que inciden en el deterioro. Por otro lado, el suelo con estructura inestable del grado es suelo compactado. USDA (1999) con un aumento en la densidad aparente, un aumento en la resistencia mecánica y una disminución en la porosidad del suelo, estas variaciones dificultan el desarrollo de las raíces a valores críticos.

El índice de cono se define como el deber de las variables mecánicas del suelo, que va disminuyendo con el porcentaje de agua, el cual está relacionado con la integridad molecular, y este aumenta con la tasa de compactación. Silva et al. (2000) encontró una estrecha relación entre índice de cono y el desarrollo radicular, reportando valores críticos mayores a 2 MPa en cuanto la penetración radicular. La compactación del suelo según Bengough y Mullins (1991) refiere al porcentaje de partículas que componen la materia sólida, el cual causa la pérdida del espacio poroso y aumento de la densidad, cuando esto ocurre las raíces restringen su crecimiento (Bengough y Mullins, 1991).

2.2.7.5. Estabilidad de los agregados del suelo

No encontraron discrepancias significativas en la distribución de los sistemas de varias capas de aglomeración en la superficie, sin embargo, la mejor aglomeración se vio a grandes profundidades en bosques secundarios de áreas de cultivos. Los indicadores más sensibles de la fecundidad del material, es decir, los más informativos, fueron las proporciones de agregados resistentes al agua y el pretratamiento con etanol, concluyendo así que el suelo que tiene una estructura de agregados inestable es un suelo altamente compactado.

El mismo autor menciona que los suelos con agregados grandes y permanente serán más resistentes a la erosión porque no será de fácil desgaste por las gotas de lluvia. (Ferrerías et al. 2009)

Se discuten los resultados de las distribuciones de tamaño de agregados y su estabilidad, tomando en cuenta factores que perturban la dinámica de distribución de materia orgánica (MO) en los sistemas de manejo comparados, y por ende la formación y estabilización de macrotonos (Doran y Parkin, 1996).

2.2.7.6. Temperatura del suelo

El calentamiento global va a depender de la cantidad neta de radiación que golpea la tierra, teniendo en cuenta el balance energético de ondas cortas y largas. La proporción de radiación neta que llega a la tierra dependerá de factores ajeno. La existencia de vegetación significativa reduce la irradiancia global, no solo por un efecto de sombra que reduce la radiación directa, sino por cambios en el albedo (USDA, 1999).

2.2.8. Características de las propiedades químicas del suelo

La bioquímica del suelo comprende medidas de la respuesta del suelo (pH) y sus elementos químicos (nutrientes). Su estudio es requerido ya que mejorará el manejo de fertilización de los cultivos, seleccionar las plantas más adecuadas y tener buenas cosechas (Acevedo et al., 2005).

2.2.8.1. Reacción del suelo (pH)

La reactividad del suelo es una de las propiedades químicas más necesaria del suelo, como nutriente para las plantas y se expresa mediante el pH. Fassbender (1987) señala que el efecto del pH no es solo indirecto, pues influye en la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes y en las propiedades químicas y biológicas del suelo. El pH es la cuantía de iones Hidrogeno en el suelo y soluciones acuosas, a menudo fracciones equivalentes, por litro, la escala de pH es mutuo (logarítmico negativo) de la actividad de los iones de Hidrogeno en solución.

2.2.8.2. El pH

Las mediciones electroquímicas de manifestación efectiva de H^+ y OH^- en soluciones de suelo se realizaron utilizando electrodos sumergidos en suspensiones suelo-agua (Arévalo y Sanco, 2002). A $pH = 7$, la densidad de iones H^+ es igual a la densidad efectiva de OH^- ; los cambios en el pH indican cambios en las concentraciones de iones H^+ y OH^- . Un pH inferior a 7 indica una densidad ácida, y si el pH de una solución es superior a 7, es una solución alcalina. (Cepeda, 1991 y Zavaleta, 1992).

2.2.8.3. Escala del pH

La escala de pH se sitúa en un rango de números del 0 al 14, pero en el suelo se encuentran valores entre 3,5 y 10. La Tabla 2 muestra algunos de los resultados generales y valores de pH; pero los niveles de acidez y alcalinidad variaron significativamente de acuerdo con estos hallazgos debido a su importancia en el manejo del suelo (Zavaleta, 1992).

El pH óptimo para el crecimiento de plantas es de 6,5 a 7,5, un pH por encima o por debajo de este rango causará efectos de toxicidad. Los suelos en el rango de pH de 5,8 a 7,5 tienen mayor probabilidad de causar alteraciones que los suelos con valor alto o bajo. Las plantas con un pH menor o igual a 5.0 indican que son pobres en componentes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ o pueden contener componentes tóxicos para el suelo, como Zn^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , etc. (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Tabla 2. Niveles de pH del suelo

Descripción	Rango
Ácida Extrema	Menor de 4,5
Ácida Fuerte	4,6 - 5,4
Ácida Moderada	5,5 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Alcalina Moderada	7,4 - 8,5
Alcalina Fuerte	Mayor de 8,5

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS

2.2.8.4. Factores que afectan el pH

- Relación suelo/agua

Cuando la suspensión del suelo se diluye, es decir, cuando el crecimiento del agua aumenta en comparación con el suelo, el pH aumenta. La relación de suelo y agua más aceptada es 1: 1.

- Concentraciones de CO₂

La actividad biológica de las raíces y los microorganismos aumenta la densidad de CO₂ en el aire del suelo, que forma ácido carbónico en contacto con el agua.

- Otros factores

Clima (temperatura, precipitación, altitud, etc.), trabajos agrícolas, horizonte elegido, sequedad del suelo y contenido de sales solubles en el suelo (Fassbender, 1987 y Guerrero, 2000).

2.2.9. Materia orgánica

Se refieren vagamente a la materia orgánica o humus como un componente orgánico importante en el suelo. No hay precisión única de humus en la que expertos opinen favorablemente; en tal sentido, humus significa “materia orgánica diversa que es de color marrón oscuro ya que se descompone la materia orgánica de origen vegetal. Compuesta por un 5% de N, se puede calcular su valor en el suelo multiplicando el contenido total de N en 20 (Navarro, 2003).

2.2.9.1. Niveles de materia orgánica

Las sustancias orgánicas se clasifican en una amplia variedad. Su valor numérico es el mismo y tendrá sentido a nivel regional. En el valle aluvial costero el 2% es alto, en la sierra la similitud será baja y en la baja Amazonía la media será. Por lo tanto, los niveles bajo, medio-alto y muy alto tienen que evaluarse según la región y según los requerimientos de la cultura.

Tabla 3. Niveles de la materia orgánica

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

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

2.2.10. Capacidad de intercambio catiónico

Elemento necesario del suelo porque es la extensión del suelo para conservar cationes positivos y porque el suelo (complejo coloidal) lleva una carga negativa. Hay una relación entre la composición mecánica y la variación, elevando posteriormente para suelos de grano fino y disminuye para suelos de grano grueso debido a que los suelos arenosos y arenosos son poco coloidales y casi siempre libres de fertilizante (Fassbender, 1987).

2.2.10.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos

Los cationes más importantes que intervienen en el desarrollo de cualquier plantación son el calcio, magnesio, potasio, amonio, sodio e hidrógeno. Los primeros 4 nutrientes intervienen directamente en el crecimiento. Los dos últimos influyen en los recursos de nutrientes y agua. En suelos ácidos, la mayoría de los cationes son hidrógenos y aluminio en varias formas.

La CIC está compuesta por los tipos, cantidades y combinaciones de minerales arcillosos, así como por la cantidad de materia orgánica y su grado de degradación. Los cationes no se mantienen a las mismas energías de enlace. Los sitios de metabolismo orgánico solo están débilmente unidos a los cationes. Las arcillas altamente intercambiables tienden a unir cationes divalentes como Calcio y Magnesio con mayor energía que Potasio. Este rasgo repercutirá la reserva de nutrientes. Los suelos con arcillas caolinitas tienen energías de enlace más bajas y, por lo tanto, para un nivel analítico dado o porcentaje de saturación de elementos, demostrarán una disponibilidad relativa más alta. Cepeda, 1991, los cationes ácidos totales frente a CIC son una medida de la congestión de ácido. También indica la necesidad de encalar el suelo (aplicación de cal)

2.2.10.2. Factores de CIC

Hay una serie de factores que hacen que los suelos sean específicos para los intercambiadores de cationes, incluido el tamaño de las partículas. Cuanto más pequeña es la molécula, mayor es la variabilidad; tipo de intercambio catiónico (monovalente, divalente, grande, etc.) y pH.

Los cationes comúnmente ocupan sitios intercambiables en el suelo: Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Hidrogeno, Aluminio, Ion férrico, Ion ferroso, Amonio, Manganeso, Cobre y Zinc. En suelos ácidos predominan Hidrón y Aluminio, en suelos alcalinos predominan bases, principalmente Sodio Ion y Calcio Ion en suelos neutros. Todos los cationes adsorbidos se consideran bases, a excepción de los protones y el aluminio, que se denominan ácidos de reserva. El porcentaje de congestión de bases representa la relación entre la base presente y la capacidad total de intercambio catiónico (CIC).

2.2.10.3. Importancia de la capacidad de cambio

- Controlar los recursos de fitonutrientes: Potasio, Magnesio, Calcio, etc.
- Interfiere en el proceso de floculación-dispersión de la arcilla y, por tanto, en el progreso estructural y estabilidad del árido.
- Identificar el papel del suelo como agente de limpieza natural que permite la retención de los contaminantes presentes en el suelo.

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

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

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

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

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

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

2.2.11. Nutrientes en el suelo

Sustancias químicas que se disolvieron en el agua del suelo, estas ayudan a la evolución de la vegetación. Los nutrientes minerales más importantes son trece, estas son esenciales porque influye el crecimiento. Las plantas absorben estos nutrientes a través de la raíz y las hojas. El desarrollo eficaz de las plantaciones depende básicamente de los nutrientes del suelo.

Sin embargo, la existencia de nutrientes adecuados en el suelo depende de la composición del suelo, factores climáticos, presencia de plantas, actividad microbiana y la cantidad de fertilizante agregado que puede ser determinado por evaluación (Zavala, 1999).

2.2.11.1. El nitrógeno en el suelo

Es generado por el deterioro de los microorganismos y de las plantas. De esta manera, las plantas no pueden aprovechar el nitrógeno. La cantidad de nitrógeno varía más que otros elementos fundamentales la evolución favorable de las plantas, y también es absorbido por el suelo (Navarro, 2003). El nitrógeno puede ingresar al suelo a través de la entrada de materia orgánica y la asociación de bacterias en el aire. Es aprovechado en el suelo por plantas, animales y pequeños organismos que lo introducen en sus tejidos (Fernández, 2006).

Tabla 6. Niveles de contenido de nitrógeno.

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	< 0.1
Medio	0.1 – 0.2
Alto	> de 0.2

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

2.2.11.2.El fósforo en el suelo

Es uno de los nutrientes más importantes después del nitrógeno y son muy esenciales para las plantas. Los macronutrientes son los que más limitan el rendimiento. A nivel celular están involucrados en procesos bioquímicos. La única entrada al sistema es por la adición de abonos fosfatados, en tanto que las posibles salidas son por extracción del grano, erosión, agotamiento, escurrimiento y lixiviación (Navarro, 2003).

Tabla 7. 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)

2.2.11.3.El potasio en el suelo

Nutriente fundamental para todos los organismos vivos. Las plantas requieren de grandes cantidades de potasio, así como sus requerimientos de nitrógeno. El potasio es un nutriente capaz de activar muchas enzimas (más de 60 enzimas) y están involucrados en varias fases metabólicas como la fotosíntesis, las proteínas y los carbohidratos, también facilita a conservar el equilibrio hídrico y el crecimiento de los meristemas. Al ser partícipe de estos procedimientos metabólicos, el potasio contribuye a a evolución vegetativa, fructificación, maduración y calidad del fruto (Navarro, 2003).

Tabla 8. 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)

2.2.12. Sistemas de producción y prácticas de manejo

Los sistemas naturales cambiaron a favor de la agricultura, los mayores cambios han producido características del suelo, así como en la mayor productividad, biomasa y variedad de los organismos del suelo. Los biomas existentes estarán determinados por la magnitud de los cambios inducidos en relación con los ecosistemas naturales y la capacidad de los organismos para acoplarse a estas alteraciones (Brown et al. 2001).

La siembra directa, debido a la inmovilidad y presencia de rastrojos en la superficie, cambia radicalmente el ambiente de la parte más superficial del perfil. El contenido de materia orgánica aumentó, la estructuración mejoró, su potencial de retención de agua aumentó y las fluctuaciones de temperatura del suelo disminuyeron (Brown et al. 2000). Los desechos que están en la tierra favorecen a los invertebrados de varias maneras: proporcionan alimento, proporcionan un hábitat y ayudan a estabilizar los microclimas del suelo (FAO, 2002).

2.2.13. Características de las propiedades biológicas del suelo

Las características biológicas del suelo son dinámicas y, tienen el beneficio de ser signos tempranos de degradación o recuperación del suelo. Sánchez (2007) seleccionó el C y el N de la biomasa microbiana, el N con mineralización y la respiración secundaria como indicadores biológicos. El número y rendimiento de lombrices también se consideran indicadores biológicos; Además, las características biológicas y bioquímicas (respiración del suelo, biomasa microbiana, actividad enzimática, microorganismos, etc.) son más sensibles y valiosas para explicar la dinámica de la materia orgánica, el metabolismo y la secuencia de los desechos orgánicos; Además, son sensibles cuando se cambia el trabajo del suelo, sensibles al estrés ambiental y de fácil medida (Acevedo y Martínez, 2003).

2.2.13.1. Macrofauna del suelo

Ramírez y González (1999) señalan que la macrofauna incluye organismos de 2 a 20 mm de longitud. La macrofauna está activa sobre el suelo y puede crear galerías en las que habita. Este grupo incluye artrópodos, animales de vacío, moluscos, arácnidos, moluscos y hormigas, artrópodos, escarabajos y cefalópodos (lombrices de tierra).

A diferencia de los individuos más pequeños, la macrofauna del suelo opera en áreas muy amplias a nivel espacial y temporal. La mayoría tienen ciclos biológicos largos generalmente de uno a más años, bajas tasas de reproducción, migración lenta y baja capacidad de dispersión. Desde una perspectiva nutricional, incluyen herbívoros, detritívoros y carnívoros (Brown et al., 2001).

Se clasifican en esta partida los animales con una anchura corporal superior a 2 mm, de diferentes tipos, clases y órdenes.

Tabla 9. 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)

Curry y Good, 1992. La variedad de estos organismos y la intensidad de su labor afectan la dispensación del agua en el lago, el grado de desgaste, el desarrollo de las plantas y la liberación de gases a la atmósfera. Los organismos del suelo eligen ambientes húmedos. Sin presencia del agua, migran a zonas más hondas del perfil y se descomponen de manera sintética (Verhoef y Van Selm, 1983). La humedad es necesario para que los suelos con un contenido de pocos nutrientes pero con un contenido de humedad adecuado tienen

densidades de macroflora mucho más altas que los suelos ricos en nutrientes pero más secos (Luizão et al., 2002).

- **Importancia de la macrofauna del suelo**

A diferencia de los individuos más pequeños, la macrofauna del suelo opera en áreas muy amplias a nivel espacial y temporal. La mayoría tienen ciclos biológicos largos generalmente de uno a más años, bajas tasas de reproducción, migración lenta y baja capacidad de dispersión. Desde una perspectiva nutricional, incluyen herbívoros, detritívoros y carnívoros (Brown et al., 2001).

2.2.14. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia funcional

Lavelle et al. (1992), citados por Brown et al. (2000) menciona que el suelo o zooplancton incluye organismos que pasan su vida en el suelo, en troncos en descomposición y en las hojas de la tierra y subterránea del suelo, incluidos los vertebrados pequeños y medianos (e.g. tuzas). Estos organismos para vivir en la superficie terrestre deben adaptarse a un entorno pequeño con bajas concentraciones de oxígeno y luz, una pequeña cantidad de espacio abierto, suministro y calidad de alimentos bajos y fluctuaciones microscópicas. El clima podría ser más fuerte. En los trópicos, la macrofauna es la fauna terrestre más prominente e incluye invertebrados de más de 2 mm de diámetro que son claramente visibles en la superficie o en el suelo. Estos incluyen termitas, lombrices, escarabajos, arañas, larvas de moscas y mariposas, caracoles, ciempiés, y hormigas. Los escarabajos son más variados (con el mayor número de especies), aunque las termitas y las hormigas son las que predominan, y en biomasa las lombrices. La macrofauna también se divide en epífitos, endófitos y organismos isquémicos, cada uno de los cuales desempeña un rol distinto en el funcionamiento del ecosistema planctónico, aunque los miembros del mismo tipo (endogeos) también pueden afectar a diferentes efectos sobre el suelo (por ejemplo, espesantes y acondicionadores).

2.2.15. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo

Los animales excavadores muelen y mezclan los materiales del suelo, lo que coopera a la composición y modelamiento de niveles de Bw, permeabilidad al agua y aireación. Su impacto en horizontes preexistentes puede llevar a la desaparición de algunos de sus

síntomas por las consecuencias de la masturbación biológica. En el caso de predominio de una determinada población animal, se tiende a estandarizar el volumen de animales manejados, distinguiéndolo muy claramente del material base. Una actividad biológica muy fuerte puede provocar cambios drásticos en el epipedón, lo que hace que su espesor sea muy significativo, y está compuesta casi en su totalidad por sedimentos y galerías bien pobladas. Este suelo en forma de horizonte (normalmente un epipedón móllico) está indicado por el gran elemento de agrupación Verm.

Las especies de macrofauna con mayor abundancia son los artrópodos, especialmente las aves de cola larga, que viven en los primeros cinco centímetros del suelo. Los colémbolos se encargan de triturar la materia orgánica, lo que aumenta su superficie. Las lombrices son importantes en el suelo ya que mezclan materia orgánica con minerales. Se calcula que el suelo contiene por lo menos 10 toneladas de lombrices por 0,4 ha/año y dentro de cincuenta años traerán a la superficie toda la masa de suelo contenida en los primeros 22 cm.

Tabla 10. Actividades de la fauna del suelo en procesos de descomposición y la estructura del suelo.

Categoría	Ciclo de nutrientes	Estructura del suelo
Microfauna (4 μm – 100 μm)	Las poblaciones de bacterias y hongos se regulan. Cambian el ciclo de nutrientes	A través de interacciones con la microflora pueden afectar la composición del suelo
Mesofauna (100 μm – 2 mm)	Las poblaciones de hongos y del micro fauna se regulan. Cambian el ciclo de nutrientes. Fragmentan detritos vegetales.	Producen pelotas fecales. Crean bioporos. Promueven la humificación.
Macrofauna (2 mm – 20 mm)	Los hongos y la micro fauna se regulan	· Descomponen partículas orgánicas y minerales · Redistribuyen la materia orgánica y microorganismos · Promueven la humificación.

Estimulan la actividad
microbiana.

Producen pelotas fecales.

Fuente: Correia (2000).

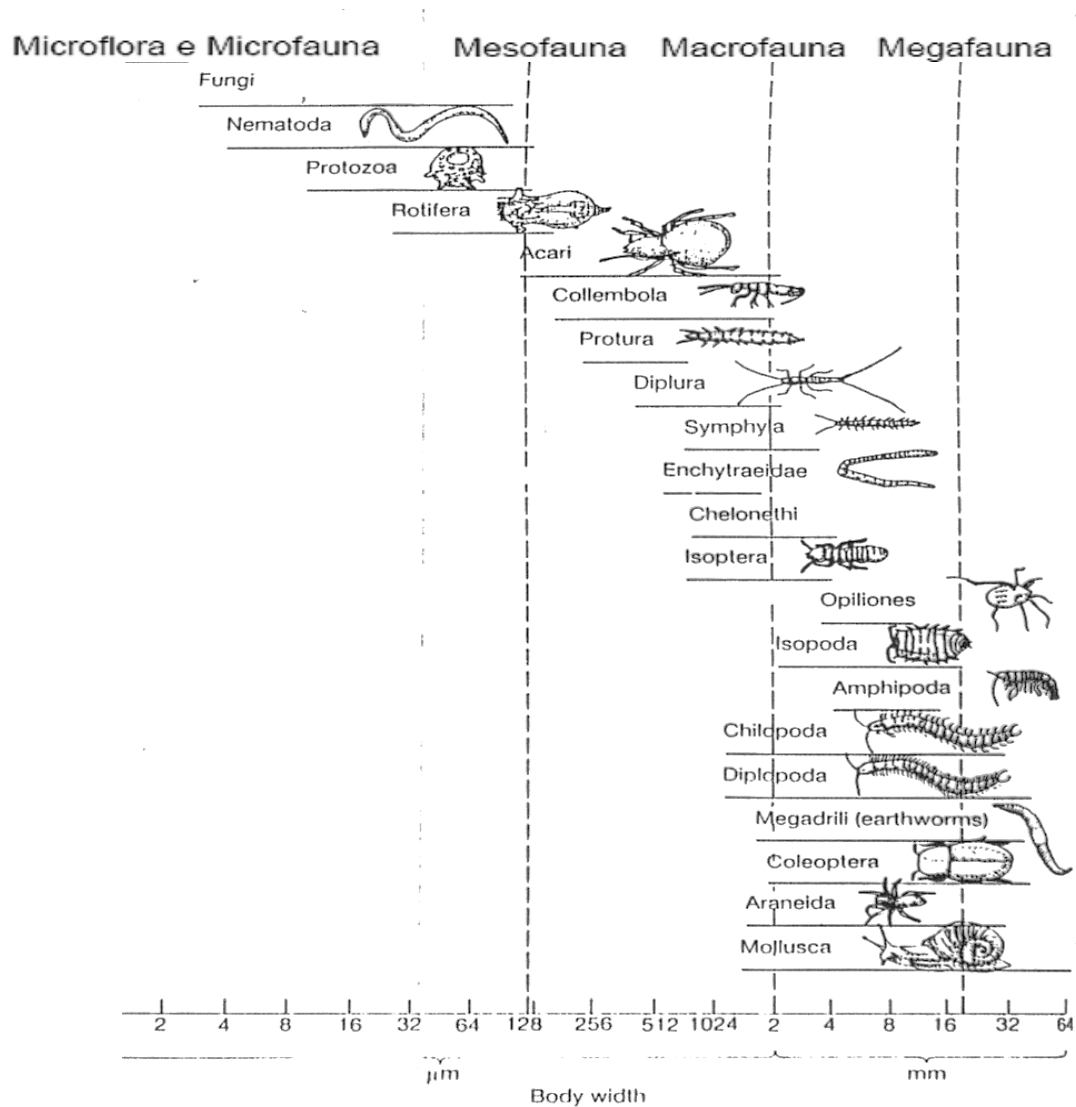


Figura 1. Tamaño de la fauna edáfica (Blair *et al.*, 1996).

2.2.16. Biodiversidad

Se refiere a todos los organismos y el entorno en el que residen. Las áreas con sistema agroforestal poseen el mayor potencial para el monitoreo de la biodiversidad. Se caracterizan por tener una gran diversidad de especies en cuanto a la flora, con muchas capas diferentes de vegetación y una vegetación densa que es esencialmente similar a un bosque

(Pagiola y Ota, 1997). En el caso de Delgado y España (1999), lo definen como la cantidad de individuos vivos existente en los sistemas que además están coordinados progresivamente. Aunque Doran y Lincoln (1999) propusieron un marco de calidad de vida que se puede observar en varios niveles de asociación, desde redes de poblaciones, especies hasta entornos biológicos.

2.2.16.1. Distribución de la biodiversidad

Las especies se distribuyen de manera desigual en diferentes biotas y diferentes regiones del planeta. Se describieron más de 1 millón de especies biológicas. Hay alrededor de 1 millón de especies de animales y 1 millón de especies de plantas. Más de la mitad de todos los seres vivos, más del 53%, son insectos, los llamados vertebrados y las plantas con flores representan solo del 3% al 15% de la biodiversidad total. La heterogeneidad de estos diferentes taxones es el resultado de cambios evolutivos desde que la vida surgió en la Tierra (hace unos 3.500 millones de años) hasta el presente. (Halffter et al. 2001).

2.2.16.2. Valor de la biodiversidad

La biodiversidad es la denominación utilizada hoy en día para referirnos a la variedad de sistemas biológicos a nivel genético, de especie y ecológico, y por lo tanto biodiversidad es la información genética que contiene la población biológica global, la diversidad de plantas y animales y todos los protozoos habidos en el planeta; y variedad de hábitats, ecosistemas y procesos ecológicos. Gran parte de la discusión sobre la biodiversidad se centra en las especies, pero también en el nivel genético y ecológico. Etter (1991),

2.2.17. Diversidad de especies

La macrofauna del suelo consiste en invertebrados, visibles, y viven directamente en el suelo. Estos invertebrados (lombrices, termitas, hormigas, ciempiés, ciempiés, arañas, escarabajos, gallinas ciegas, grillos, cigarras, caracoles, escorpiones, escarabajos, larvas de moscas y mariposas) tendrían más de mil especies en un ecosistema y alcanzar densidades y biomasa por 1 millón de individuos por hectárea, correspondientemente. Estos organismos realizan muchas funciones en el ecosistema y se clasifican en diferentes tipos utilizando diferentes clasificaciones funcionales (Etter, 1991).

Existe un número significativo de indicadores de diversidad comunitaria, de los cuales los indicadores basados en la teoría de la información son los que más aumentan a pesar de las limitaciones del Índice de Integridad, el ajuste de Shannon Weiner y el índice de heterogeneidad de Simpson. (Franco 1989)

2.2.17.1.Riqueza biológica

La riqueza de especies es innata, pues la riqueza biológica hace referencia a la proporción de especies de una población en un territorio o área determinado, independientemente del tamaño de muestra (Franco, 1989).

2.2.17.2.Diversidad alfa

Halffter y Col (2001) consideran homogénea a la cantidad de especies de una determinada zona. Usando un enfoque de equilibrio, limitando el término de variación alfa a la distribución de diferentes racimos que coinciden en un espacio homogéneo. Esta zona viene a ser una unidad de prueba, el área de vegetación en la que nos enfocamos, en líneas generales es comparable a un área local. Aunque Franco (1989) señaló que se publicaron diferentes índices para evaluar la variedad, de esta manera tenemos: las medidas de heterogeneidad.

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

Es la relación de la exposición existente, se usa para predecir especies para las cuales los individuos se seleccionan aleatoriamente de un área local. Para ciertas variedades de animales y humanos, la probabilidad es inicial cuando todos tienen una variedad de animal similar y mayor cuando todas las especies tienen un número parecido.

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

La cualidad obtenida de esta lista está mayoritariamente entre 1,5 y 3,5, superando raramente 4,5. Shannon Wiener se caracteriza por mostrar los variantes de la abundancia de especies raras, por lo que es importante considerar la conservación (Moreno, 2001).

- Índice de Equitatividad

Para determinar las respuestas en una escala de valores de 0 a 1, se acude al Índice de Equitatividad cuya ecuación es la siguiente:

$$E = J = \frac{H'}{H_{MAX}}$$

E : Equitatividad

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

La calidad del suelo incluye los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Sin embargo, no todos los parámetros son igualmente válidos para todos los suelos, por ejemplo, la prueba de salinidad de la CE puede no ser útil en algunas áreas del país donde la salinidad no debe ser el problema (Doran y Lincoln, 1999). La mejora de la calidad del suelo a menudo se ve como un aumento o disminución en el valor de ciertas propiedades. Por ejemplo, las tasas de penetración o aireación se pueden aumentar aumentando el número de macrosporas, agregados más grandes y estables y más materia orgánica. Pero la densidad aparente, la tolerancia del cultivo, el crecimiento de raíces, las tasas de erosión y la pérdida de nutrientes pueden reducirse (PORTA et al. 1999).

2.2.19. Importancia de la macrofauna en las propiedades del suelo

Las propiedades físicas y químicas del suelo dañan directamente a su fauna a través de la materia orgánica y la humedad, el pH, la composición del suelo y la aireación, e indirectamente a través de su influencia sobre la vegetación (Dubs et al. 2004).

La densidad de Coleoptera y Oligochaet están relacionadas positivamente con el capacidad de C y N total (Zerbino y Morón, 2003). Suelos ricos en bases y bien drenados donde la materia orgánica se distribuye a lo largo de la sección transversal ("mull"), mantiene una alta densidad de lombrices, y en suelos con materia orgánica suelta ("mor"), los animales están representados por minúsculos artrópodos y enquitreidos que viven en la superficie (Moron, 2001).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

El estudio se realizó en cuatro sistemas de uso del suelo (cítrico, plátano, yuca y pasto), ubicado en el predio de la señora Vilma Orbezo Piñan, contando con una extensión de 10 ha de terreno aproximadamente.

Tabla 11. Ubicación en coordenadas UTM de los diferentes tipos de cultivos

Tipos de cultivos	Coordenadas UTM		Altitud
	E	N	(m.s.n.m.)
Pasto	381472	8976979	623
Cítrico	388173	8976917	579
Plátano	318120	8977108	590
Yuca	388139	8976868	576

3.1.1. Ubicación política y geográfica

Región : Huánuco.
 Provincia : Leoncio Prado.
 Distrito : Castillo Grande.
 Sector : Aserradero.

3.1.2. Características ambientales de la zona de estudio

De acuerdo a Holdrige (1993), citado en Mapa Ecológico del Perú - ZEE (2007), el área de estudio pertenece al hábitat: un bosque con mucha humedad premontano tropical (Bmh-pt).

3.1.3. Geología y suelo

El suelo es principalmente de origen aluvial, apto para el cultivo agrícola y otras actividades; Estos suelos actúan como una esponja, atrapando el agua en las partes más

altas, luego fluyendo con la corriente hacia las partes más bajas, asegurando el suministro de agua en épocas secas.

3.1.4. Climatología

La estación meteorológica José Abelardo Quiñones reporta caída media anual de 3500 mm, variando en intensidad, durabilidad y frecuencia; reaparecen rápidamente como gotas densas en un corto período de tiempo y al sol. Se registró una máxima temperatura de 28°C, una mínima de 15,6°C y una media de 22,5°C (SENAMHI 2013).

3.1.5. Fisiografía y pendiente

La zona de investigación tiene una estructura montañosa u ondulada cubierta con una densa vegetación de bosque secundario, y los cañones angostos y profundos a través de los cuales fluye el río Florida. El precipicio cambia desde ligeramente empinada con valor de 10% a más.

3.1.6. Accesibilidad

El camino al área de investigación pasa por carretera asfaltada Tingo María - Aserradero, unos 8 km hasta el mismo recreo Aserradero, de donde parte una carretera asfaltada hasta el área de investigación, una ruta temporal en moto lineal hasta el área de cultivo unos 20 minutos.

3.2. Descripción de los lugares de muestreo

3.2.1. Parcela con pasto natural

Era un terreno de hace unas 5 hectáreas, utilizado por el propietario para pastoreo de los ganados con una pendiente del 8%. De las cuales se selecciona 1/2 ha para muestreo.

3.2.2. Parcela con *Citrus sp.* (cítrico)

Parcela de cítricos de 6 años, naranja Valencia, 1/2 hectárea, distancia 5 m x 6 m, pendiente 5% y microclima con humedad relativa aproximada del 80%.

3.2.3. Parcela con *Musa sp.* (plátano)

El terreno tiene 18 meses de producción, tiene una superficie de 1,5 ha, tamaño 3 m x 3 m, pendiente 10%, colindante con zona de cultivo de cacao, la humedad relativa es de aproximadamente 80%. Se seleccionó 1/2 ha para la muestra respectiva.

3.2.4. Parcela con *Manihot sculenta* (yuca)

La parcela se estableció en 8 meses, área 1/2 ha, distancia 1 m x 0.8 m, pendiente 12%, microclima con humedad relativa alrededor del 80%

3.3. Materiales, insumos y equipos

3.3.1. Materiales

Mapa de ubicación de la zona, wincha de 50 m, cuaderno de campo, ficha de campo, etiquetas de papel, bolsa de plástico de 1 y 2 kg, cuadrado de muestra, cilindro de muestra de aluminio de 3” de diámetro, machete, pala recta, lupa, papel secante y un tubo de muestra, 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

Descriptivo, correlacional – causal

3.4.2. Nivel de la investigación

El nivel de prueba es de probabilidad porque se utiliza la muestra para tener información representativa.

3.5. Método y diseño de la investigación

3.5.1. Método de la investigación

Descriptivo – comparativo y explicativo. Es descriptivo/comparativo, explicativo porque describen y comparan varios sistemas de uso de la tierra, y explicativo ya que indica una relación causal.

3.5.2. Diseño de la investigación

El estudio fue transversal (Hernández et al., 2006), ya que la información se recopiló en un punto mediante la muestra y el estudio del suelo, la compactación, la densidad aparente y el macrosistema evaluado, todo realizado durante 6 meses.

3.6. Metodología

3.6.1. Enfoque metodológico

El estudio se realizó de forma descriptiva, y se ha considerado cuatro tipos de cultivos en el sector aserradero:

- Parcela con pasto natural
- Parcela con *Citrus sinensis* (cítrico).
- Parcela con *Musa sp.* (plátano)
- Parcela con *Manihot sculenta* (yuca).

Para el método de seleccionar y evaluar diferentes cultivos agrícolas, se consideró método para evaluar la calidad de la tierra, propuesto por John Doran y Linkney de Nebraska del USDA y el método utilizado por Gustavo Moscatelli y Vicente Nakama del INTA; Considere repetir 4 muestras por sistema de tratamiento a una profundidad de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm desde la superficie del suelo. Utilizamos 3 sistemas para definir los parámetros de calidad del suelo, los componentes de la tierra física, química y biológica se evalúan utilizando sus indicadores y métodos apropiados. Teniendo en cuenta el área de inspección.

3.6.2. Etapa pre campo

Se recabó todos los datos necesarios sobre el área que se iba a estudiar; así como los datos sobre tipos de suelo, patrones de uso que se han dado en el área, mapas base del área, documentos cartográficos y un panorama completo de la zona donde se recolectaron los puntos de muestra establecidos con el propósito de evaluarlos adecuadamente. Asimismo, se determinan de igual manera los indicadores que han sido estudiados en campo y los que se evaluarán en el laboratorio.

3.6.3. Etapa de campo

Se realizaron las siguientes labores:

3.6.4. Determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas de cuatro tipos de cultivos en el sector aserradero

- Georreferenciación

Se ubicaron y geomarcaron cuatro áreas de cultivo de diferentes cultivos con el fin de realizar un muestreo adecuado del suelo. Se tomaron muestras del suelo con la asistencia de una pala recta a una sima de 30 cm.

- Muestreo de suelos

Se tomaron muestras de suelo en forma de zigzag desde una distancia de 15 metros, promediando 21 muestras, de 7 muestras se homogeneizaron, mezclaron bien y se colocaron en bolsas de polietileno con un peso promedio de 1 kg teniendo 3 muestras para cada tipo de cultivo y se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para que sea analizado.

- Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente, primero se debe ubicar las zonas de muestreo, luego se limpia un área de 40 x 40 cm de cada lado, se instaló el cilindro metálico en dirección vertical al suelo con ayuda de un martillo, hasta cubrirlo totalmente; posteriormente, se sacó el cilindro con el muestreo de suelo, se rasparon los bordes del cilindro de metal con una navaja y se entregó al laboratorio de suelos de la Facultad de agronomía. Se registró el tamaño y peso del cilindro así como el peso fresco del suelo; luego, la muestra de suelo se

colocó en una estufa a 105 °C durante 72 h, se registró la masa seca del suelo y se determinó su densidad mediante la fórmula:

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

- **Resistencia del suelo**

Para resolver cuanto resiste el suelo, primero se identifican los lugares de muestreo y se conecta un penetrómetro directamente al suelo, y luego se registran los datos de acuerdo con las lecturas del penetrómetro.

- **Temperatura del suelo**

Se determina en los puntos de muestra y los termómetros se colocan en el suelo y luego se registran los datos leyendo el termómetro.

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

El muestreo se ha realizado durante la temporada de lluvias e incluyó un transecto lineal de 40 metros en el que se colocaron cantos rodados (5 cantos rodados por parcela) a intervalos de 10 metros. Cada bloque tiene una sima de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, y el diseño utiliza una sonda cuadrada de 25 x 25 x 10 cm (Figura 2), recomendada por Soil Biology Tropics and Fertility - TSBF. Los organismos se identificaron utilizando taxones (clases y órdenes) del laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. La densidad se medirá en personas por metro cuadrado.

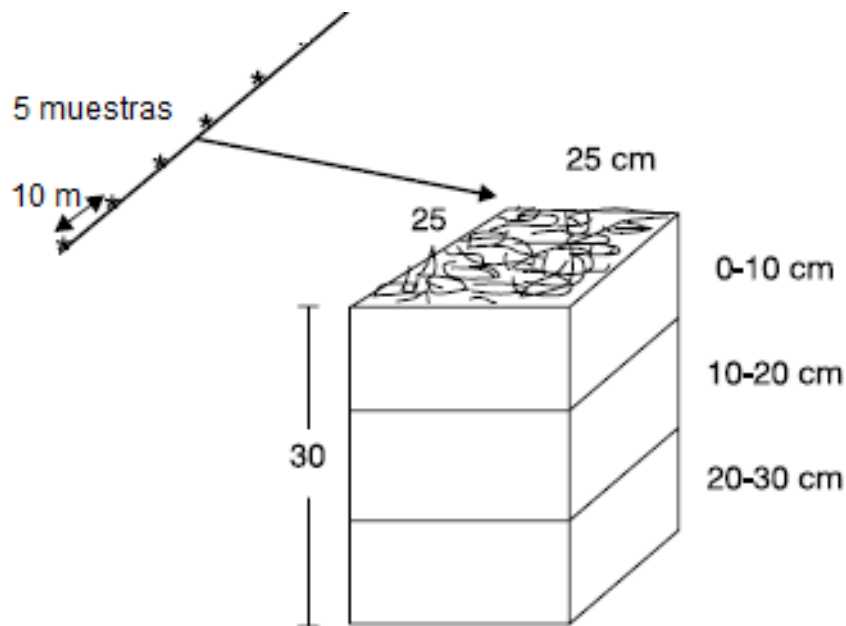


Figura 2. Esquema del plan de muestreo.

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

Los conteos de animales de suelo se realizan en lugares definidos, en solución de alcohol al 80 por ciento para insectos con cuerpos resistentes y formalina al 4% a 10% para larvas e insectos embalsamados. La biomasa (g/m^2) y la consistencia ($\text{individuos}/\text{m}^2$) se cuantificaron para los macroinvertebrados utilizando un estereoscopio y una balanza de precisión (Decaens et al., 1994).

Se pesó para resolver la biomasa de macrofauna en varios sistemas de suelo, y la densidad relativa de monolitos y el porcentaje de repetibilidad se determinaron utilizando las fórmulas.

- **Densidad de macrofauna**

Teniendo en cuenta el uso de un cuadrado de 25 cm de lado para cada muestra, correspondiente a $1/16 \text{ m}^2$, la información de cada punto de muestra se multiplican por dieciséis para tener la unidad número de individuos por m^2 (ind/m^2) Compresión metódica de la macrofauna (Correia y Oliveira, 2000).

- **Biomasa de macrofauna**

Para resolver la biomasa de macrofauna se realizaron las mismas operaciones que para el cálculo de la densidad de macrofauna, se multiplicó el dato (masa) de cada zona de muestra por dieciséis para tener gramos por m² (g.m²) como sigue el método (Correia y Oliveira, 2000).

En la tabla 12 se detalla los métodos para señalar las propiedades físicas, químicas y biológicas en varios tipos de cultivos en el sector Aserradero.

Tabla 12. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variables).

Parámetros físicos	Método de su determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Temperatura	Método directo (termómetro)
Resistencia a la penetración	Método directo (penetrómetro)
Parámetros químicos	
pH	Método del potenciómetro
Materia orgánica	Método de Walkley y Blakc
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fosforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Parámetros biológicos	
Densidad de la macrofauna	Método directo por conteo
Biomasa de la macrofauna	metodología Correia y Oliveira, 2000

- **Textura y parámetros químicos del suelo**

La textura y los parámetros químicos del suelo se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la UNAS, considerando los parámetros físicos y químicos tal como se indica en el Cuadro 4.

3.6.5. Para determinar la diversidad alfa de la macrofauna en cuatro tipos de cultivos en el sector aserradero

Utilizando claves de identidad, se establece un taxón, se cuenta el número de instancias de taxón por mónada, se calculó el número general de individuos por taxón y la abundancia relativa promedio o porcentaje de densidad de cada taxón sobre el área de cada sistema de suelo. Se realizó un gráfico de porcentajes de abundancia.

- Riqueza de especies

Riqueza de especies es el número total de especies presentes en un hábitat

- Estructura de las especies

Para establecer la estructura de las especies se utilizó el:

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

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$$

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')

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

Dónde:

S = Número de especies (la riqueza de especies)

$pi = \frac{ni}{N}$ proporción de individuos de una especie / al número total de

individuos (es decir, el tamaño relativo de la especie)

n_i = Número de individuos de la especie o número de géneros

N = Total de todas las especies o número total de géneros = $\sum n_i$

3.6.6. Etapa de gabinete

Se hizo el estudio de los datos que se obtuvieron en campo y laboratorio, ordenando y procesando la información mediante el programa Microsoft Excel 2013.

3.6.7. Variables a evaluar

Variables independientes

Tipos de cultivos del suelo (pasto natural, plátano, cítrico y yuca), Muestras de suelos (campo y estudio en laboratorio).

Variables dependientes

Consistencia de macrofauna, biomasa e índice de variedad de macrofauna.

3.6.8. Análisis de datos

Para las propiedades físicas, químicas y biológicas

Las propiedades físicas y químicas del suelo de cuatro tipos de cultivo (pasto natural, plátano, cítrico y yuca), se evaluaron mediante el diseño completo al azar (DCA). El factor en estudio es el “tipo de cultivo” con sus niveles de pasto natural, plátano, cítrico y yuca con tres repeticiones que serán las muestras de suelo. La unidad experimental se conformó por 7 muestras de suelo en un área experimental de 1/2 ha. Se realizará el estudio de varianza y la test de F a un nivel de α : 0.05 y cotejo de medias mediante el Test de TUKEY también a un nivel de α : 0.05.

Tabla 13. Descripción de los tratamientos en estudio.

Descripción	Tratamiento
Tipo de cultivo pasto natural	T1
Tipo de cultivo plátano	T2

Tipo de cultivo cítricos	T3
Tipo de cultivo yuca	T4

Tabla 14. Modelo del análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	Fc
Tipo de cultivo	t - 1	SC_{TR}	$CM_{TR} = SC_{TR}/t-1$	CM_{TR} / CM_E
Error	T-t	SC_E	$CM_E = SC_E/T-t$	
Total	T - 1	SC_T		

Las variables observadas (medidas) y analizadas estadísticamente a través del ANVA serán: las propiedades físicas y químicas del suelo en los tipos de cultivo.

El modelo aditivo lineal del experimento es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

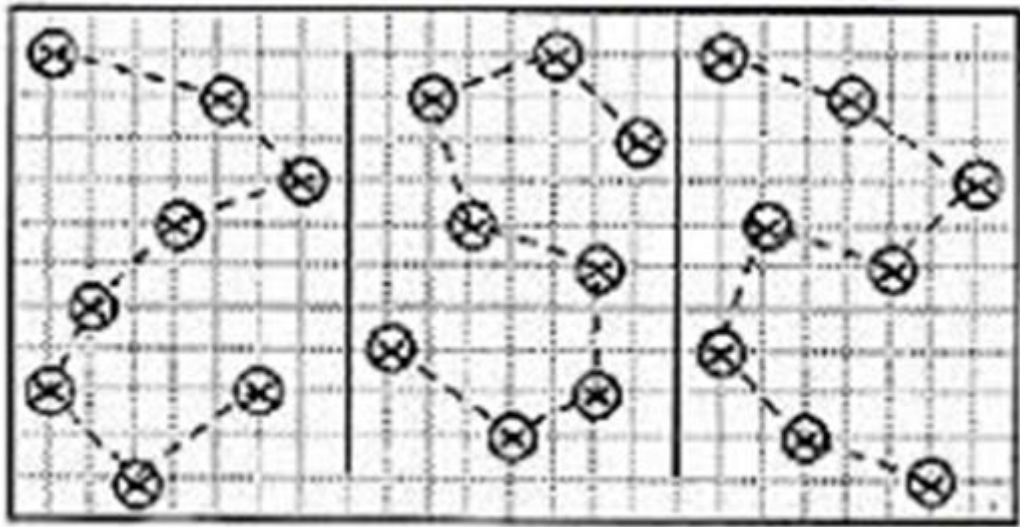
Donde:

Y_{ij} = Observación de la variable respuesta

μ = Efecto medio verdadero

τ_i = Efecto de los tipos de cultivo

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental.



Tratamiento : Tipos de cultivos (pastos, platano, citricos y yuca)
 Repetición : Tres Muestras (cada 7 submuestras)
 Area : 1/2 ha
 Muestreo : En zigzag

Figura 2. Tipo de muestreo dentro los cultivos.

Las propiedades biológicas del suelo con los tipos de cultivo se estudiaron por medio del plan general al azar (DCA) con arreglo factorial de 4A X 2B con dos reiteraciones que serán dos profundidades, a 10 y 20 cm de suelo. Los factores en estudio son: Tipo de cultivo (parcelas de pasto, plátano, cítricos y yuca) y profundidades por Monolito (0 – 10 cm y 0 – 20 cm). La unidad experimental se encuentra conformada por 24 muestras (Sub-unidades de experimento) en un área experimental de 1/2 ha. Se realizará el estudio de varianza y el test de F a un nivel de α : 0.05 y se comparará las medias mediante la prueba de TUKEY a un nivel de α : 0.05.

Tabla 15. Los factores y niveles del estudio.

Factores	Niveles	codificación
Tipo de cultivo	Pasto natural	a ₁
	Plátano	a ₂
	Cítricos	a ₃
	Yuca	a ₄
Profundidades	0 – 10 cm	b ₁
	0 – 20 cm	b ₂

Tabla 16. Combinación de factores por tipos de cultivo vs profundidad por monolito.

Combinaciones	Descripción	Tratamiento
a ₁ b ₁	Pasto natural y nivel 0 – 10 cm	T1
a ₁ b ₂	Pasto natural y nivel 10 – 20 cm	T2
a ₂ b ₁	Plátano y nivel 0 – 10 cm	T3
a ₂ b ₂	Plátano y nivel 10 – 20 cm	T4
a ₃ b ₁	Cítricos y nivel 0 – 10 cm	T5
a ₃ b ₂	Cítricos y nivel 10 – 20 cm	T6
a ₄ b ₁	Yuca y nivel 0 – 10 cm	T7
a ₄ b ₂	Yuca y nivel 10 – 20 cm	T8

Tabla 17. Modelo del análisis de varianza para las propiedades biológicas.

FV	GL	SC	CM	Fc
Tipo cultivo	a - 1	$(\sum Y^2_{.j}/rb) - FC$	$SC_A/a-1$	CM_A/CM_{error}
Profundidades	b - 1	$(\sum Y^2_{.k}/ra) - FC$	$SC_B/b-1$	CM_B/CM_{error}
Interacción TCxP	(a-1)(b-1)	$(\sum \sum Y^2_{ijk}/r) - SC_A - SC_B - FC$	$SC_{AxB}/(a-1)(b-1)$	CM_{AxB}/CM_{error}
Error	ab(r-1)	Diferencia	$SC_{error}/ab(r-1)$	
Total	abr - 1	$\sum \sum \sum Y_{ijk}^2 - FC$		

A y B: factores y r: Repetición

Las variables de las propiedades biológicas como la densidad y biomasa de la macrofauna serán comparadas a través del ANVA:

El modelo aditivo lineal del experimento es:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_j + B_k + (A+B)_{jk} + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Observación de la variable respuesta

μ = Efecto medio verdadero

A_j = Efecto del tipo de cultivo

B_k = Efecto del muestro de profundidad de los monolitos

$(A+B)_{jk}$ = Efecto de interacción del tipo de cultivo vs profundidad de los monolitos

E_{ijkl} = Efecto del error experimental

Para la relación entre la macrofauna y las propiedades físicas y químicas del suelo de los tipos de cultivos

Para definir la relación que existe en las propiedades del suelo y el tiempo, se realizaron estudios de correlación y regresión simple con base en el siguiente modelo matemático (Calzada, 1996).

Ecuación de regresión

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

Coefficiente de correlación

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

Además, se utilizó la prueba del estadístico r para estudiar el vínculo entre 2 variables medidas a nivel de intervalo o razón (Hernández et al., 2014).

El coeficiente r de Pearson puede cambiar de -1,00 a + 1,00, donde:

-1,00 = correlación negativa perfecta. ("Cuanto mayor es X, menor es Y", proporcionalmente. Por cada aumento de unidad en X, Y siempre disminuye en una cantidad constante). Igualmente se sujeta a "X menor, Y mayor.

-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. Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en cuatro tipos de cultivos en el sector aserradero

4.1.1. Propiedades físicas del suelo

- Textura del suelo de los cuatro tipos de cultivos

La Tabla 18 muestra la textura del suelo de los cuatro tipos de cultivos evaluados en la presente investigación, estas presentaron texturas finas, los cultivos pasto natural y cítrico con clase textural (franco) suelos de buena textura y buen drenaje, mientras los sistemas con plátano y yuca presentaron suelos con texturas franco limosas. Según Sánchez (2007) determinar la textura del suelo hacer referencia a la cantidad de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje para conocer aquellas partículas menores de 2 mm de diámetro, en donde radica su importancia edafológica.

Tabla 18. Textura de los suelos encontrados en los cuatro tipos de cultivos.

Textura	Pasto natural	Plátano	Cítrico	Yuca
Arena (%)	32	22	40	24
Limo (%)	47	55	37	51
Arcilla (%)	21	23	23	25
Textura	Fr	FrL.	Fr	FrL

fr: franco, Fr: franco, Fr: franco limoso.

De acuerdo a Zavaleta (1992) las clases texturales se fundamenta en varias composición de arena limo y arcilla, las mezclas son infinitas y según Henríquez y Cabalceta (1999) manifiesta que lo útil es tener en cuenta la clase textural de un suelo es que permite generar información aproximada de las propiedades generales del suelo, y así proponer prácticas de manejo adecuadas, en nuestro caso se encontró suelos francos y suelos franco limosos, según Campos y Cornelio (2006) los suelos francos son ideales para los cultivos,

porque tienen las características óptimas para garantizar cultivos sanos y vigorosos, el cual según lo obtenido es beneficioso para los tipos de cultivo evaluados.

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

Los resultados comparados mediante el análisis de varianza para las clases de cultivos en la variable densidad aparente del suelo se muestran en la Tabla 19, donde detalla que a un nivel de confianza del 95% hay pruebas estadísticas para afirmar que los promedios de densidad aparente para los cuatro tipos de cultivo evaluados en el sector aserradero son diferentes. Además podemos afirmar que el efecto ambiental basado en el coeficiente de variación nos dice que la influencia ambiental fue baja por tener un valor mínimo de 3.57%.

Tabla 19. Análisis de varianza para la densidad aparente (g/cm³)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipo de cultivo	3	0.046	0.015	4.68	4.07	*
Error	8	0.026	0.003			
Total	11	0.072				

CV (%):3.57

La prueba de comparación de promedios de Tukey mostrados en la Tabla 20, concluyen que la parcela con el cultivo yuca tiene el mayor valor promedio de densidad aparente con 2.32 g/cm³ con respecto a los otros cultivos seguido cercanamente por el cultivo de plátano con un valor de 2.30 g/cm³ y son similares estadísticamente. Investigadores como Acevedo y Martínez (2003) muestra que la densidad aparente del suelo es un pilar de la compactación de raíces y la restricción de raíces. Los resultados obtenidos muestran que son valores altos tanto para el cultivo de yuca y también el plátano e indican que se encuentran instaladas dentro de un suelo con arena compactada (Navarro, 2003). Jaramillo, (2003) afirma que los suelos arenosos suelen tener un valor más alto, de 1,35 a 1,85 kg/dm³ en todo caso podríamos decir que los resultados obtenido de densidad aparente los cultivos se encuentran instalados en suelos franco arenosos, o quizás demasiada compactación, que de algún modo pueden afectar el rendimiento en la producción de los cultivos, por lo que se recomendaría optar por cultivos en asocio con especies forestales que tienen un efecto beneficioso en el suelo ya que según Lok (2005) los

sistemas agroforestales tienen la ventaja de restaurar la densidad del suelo en comparación con el cultivo de café a pleno sol.

Tabla 20. Valores promedio de la densidad aparente del suelo (g/cm^3)

Tipo de cultivo	Promedio (g/cm^3)	Sign. Alpha 0.05
Cultivo de yuca	2.32	a
Cultivo de plátano	2.30	a b
Cultivo de cítricos	2.26	a b
Pasto natural	2.16	b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

El análisis de varianza para los tipos de cultivo realizada a la variable resistencia a la penetración del suelo de la Tabla 21, muestra que a un nivel del 95% de confianza hay evidencias estadísticas para afirmar que los valores promedios obtenidos por cada tipo de cultivo son iguales.

Tabla 21. Análisis de varianza para variable resistencia a la penetración del suelo (g/cm^2)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipo de cultivo	3	0.031	0.0103	0.69	4.07	NS
Error	8	0.119	0.0149			
Total	11	0.150				

CV (%):8.08

La prueba de comparación de promedios de Tukey (Tabla 22) muestra que el pasto natural y el cultivo de plátano tienen los máximos valores promedios de resistencia a la penetración del suelo con 1.50 g/cm^2 para ambos casos, aunque estadísticamente todos los cultivos son iguales, Navarro (2003) menciona que su valor es una medida compuesta de compactación del suelo, contenido de humedad, distribución del tamaño de grano, clase de arcilla mineral presente, contenido de materia orgánica y contextura del suelo y según Zerpa (2006) valores mayores a $1,4 \text{ g/cm}^2$, los tipos de cultivo antes mencionado están instalados en un suelo restrictivo para el enraizamiento, Bengough y Mullins (1991) señala que la compactación del suelo disminuye el espacio poroso y limita el desarrollo radical.

Tabla 22. Promedio de resistencia a la penetración del suelo (g/cm²)

Tipo de cultivo	Promedio (g/cm ²)	Sign. Alpha 0.05
Pasto natural	1.50	a
Cultivo de plátano	1.50	a
Cultivo de yuca	1.40	a
Cultivo de cítricos	1.40	a

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

El análisis de varianza de los tipos de cultivo realizada a la variable temperatura del suelo mostrados en la Tabla 23, muestra que a un nivel del 95% de confianza hay evidencias estadísticas para afirmar que los valores promedios de temperatura obtenidos por cada tipo de cultivo son iguales.

Tabla 23. Análisis de varianza para variable temperatura del suelo (°C)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipos de cultivo	3	1.38	0.46	0.52	4.07	NS
Error	8	7.04	0.88			
Total	11	8.42				

CV (%):3.69

De acuerdo a lo reportado por el USDA (1999) la temperatura terrestre depende de la radiación neta que llegue a la tierra, efecto de tener en cuenta el balance energético de onda corta y de onda larga. De acuerdo a la prueba de comparación de promedios de Tukey (Tabla 24) muestra que el pasto natural y el cultivo de plátano tienen los mayores valores promedios de temperatura con 24.20 °C y 23.80 °C respectivamente, aunque comparados estadísticamente todos los promedios de temperatura de los tipos de cultivos son iguales por más que los valores promedios difieran entre ellos.

Tabla 24. Promedio de la temperatura del suelo (°C)

Tipo de cultivo	Promedio (°C)	Sign. Alpha 0.05
Pasto natural	24.20	a
Cultivo de plátano	23.80	a
Cultivo de cítricos	23.50	a
Cultivo de yuca	23.30	a

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

4.1.2. Propiedades químicas del suelo

– pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio disponible

El análisis de varianza mostrado en la Tabla 25, a un nivel de confianza del 95% evidencia que hay variedad estadística significativa de los tipos de cultivos en los valores promedios de la reacción del suelo o pH.

Tabla 25. Análisis de varianza para variable reacción del suelo o pH.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipo de cultivo	3	1.15	0.384	11.85	4.07	*
Error	8	0.26	0.032			
Total	11	1.41				

CV (%):6.41

Según Fassbender (1987) el pH quizás es la propiedad química más necesaria del suelo como medio de cultivo porque tiene una influencia decisiva en la disposición de la mayoría de los nutrientes así como en las propiedades químicas y biológicas de la tierra, según lo encontrado a un nivel de confianza del 95% para la prueba Tukey (Tabla 26) muestra que el cultivo de cítricos con un valor de 5.89 tiene el promedio más alto con respecto a los otros cultivos, en ese sentido también observamos que el pasto natural y el cultivo de plátano son similares estadísticamente al cultivo de cítricos. Según la tabla de valores del pH el cultivo de cítricos tiene un suelo moderadamente ácido (UNAS, 2022), al respecto Fassbender y Bornemisza (1987) El pH óptimo para el crecimiento de las plantas es de 6,5 a 7,5 pH por

encima o por debajo de este rango causará problemas de toxicidad. De acuerdo a los valores encontrados podemos afirmar que los cuatro tipos de cultivo están instalados en suelos ácidos.

Tabla 26. Promedio de reacción del suelo o pH.

Tipo de cultivo	Promedio	Sign. Alpha 0.05
Cultivo de cítricos	5.89	a
Pasto natural	5.76	a
Cultivo de plátano	5.63	a
Cultivo de yuca	5.08	b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$), según prueba de Tukey

El análisis de varianza (Tabla 27) detalla que a un nivel de confianza del 95% que hay variedad estadística significativa entre los tipos de cultivo en el sector Aserradero con respecto a la variable materia orgánica en el suelo.

Tabla 27. Análisis de varianza para variable materia orgánica (%).

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipo de cultivo	3	16.53	5.510	334.29	4.07	*
Error	8	0.13	0.017			
Total	11	16.66				

CV (%):6.49

Respecto a la variable Navarro (2003) denomina materia orgánica a la parte orgánica que tiene una función esencial en el suelo y su contenido es muy variado por lo que un análisis absoluto no existe, la Tabla 28 se muestra la prueba de semejanza de promedios de Tukey donde se verifica que el cultivo de yuca es la que mayor porcentaje de materia orgánica presenta con 3.86% con respecto a los demás cultivos, donde cabe resaltar al cultivo de cítricos que cuenta con un valor muy bajo de 0.84% en materia orgánica, el cual amerita recomendar acciones de adición de este elemento al cultivo, según el cuadro propuesto por la Soil Survey Staff (1993) los valores de materia orgánica de los suelos del cultivo de yuca tiene un nivel medio de materia orgánica y la parcela de cítricos un nivel bajo o pobre, por las características del trabajo realizado el cual pretende conocer cuáles son las propiedades del suelo por cada

cultivo, los valores encontrados puedan deberse a la ubicación y fisiografía de los cultivos instalados, el material parental del mismo, las condiciones de labranza y el manejo en abonamiento por el tipo de requerimiento nutricional del cultivo, al respecto Navarro (2003) agrega que se comprobó que el contenido de materia orgánica varía, mientras que en el valle aluvial 2% es alto, el mismo valor en la sierra será bajo, y en la selva bajo será medio. Por lo tanto, el nivel de materia orgánica detectada debe analizarse en función de la ubicación y las necesidades de este cultivo.

Tabla 28. Valores promedio de materia orgánica presente en el suelo (%).

Tipo de cultivo	Promedio	Sign. Alpha 0.05
Cultivo de yuca	3.86	a
Cultivo de plátano	1.71	b
Pasto natural	1.18	c
Cultivo de cítricos	0.84	d

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

El análisis de varianza (Tabla 29) realizada a un nivel de confianza del 95% detalla con respecto a la variable nitrógeno disponible del suelo que reconoce evidencias estadísticas significativas para afirmar que los tipos de cultivo en el sector de Aserradero son diferentes.

Tabla 29. Análisis de varianza para variable nitrógeno disponible en el suelo (%).

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipo de cultivo	3	0.0316	0.0105	52.71	4.07	*
Error	8	0.0016	0.0002			
Total	11	0.0332				

CV (%):6.28

Según Fernández (2006), el nitrógeno se almacena en el suelo por la participación de materia orgánica y la unión de bacterias del aire, y luego es utilizado por plantas, animales adhieren y microorganismos que lo a al suelo en sus tejidos, y también por a que es un macronutriente gaseoso y se presenta en una sustancia orgánica, su disponibilidad depende de

las formas en que se encuentre, porque el nitrógeno utilizable significa la cantidad de nitrógeno mineral equiparable por el sistema radicular de la planta y es necesario conocerla, los valores de nitrógeno disponible encontrados y comparados mediante la prueba de semejanza de promedios de Tukey a los tipos de cultivo (Tabla 30), detalla que los suelos del cultivo de yuca presenta el mayor promedio de nitrógeno disponible con 0.17%, y que según los valores propuestos por la Soil Survey Staff (1993) tiene un nivel medio de contenido de Nitrógeno disponible, comparada con los otros cultivos estos presentan niveles bajos de nitrógeno disponible que de alguna manera afectan el desarrollo y producción de los cultivos, Navarro (2003) menciona que el nitrógeno disponible es invariable para el progreso de las plantas, por lo que en todos los cultivos sería necesario un abonamiento con nitrógeno, respetando obviamente los requerimientos nutricionales de la especie.

Tabla 30. Valores promedio de nitrógeno disponible en el suelo (%).

Tipo de cultivo	Promedio	Sign. Alpha 0.05
Cultivo de yuca	0.17	a
Cultivo de plátano	0.08	b
Pasto natural	0.05	b
Cultivo de cítricos	0.04	b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

El análisis de varianza para los tipos de cultivo en la variable fósforo utilizable en el suelo realizada a un nivel de confianza del 95 % muestra en la Tabla 31 que existen diferencias estadísticas significativas, por lo tanto los tipos de cultivo en el sector Aserradero para esta variable son diferentes.

Tabla 31. Análisis de varianza para el fósforo disponible en el suelo (ppm)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipo de cultivo	3	629.33	209.78	53.74	4.07	*
Error	8	31.23	3.90			
Total	11	660.56				

CV (%):18.75

Según Navarro (2003) encontrar fósforo disponible en los suelos es por abonamiento con este macroelemento, de acuerdo a lo encontrado y comparado mediante la prueba de medias de Tukey realizada a un 95% de confianza muestran al cultivo de plátano (Tabla 32) 53.25 ppm como el mayor valor promedio de fosforo disponible en el suelo, de acuerdo a la Soil Survey Staff (1993) este cultivo se encuentra con un nivel alto de fosforo disponible, según Navarro (2003) el fósforo es el macronutriente que más reduce el rendimiento, ya que está involucrado en muchos procesos bioquímicos a nivel celular y se considera un nutriente esencial para las plantas. Según los valores de fosforo disponible encontrados todas los cultivos se encuentra bajo un nivel alto de este macronutriente, es sabido que un exceso de fósforo no beneficia las plantas al contrario aumenta la pérdida del mismo, por lo que se recomienda controlar la frecuencia de abonamiento de los cultivos evaluados.

Tabla 32. Promedio de fósforo disponible (ppm) en el suelo.

Edad de plantación	Promedio (ppm)	Sign. Alpha 0.05
Cultivo de plátano	53.25	a
Cultivo de yuca	40.84	b
Pasto natural	36.57	b
Cultivo de cítricos	34.63	c

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

El análisis de varianza para los tipos de cultivo (Tabla 33) realizado a un 95% de nivel de confianza muestra que los promedios de potasio disponible en el suelo son diferentes, es decir hay variedad significativa entre los promedios de los tipos de cultivo en el sector Aserradero.

Tabla 33. Análisis de varianza para la variable potasio disponible en el suelo (kg/ha).

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tiempo de plantación	3	3233.41	1077.80	135.40	4.07	*
Error	8	63.68	7.96			
Total	11	3297.08				

CV (%):11.09

Según Navarro (2003), las plantas necesitan una gran cantidad de este nutriente, ya que les gusta el crecimiento de las plantas y la fruta por lo que este es un factor nutritivo importante para los organismos vivos. De acuerdo a la prueba de medias de Tukey realizado en cultivo de potasio, disponible en la Tierra con una confiabilidad del 95% (Tabla 34). Hay una diferencia significativa entre los valores promedio en los que el césped natural muestra que el valor promedio más alto es 182.42 kg // ha, según el personal de la tierra (1993) es muy bajo en procesos como fotosíntesis, síntesis de proteína y carbohidratos; Asimismo afecta el equilibrio hídrico y el crecimiento del sistema, podemos recomendar entonces que los suelos de los cultivos evaluados necesitan urgentemente ser abonados con potasio ya que todas tienen niveles muy bajos de este elemento, tomando en cuenta también el requerimiento nutricional de cada cultivo

Tabla 34. Valores promedio de potasio en el suelo (kg/ha).

Tipo de cultivo	Promedio	Sign. Alpha 0.05
Pasto natural	182.42	a
Cultivo de cítricos	153.93	b
Cultivo de yuca	150.43	b
Cultivo de plátano	137.44	c

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

4.1.3. Propiedades biológicas del suelo

– Densidad y biomasa total de los individuos de la macrofauna del suelo

Tabla 35. Análisis de varianza para la variable densidad de individuos (ind/m²).

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipo de cultivo (A)	3	11952.5	3984.15	133.08	3.23	*
Profundidades (B)	1	23489.4	23489.4	784.61	4.49	*
Interaccion AyB	3	1783.4	594.5	19.86	3.23	*
Error experimental	16	479	29.9			
Total	23	37704.2				

CV (%):36.49

El análisis de varianza (Tabla 37) realizada a un nivel de confianza del 95% con respecto a la densidad total de los individuos de la macrofauna del suelo por el tipo de cultivo, mostraron diferencias estadísticas significativas para los factores en evaluación (tipo de cultivo y profundidades) y también en la interacción de los factores (Tiempo de cultivo vs profundidades).

Tabla 38. Valores promedio del tipo de cultivo mediante la variable densidad de individuos en el suelo (ind/m²).

Tipo de cultivo	Promedio	Sign. Alpha 0.05
Cultivo de yuca	144.84	a
Pasto natural	111.26	b
Cultivo de cítricos	105.24	b
Cultivo de plátano	82.48	c

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

Según Acevedo y Martínez (2003), la población y producción de lombrices se consideran como bioindicadores; afirmaciones que motivan conocer los aspectos biológicos del suelo, en el trabajo realizado y comparado por la prueba de Tukey (Tabla 38) a un nivel de confianza del 95% encontramos que para el factor evaluado, el cultivo de yuca presenta el mayor valor promedio de densidad de individuos con 144.84 ind/m², al respecto Sánchez (2007) menciona que conocer las propiedades biológicas permiten identificar signos tempranos de degradación o recuperación del suelo porque, según Lok (2005), varios organismos influyen en las propiedades físicas del suelo al abrir túneles y pasajes que aumentan la fertilidad del suelo, la porosidad y la permeabilidad del agua, al tiempo que modifican y aglomeran, de acuerdo a lo obtenido todos los cultivos tienen una mediana presencia de individuos de macrofauna en cada cultivo, siendo el cultivo de plátano con el menor número de individuos encontrados, que pueda deberse a las características del cultivo y su manejo.

Tabla 39. Promedio por profundidad del monolito en la densidad de individuos (ind/m²).

Profundidad	Promedio	Sign. Alpha 0.05
0 – 10 cm	142.24	a
10 – 20 cm	79.67	b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p <= 0.05$), según prueba de Tukey

Ramírez y Gonzales (1999) alegan que la macrofauna se mueve activamente por fuera y por dentro del suelo, por lo que encontrar valores altos por encima del suelo no es extraño, mediante la prueba Tukey (Tabla 39) realizada a un nivel de confianza del 95% encontramos que para el nivel de profundidad de 0 – 10 cm la cantidad de individuos fue mayor en los valores de densidad de individuos con 142.24 ind/m², según Porta et al. (1999) mencionan que la macrofauna son organismos que se detectan visiblemente, de tamaño variable, por lo que los valores encontrados reflejan mayor actividad al exterior por la cantidad de individuos con respecto al otro nivel.

Tabla 40. Valores promedio de la interacción del tipo de plantación por profundidad en la variable densidad de individuos (ind/m²).

Tipo cultivo vs Profundidad	Promedio	Sign. Alpha 0.05
a4b1 (Cultivo de yuca vs 0 - 10 cm)	188.71	a
a1b1 (Pasto natural vs 0 – 10 cm)	144.60	b
a3b1 (Cultivo de cítricos vs 0 – 10 cm)	132.90	b
a2b1 (Cultivo de plátano vs 0 – 10 cm)	102.74	c
a4b2 (Cultivo de yuca vs 10 - 20 cm)	100.97	c
a1b2 (Pasto natural vs 10 - 20 cm)	77.92	d
a3b2 (Cultivo de cítricos vs 10 - 20 cm)	77.57	d e
a2b2 (Cultivo de plátano vs 10 - 20 cm)	62.21	e

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p <= 0.05$), según prueba de Tukey

A un nivel de confianza del 95% encontramos que para la interacción de los factores Tipo de cultivo vs profundidades por profundidad (Tabla 40) muestra que el cultivo de yuca vs 0 – 10 cm tiene el mayor valor promedio con 188.71 ind/m², al respecto Brown et

al. (2001) mencionan que desde el punto de vista de la alimentación que incluye individuos que son herbívoros, detritívoros y depredadores, hacen que la macrofauna esté presente en los suelos a pesar de las variaciones en las propiedades físicas o químicas y nos presupone que los resultados respondan a este enunciado, porque según Correia (2000) la macrofauna descompone partículas orgánicas y minerales, redistribuye la materia orgánica y los microorganismos, promueve la humectación y produce depósitos fecales, y la macrofauna más abundante son los artrópodos, especialmente la cola de poto, que vive en los primeros 5 cm del suelo.

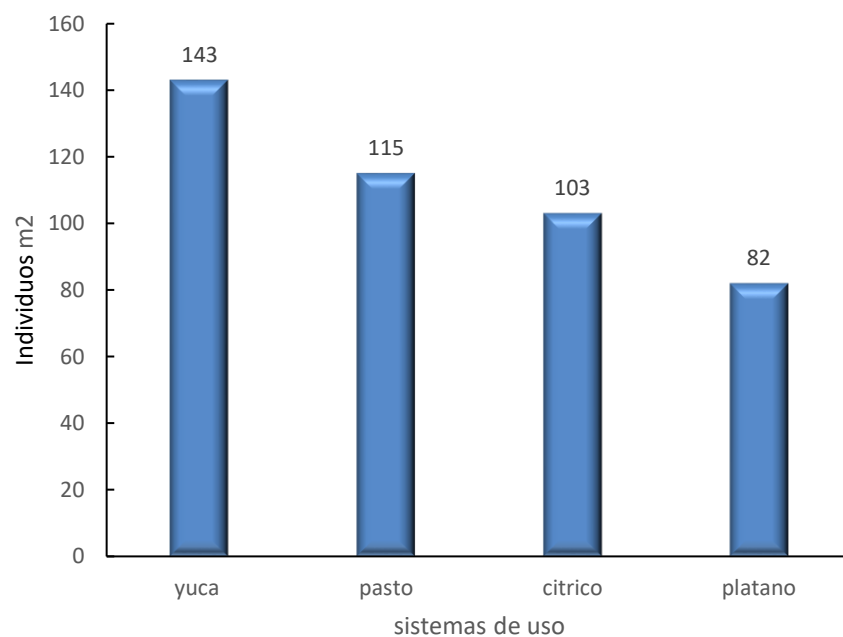


Figura 3. Densidad de la macrofauna del suelo en cuatro tipos de cultivos

Tabla 41. Análisis de varianza para la variable biomasa en el suelo (g/m^2).

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ftab	Sig 0.05
Tipo de cultivo (A)	3	112.649	37.55	48.20	3.23	*
Profundidades (B)	1	86.64	86.64	111.21	4.49	*
Interacción AyB	3	2.295	0.77	0.98	3.23	NS
Error experimental	16	12.465	0.78			
Total	23	214.05				

CV (%):34.01

El análisis de varianza para los tipos de cultivo (Tabla 41) muestra a un nivel de confianza del 95% con respecto a la biomasa total de los individuos de la macrofauna del suelo indicó variedad estadística significativa para el factor tipo de cultivo y profundidad de monolito y ninguna diferencia estadística significativa para la interacción entre ellos (Tipo de cultivo vs profundidades).

Tabla 42. Valores promedio del tipo de cultivo mediante la variable biomasa de individuos en el suelo (g/m^2).

Tipo de cultivo	Promedio	Sign. Alpha 0.05
Cultivo de yuca	11.59	a
Pasto natural	9.77	b
Cultivo de cítricos	8.91	b
Cultivo de plátano	5.61	c

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

La prueba de Tukey (Tabla 42) a un nivel de confianza del 95% muestra que para el factor tipo de cultivo en la variable biomasa de individuos, el cultivo de yuca tiene el mayor valor promedio con 11.59 g/m^2 , al respecto Cárdenas (2008) menciona que toda la masa de microorganismos vivos se encuentran en cierto volumen de suelo o masa y su presencia o ausencia de acuerdo a lo que mencionan Porta et al. (1999) Varían radicalmente según el uso y la estabilidad de los estados naturales del sistema biológico, especialmente el aislamiento (temperatura), la viscosidad relativa, la ingeniería vegetal (separación de) y el trabajo de descomposición de las fitos, esto denota que la biomasa obtenida en el trabajo depende de características favorables lo que no sucede con áreas intervenidas o con cultivos por lo que podemos decir que la biomasa encontrada es acorde a áreas cultivadas.

Tabla 43. Valores promedio por profundidad en la variable biomasa de individuos (g/m^2).

Profundidades	Promedio	Sign. Alpha 0.05
0 – 10 cm	10.87	a
10 – 20 cm	7.07	b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey

La prueba de Tukey (Tabla 43) realizada a un nivel de confianza del 95% encontramos que para el factor profundidades presentan diferencias, teniendo en el nivel de 0 – 10 cm el valor promedio más alto con 10.87 g/m², para entender la presencia o peso de los individuos de la macrofauna el tipo de suelo es un factor relevante que influye en el comportamiento de la macrofauna en cada sistema, ya que si son secos o húmedos producirán variaciones en la cantidad y peso.

Tabla 44. Valores de la interacción del tipo de cultivo por profundidad en la biomasa de individuos en el suelo (g/m²).

Tipo cultivo vs Profundidad	Promedio	Sign. Alpha 0.05	
a4b1 (Cultivo de yuca vs 0 -10 cm)	13.98	a	
a1b1 (Pasto natural vs 0 – 10 cm)	11.62	a	b
a3b1 (Cultivo de citrico vs 0 – 10 cm)	10.74	b	
a4b2 (Cultivo de yuca vs 10 -20 cm)	9.20	b	c
a1b2 (Pasto natural vs 10 - 20 cm)	7.92	c	
a2b1 (Cultivo de plátano vs 0 – 10 cm)	7.15	c	
a3b2 (Cultivo de cítricos vs 10 -20 cm)	7.09	c	
a2b2 (Cultivo de plátano vs 10 -20 cm)	4.08	d	

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p <= 0.05$), según prueba de Tukey

El estudio de variancia realizada a la interacción de los tipos de cultivo vs profundidades un nivel de confianza del 95% (Tabla 44) encontramos que el cultivo de yuca vs 0 – 10 cm tiene el mayor valor promedio con 13.98 g/m² pero el pasto natural tiene un valor similar estadísticamente con 11.62 g/m², estos valores encontrados muestran un mayor presencia y peso en estos cultivos, sobretodo en el cultivo de yuca que al parecer es preferida por estos individuos, cumpliendo lo espetado por Brown et al. (2001) donde la alimentación hace que la macrofauna esté presente en los suelos a pesar de las variaciones en las propiedades físicas o químicas y los resultados encontrados responden a lo afirmado por el autor.

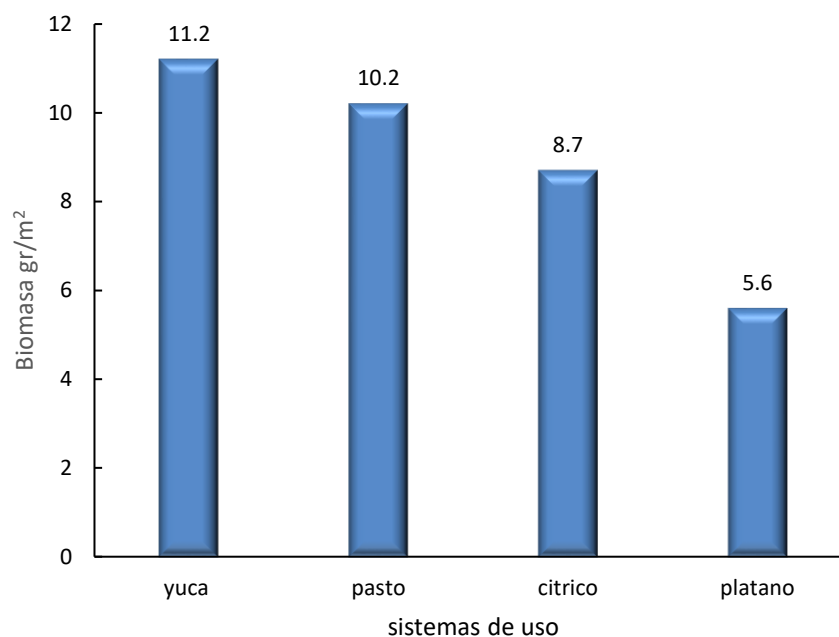


Figura 4. Biomasa de la macrofauna edáfica en cuatro tipos de cultivos.

4.2. Diversidad alfa de la macrofauna de suelo en cultivos del sector Aserradero

4.2.1. Riqueza de especies

Se reconocieron 10 órdenes de macrofauna en los cuatro tipos de cultivos donde se encontraron: 08 en el cultivo de cítrico, 07 en el pasto natural, 10 en el cultivo de plátano y 09 en el cultivo de yuca; Himenóptera y Haplotaxidas fueron los más predominantes en los tres tipos de cultivos, predominando las Haplotaxidas (lombrices) en el cultivo con cítrico con 56 ind.m⁻², en el pasto natural 61 ind.m⁻², en el cultivo con plátano 36 ind.m⁻² y el cultivo con yuca 81 ind.m⁻², mientras que las Himenópteras (hormigas) predominaron en el cultivo con cítrico 36 ind.m⁻², en el sistema con pasto natural y cultivo con yuca presentaron 34 ind.m⁻², en el sistema con plátano 17 ind.m⁻² respectivamente. Asimismo; Isópoda, Ortóptera, isóptera y el resto de los taxones presentaron escasa densidad de individuos, como se muestra Tabla 45.

Tabla 45. Taxonomía de la macrofauna del suelo en los cuatro tipos de cultivos.

Clase – Orden	Pasto natural (ind.m ⁻²)	Plátano (ind.m ⁻²)	Cítrico (ind.m ⁻²)	Yuca (ind.m ⁻²)	Total ind. (ind.m ⁻²)
Insecta - Hymenóptera	34	17	36	34	121
Oligochaeta-Haplotaxida	61	36	56	81	234

Crustáceo -Isópoda	5	2	0	4	9
Miriapodas - Chilopoda	0	1	0	0	1
Miriapodas - Diplopoda	0	2	0	1	3
Larvas	3	1	3	1	8
Insecta - dictyoptera	1	0	1	0	2
Insecta-Isóptera	8	18	3	17	46
Insecta - lepidóptera	2	0	0	1	3
Insecta - Coleóptera	1	4	2	0	7
Insecta - ortóptera	0	1	0	3	4
Arachnida - Araneae	0	0	0	1	1
Insecta - hemíptera	0	0	0	0	0
gastropoda	0	0	1	0	1
Insecta-dermáptera	0	0	0	0	0
sinfilidos	0	0	1	0	1
Otros	0	0	0	0	8
Total	115	82	103	143	443

Al cotejar entre sí los valores de densidad de las unidades de uso de suelos obtenidos en los diferentes cultivos, se observan importantes diferencias (Tabla 45). Donde el cultivo con yuca presenta (143 ind.m-2.) y pasto natural (115ind.m-2), fueron los que presentaron mayor densidad de individuos. Como señalaron Lavelle y Spain (2001), esto refleja la respuesta de la macrofauna del suelo al clima, tipo de suelo, vegetación, tipo de cultivo y manejo. En este estudio de suelo, el primer factor de la comunidad respondió al tipo de cultivo (yuca, pasto nativo, cítricos y plátano) y el segundo factor al tiempo del muestreo, lo que señala que a nivel local, el uso y clase de vegetación fue más el cambio climático sexual es más importante. En contraste, Villalobos et al., (2000) encontraron que los oligoquetos (lombrices de tierra) y los coleópteros eran los grupos más representativos en los sistemas de cultivo de maíz, pero sus evaluaciones se realizaron durante la época seca.

4.2.2. Estructura de las especies

La diversidad del sistema de macrofauna de cuatro especies de plantas (Tabla 46) se muestra en los resultados obtenidos para macrofauna por el método de Simpson (D) y Shannon-Wiener (H'), en el que una gran cantidad de especies en las muestras nos muestran

una variedad de diferentes cultivos, observando que para el índice Shannon – Wiener (H'), los cultivos con yuca, cítrico y pasto natural presentaron valores similares de H' presentando una diversidad de calidad regular, mientras el índice Simpson para los cuatro tipos de cultivos nos indica una diversidad baja por presentar valores menores a 0.70 o 70% , mientras los valores más bajos de diversidad lo presentó el cultivo con plátano con un $H' = 0.49$ y un $D = 0.253$ o 25.3%, en tanto los mayores valores de equitabilidad lo presentaron los cultivos yuca y cítrico con 0.57 y 51 E.

Tabla 46. Diversidad de especies de la macrofauna del suelo índice de Simpson y Shannon – Wiener

Tipos de cultivos	Simpson		Shannon-Wiener	
	D	%	H'	E
Pasto natural	0.45	45.5	0.62	0.48
Plátano	0.25	25.3	0.49	0.38
Cítrico	0.40	40.5	0.61	0.51
Yuca	0.34	34.3	0.60	0.57

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

En el caso del cultivo con yuca, transformó la abundancia de los individuos y decayó en la composición de las comunidades. También hubo cambios en la abundancia, diversidad e importancia relativa absoluta de los 10 grupos funcionales que integran estas comunidades. Posiblemente debido al uso de herbicidas e insecticidas, estas labores parecen tener mayor impacto en especies terrestres como hormigas (Hymenoptera) y cucarachas (Dictyoptera). Como ha demostrado (Pashanasi, 2001), las comunidades de macrofauna cambian en conformación, abundancia y diversidad que depende del estado de alteración del suelo causado por la variabilidad de uso del suelo.

4.2.3. Relación de la macrofauna del suelo versus las propiedades del suelo en el sector aserradero

La Tabla 47 muestra que la correlación entre la consistencia macroscópica del suelo y la densidad aparente es positiva (0,96) y significativa (valor $p = 0,014290$), es decir, la densidad macroscópica del suelo es directamente proporcional a la densidad del suelo. la

densidad aparente del suelo y ambas variables aumentan juntas y de manera similar, el coeficiente de penetración es proporcional a la densidad del macrosistema del suelo (0,98). Por otro lado, la correlación entre la biomasa biótica en el suelo y el K₂O del suelo fue fuerte, negativa (-1) y muy significativa (valor de $p = 0,002343$), es decir, la biomasa macrobiótica del suelo es inversamente proporcional al K₂O del suelo, siempre que una de estas variables aumenta, el otro disminuye, o viceversa.

Tabla 47. Correlación entre las propiedades del suelo con cultivos y la macrofauna del suelo

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).

Se determinó la correlación a mayor contenido de nitrógeno en el suelo mayor biomasa edáfica presente en el suelo, asimismo a un mayor contenido de materia orgánica en el suelo conllevaría a una disminución de la resistencia a la penetración. Los cuales han sido ajustados a la línea de tendencia potencial con un R² de 0.789. Es decir que existe una alta relación potencial entre los indicadores físicos, químicos y biológicos.

V. CONCLUSIONES

- Los tipos de cultivo presentan una textura franco a franco limoso, densidad aparente de 2.32 g/cm³ en el cultivo de yuca, con 1.50 g/cm² de resistencia a la penetración en pasto natural, 24.20 °C en pasto natural, 5.89 de pH en el cultivo de cítricos, 3.86% de materia orgánica y 0.17% de nitrógeno disponible en el cultivo de yuca, 53.25 ppm de fósforo disponible en el cultivo de plátano y 182.42 kg/ha en potasio disponible, en cuanto a la densidad y biomasa de individuos fue de 144.84 ind/m² y 11.59 g/m² en el cultivo de yuca respectivamente, presentando mayor interacción a nivel de 0 – 10 cm.
- Se identificó 10 órdenes de macrofauna en los cuatro tipos de cultivos donde se encontraron: 08 en el cultivo de cítrico, 07 en el pasto natural, 10 en el cultivo de plátano y 09 en el cultivo de yuca; Himenóptera y Haplotaxidas fueron los más predominantes en los tres tipos de cultivos, el índice Simpson para los cuatro tipos de cultivos indica una diversidad baja por presentar valores menores al 70%
- La correlación entre la densidad macroscópica del suelo y la densidad aparente del suelo es positiva, el coeficiente de infiltración es proporcional a la densidad macroscópica del suelo, la biomasa macroscópica del suelo es inversamente proporcional al K₂O suelo, y si uno de estas variables aumentan, la otra disminuye, o viceversa.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Realizar una encuesta de 2 o 3 evaluaciones por mes que duplique o triplique cada evaluación para comprender mejor la dinámica poblacional del macro ecosistema efímero.
- Realizar un estudio de fitoplancton entre suelos con alguna contaminación conocida (por ejemplo, minería, pesticidas y cultivos de pesticidas, suelo alrededor de pilas, etc.) relativamente primitivos (por ejemplo, en áreas naturales protegidas por el estado).
- Caracterización de la vegetación circundante y parámetros nutricionales de los sistemas estudiados con el fin de conocer la relación entre la diversidad y abundancia de los parámetros especificados y la relación con la vegetación circundante.

VII. REFERENCIAS

- Acevedo, J., Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. Serie ciencias agronómicas.
- Acevedo, E., Carrasco, A., Leon, 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/>).
- Arévalo, L., Sanco, M. (2002). Manual de laboratorio para análisis físico químico del suelo. S.I. ICRF – CHEMONICS.
- Brown, G.G., I. Barois, 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.
- 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.
- Calzada, J. (1996). Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídica S.A. 3 ed. Lima, Perú.
- Campos y Cornelio. 2006. Clasificación de los suelos de la Comunidad Campesina San Juan Bautista de Huariaca, según su grado de fertilidad natural (Tesis). Universidad Nacional “Daniel Alcides Carrión” Cerro de Pasco – Perú.
- Clapperton, J. (2000). Creating healthy productive soil. In Congreso Nacional de AAPRESID (8., Mar del Plata, Argentina).
- Cárdenas, P. (2008). Determinación de la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacio
- Cepeda, D. (1991). Química de Suelos. 2 ed. Trillas S.A., México.
- Correia, M.E.F., Oliveira, L.C.M. (2000). De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos.
- 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/>).
- Dalurzo, HC; Vázquez, S; Ratto, S. (2002) Indicadores físicos de calidad de suelos en oxisoles de misiones(Argentina). Jornadas científicas y tecnologicas de la universidad nacional del noroeste/ disponible en <http://www.unne.edu.ar/cyt/2002/cyt.htm>

- 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. 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.
- Etter, R.J. (1991). PopDyn: an ecological simulation program. *Bioscience* 41: 784-790.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO]. (2002). Desafíos Y Oportunidades para el Sector Forestal en Virtud Del Protocolo De Kyoto.
- Ferreras L, Magra G; Besson P; Kovalevski E; Garcia F. (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. *Ci. Suelo (Argentina)* 25(2): 159-172.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO]. (2015). 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.
- Fassbender, H., Bornemisza, E. (1987). Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica.
- 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.
- Halfpter, G., Moreno, C.E., Pineda, E.O. (2001). Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. Manuales & Tesis vol. 2.
- Holdrige, L. (1993). Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA.
- Jaramillo, D. (2003). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

- 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.
- Ministerio de Agricultura. MINAG. (2011). Cadena agropecuaria de papa. Manejo y fertilidad de suelos. Guía técnica de orientación al productor.
- 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.
- Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica*. Lima, Perú. 12(1-2): 75-797.
- Porta, M., López, A., Roquero, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España. 622 p.
- Ramírez, y Gonzáles, A. (1999). Ecología Aplicada. Fundación Universidad de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Reátegui, H. (2009). Efecto de los sistemas de uso en los macro invertebrados bajo cinco condiciones en el distrito de Rupa Rupa. [Tesis de pregrado]. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Sánchez, J. (2007). Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A.
- SOIL SURVEY STAFF. (1993). Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- USDA. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 88 p.
- 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.
- Zerpa, G. (2006). Acción del pisoteo de la hacienda sobre la estabilidad estructural de un suelo. En: IV Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo y Reunión Internacional de Rhizosfera. 2 p.

ANEXO

Anexo 1. Tabulación de datos

Tabla 48. Parámetros físicos encontrados en los suelos de los diferentes tipos de cultivos.

Tipos de cultivos	Características del suelo	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Cítrico	24.2	80
Pasto natural	23.5	73
Plátano	23.8	75
Yuca	23.3	73

Tabla 49. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con cultivo de plátano.

Profundidad	Grupo taxonómico	N°	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
	Oligochaeta (Lombriz)	1	0.0557
10- 20 cm	Himenóptera (Hormiga)	27	0.4924
	Geophilomorpha (cien Pies)	1	0.0118
	Isópoda (Chanchito del suelo)	1	0.0301
	Aránea (Arañas)	1	0.1252
	Coleóptera (Escarabajos)	2	0.0087
20 – 30	Coleóptera (Escarabajos)	2	0.0111
	Himenóptera (Hormigas)	4	0.0712

Tabla 50. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con cultivo de yuca.

Profundidad	Grupo taxonómico	N° 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 51. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con pasto natural.

Profundidad	Grupo taxonómico	N° de individuos	Peso total (g)
0 - 10 cm	Oligochaeta (Lombriz)	88	11.2439
	Coleóptera (Escarabajos)	1	0.0728
	Himenóptera (Hormigas)	9	0.932
	Díptera (larvas de Mosca)	3	0.0073
	Isópoda (Chanchito)	2	0.0949
10- 20 cm	Oligochaeta (Lombriz)	40	6.3208
	Isópoda (Chanchito del suelo)	1	0.0423
20 – 30	Oligochaeta (Lombriz)	22	2.0091
	Coleóptera (Escarabajos)	1	0.0046
	Hymenóptera (Hormigas)	2	0.0303

Tabla 52. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con cultivo de cítrico.

Profundidad	Grupo taxonómica	Individuos	Peso total (gr)
0 - 10 cm	Himenóptera (Hormigas)	17	0.0311
	Oligochaeta (Lombriz de tierra)	11	1.4218
	Geophilamorpha (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 1. Panel fotográfico



Figura 05. Medición de la resistencia del suelo con cultivo de plátano.



Figura 06. Muestreo para determinar la densidad aparente del suelo.



Figura 07. Muestreo de suelo con cultivo de plátano.



Figura 08. Muestreo de macrofauna del suelo con cultivo de yuca.



Figura 09. Muestreo de macrofauna en cultivo de cítrico.



Figura 10. Georeferenciación del terreno en pasto natural.



Figura 11. Pasto natural.



Figura 12. Macrofauna del suelo con cultivo de plátano.



Figura 13. Lombriz de tierra.



Figura 14. Especimen del orden Isópoda.