

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



EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO
SISTEMAS DE USO (cacao, plátano, café y purma) UBICADOS EN EL
CASERÍO LOS CEDROS, DISTRITO JOSÉ CRESPO Y CASTILLO

Tesis para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

RAYSSA J. KOICHEOSKI HIPOLITO

Tingo María - Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°018-2023-FRNR-UNAS

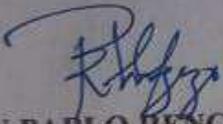
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 27 de noviembre de 2022, a horas 7:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

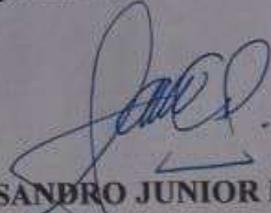
“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO (cacao, plátano, café y purma) UBICADOS EN EL CASERIO LOS CEDROS, DISTRITO JOSE CRESPO Y CASTILLO”

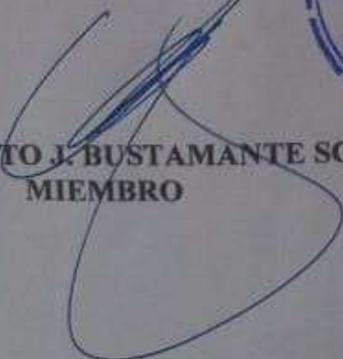
Presentado por el Bachiller: **KOICHEOSKI HIPOLITO, Rayssa Jussara**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

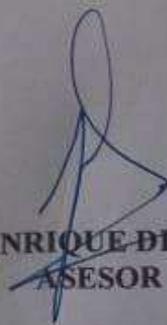
En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 13 de marzo de 2023


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


Ing. M.Sc. **SANDRO JUNIOR RUIZ CASTRE**
MIEMBRO


Ing. M.Sc. **ERLE OTTO J. BUSTAMANTE SCAGLIONI**
MIEMBRO


Dr. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ**
ASESOR





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
(RIDUNAS)

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 080 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

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

Facultad:

Facultad de Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO (cacao, plátano, café y purma) UBICADOS EN EL CASERÍO LOS CEDROS, DISTRITO JOSÉ CRESPO Y CASTILLO	RAYSSA J. KOICHEOSKI HIPOLITO	25% Veinticinco

Tingo María, 04 de abril de 2023


Mg. Ing. García Villegas, Christian
Coordinador del Repositorio Institucional
Digital (RIDUNAS)

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



EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO
(cacao, plátano, café y purma) UBICADOS EN EL CASERÍO LOS CEDROS,
DISTRITO JOSÉ CRESPO Y CASTILLO

Autor : KOICHEOSKI HIPOLITO, Rayssa J.

Asesor : Dr. Lucio Manrique DE LARA SUAREZ

Programa : Manejo y conservación de suelos

Línea de Investigación : Evaluación de parámetros físico químicos y biológicos

Eje temático : Agroforestería comunitario

Lugar de ejecución : Caserío Los Cedros, distrito José Crespo y Castillo

Duración : 6 meses

Financiamiento : S/ 3724.60

FEDU : No

Propio : Si

Otros : No

Tingo María – Perú

2022

DEDICATORIA

A Dios, por el éxito de esta investigación, por brindarme salud, por no dejarme sola en los momentos que más difíciles y por regalarme el don de la perseverancia para enfrentar los obstáculos que se me presenten.

A mis padres Víctor Hugo Koicheoski Vargas y Sara Hipólito Illatopa, que siempre serán el motivo para salir adelante, que confiaron en mí incondicionalmente, que me motivaron siempre para no rendirme, que me inculcaron valores y virtudes para afrontar la vida de la mejor manera posible; también para las personas que estuvieron apoyándome incondicionalmente. Por todo lo mencionado viviré eternamente agradecida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la bendición de despertar cada día y permitirme tener mi familia unida durante mi formación profesional y a todas aquellas personas que ayudaron en el desarrollo de la presente tesis.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por toda la aportación cultural, social y científica que me han brindado.

A mi asesor, Ing. M. Sc. Lucio Manrique De Lara Suarez por sus aportes en la presente investigación y por la confianza puesta en mi persona.

A mis jurados de tesis Ing. M. Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, Erle Otto Bustamante Scaglioni y Roberto Obregón Peña por la observación y corrección de la presente tesis y por la formación académica que me brindaron.

A mis amigos, por su apoyo y leal amistad en el largo proceso de la vida universitaria.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Antecedentes.....	3
2.2.	Marco conceptual	3
2.2.1.	El suelo	3
2.2.2.	Calidad del suelo.....	4
2.2.3.	Indicadores de calidad del suelo	5
2.2.4.	Sistemas de uso	11
2.2.5.	Uso sustentable del suelo (SUSS).....	12
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1.	Lugar de ejecución	14
3.1.1.	Sistemas de uso	14
3.1.2.	Climatología	15
3.1.3.	Zona de vida	16
3.1.4.	Hidrografía.....	16
3.1.5.	Origen y población	16
3.1.6.	Actividades económicas	17
3.2.	Materiales y equipos	17
3.3.	Tipo y nivel de investigación	17
3.3.1.	Tipo de investigación.....	17

3.3.2.	Nivel de investigación	18
3.3.3.	Componentes en estudio	18
3.3.4.	VARIABLES DE ESTUDIO.....	18
3.4.	Metodología.....	18
3.4.1.	Diseño experimental	18
3.4.2.	Determinación de los indicadores físicos (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) del suelo en cuatro sistemas de uso ..	19
3.4.3.	Determinación de los indicadores químicos (materia orgánica, pH, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico) del suelo en cuatro sistemas de uso	20
3.4.4.	Determinación de los indicadores biológicos (densidad, biomasa y diversidad de macrofauna del suelo) en cuatro sistemas de uso	22
3.5.	Determinación del uso sustentable del suelo	24
3.6.	Análisis de los datos	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1.	Indicadores físicos (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) del suelo en cuatro sistemas de uso	26
4.1.1.	Textura del suelo.....	26
4.1.2.	Densidad aparente del suelo	26
4.1.3.	Resistencia a la penetración del suelo	34
4.2.	Indicadores químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico) del suelo en cuatro sistemas de uso	36
4.2.1.	pH del suelo	31

4.2.2. Materia orgánica del suelo	39
4.2.3. Nitrógeno total del suelo.....	35
4.2.4. Fosforo disponible en el suelo	44
4.2.5. Potasio disponible en el suelo	46
4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico del suelo.....	41
4.3. Indicadores biológicos (densidad, biomasa y diversidad de macrofauna) del suelo en cuatro sistemas de uso	50
4.3.1. Densidad de macrofauna en el suelo	43
4.3.2. Biomasa de macrofauna del suelo	44
4.3.3. Diversidad de macrofauna en el suelo	47
4.4. Uso sustentable del suelo.....	50
V. CONCLUSIONES	52
VI. PROPUESTA A FUTURO	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	54
ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Clasificación del suelo según la densidad aparente.	7
2. Niveles de resistencia del suelo a la penetración (ICT, 2004).....	7
3. Clasificación de los suelos en función a su pH.	8
4. Clasificación del suelo según el contenido de materia orgánica.	8
5. Clasificación del suelo de acuerdo al nitrógeno total.	9
6. Clasificación del suelo por el contenido de fósforo disponible.	9
7. Clasificación del suelo por el contenido de potasio disponible.	9
8. Clasificación del suelo según la capacidad de intercambio catiónico	10
9. Clasificación de la diversidad del suelo basada en el índice de Shannon-Wiener	11
10. Rangos interpretativos del SUSS.....	13
11. Descripción de los sistemas de uso (cacao, plátano, purma y café)	14
12. Análisis de varianza (ANVA) de la investigación.	19
13. Valores deseables y valores de corte utilizados en la normalización de los indicadores implicados en el SUSS.....	25
14. Indicadores físicos del suelo en cuatro sistemas de uso.	26
15. ANVA para la variable densidad aparente (g/cm^3) del suelo bajo diferentes sistemas de uso	27
16. Prueba Duncan al 5% de la variable densidad aparente en diferentes sistemas de uso	28
17. ANVA para la variable Resistencia a la penetración del suelo (Kg/cm^2) bajo diferentes sistemas de uso	29
18. Prueba Duncan al 5% de la variable resistencia a la penetración del suelo (Kg/cm^2) en diferentes sistemas de uso.....	30
19. Indicadores químicos del suelo según sistemas de uso.	30
20. ANVA para la variable reacción del suelo (pH) bajo diferentes sistemas de uso	31
21. Prueba Duncan al 5% de la variable reacción del suelo (pH) a diferentes sistemas de uso	32

22. ANVA para la variable porcentaje de materia orgánica del suelo (%) bajo diferentes sistemas de uso.....	33
23. Prueba Duncan al 5% de la variable % de materia orgánica del suelo en diferentes sistemas de uso	34
24. ANVA para Nitrógeno total (%) del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	36
25. Prueba Duncan al 5% de la variable Nitrógeno total (%) del suelo en diferentes sistemas de uso	36
26. ANVA para la variable Fosforo disponible (ppm) del suelo bajo diferentes sistemas de uso	38
27. Prueba Duncan al 5% de la variable Fosforo disponible (ppm) del suelo en diferentes sistemas de uso	38
28. ANVA para la variable potasio disponible (Kg-K ₂ O/ha) del suelo bajo diferentes sistemas de uso	40
29. Prueba Duncan al 5% de la variable potasio disponible (Kg-K ₂ O/ha) del suelo a diferentes sistemas de uso	40
30. ANVA para la variable capacidad de intercambio catiónico (mg/100g) del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	42
31. Prueba Duncan al 5% de la variable capacidad de intercambio catiónico (mg/100g) del suelo en diferentes sistemas de uso	42
32. ANVA para la variable biomasa de macrofauna (g/cm ²) del suelo bajo diferentes sistemas de uso	45
33. Prueba Duncan al 5% de la variable biomasa de macrofauna (g/cm ²) del suelo en diferentes sistemas de uso.....	45
34. ANVA para la variable biomasa de macrofauna (individuo/m ²) por profundidades de muestreo.....	46
35. Prueba Duncan al 5% de la variable biomasa de macrofauna (g/cm ²) por profundidades de muestreo.....	47
36. Número total de familias de macrofauna encontrada en los cuatro sistemas de uso de suelo (cacao, plátano, purma y café).	47
37. Diversidad de macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso.	48
38. Número de familias de macrofauna del suelo a diferentes profundidades de muestreo.....	49
39. Riqueza específica, índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') e índice de equidad (J) de la macrofauna del suelo en 4 sistemas de uso	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Triángulo textural (USDA, 1977)	6
2. Croquis de ubicación de los 4 sistemas de uso (cacao, plátano, purma y café).....	18
3. Distribución de la temperatura media mensual en Tingo María.....	15
4. Distribución de la precipitación acumulada mensual en Tingo María	16
5. Esquema de distribución de los monolitos para cada sistema de uso del suelo.	27
6. Esquema de una unidad de estudio (monolito).	23
7. Densidad aparente (g/cm^3) del suelo en cuatro sistemas de uso.....	27
8. Resistencia a la penetración (kg/cm^2) del suelo en cuatro sistemas de uso.	29
9. Reacción del suelo (pH) del suelo en cuatro sistemas de uso.....	31
10. Materia orgánica (%) del suelo en cuatro sistemas de uso.	33
11. Nitrógeno total (%) del suelo en cuatro sistemas de uso.	42
12. Fosforo disponible (ppm) del suelo en cuatro sistemas de uso.	37
13. Potasio disponible (ppm) del suelo es cuatro sistemas de uso	39
14. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo en cuatro sistemas de uso.....	41
15. Porcentaje de la densidad de macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso.	43
16. Porcentaje de densidad de macrofauna del suelo en tres profundidades de muestreo.....	44
17. Biomasa de macrofauna (g/cm^2) del suelo en cuatro sistemas de uso.....	44
18. Biomasa de macrofauna (g/cm^2) por profundidades del suelo en cuatro sistemas de uso.	46
19. Valores del uso sustentable del suelo en 4 sistemas de uso.	51
20. Georreferenciación de las parcelas con diferentes sistemas de uso.	63
21. Muestreo de suelos para las propiedades físicos y químicas.	63
22. Pesado de muestras de suelos para densidad aparente.....	64
23. Muestreo de suelos para la macrofauna.	64
24. Muestreo de suelos para la macrofauna caserío Los Cedros	65

RESUMEN

En la provincia de Leoncio Prado existen proyectos destinados a la restauración de suelos degradados, pero se desconoce el grado de recuperación del suelo, por lo que se plantean preguntas como ¿existen diferentes calidades del suelo en 4 sistemas de uso? Por tanto nuestro objetivo es: Evaluar la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, purma, café) ubicados en el caserío Los Cedros, distrito de José Crespo y Castillo. Donde se evaluó los indicadores físicos, químicos, biológicos y el uso sustentable del suelo. Los resultados presentaron suelos de textura franca a franco limoso; que nos indican propiedades físicas aptas para el crecimiento del cultivo, con una densidad aparente y una resistencia a la penetración de rango bajo y suave respectivamente, que indica bueno para el enraizamiento. También las propiedades químicas se caracterizan por ser significativas y por su pobreza en nutrientes. Además, los cuatro sistemas de uso presentan una baja diversidad de especies presentando un índice de Shannon-Wiener (H') de 0.192 y un índice de equidad (J) de 0.099 por lo que la distribución de las abundancias de especies no fue similar en los sistemas. Además, se obtuvieron los siguientes valores 0.45, 0.43, 0.44 y 0.41 para el uso sustentable del suelo de los 4 sistemas de uso. Concluyendo así que los cuatro sistemas de uso tienen una calidad pobre que indica que la calidad de los suelos para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada.

Palabras clave: densidad, biomasa, índices, diversidad, abundancia, calidad de suelo.

ABSTRACT

In the Leoncio Prado province there are projects intended for the restoration of degraded soil, but the degree of recuperation for the soil is unknown, thus, questions are proposed such as: "Do different qualities of soil exist for the four systems of use?" As a result, the objective was: to evaluate the quality of the soil for four systems of use (cacao, plantain, purma, and coffee), located on the Los Cedros homestead in the Jose Crespo y Castillo district [of Peru]. The physical, chemical, biological, and sustainability of the soil use indicators were evaluated. The results presented soils of a loamy to silty loam texture, which proved to have physical properties that were apt for the growth of the crops, with an apparent density and a penetration resistance of a low and soft range, respectively, which indicated that they were good for rooting. Also, the chemical properties were characterized as being significant, as well as for their lack of nutrients. Moreover, the four systems of use presented low diversities of species, with a Shannon-Wiener index (H') of 0.192 and an equality index (J) of 0.099, due to which, the distribution of the abundance of the species was not similar among the systems. Moreover, the following values were obtained for the sustainability of the soil use for the four systems in use: 0.45, 0.43, 0.44, and 0.41. Thus, it was concluded that the four systems of use had a poor quality, which indicated that the quality of the soils for agricultural purposes were found to be threatened or affected.

Keywords: density, biomass, indices, diversity, abundance, soil quality

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de la población es inversamente proporcional a la disminución de la cobertura forestal, siendo un factor limitante para la estabilidad ecológica, afectando los sistemas hídricos y modificando los límites físico-químicos-biológicos del suelo, lo que trae como consecuencia secuelas como la baja productividad de suelo.

En nuestra provincia, existen instituciones públicas que vienen fomentando proyectos de restauración de suelos degradados por medio del uso de especies forestales con cultivos agrícolas, a ello se incluyen algunos profesionales o agricultores que buscan una solución que merme los impactos sobre los suelos; aun así, se desconocen el grado de recuperación de los suelos ya que en la mayoría de los casos solo observan indicadores cualitativos más no lo cuantifican, por lo cual generan interrogantes como ¿Existirá diferentes tipos de calidad de los suelos (propiedades físicas, químicas y biológicas) en cuatro sistemas de uso ubicados en el caserío Los Cedros del distrito José Crespo y Castillo?

Las fuentes más importantes de nutrientes del suelo son el agua, el aire, la materia orgánica y los minerales, dichas características del sistema suelo llega a su máxima plenitud conservando el medio o no alterándole de manera desmedida, es por ello que se opta por buscar sistemas de uso del suelo con menor impacto sobre el suelo o en caso de existir dicha alteración se establece especies vegetales con historial de restaurar la calidad y fertilidad del suelo.

En todo el contexto se formula: ¿Cuál será la influencia de cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, café y purma) en la calidad del suelo ubicados en el caserío Los Cedros? En base a los antecedentes se plantea la siguiente hipótesis: La influencia de los cuatro sistemas de uso (cultivos de cacao, plátano, café y purma) será significativa en función a sus propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo ubicado en el caserío los Cedros del distrito de José Crespo y Castillo.

1.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, purma, café) ubicados en el caserío Los Cedros, distrito de José Crespo y Castillo.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) del suelo en cuatro sistemas de uso.
- Determinar las propiedades químicas (materia orgánica, pH, Nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, Capacidad de intercambio catiónico) del suelo en cuatro sistemas de uso.
- Determinar la diversidad y la densidad de macrofauna del suelo en cuatro sistemas de uso.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Ruíz (2005) asegura que el análisis de calidad del suelo permite estudiar su fertilidad, lo que ayudará a identificar áreas donde ciertas plantas se adaptan mejor para defender y mejorar la productividad del suelo. Evaluación de indicadores físicos y químicos para evaluar la fertilidad frente a los niveles de calidad del suelo en sistemas de terrazas, para proponer indicadores que expliquen la variabilidad en el reemplazo de la capa de suelo sobresaliente en terrazas abandonadas, reevaluar y promover la reutilización de tales tecnologías como parte de desarrollo agrícola sostenible, protegiendo la estabilidad alimentaria local Población.

Domínguez (2005) realizó un análisis en el que quería conocer la condición del suelo de la Llanura de Nandaimé identificando y evaluando indicadores técnicos. Este procedimiento es un análisis de indicadores del suelo en terrenos con distintos manejos. Los límites valiosos son la seguridad estructural, el color del suelo, la compactación, la permeabilidad, la densidad aparente, la porosidad, el pH, la materia orgánica, CIC, P y K disponibles. Los hallazgos mostraron que la mayor parte del suelo dañado por la agricultura era pérdida de la capa superior del suelo, contenía niveles moderados de materia orgánica, estaba compactado, tenía baja permeabilidad al agua, era propenso a la erosión y tenía niveles bajos a moderados de fósforo y potasio disponibles. Sin embargo, si el suelo se utiliza adecuadamente, estos suelos tienen potencial para el trabajo agrícola, lo que garantiza la sostenibilidad de este recurso y de todo el agroecosistema. Las prácticas inadecuadas, tales como la pérdida de vegetación, el sobrepastoreo y el subarado, son las principales causas que inciden en el deterioro de la calidad del suelo.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. El suelo

El suelo es una masa dinámica natural que cambia con el tiempo y el espacio. Es el sustento de diversos organismos vivos como las plantas, ya que las profesiones agrícolas son la fuente de alimento para el ser humano y están sujetas a ello. Este es un recurso fundamental para la vida en la tierra ya que es la base principal para el desarrollo agrícola y forestal (Martin y Adad, 2006). Este consta de una parte sólida, líquida y gaseosa, siendo la

parte sólida la parte más grande. Está sostenida por partículas de tamaño heterogéneo, recubiertas de agua y gases. Dividido por peso, la estructura del suelo es la siguiente: inorgánicos (45%), líquidos (20-30%), gases (20-30%) y orgánicos (5%). Existe un constante intercambio entre los diferentes elementos, controlado por fenómenos físico-químicos-biológicos. Es importante mantener el equilibrio constante de estos fenómenos para mantener una buena calidad del suelo (Bautista et al., 2004).

Ortiz et al. (2008) menciona que, el suelo siempre depende químicamente de ciertas condiciones climáticas y topográficas. Esto lo convierte en un componente clave en el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos. Su origen es una etapa complicada que involucra variaciones físicas, químicas y biológicas en la piedra original. Los componentes físicos incluyen una disminución en el tamaño de las partículas sin cambiar su estructura y son causados por ciclos de congelación y descongelación, agua de lluvia y otras influencias ambientales. Una sustancia química se separa de una piedra por partículas minerales; su alteración o aniquilación y resíntesis a compuestos sólidos y estables sería debida principalmente a la acción del agua, O, CO₂ y compuestos orgánicos. Las razones biológicas se deben a la pérdida de biodiversidad (organismos) y materia orgánica. (Budhu, 2007).

2.2.2. Calidad del suelo

Se define como la capacidad de un tipo de suelo para mantener la fertilidad vegetal y animal” (Karlen *et al.*, 1997). Incluye los conceptos de calidad del suelo, fertilidad del suelo y protección del medio ambiente (Acevedo *et al.* 2005).

Proteger la calidad del suelo es un objetivo fundamental de la política ambiental; enfatizar el vínculo de la calidad del suelo y agua; formulan tácticas que previene la degeneración del suelo y la contaminación del agua (Acevedo *et al.* 2005):

- Proteger la calidad del suelo de manera primordial para el mejoramiento del medio ambiente.
- Uso efectivo de pesticidas, riego y fertilizantes en los cultivos agrícolas.
- Mejorar la resistencia a la erosión y escorrentía.
- Mejor aprovechamiento de las reservas paisajísticas

Estos indicadores dependen del ecosistema que se considere importante y debe caracterizarse como un indicador de su sostenibilidad. Atributos que corresponden al índice de uso general directo (Intagri, 2017). La fertilidad, sin embargo, es la función del suelo para proporcionar nutrientes esenciales a las plantas de manera equilibrada y puede utilizarse para un crecimiento y desarrollo óptimos (Brady, 1990).

2.2.3. Indicadores de calidad del suelo

Se determina utilizando indicadores que reflejan alteración en la capacidad y función del suelo (Acevedo *et al.* (2005). Estos indicadores penden del ecosistema bajo consideración y deben caracterizarse como indicadores de su sostenibilidad. Atributos correspondientes de índice directo de uso común es de carácter físico-químico-biológico del suelo. NRCS (2004) indica que los indicadores de calidad del suelo se caracterizan por los siguientes atributos:

- Ser medibles con facilidad.
- Poder evaluar las dinámicas funcionales del suelo.
- Contempla los atributos físico-químicos y biológicos del suelo.
- Poder ser evaluables *in situ*.
- Ser afectables por las variaciones del clima y la mano del hombre.

También pueden estudiar el estado actual y reconocer puntos clave sobre la sostenibilidad de los suelos como medio de producción primordial para el sostenimiento de la biodiversidad; además, ayuda el análisis de posibles impactos previo a la intervención; y permite identificar los recursos. Moscatelli *et al.* (2005), consideraron al contenido de materia orgánica, la acidez, el P, la respiración microbiana, la densidad aparente, la resistencia a la infiltración como los principales indicadores de la calidad del suelo. La evaluación de la calidad del suelo tiene la posibilidad de decidir comparaciones; para ello, se pueden comparar evaluaciones de sistemas a lo largo del tiempo, o encontrando uno o más sistemas alternativos de actuación en paralelo con las figuraciones (Acevedo *et al.*, 2005).

2.2.3.1. Indicadores físicos

Estas resultan de la relación que surge entre sus diversos estados y la proporción en que ocurren todos. Las propiedades físicas de un suelo determinan, su capacidad de carga, penetración de raíces, circulación del viento, capacidad de almacenamiento de agua, drenaje y

retención de nutrientes. Los principales indicadores físicos que inciden en el desarrollo de los cultivos son los siguientes (Intagri, 2017):

- **Textura del suelo**

La textura expresa las proporciones de las partículas básicas del suelo: arcilla, limo y arena, que se clasifican en finas, medias y gruesas. El diámetro de las partículas de arcilla es inferior a 0,002 mm, el diámetro de las partículas de limo está entre 0,002 y 0,05 mm y el diámetro de las partículas de arena está entre 0,05 y 2,0 mm. La textura también afecta la cantidad, disponibilidad de agua y nutrientes (Intagri, 2017). El triángulo de textura es una escala gráfica utilizada para indicar la clase textural a la que pertenece el suelo en estudio.

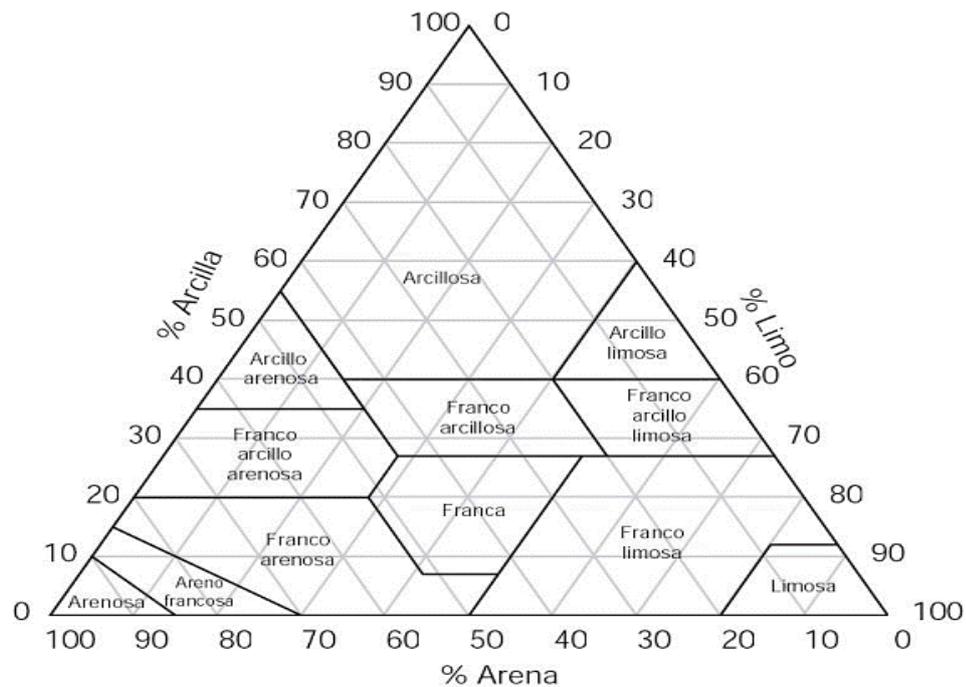


Figura 1. Triángulo textural (USDA, 1977)

- **Densidad aparente del suelo**

Es un indicador del suelo utilizado en la agricultura, principalmente relacionada con las prácticas de manejo del suelo y el agua (Folegatti, 2001). A medida que aumenta la densidad del suelo, aumenta la compactación y se afecta la retención de agua, lo que limita el crecimiento de las raíces (Salamanca J. & Sadeghiank S., 2004). La DA se ve afectada por los sólidos y el espacio poroso (Brady N.C. & Well R.R., 1999). A medida que aumentaba la

MO y el espacio poroso, disminuía la DA y viceversa. En suelos de textura fina, la DA oscila entre 1 y 1,2 g/cm³, mientras que en suelos arenosos es mayor y puede oscilar entre 1,2 y 1,6 g/cm³ (Wild A., 1992). La naturaleza, el tamaño y la disposición de las partículas del suelo pueden afectar el valor de DA.

Tabla 1. Clasificación del suelo según la densidad aparente.

Densidad aparente (g/cm ³)	Clasificación
< 1.0	Muy bajo
1.0 - 1.2	Bajo
1.2 - 1.45	Medio
1.45 - 1.60	Alto
> 1.60	Muy alto

Fuente: Cairo (1995)

- Resistencia a la penetración del suelo

Es un indicador del grado de compactación del suelo. La compactación limita el crecimiento de las raíces y la cantidad de aire y agua disponible (Herrick y Jones, 2002). Esta propiedad del suelo se puede medir con los penetrómetros (Vaz y Hopmans, 2001; Herrick y Jones, 2002).

Tabla 2. Niveles de resistencia a la penetración del suelo (ICT, 2004)

Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Nivel de resistencia
< 1	Suelos muy suaves
1 - 2	Suelos suaves
2 - 3	Suelos duros
3 - 4	Suelos muy duros
>4	Suelos extremadamente duros

2.2.3.2. Indicadores químicos

Estos se refieren a las condiciones de esta clase que afectan las interacciones suelo-planta, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas (SQI, 1996). Chen (2000) señala que la proporción de materia orgánica (MO), C, pH, conductividad eléctrica (CE) y N, P y K disponibles son indicadores. Los principales indicadores químicos son los siguientes:

- PH del suelo

El Ph es un indicador de la acidez, neutralidad y alcalinidad del suelo; También perjudica directamente la permeabilidad de los nutrientes por parte de las plantas (Martínez, 2003). El costo de esto da como resultado un rango de valores de 0 a 14. Típicamente, el pH óptimo de los suelos debe variar entre 6.5 y 7.0 para los rendimientos altos y productividad alta (Prasad & Power, 1997) porque este es el rango en el que los nutrientes son más fáciles de digerir.

Tabla 3. Clasificación de los suelos en función a su pH.

Grado de acidez o alcalinidad	pH
Extremadamente ácido	< 4.6
Ácido	4.6 - 5.4
Moderadamente ácido	5.5 - 6.4
Neutro	6.5 - 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 - 8.1
Alcalino	8.2 - 8.8
Extremadamente alcalino	> 8.9

Fuente: Castellanos (2000)

- Materia orgánica del suelo

Es el elemento más importante, que determina la calidad y productividad del suelo (FAO, 2006). La materia orgánica desempeña un rol importante en el mantenimiento y la optimización de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Es fundamental enfatizar la naturaleza dinámica e interactiva del sistema suelo, donde cambios en una propiedad pueden afectar otras propiedades del suelo (Pozo, E., 2005).

La mayor parte de la materia orgánica reside en el área del suelo; por lo que la mayor concentración de esta se encuentra en los primeros 15-20 cm (Gallardo L. j. & et al., 1982).

Tabla 4. Clasificación del suelo según el contenido de materia orgánica.

Rango en %	Clasificación
1 - 2	Pobre
2 - 4	Medio
4 a más	Alto

Fuente: Quintana (1983)

- **Nitrógeno total del suelo**

Este, es uno de los nutrientes importantes para el crecimiento de las plantas porque forma parte de los principales componentes de compuestos vitales (Donahue et al. 1981). La principal reserva de nitrógeno es la materia orgánica, ya que alrededor del 98% del nitrógeno total del suelo se encuentra en forma de compuestos orgánicos, y el 2% se encuentra en forma inorgánica (Sposito, G., 1989).

Tabla 5. Clasificación del suelo de acuerdo al nitrógeno total.

Rango en %	Clasificación
< 0.07	Pobre
0.07 - 0.15	Medio
> 0.15	Alto

Fuente: Quintana (1983)

- **Fosforo disponible en el suelo**

Este indicador está influenciado por las características del suelo, las plantas y cambia de acuerdo a las condiciones ambientales que afectan simultáneamente el desarrollo del suelo y de la planta misma (Havlin, J., & et al. ., 1999).

Tabla 6. Clasificación del suelo por el contenido de fosforo disponible.

Rango (ppm)	Clasificación
< 10	Pobre
10 - 20	Medio
> 20	Alto

Fuente: Quintana (1983)

- **Potasio disponible en el suelo**

Este macronutriente desempeña un papel fundamental en la activación de más de 60 enzimas que actúan en diversos procesos metabólicos, de los cuales la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y los hidratos de carbono siguen siendo los más relevantes. Trabajan en el equilibrio hídrico y el crecimiento meristemático (García, A; Quinke, A., 2012).

Tabla 7. Clasificación del suelo por el contenido de potasio disponible.

Rango (ppm)	Clasificación
< 78.2	Pobre
78.2 - 117.3	Medio
>117.3	Alto

Fuente: Quintana (1983)

- **Capacidad de intercambio catiónico del suelo**

Es la medida de la proporción de cargas negativas sobre los minerales y elementos orgánicos del suelo presentes en las áreas, y representa la proporción de cationes que las áreas pueden retener. Un suelo bajo en CIC indica baja capacidad de almacenamiento de nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. La unidad de medida de la CIC es la carga de centimoles por kilogramo de suelo cmolc/kg o meq/100g de suelo (Intagri, 2017).

Tabla 8. Clasificación del suelo según la capacidad de intercambio catiónico

Rango (meq/100g suelo)	Clasificación
< 5	Muy bajo
5 - 15	Bajo
15 - 25	Medio
25 - 40	Alto
> 40	Muy alto

Fuente: Quintana (1983)

2.2.3.3. Indicadores biológicos

Al igual que con los indicadores físicos y químicos, los indicadores biológicos todavía están relacionados con la función del suelo y pueden usarse para evaluar la función y la calidad del suelo. Estos indicadores forman parte de un gran número de razones que afectan la fertilidad del suelo, como la proporción y la tensión de los macroinvertebrados (Karlen et al., 1997), incluidas funciones como la tasa de respiración, el índice de descomposición de las plantas, el N y el C de la biomasa de microorganismos (SQI, 1996; Karlen et al., 1997). Los principales indicadores biológicos son los siguientes:

- **Densidad de macrofauna del suelo**

Se refiere al número de animales por unidad de área, comúnmente expresado como individuos por hectárea o kilómetro cuadrado (Karlen *et al.*, 1997).

- **Biomasa de macrofauna del suelo**

La proporción total de materia viva en un momento dado en un área determinada (masa de organismos biológicos vivos (Karlen *et al.*, 1997).

- **Diversidad de macrofauna del suelo**

Abundancia o número de diferentes especies presentes en un ecosistema definido. Uno de los índices utilizados para cuantificar la diversidad biológica específica es el de Shannon (Shannon y Weaver, 1949). El índice refleja la heterogeneidad de una sociedad en base a 2 componentes (SQI, 1996).

Tabla 9. Clasificación de la diversidad del suelo basada en el índice de Shannon-Wiener.

Rango	Clasificación
< 2	Bajo
5 - 3.5	Medio
> 3.5	Alto

La biología de la Tierra es muy activa; tienen la ventaja de los primeros signos de degradación o mejora de la tierra. Chen (2000) propuso que las poblaciones de lombrices y los rendimientos también se consideran indicadores biológicos; asimismo, estos indicadores son valiosos para explicar la dinámica de las etapas de transformación de sustancias orgánicas y residuos orgánicos; además, responden rápidamente a los cambios en el uso y son altamente sensibles al estrés ambiental (Acevedo et al., 2005).

2.2.4. Sistemas de uso

- **Cultivo de Cacao**

El cacao requiere suelo rico en materia orgánica, franco arcilloso profundo y bien drenado. Los suelos sobre los que se ubican las plantaciones van desde arcillas altamente erosionables hasta arenas y limos volcánicos de formación reciente con pH entre 4,0 y 7,0. Se puede decir que el cacao es una planta que puede crecer en diferentes tipos de suelo (FAO, 2006).

- **Cultivo de Plátano**

El plátano requiere temperaturas altas, siendo 27 °C la óptima, las temperaturas bajas (< 27 °C) alargan el ciclo de producción del cultivo y retarda el crecimiento de la planta. Los suelos aptos para el desarrollo del cultivo son los que presentan una textura franco arenosa, franco arcilloso, franco arcillo limosa y franco limoso, debiendo ser, fértiles, permeables, profundos (1,2-1,5 m), bien drenados y ricos en materias nitrogenadas (Herrera

M. & Colonia L. 2011). El cultivo de plátano tiene una gran tolerancia a la acidez del suelo, oscilando el pH entre 4,5-8, siendo el óptimo 6,5. Por otra parte, los plátanos se desarrollan mejor en suelos planos, con pendientes del 0-1% (UNALM, 2011).

- **Purma**

Los bosques secundarios o “purmas” guardan en ella muchas riquezas de plantas medicinales, ornamentales, forestales y son fuente de servicios ambientales; producen oxígeno, capturan carbono, recuperan suelos, almacenan agua dulce y son hábitat para diferentes formas de vida (PCEDF, 1990).

- **Cultivo de Café**

El cultivo de café necesita un nivel de pH óptimo, que está entre 4,9 y 5,6 pH. En esta zona, las plantas tienen mayor capacidad de absorción de nutrientes, produciendo así más cerezas de café y menos problemas de plagas y enfermedades (Villachica, H., & et al 1993). Este cultivo requiere suelos arcillosos, aireación adecuada y permeabilidad adecuada. Además de estos requisitos, casi siempre es necesario un régimen de fertilización. El clima es en realidad el más importante, especialmente la sombra para el cultivo. Sin embargo, temperaturas inferiores a 10 °C pueden causar clorosis y retraso en el crecimiento. La humedad superior al 85% puede causar enfermedades fúngicas; las precipitaciones superiores a 3000 mm pueden causar problemas fitosanitarios (Van Bodegom, A.J., & et al 2008).

2.2.5. Uso sustentable del suelo (SUSS)

La gestión sostenible del suelo es un componente esencial de la agricultura sostenible y un medio para garantizar los servicios ecosistémicos y la biodiversidad (FAO, 2006). El suelo es esencial e importante para la estructura y función de los ciclos de agua, aire y nutrientes. Las funciones específicas que proporciona el suelo están determinadas en gran medida por sus propiedades químicas, biológicas y físicas.

El suelo es una importante reserva de biodiversidad, desde microorganismos hasta flora y fauna. Esta biodiversidad juega un papel fundamental en el apoyo a las funciones del suelo, también a los bienes y servicios ecosistémicos relacionados con el suelo (SAGARPA, 2012).

Para determinar la calidad de suelo se usaron los rangos indicados en la Tabla 10.

Tabla 10. Rangos del SUSS.

Calidad del suelo	Descripción
Bueno ($0.955 < \text{SUSS} \leq 1.0$)	Las condiciones de la calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola.
Aceptable ($0.80 < \text{SUSS} \leq 0.95$)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible ($0.65 < \text{SUSS} \leq 0.80$)	Los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.
Marginal ($0.45 < \text{SUSS} \leq 0.65$)	Los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables.
Pobre ($0 < \text{SUSS} \leq 0.45$)	La calidad de los suelos para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución del proyecto

La presente investigación se desarrolló en cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, purma y café) situados políticamente en el caserío Los Cedros, centro poblado Venenillo, distrito de José Crespo y Castillo, departamento de Huánuco; que tiene la siguiente coordenada geográfica:

ESTE : 376320
NORTE : 8993598
ALTITUD : 609 msnm

3.1.1. Sistemas de uso

En el siguiente cuadro se detallan los nombres de los propietarios de los distintos sistemas de uso de suelo y sus coordenadas UTM.

Tabla 11. Descripción de los sistemas de uso (cacao, purma, plátano, y café)

N.º	Sistemas de uso	Propietario	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
1	Cacao	Irma Ruiz Condor	376321	8993599
2	Plátano	Carlos Dolores Velásquez	377200	8993820
3	Purma	Segundo Pedro Obispo Ruiz	376315	8993410
4	Café	Julián Méndez Castro	736839	8992922



Figura N° 2. Croquis de ubicación de los 4 sistemas de uso (plátano, cacao, purma, y café)

3.1.2. Climatología

En base a la estación meteorológica del SENAMHI ubicada en la ciudad de Tingo María, la temperatura promedio anual para el año 2017 fue 25.5 °C, siendo menor en el mes de enero (24.6 °C) y mayor octubre con 26.15 °C (Figura 3),

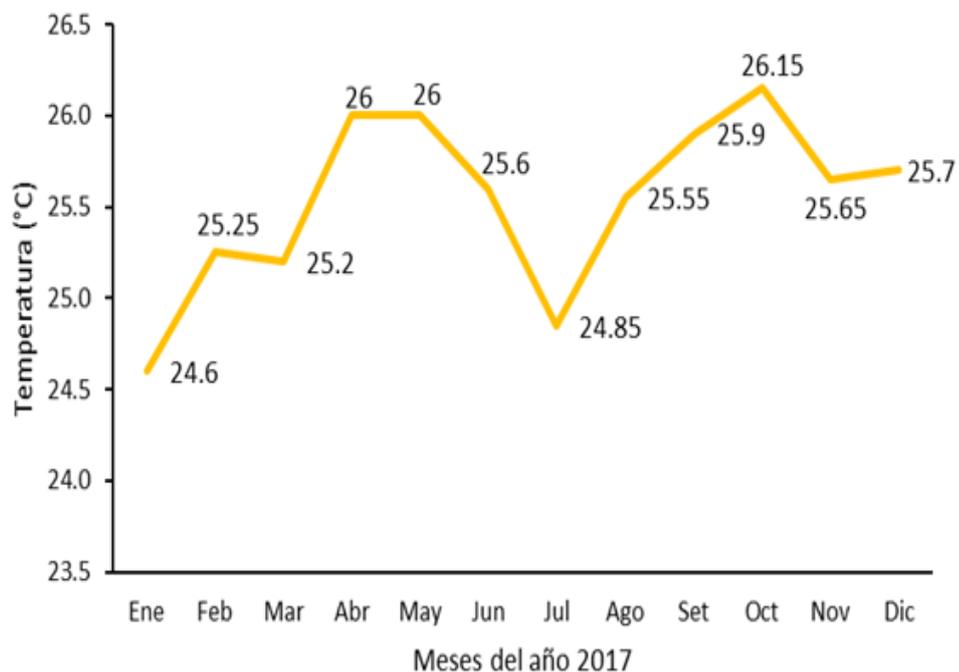


Figura N° 3. Distribución de la temperatura media mensual en Tingo María.

Por otro lado, en caso de la precipitación, se registró un acumulado anual de 3714 mm, en donde mayor volumen de agua precipitó en el mes de octubre (675.4 mm) y la menor cantidad de lluvia ocurrió en el mes de julio con 25.8 mm (Figura 4).



Figura N° 4. Distribución de la precipitación acumulada mensual en Tingo María

3.1.3. Zona de vida

El distrito de José Crespo y Castillo presenta una formación vegetal de bosque muy húmedo Pre montano Tropical (bmh - PT), sin embargo, INRENA (1995) indica que, la zona se encuentra en transición de bosque muy húmedo – pre montano tropical (Bmh – PT) a bosque muy húmedo – subtropical (bmh – S).

3.1.4. Hidrografía

Este distrito presenta una hidrografía abundante; pues es alimentado por diversas fuentes de agua, tales como el Huallaga, Sangapilla, Pendencia, Pucayacu, Pacae

3.1.5. Origen y población

Se creó por Ley N° 14777 de 26 de diciembre de 1963, con su capital Aucayacu, se cristalizó en el gobierno del presidente de la República Fernando Belaúnde Terry.

El nombre Aucayacu proviene de “Auca”, nombre de una tribu indígena vivía a orillas del río Huallaga; y “Yacu” que significa agua, formando la palabra Aucayacu que significa “Guerreros de Agua”.

Población de Aucayacu: Tiene 25 259 habitantes (13 281 masculino y 11 798 femenino).

Principales centros poblados del distrito de Aucayacu: Caimito, Pacae, Los Milagros, Cotomonillo, La Roca, Aspuzana Nueva, Vieja Aspuzana, Micaela Bastidas, Saipai, Santa Lucía, Cotomono, Pucate, Venenillo.

3.1.6. Actividades económicas

- **Agricultura:** la zona produce una gran variedad de especies agrícolas y de especies forestales.
- **Ganadería:** cuenta con crianza de vacuno.
- **Fauna Silvestre:** Tiene variedad de especies de fauna silvestre y sus cauces también se caracterizan por su fauna acuática.

3.2. Materiales y equipos

Para campo se utilizó un flexómetro de 5 m, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, machete, pala recta, penetrómetro, fichas de campo, cinta métrica de 50 m, cilindros muestreadores, cámara fotográfica, alcohol de 70°, cinta maskingtape, sistema de posicionamiento global (GPS), libreta de campo.

3.3. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Es de Tipo Aplicada ya que se recurrirá a las Ciencias Físicas (termodinámica) y Biológicas (Botánica, Embriología) para solucionar el problema de la calidad del suelo en 4 sistemas de uso, sustentado en Caballero (2009) quien indica respecto a la investigación aplicada que, el objetivo principal es solucionar los problemas prácticos.

3.3.2. Nivel de investigación

Es descriptiva-comparativa porque se obtendrá diferentes calidades del suelo, esto, sustentado en Ander Egg (1995) afirmando que, una Investigación comparativa consiste en comparar dos o más fenómenos o situaciones mediante un estudio de estos en una circunstancia temporal y espacial determinada.

3.3.3. Componentes en estudio

- Los indicadores físicos y químicos del suelo en el sector caserío Los Cedros en cuatro sistemas de uso (cacao, café, palma y plátano).
- La diversidad de macrofauna en cada una de ellas.

3.3.4. Variables de estudio

- **Variables independientes:** Sistemas de uso de tierra (SUT).
- **Variables dependientes:**
 - Indicadores físicas y químicas del suelo.
 - Densidad y Biomasa de la macrofauna.
 - Índice de diversidad de macrofauna.

3.4. Metodología

3.4.1. Diseño experimental

Se usó el Diseño Completo al Azar (DCA) con 5 muestras por sistemas de uso.

– Modelo aditivo lineal

Para el estudio se usó el diseño DCA, conformado por 5 muestras de los sistemas de uso. Por lo tanto, según el diseño, el modelo aditivo lineal utilizado en la investigación fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + E_{ijk}$$

– Análisis de variancia

Se realizó mediante la prueba de Fisher (ANVA) a un nivel de $\alpha = 0.05$ y comparación de medias con la prueba pos-hot de DUNCAN asimismo a un nivel de $\alpha = 0.05$ (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de varianza (ANVA) de la investigación.

FV	GL	SC	CM	Fc
Tratamientos	t-1	SC _T	SC _T / t-1	CM _T /CM _E
Error	N-t	SC _E	SC _E / GL _E	
Total	N - 1	SC _{Total}		

t= tratamiento; r=repetición; GL =grados de libertad; Sc = Suma de cuadrados

Sc = Suma de cuadrados; Fc = F calculado

3.4.2. Determinación de los indicadores físicos (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) del suelo en cuatro sistemas de uso

– Limpieza de la parcela

Para evitar que otros factores afectaran los resultados, se eliminaron las malas hierbas y los agentes extraños.

– Muestreo de suelos

Los métodos de muestreo utilizados fueron, los métodos de valoración de la calidad del suelo recomendados por John Doran y Lincoln Nebraska, USDA, y los métodos recomendados por Gustavo Moscatelli y Vicente Nakama, INTA. Los suelos fueron muestreados a los costados de los puntos de muestreos de la macrofauna, densidad aparente y penetrómetro, esta actividad se realizó empleando pala recta en los 5 puntos de muestreo por cada sistema de uso, de cada punto de muestra se extrajo una submuestra el cual se mezclaron con los cuatro restantes para que al final se obtenga una muestra de un (01) kilogramo aproximadamente. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas bajo refrigeración. Finalmente se tamizaron para cada metodología a realizar.

– Textura del suelo

Se utilizó el Método Bouyoucos, (Acevedo et al. 2005). Se usó 50 g. de suelo seco y tamizado y se llevó a un vaso dispersante; al cual se le agregó 15 ml de NaPO₃ al 10% y agua destilada los % restantes del recipiente. Posteriormente se añadió en un dispersor eléctrico y se agitó a 200 rpm durante 15 minutos. Se colocó en un cilindro de sedimentación de 1000 ml, se revolvió suavemente y midió la temperatura durante 40 segundos con un hidrómetro Bouyoucos. Las lecturas de densidad y temperatura se repiten después de 2 horas.

– **Densidad aparente del suelo**

Para definir la densidad aparente, se usó el método de volumen, peso húmedo y seco al horno (Acevedo et al., 2005).

Se insertó un cilindro de metal de 3 pulgadas de diámetro en la superficie del suelo y se cubrió por completo. Las muestras se llevaron al laboratorio, se pesaron en húmedo y se colocaron en un horno a 105°C durante 24 horas. Luego se midió el peso seco e ingresó los datos en la siguiente fórmula:

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

– **Resistencia a la penetración del suelo**

Esto se hace por método directo, según el método descrito por Doran y Lincoln (1999). La varilla de metal del penetrómetro se insertó verticalmente a una hondura de 3 cm por debajo de la superficie del suelo.

3.4.3. Determinación de los indicadores químicos (materia orgánica, pH, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico) del suelo en cuatro sistemas de uso

3.4.3.1. Ph del suelo

Método potenciométrico, método descrito por Doran y Lincoln (1999). Se pesó 30 g de suelo mojado y se agregó 60 mL de agua destilada, después se agito con una varilla de vidrio durante una hora y se realizó la lectura directamente con un potenciómetro.

3.4.3.2. Materia orgánica del suelo

El método de Walkley y Blak descrito por Doran y Lincoln (1999). Se pesaron dos muestras de suelo (2 g cada una) en dos crisoles, se registraron el peso y se colocó el crisol a 600 °C durante 2 horas, después de calentar los crisoles se transfirieron a un desecador para pesar y registrar nuevamente. Para la determinación se usa la siguiente formula:

$$Mo = \left(\frac{\text{Peso de la muestra} - \text{peso de la muestra calcinada a } 600^{\circ}\text{C}}{\text{Peso de la muestra}} \right) \times 100$$

3.4.3.3. Nitrógeno total en el suelo

El método Kjeldahl descrito por Doran y Lincoln (1999). Pesaron 5 g de suelo en un matraz Kjeldahl, se llenó la muestra con 20 mL de agua destilada, después se agregó 20 mL de H₂SO₄, agregaron 2 tabletas de catalizador Kjeldahl y perlas de vidrio para preparar la muestra. Se calcula hasta que la solución se vuelve blanca. El N se convierte en sulfato de amonio. Entonces tiene lugar la destilación. Cuando se enfría la solución, se añade 25 ml de agua destilada, unas gotas de fenolftaleína y una solución concentrada de NaOH hasta que el contenido del vial adquiera un color rosa persistente, es decir, se neutralice y no se produzca pérdida de amonio por evaporación. Realizar la destilación, recoger el gas generado, poner 15 ml de ácido clorhídrico 0,1 N y 5 gotas de indicador Shiro-tashiro en un matraz Erlenmeyer de 500 ml y titular hasta que la solución alcance unos 300 mL. Cambie al NaOH 0.1 N más cercano y registre mL hasta que el indicador cambie de púrpura a verde. La determinación del nitrógeno total se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\% N_2 \text{ Total} = (V'' - V) \times 0.028$$

V = mL de NaOH usados por la muestra

V'' = mL de NaOH usados por el blanco

3.4.3.4. Fósforo disponible en el suelo

Método de Olsen según Acevedo et al. (2005). El estándar de fósforo (P) de 120 ppm, 6 mL de solución se diluyó a 50 mL usando 0,5 n de CO₃HNa. Estándar de fósforo (P) 12 ppm, solución anterior diluida 10 veces con CO₃HNa. Estos estándares contienen 0,15, 0,30, 0,45 y 0,6 ppm de fósforo (P). Luego se toma 5 ml del filtrado, ponerlo en un matraz Erlenmeyer de 50 ml y agregar 15 ml del reactivo (molibdato de antimonio). Sacudir para eliminar el CO₂ y leer después de 15 minutos en un espectrofotómetro de absorción atómica, dado en ppm.

3.4.3.5. Potasio disponible en el suelo

El método del ácido sulfúrico descrito por Doran y Lincoln, (1999), nos da la siguiente metodología: se pesó 5 g de suelo, se añadió 25 mL de ácido sulfúrico 6N, se agito por 15 minutos y se filtró. A partir de ese filtrado se realizaron diluciones en probetas 1/10, 1/100, 1/1000 y se leyeron en un espectrofotómetro de adsorción atómica.

3.4.3.6. CIC del suelo

El método del acetato descrito por Doran y Lincoln (1999). Se tomó 5 g de suelo, se añadió 100 mL de acetato de sodio 1N, se sacudió durante 1 hora y se filtró. El residuo se lavó cinco veces con etanol y se secó durante 24 horas. Cuando esté seco, agregue 100 mL de acetato de amonio neutro 1N, se agitó durante 1 hora y filtró con papel de filtro Whatman N°42. Se tomó 1 mL del filtrado. Se añadió 8,8 mL de acetato de amonio y 0,2 mL de óxido de lantano al 5% y se leyeron los cationes Ca, K, Mg y Na en un espectrofotómetro de absorción atómica. La CIC se determina mediante la siguiente fórmula:

$$CIC = (Ca + K + Mg + Na) \frac{meq}{100g} \text{ de suelo}$$

3.4.4. Determinación de los indicadores biológicos (densidad, biomasa y diversidad de macrofauna del suelo) en cuatro sistemas de uso

– Muestreo del suelo para macrofauna

La forma de toma de muestra fue un monolito de 25 x 25 x 30 cm de profundidad (Figura 5). Se extrajeron cinco (05) unidades básicas de muestreo por cada sistema de uso (Figura 6). Los organismos colectados fueron preservados en alcohol al 70% y/o en formol al 4%, posteriormente se identificaron con la ayuda de claves taxonómicas hasta el nivel de familia o en caso de tener deficiencias para su identificación, estos fueron llevados al laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su respectiva identificación.

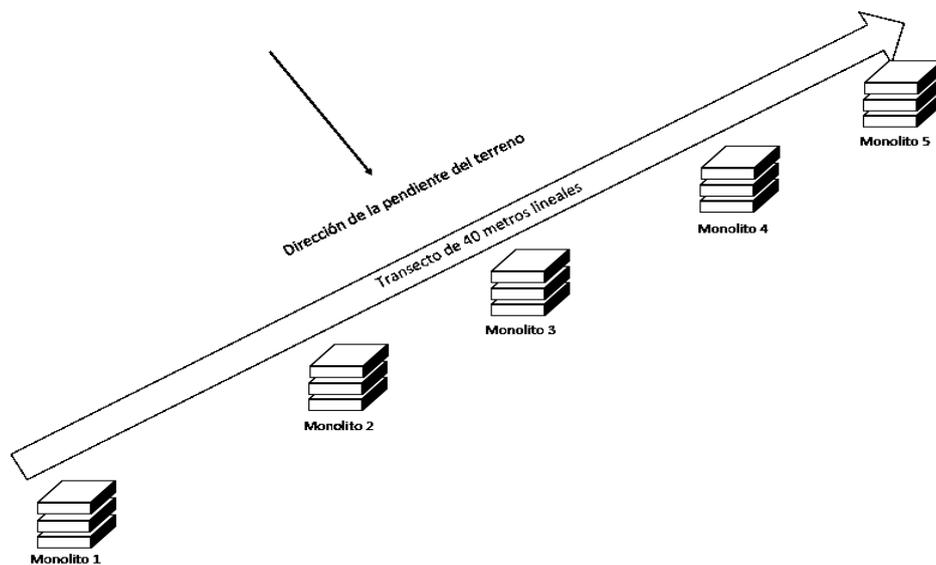


Figura 5. Esquema de distribución de los monolitos.

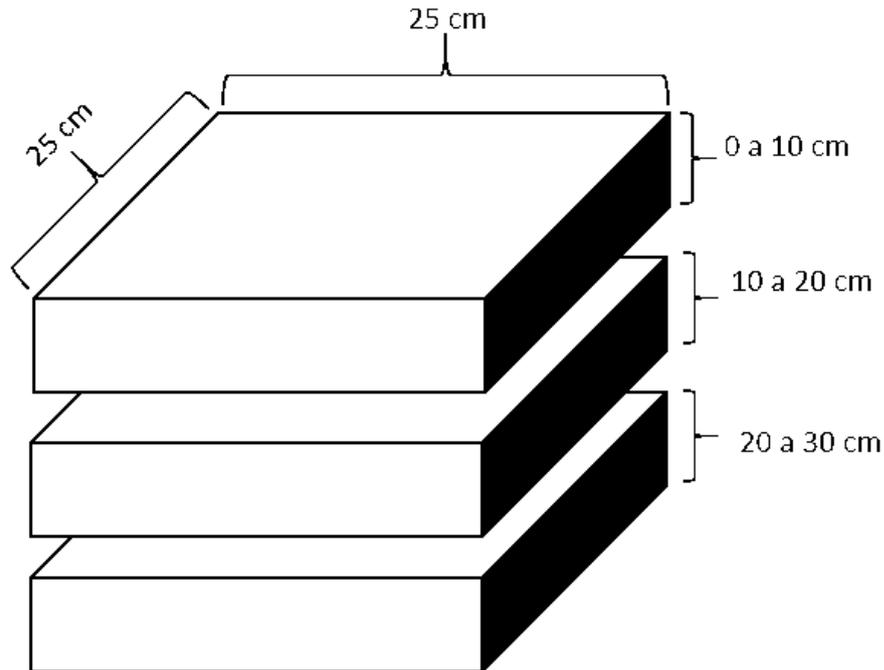


Figura 6. Esquema de una unidad de estudio (monolito).

3.4.4.1. Densidad de macrofauna en el suelo

Por cada muestra se usó un cuadrante de 25 cm de lado, representando $1/16 \text{ m}^2$, la información de cada punto de muestra se multiplicó por una constante, este valor se obtuvo considerando los criterios de Correia y Oliveira (2000).

3.4.4.2. Biomasa de la macrofauna en el suelo

La biomasa (g.m^{-2}), se ha calculado mediante el peso fresco de los individuos en los diferentes usos de suelo y a diferentes profundidades, para esto se empleará una balanza digital de precisión y luego se realiza la suma para definir el total de biomasa por sistema de uso de suelo.

3.4.4.3. Diversidad de la macrofauna en cuatro sistemas de uso

Los datos obtenidos durante la fase de campo se tabularon en la hoja de cálculo Microsoft Excel, en donde se midió la riqueza de especies (número de especies) que se encontraron en los sistemas. Se utilizarán dos indicadores como son:

Índice de Shannon-Wiener (H'), resultó de la siguiente ecuación:

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

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

Índice de Equidad (J): se determinó mediante las fórmulas indicadas por Magurran (1989), Begon *et al.*, (1995) y Ramírez (1999):

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

Dónde:

H' : Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

S : Número de especies o unidades taxonómicas.

\ln : Logaritmo natural.

3.5. Determinación del uso sustentable del suelo

Se implementó el SUSS, que utiliza indicadores físicos y químicos relacionados con la calidad, con base en el valor promedio normalizado de cada indicador de suelo (SAGARPA, 2012).

Para ello se utilizó las siguientes fórmulas:

Para la normalización (R_{nj}) de los indicadores, se utilizó la siguiente fórmula:

$$R_{nj} = 1 - \left(\frac{V_{rj} - d_j}{c_j - d_j} \right)$$

Para el cálculo de R_n se utilizaron valores reales de cada indicador, los valores deseados y valores de corte que se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores deseables y valores de corte utilizados en la normalización de los indicadores implicados en el SUSS.

Indicador	Rango o valor deseable (d)	Valor de corte (c)
Densidad aparente (DA)	< 1.1	1.47
Materia orgánica (M.O.)	> 5	0.5
Conductividad eléctrica (CE)	< 1	4.1
PH	6 - 7	5 < PH > 8.5
Fosforo disponible	> 5.5	0
Magnesio intercambiable	> 0.3	0
Calcio intercambiable	> 5	0
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	> 15	5
Nitrógeno total	> 0.2	0.05

Fuente: SAGARPA (2012)

- Determinación del valor de los indicadores normalizados (P):

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m Rn_j}{m}$$

- Estimación del valor del uso sustentable del suelo

$$SUSS = \frac{\sum_{j=1}^n P_i}{n}$$

3.6. Análisis de los datos

La información obtenida en el lugar de estudio y en laboratorio se procesaron, evaluaron y compararon para el informe final.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Indicadores físicos (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) del suelo en cuatro sistemas de uso

Tabla 14. Indicadores físicos del suelo en cuatro sistemas de uso.

Tipo	Análisis mecánico				Densidad aparente g/cm ³	Resistencia a la penetración kg/cm ²
	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura		
Cacao	30	25	45	Franco	1.04	1.9
Plátano	36	25	39	Franco	1.06	2
Purma	36	23	41	Franco	0.93	1.3
Café	37	26	40	Franco limoso	0.96	1.5

4.1.1. Textura del suelo

Los suelos minerales se agrupan en tres tipos principales de textura: arena, limo y arcilla, y la combinación de estos nombres se usa para describir cualidades intermedias (Navarro, P., 1987). El primer índice físico determinado en los 4 sistemas de uso, fue la textura del suelo, clasificado como porcentaje de partículas mediante triangulación. Según Sampat (1987) los nombres de los tipos de textura se usan para reconocer tipos de suelos con combinaciones similares de partículas minerales. Según los análisis en los cuatro sistemas de uso se demostró que en la parcela de café la textura predominante es el franco limoso, siendo la única puesto que, en las parcelas de cacao, plátano y purma la textura predominante fue el franco, esta similitud debido a que las parcelas están en la misma zona (tabla 14). La textura está relacionada con la trabajabilidad del suelo, lo que ayuda a determinar la facilidad con la que se suministran los nutrientes básicos, el agua y el aire para evolución y desarrollo de las plantas (FAO, 2002). Este suelo es adecuado para cultivar la mayoría de las plantas; pero, este puede perder sus cualidades deseables cuando se compacta (SSDS, 1999).

4.1.2. Densidad aparente del suelo

Para la densidad aparente del suelo (Figura 7), se encontró que, en la parcela de cacao y plátano tuvieron el mayor valor con 1.04 g/cm³ y 1.06 g/cm³ respectivamente, seguido de la parcela de café con 0.96 g/cm³ y finalmente la parcela purma con 0.93 g/cm³; esto indica una densidad baja.

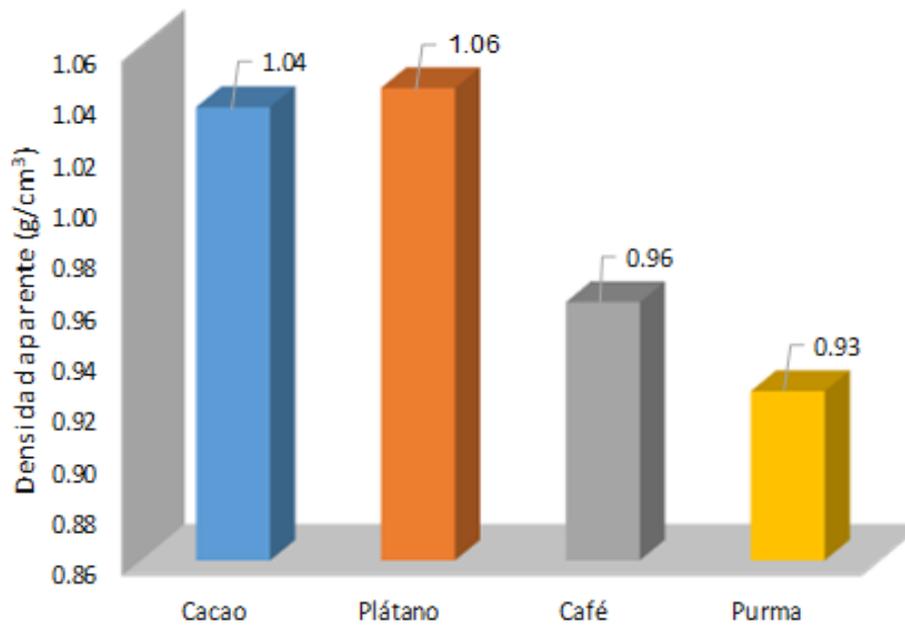


Figura 7. Densidad aparente (g/cm^3) del suelo en cuatro sistemas de uso.

Existe una gran diferencia entre el análisis de densidad en los cuatro sistemas de uso (Parcela purma, Parcela de plátano, Parcela de café, Parcela de cacao) (Tabla 15)

Tabla 15. ANVA para la variable de densidad aparente (g/cm^3) del suelo bajo diferentes sistemas de uso.

Fuente de variación (Fv)	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	0.27	0.09	46.33	$<0.001^s$
Error experimental	16	0.03	0.00		
Total	19	0.30			

Coefficiente de variación (CV%) = 12.56 %

Las respuestas obtenidas en la prueba de Duncan al 5% de error estadístico en la densidad aparente (Tabla 16), se ve que no existe significación estadística entre la parcela de plátano ($1.06 \text{ g}/\text{cm}^3$) y parcela de café ($1.04 \text{ g}/\text{cm}^3$) en el grupo “a” y por otro lado la parcela de café ($0.96 \text{ g}/\text{cm}^3$) y parcela purma ($0.93 \text{ g}/\text{cm}^3$) en el grupo “b”, y existiendo significación estadística entre los dos grupos.

Tabla 16. Prueba Duncan al 5% de la variable densidad aparente en diferentes sistemas de uso

N°	Sistemas de uso	Promedio (g/cm ³)	Significación
1	Parcela de plátano	1.06	a
2	Parcela de cacao	1.04	a
3	Parcela de café	0.96	b
4	Parcela purma	0.93	b

La baja densidad refleja cómo el suelo acepta y retiene el movimiento del agua hacia la planta y las restricciones que impone sobre la germinación y el desarrollo de las raíces (Acevedo et al., 2005).

Alegre (1996) encontró que la densidad aparente aumenta con el uso intensivo de maquinaria agrícola. Especialmente en suelos arcillosos, puede variar estacionalmente dependiendo de los efectos de la labranza y la humedad del suelo (Taboada y Alvarez, 2008). En relación con los indicadores físicos del suelo, las áreas de vegetación exuberante provocan grandes variaciones, especialmente en las capas superiores. Tiene el efecto de reducir la densidad aparente del suelo y favorecer la penetración de las raíces (Arostegui, V., 1970). Esto es consistente con Folegatti (2001), quien afirma que a medida que aumenta la densidad aparente del suelo, aumenta la compactación, perjudica las condiciones de almacenamiento de agua y limita el crecimiento de las raíces. Una densidad aparente baja no necesariamente indica un ambiente bueno para el crecimiento de las plantas (Guerrero, H., 1995).

4.1.3. Resistencia a la penetración del suelo

Ramírez (1997) encontró que la resistencia a la intrusión se ve afectada por la presión a la superficie como resultado del pisoteo animal o humano, especialmente cuando el suelo está húmedo.

Encontramos que la parcela de cacao tuvo una resistencia a la penetración de 1.90 Kg/cm² seguido de la parcela de plátano con 1.70 Kg/cm², Parcela purma con 1.70 Kg/cm² y Parcela de café con 1.30 Kg/cm². Los resultados contrastan lo encontrado por Baquero *et al.*, (2001) en suelos de San Carlos - Colombia, donde la resistencia a la penetración alcanzó valores entre 1,4 y 1 Kg/cm². Todo esto nos indica, según la clasificación del ICT (2004) como suelos suaves. (Figura 8)

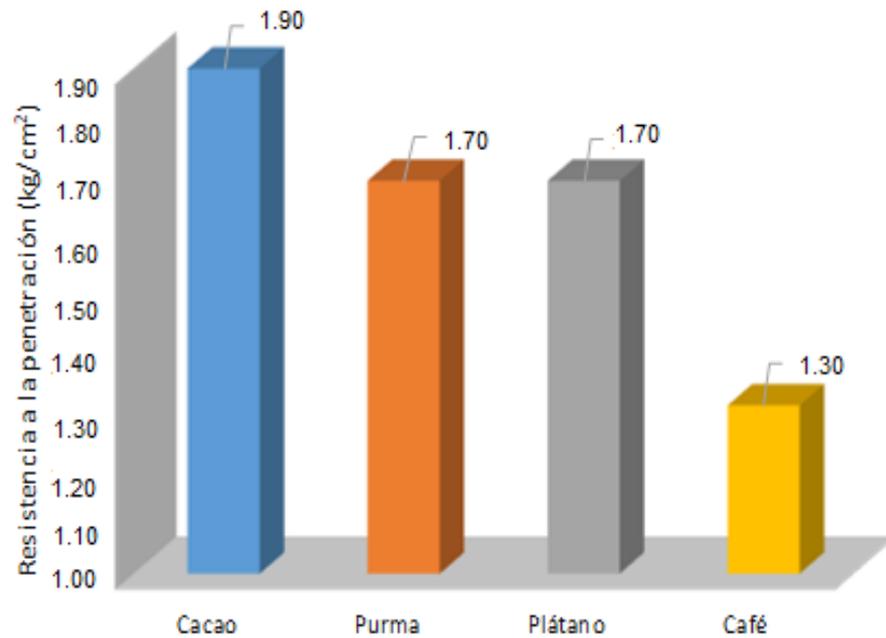


Figura 8. Resistencia a la penetración (kg/cm²) del suelo en cuatro sistemas de uso.

El estudio de varianza de la resistencia a la penetración del suelo, nos da como resultado que si existen diferencias significativas a un error del 5% entre las Parcela de cacao, Parcela purma, Parcela de plátano, Parcela de café (Tabla 17).

Tabla 17. ANVA para la variable Resistencia a la penetración del suelo (Kg/cm²) bajo diferentes sistemas de uso

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	2.58	0.86	36.28	<0.001 ^S
Error experimental	16	0.38	0.02		
Total	19	2.83			

Coefficiente de variación (CV%) = 36%

La respuesta que se obtuvo en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad para la resistencia a la penetración del suelo, nos da como resultado que existe significación estadística entre Parcela de cacao (1.90Kg/cm²) en el grupo “a”, Parcela de plátano (1.70 Kg/cm²) y Parcela purma (1.70Kg/cm²) sin significancia en el grupo “b”; y la parcela café con 1.30 Kg/cm² existiendo significancia entre ambos grupos. (Tabla 18).

Tabla 18. Prueba Duncan al 5% para la resistencia a la penetración del suelo (Kg/cm²) en 4 sistemas de uso.

N°	Sistemas de uso	Promedio (Kg/cm ²)	Significación
1	Parcela de cacao	1.90	a
2	Parcela de plátano	1.70	b
3	Parcela purma	1.70	b
4	Parcela de café	1.30	c

Este indicador depende en gran medida del contenido de agua del suelo. Cuanto más seco el suelo, mayor es la resistencia a la intrusión (Ramos, 1979).

En esto influye la densidad aparente del suelo, encontrándose bajas resistividades en la capa arable del suelo a partir de los primeros 10 cm y aumentando con la profundidad (Sánchez, P., 1981). El crecimiento de las plantas requiere condiciones físicas óptimas en las que el suelo sea una masa friable, suelta y porosa.

Por otro lado, USDA (1993) establece que la resistencia a la intrusión se ve afectada por la textura, la densidad y la disponibilidad de agua. Esto indica que valores superiores a 2,5 kg/cm² empiezan a limitar el crecimiento de las raíces. Intagri (2017) Considera valores críticos que oscilan entre 6,1 y 7,1 kg/cm² para suelos arenosos y alrededor de 2,5 kg/cm² para suelos arcillosos. Una resistencia a la penetración de 3,0 kg/cm² representa un impedimento para el crecimiento de las raíces (Porta, J.; & et al., 2003).

4.2. Indicadores químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico) del suelo en cuatro sistemas de uso.

Tabla 19. Indicadores químicos del suelo según sistemas de uso.

Sistema de uso de suelo	PH	M. O.	N total	P disponible	K disponible	CIC
		%	%	ppm	ppm	
Cacao	4.93	1.60	0.08	6.16	70.97	6.76
Plátano	4.56	1.32	0.07	1.67	47.48	8.58
Purma	4.91	1.57	0.08	3.68	63.47	6.27
Café	4	1.36	0.05	1.51	43.30	7.53

4.2.1. pH del suelo

El pH del suelo de varios sistemas de uso, nos dio como resultado que la parcela de cacao obtuvo promedio más alto con 4.93 pH, continuo de la parcela purma con 4.91 pH, Parcela de plátano 4.56 pH y con menor promedio Parcela de café 4.00 pH (Figura 9).

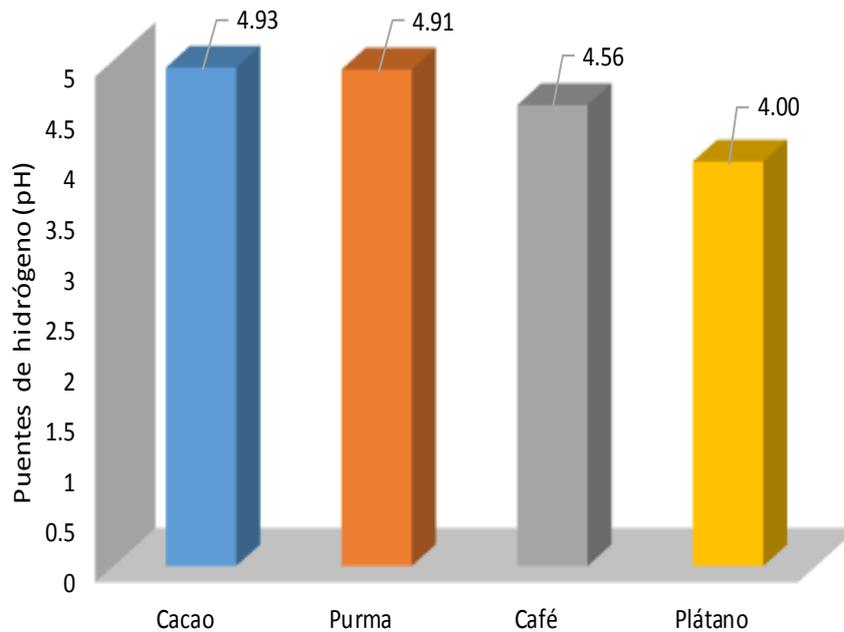


Figura 9. pH del suelo en cuatro sistemas de uso.

El análisis de la variación de la respuesta entre los sistemas utilizados reveló diferencias significativas en el pH del suelo en la Parcela de cacao, Parcela purma, Parcela de plátano, Parcela de café (Tabla 20).

Tabla 20. ANVA para pH bajo diferentes sistemas de uso

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	6.21	2.07	236.57	<0.001 ^S
Error experimental	16	0.14	0.01		
Total	19	6.35			

Coefficiente de variación (CV%) = 9.45%

Las respuestas conseguidas en la prueba de Duncan con 5% para pH, se visualiza que, la Parcela de cacao (4.93) y la Parcela purma (4.91) en un grupo "a", a su vez la purma comparte no significancia con la Parcela de plátano (4.56) y la Parcela de café (4.00) formando el grupo "b"; siendo este último son significativo en el grupo "c" (Tabla 21).

Tabla 21. Prueba Duncan al 5% para pH del suelo a diferentes sistemas de uso

N°	Sistemas de uso	Promedio (%)	Significación
1	Parcela de cacao	4.93	a
2	Parcela purma	4.91	a b
3	Parcela de plátano	4.56	b
4	Parcela de café	4.00	b c

El pH arrojó parcelas de cacao y purma mostrando valores más altos (4.93 y 4.91, respectivamente), óptimos para el crecimiento de las plantas en categorías de suelos ácidos. Sin embargo, los sistemas de parcela de café y parcela de plátano (pH 4.56 y 4.00, respectivamente) no están visualmente demasiado separados, por lo que se observa un buen desarrollo incluso en clasificaciones de suelos ácidos o extremadamente ácidos (Intagri, 2018). Según USDA (1999), los nutrientes disponibles se ven afectados por los cambios en la solubilidad de los minerales. Por otro lado, Bárbaro (2019) encontró que valores de pH por debajo del neutro provocan deficiencias de N, K, calcio y magnesio, garantizado. En cambio, por encima de pH 7, disminuye la disponibilidad de hierro, Mn, zinc y cobre. Suelos muy ácidos (8.5) tienden a disolverse. Los suelos muy ácidos inhiben la actividad de los organismos del suelo y para los cultivos el pH ideal está entre 5,5 y 6,5. Para bosques se puede usar de 3 a 8 (Intagri, 2018). Algunas plantas no pueden tolerar ambientes con alta salinidad o niveles de pH superiores a 8. Sin embargo, cítricos, coco y otras palmas son resistentes (Wild, A., 1992). La materia orgánica también puede adsorber y retener fuertemente estos microorganismos debido a su carga negativa (Goyal y Gerba, 1979). Por otro lado, los suelos ácidos tienen problemas para retener elementos mayoritarios como el calcio, el magnesio y el fósforo, pero, todos los micronutrientes (excepto el molibdeno) son bien absorbidos por este tipo de suelos, cuyas propiedades pueden provocar toxicidad por falta de elementos requeridos o exceso de absorción (generalmente metales) (Daitón et al., 1997). Además, este tipo de condición del suelo puede reaccionar con el fósforo y precipitar ciertos micronutrientes (Bitton & at al., 1974) incluso puede afectar la estructura del suelo en condiciones extremas (Estrada, J., 1966). Por otro lado, Bárbaro (2019) encontró que los niveles de pH presentes en los suelos dependen del tipo de mineral del que se originan, la alcalinidad del agua con la que se riegan, la actividad calcárea presente y la acidificación que provocan. La capacidad de los suelos para soportar cambios de pH debido a la adición de ácidos o bases, llamada capacidad amortiguadora, está determinada por el nivel y el origen de

los coloides presentes en el suelo y CIC. Esta propiedad le permite amortiguar los efectos de la acidez o la alcalinidad (Jaramillo, 2000).

4.2.2. Materia orgánica del suelo

El % de materia orgánica nos dio como resultado que la Parcela de cacao obtuvo más alta clasificación en materia orgánica con 1.60% seguido de la parcela purma con 1.57%, Parcela de café con 1.36% y con menor promedio la parcela de plátano 1.32%; dando como resultado un suelo con clasificación pobre en materia orgánica (Figura 10).

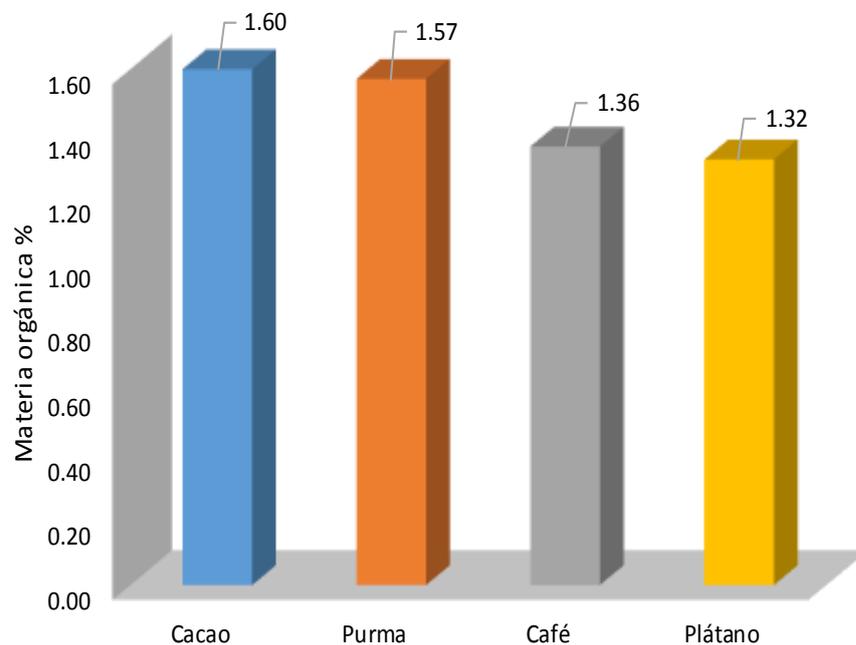


Figura N°10. Materia orgánica (%) del suelo en 4 sistemas de uso.

El estudio de varianza para la materia orgánica del suelo, nos dice que hay diferencia significativa entre los sistemas de uso Parcela de cacao, Parcela purma, Parcela de plátano, Parcela de café (Tabla 22).

Tabla 22. ANVA para la materia orgánica del suelo (%) bajo diferentes sistemas de uso

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	4.35	1.45	4.02	>0.05 ^{NS}
Error experimental	16	5.73	0.36		
Total	19	10.08			

Coefficiente de variación (CV%) = 9.77%

Los resultados conseguidos en el test de Duncan al 5% para la materia orgánica del suelo demuestran el resultado de varios sistemas utilizados, junto con la significación estadística de la Parcela de cacao (1.60%) en un grupo “a”, la Parcela purma (1.57%) y Parcela de café (1.36%) son no significativas formando el grupo “b”; a su vez la Parcela de café (1.36%) y Parcela de plátano (1.32%) son no significativas con el grupo “c” (Tabla 23).

Tabla 23. Prueba Duncan al 5% de la de materia orgánica del suelo en diferentes sistemas de uso

N°	Sistemas de uso	Promedio (%)	Significación
1	Parcela de cacao	1.60	a
2	Parcela purma	1.57	b
3	Parcela de café	1.36	b c
4	Parcela de plátano	1.32	c

Según García (2012), los elementos orgánicos del suelo se forman naturalmente a partir de plantas y animales muertos. La concentración de materia orgánica está estrechamente relacionada con el aporte de carbono de la vegetación. Al aumentar el número de plantaciones cultivados en la rotación de cultivos con mayor rendimiento de biomasa, el nivel de carbono será mayor en unos pocos años (Sposito, G, 1989).

Según Mustin (1987), la materia orgánica representa del 95 al 99% del total del peso seco de los seres vivos, pero su presencia en los suelos suele ser escasa y no llegan a superar el 2% (Navarro *et al.*, 1995). Esto coincide en el caso de los cuatro sistemas de uso (purma, plátano, cacao y café) que se analizó ya que contienen 1.60%, 1.32%, 1.57%, 1.36% respectivamente de materia orgánica.

Gros y Domínguez (1992) consideraron que el contenido ideal de materia orgánica es del 2% en suelos moderadamente cohesivos, disminuyendo al 1,65% en suelos pesados y alcanzando el 2,5% en suelos arenosos. El contenido y la dinámica de la materia orgánica en los sistemas agrícolas están regulados en gran medida por la rotación de cultivos y la labranza (Herrick, J.E., Jones, T.L. 2002), y los componentes volátiles de la materia orgánica son más sensibles a los efectos del manejo (Havlin, J., & et al., 1999). Obviamente, la materia orgánica en el suelo de permacultura es pobre y se concentra en la capa superior del perfil, es decir, la capa de suelo cultivado. (GallardoL. J. et al., 1982) Un suelo sin materia orgánica carece de energía, buena estructura, presencia de cargas negativas dependientes del

pH y actividad microbiana, que en conjunto le dan al suelo la dinámica de los procesos físicos, químicos y biológicos (Acevedo, J., 2005). Además, dado que los vegetales son las plantas con mayor contenido de materia orgánica en el suelo, una disminución de la cobertura vegetal significa una disminución de la materia orgánica (Allison, F., 1973).

Este porcentaje de reducción puede deberse a la disposición de residuos de cultivos como la quema de rastrojos, el uso de herbicidas, la destrucción de organismos formadores de humus como las lombrices (los pesticidas también matan animales benéficos) y el uso de productos químicos que no aportan materia orgánica. (Donahue, R., Miller, W., Shickluna, J., 1981). Zavaleta (1974) aseguró que la fertilidad natural del suelo depende en gran medida de la presencia de materia orgánica en él. Por lo tanto, se concluyó que la fertilidad del suelo en los 4 sistemas de aplicación (cacao, plátano, purma y café) fue pobre debido a que los cultivos no se desarrollaron adecuadamente (Porta, J., López A., & Roquero, C, 2003).

4.2.3. Nitrógeno total del suelo

El N total del suelo, de varios sistemas de uso, encontramos que en la Parcela de cacao y purma tuvieron el valor más alto en N total con 0.08% respectivamente que representa la clasificación del rango medio para un suelo, continuo de la parcela de plátano 0.07% y con menor valor la parcela de café con 0,05% teniendo la clasificación de pobre para un suelo con contenido de nitrógeno (Figura 11).

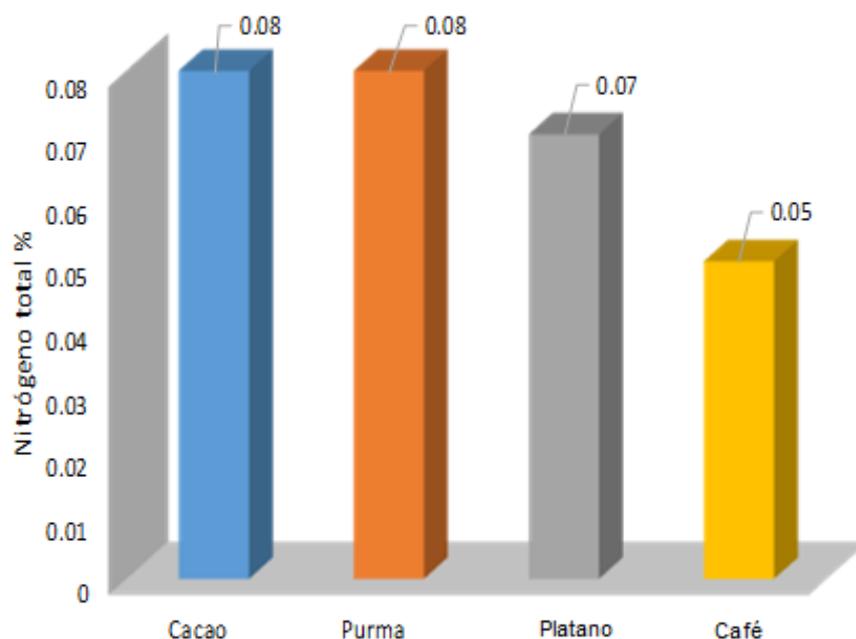


Figura N° 11. Nitrógeno total (%) del suelo en cuatro sistemas de uso.

El análisis de la varianza del N total del suelo entre los sistemas utilizados reveló diferencias significativas entre los sistemas que utilizan parcelas de cacao, parcelas de purma, parcelas de plátano y parcelas de café (tabla 24). Los valores se muestran cómo % de suelo seco según INTA (1980).

Tabla 24. ANVA para Nitrógeno total (%) del suelo en diferentes sistemas de uso.

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	0.21	0.07	11.67	>0.05 ^{NS}
Error experimental	16	0.01	0.01		
Total	19	0.22			

Coefficiente de variación (CV%) = 20.20%

Las respuestas conseguidas en la prueba de Duncan con una probabilidad del 5% de N total en suelo mostraron comportamientos de diferentes sistemas de uso que no fueron estadísticamente significativos entre la Parcela de cacao (0.08%), Parcela purma (0.08%), Parcela de plátano (0.07%) en el grupo “a” y por otro lado la Parcela de café (0.05%) en el grupo “b” con diferencias significativas a los demás, (Tabla 25).

Tabla 25. Prueba Duncan al 5% de la variable Nitrógeno total (%) del suelo en diferentes sistemas de uso

N°	Sistemas de uso	Promedio (%)	Significación
1	Parcela de cacao	0.08	a
2	Parcela purma	0.08	a
3	Parcela de plátano	0.07	a
4	Parcela de café	0.05	b

Según Fassbender (1982), el clima influye en el contenido de nitrógeno del suelo a través de la influencia de las condiciones de temperatura y humedad sobre el desarrollo de plantas y microorganismos, y se encontró una relación inversa entre la temperatura y el contenido de nitrógeno. Esto fue según Zavaleta (1974), quien creía que la distribución de nutrientes dependía de factores ambientales como el clima, el tipo de suelo, el material genético, el manejo agrícola y el nivel de rendimiento. La deficiencia de nitrógeno está relacionada con el tipo de suelo, generalmente suelos arenosos, bien drenados, con una rápida pérdida de nutrientes. Los riegos excesivos y las lluvias intensas también pueden causar una

deficiencia de estos nutrientes debido al exceso de agua (Baur, G. (1964). Las fuertes lluvias serían la causa de la baja disponibilidad de nitrógeno en los 4 sistemas de uso estudiados. Además, dependiendo del contenido de materia orgánica, los primeros 20 cm de suelo pueden contener entre 1.000 y 10.000 kg. N por hectárea (USDA, 1993). El pH del suelo afecta la tasa de mineralización de nitrógeno. A pesar de los informes contradictorios, es p. se ha encontrado que el encalado de suelos ácidos aumenta la mineralización (Black, 1975). Debido a varios factores, se debe tener en cuenta que todas las condiciones para una mineralización óptima rara vez ocurren en un sitio. Además, la capacidad del suelo para mineralizar N varía mucho debido a los múltiples factores que influyen en ella (Alegre, J. y Rao, M., 1996).

4.2.4. Fosforo disponible en el suelo

Se demuestra que el P disponible del suelo, de varios sistemas de uso, que la parcela de cacao tuvo el P disponible con 6.16 ppm, continuo de Parcela purma 3.68 ppm, Parcela de plátano 1.67 ppm y la parcela de café con 1.51 ppm, teniendo un rango en la clasificación como suelo pobre en contenido de fosforo disponible (Figura 12).

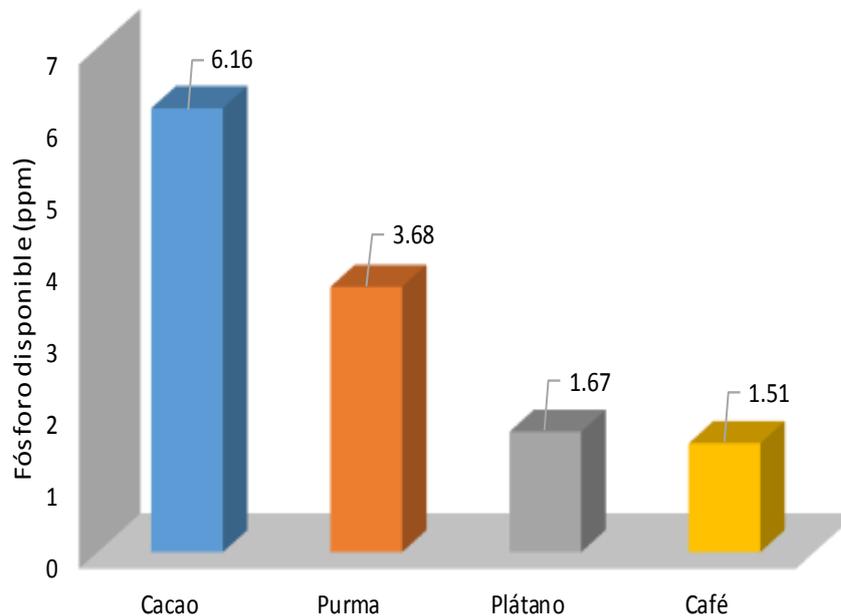


Figura 12. Fosforo disponible (ppm) del suelo en cuatro sistemas de uso.

El análisis de varianza para el P que está disponible en la tierra tiene significativa variación entre los sistemas de uso (parcela de cacao, Parcela purma, Parcela de plátano y café) (Tabla 26).

Tabla 26. ANVA para la variable Fosforo disponible (ppm) del suelo bajo diferentes sistemas de uso

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	75.21	25.07	47.75	<0.001 ^S
Error experimental	16	8.40	0.53		
Total	19	82.39			

Coeficiente de variación (CV%) = 66.79%

Las respuestas conseguidas en la prueba de Duncan mostraron una probabilidad del 5% de disponibilidad de P en el suelo, y el comportamiento de los diversos sistemas de uso fue altamente evaluado, siendo el sistema que utiliza la parcela de cacao (6,16 ppm) un rendimiento estadísticamente significativo y superior a todos los demás sistemas (Tabla 27).

Tabla 27. Prueba Duncan al 5% de Fosforo (ppm) en el suelo a diferentes sistemas de uso.

N°	Sistemas de uso	Promedio (ppm)	Significación
1	Parcela de cacao	6.16	a
2	Parcela purma	3.68	b
3	Parcela de plátano	1.67	c
4	Parcela de café	1.51	c

El P a menudo es uno de los elementos principales porque se usa en grandes cantidades, pero en realidad las plantas no lo consumen en grandes cantidades, lo que hace que la utilización del P del suelo sea muy ineficiente (Ramos, 1979). La disminución de fósforo en suelos tropicales y subtropicales es reconocida como un problema importante (Reynel, C. et al., 2003). Las plantas pueden crecer satisfactoriamente a bajas concentraciones de fosfato en solución siempre que se pueda mantener esta concentración (Sánchez, P., 1981). El rango de pH del suelo, donde hay máxima disponibilidad de fósforo, se encuentra entre 6,5 y 7,5 (García, L. & Quinke, A. 2012).

Una parte muy importante del P asimilable es de la sustitución de la fracción soluble por P de otras fuentes en el suelo. El motor de esta sustitución es el desequilibrio que los cultivos crean en el suelo al extraer fósforo. En cultivos de alto rendimiento, la fertilización ayuda a mantener altos niveles de fósforo en el suelo (Terborgh, J., 1973).

Tisdale et al. (1993) quienes muestran que el clima tiene un efecto significativo en la disponibilidad de fósforo en el suelo, con los déficits de fósforo más severos ocurriendo

en las áreas más húmedas. SSDS (1999) también mencionó que la presencia de aluminio intercambiable afecta la disponibilidad de fósforo, explicando que existe una relación directa entre el aluminio intercambiable en el suelo y la fijación de fósforo. Por lo tanto, siempre se debe considerar la disponibilidad de fósforo cuando se decide cultivar en suelos altamente ácidos y, en tales casos, por supuesto, deben existir estrategias para manejar el suelo mediante el encalado y la utilización de la fuente de P requerida. El fósforo es el primer nutriente limitante para las plantas en suelos recién arados (PCEDF, 1990).

4.2.5. Potasio disponible en el suelo

El K disponible del suelo, en distintos sistemas de uso, se encontró que en Parcela de cacao tuvo el mayor valor en potasio disponible con 70.97 ppm, seguido de la Parcela purma con 63.47 ppm, Parcela de plátano con 47.48 ppm y con menor valor la parcela de café con 43.30 ppm (Figura 13).

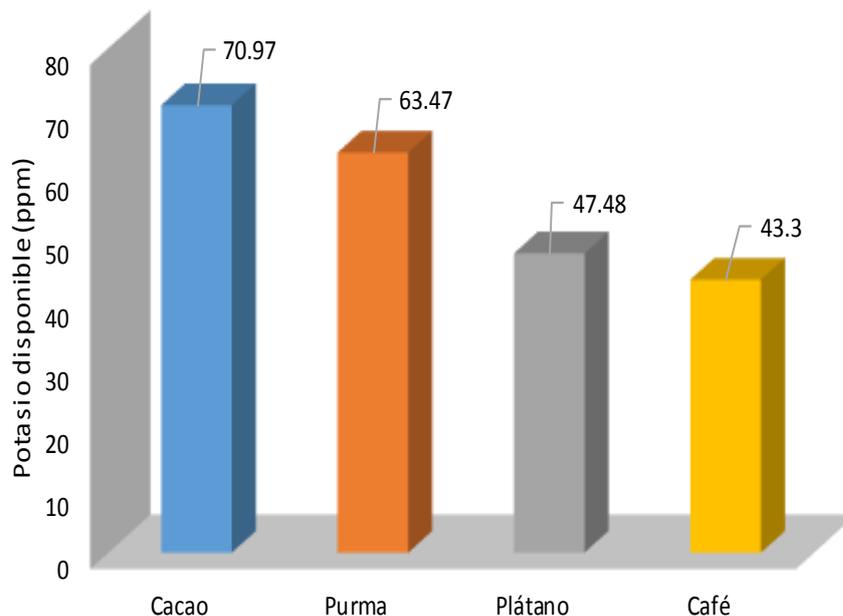


Figura 13. Potasio disponible (ppm) del suelo es cuatro sistemas de uso

El estudio de la varianza del potasio disponible del suelo nos da como resultado que hay diferencia significativa entre los 4 sistemas de uso (Parcela de cacao, Parcela purma, Parcela de plátano y café) (Tabla 28).

Tabla 28. ANVA para potasio disponible (Kg-K₂O/ha) del suelo en diferentes sistemas de uso.

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	4402.35	1467.45	7.22	<0.001S
Error experimental	16	3250.21	203.14		
Total	19	44346.92			

Coefficiente de variación (CV%) = 23.23%

Las respuestas obtenidas con la prueba de Duncan al 5% del K disponible en el suelo mostraron un comportamiento diferente estadísticamente significativo del sistema utilizado en la Parcela cacao (70.97 ppm) y no existiendo significación estadística entre Parcela de purma (63.47 ppm), Parcela de plátano (47.48 ppm), a su vez, este último, teniendo similitud estadística con la Parcela de café (43.30 ppm) (Tabla 29).

Tabla 29. Prueba Duncan al 5% de potasio disponible (Kg-K₂O/ha) del suelo en diferentes sistemas de uso.

N°	Sistemas de uso	Promedio (ppm)	Significación
1	Parcela de cacao	70.97	a
2	Parcela purma	63.47	b
3	Parcela de plátano	47.48	b c
4	Parcela de café	43.30	c

El potasio es más eficaz cuando el pH del suelo es > 5,5 (Fassbender, H., 1975) es decir este elemento importante no se encuentra disponible para nuestros 4 sistemas de uso. El contenido de arcilla en el suelo es el parámetro más importante por que determina el contenido total de potasio. En general, los suelos dominados por tipos de arcilla 2:1 contienen más K que los suelos dominados por caolinita (Ruiz, S.R. & Sadzawka R. A., 2005). Además, aunque está presente en grandes cantidades en el suelo, solo una pequeña fracción está disponible para las plantas. Sin embargo, la disponibilidad de macronutrientes es un problema menor, ya que el suministro de este elemento al suelo es generalmente aceptable. Este nutriente no causa problemas ambientales, pero cabe señalar que es esencial para las plantas frutales (ICA, 1992). De acuerdo con García (2012), el potasio está presente en cantidades muy pequeñas en la solución del suelo y es rápidamente absorbido por las plantas porque está fácilmente disponible. La absorción de potasio por las plantas depende de factores como la humedad y la temperatura del suelo. Si se reducen estas variables, también se afecta

la asimilación de elementos (Black, C. A., 1975). Además, el K se encarga de brindar frutas, verduras y flores de mayor calidad, enfatizando así las propiedades sensoriales (García, L. y Kunk, A., 2012).

4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico del suelo

Para la capacidad de intercambio catiónico en cuatro sistemas de uso, se encontró que la parcela de plátano tuvo el mayor valor con 8.58 mg/100g, seguido de la parcela de café 7.53 mg/100g, Parcela de cacao 6.76 mg/100g y con menor valor la Parcela de purma con 6.27 mg/100g (Figura 14).

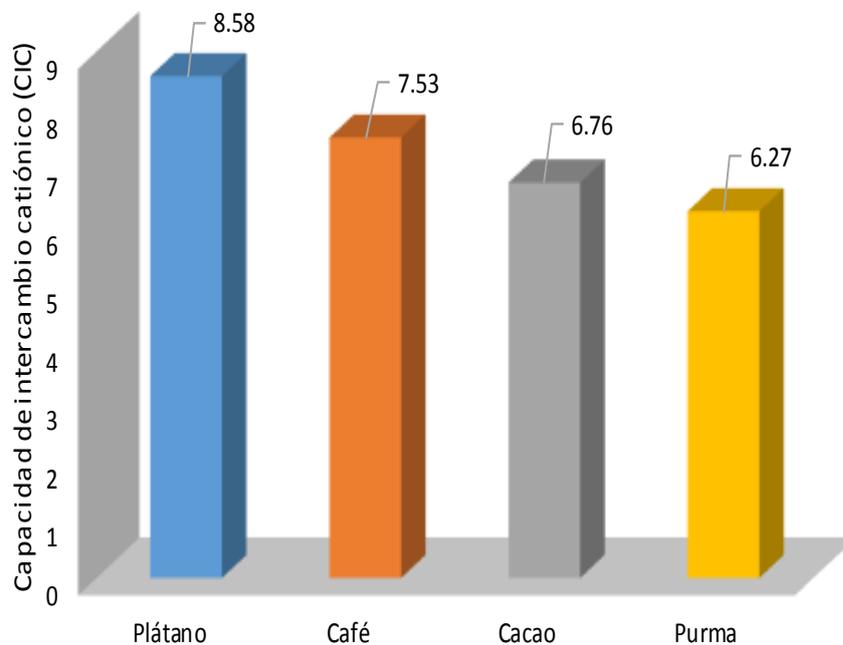


Figura 14. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo en cuatro sistemas de uso.

El estudio de varianza de la capacidad de intercambio catiónico entre los 4 sistemas de uso, nos da como respuesta una diferencia significativa entre los sistemas de uso de Parcela de cacao, purma, plátano y café (Tabla 30). La baja CIC de la parcela de cacao se vincula con la dificultad de que se proporcione intercambio catiónico en zonas de pH muy ácido (FAO, 2006).

Tabla 30. ANVA para la capacidad de intercambio catiónico (mg/100g) del suelo en diferentes sistemas de uso.

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	5.05	1.68	18.67	<0.001 ^S
Error experimental	16	1.44	0.09		
Total	19	5.84			

Coefficiente de variación (CV%) = 13.82%

El resultado obtenido en la prueba Duncan es el resultado de una probabilidad del 5 % intercambio catiónico de la tierra, y varios usos son altamente valorados y son estadísticamente significativos en la parcela de plátano (8.58 mg/100g) con el grupo “a”, la parcela de café (7.53 mg/100g) y de cacao (6.76 mg/100g) son similares estadísticamente en el grupo “b”, a su vez que, este último presenta efectos similares, purma (6.27 mg/100g) en el grupo “c” (Tabla 31).

Tabla 31. Prueba Duncan al 5% de la capacidad de intercambio catiónico (mg/100g) del suelo en 4 sistemas de uso.

N°	Sistemas de uso	Promedio (mg/100g)	Significación
1	Parcela de plátano	8.58	a
2	Parcela de café	7.53	b
3	Parcela de cacao	6.76	b c
4	Parcela purma	6.27	c

Los niveles de CIC indican la capacidad del suelo para retener nutrientes para las plantas, los valores potenciales de pH y más (Gallardo L. d. & et al., 1982). Estas propiedades son las propiedades que debe tener el suelo en los cuatro sistemas de uso estudiados debido a su baja CIC.. La materia orgánica, la arcilla y los grupos hidroxilo actúan como intercambiadores (Fassbender, 1987). La arcilla del suelo y la materia orgánica tienen la mayor influencia en la CIC. Además de aumentar la CIC, el aporte de materia orgánica puede mejorar las propiedades físicas del suelo, aumentar la infiltración de agua, mejorar la estructura del suelo, proporcionar nutrientes a las plantas y reducir las pérdidas por erosión (Etchevers, J.D., 1991). Este no es el caso del uso de la tierra (cacao) porque tiene más materia orgánica que los otros usos de la tierra pero tiene menos CIC. Fassbender (1987) también demostró una correlación entre la textura y la CIC, que aumenta en suelos de textura fina y disminuye en suelos de textura gruesa.

4.3. Indicadores biológicos (densidad, biomasa y diversidad de macrofauna) del suelo en cuatro sistemas de uso

4.3.1. Densidad de macrofauna en el suelo

– Por sistema de uso de suelo

La densidad de macrofauna del suelo, tiene como resultado que la parcela de café y plátano tuvieron los mayores valores con 28% de individuos respectivamente, seguido de la Parcela purma con 24% de individuos y con menor presencia de individuos la Parcela de cacao con 20% (Figura 15).

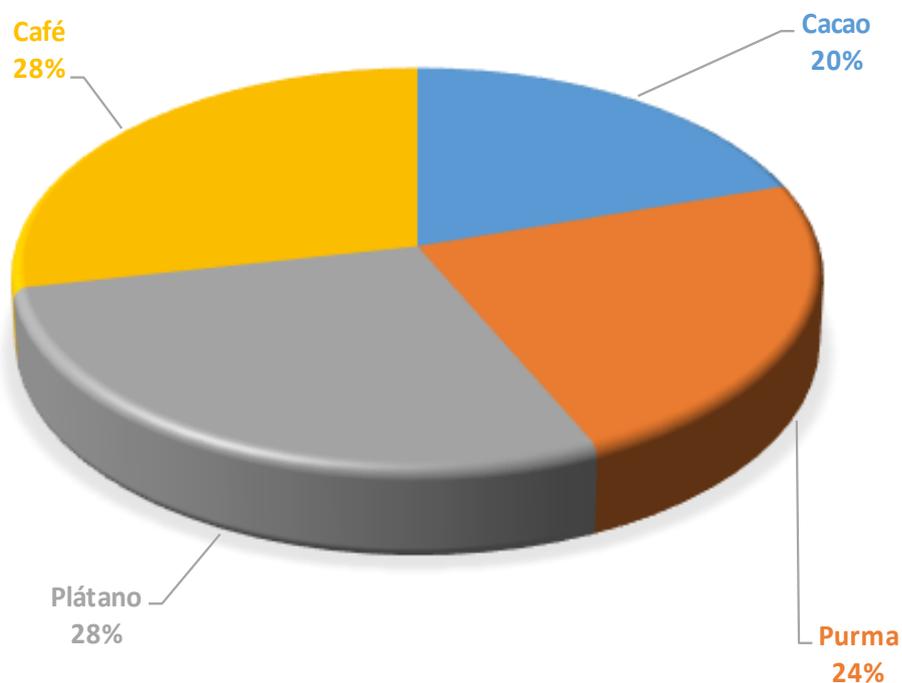


Figura 15. Porcentaje de la densidad de macrofauna del suelo, en 4 sistemas de uso.

– por estrato (profundidad) del suelo

La densidad de macrofauna del suelo, de varios sistemas de uso estuvo influenciado por la profundidad de muestreo, a la profundidad de 10 cm encontramos 39.82% de individuos, seguido de la profundidad de 20 cm que contabilizó el 31.86% de individuos y por último la profundidad de 30 cm que obtuvo el 28.32% de individuos (Figura 16).

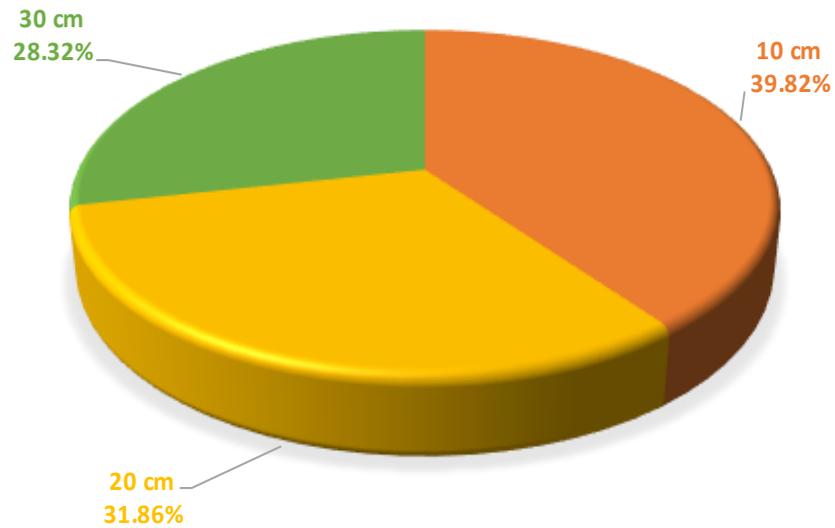


Figura 16. Porcentaje de densidad de macrofauna del suelo, en tres profundidades de muestreo.

4.3.2. Biomasa de macrofauna del suelo

– Por sistema de uso de suelo

La biomasa de macrofauna del suelo, de varios sistemas de uso, encontramos que la parcela de plátano obtuvo la mayor cantidad de biomasa 89.19 g/cm^2 , seguido de la parcela de café con 74.21 g/cm^2 , la parcela purma con 64.35 g/cm^2 y con menor la parcela de cacao con 56.40 g/cm^2 (Figura 17).

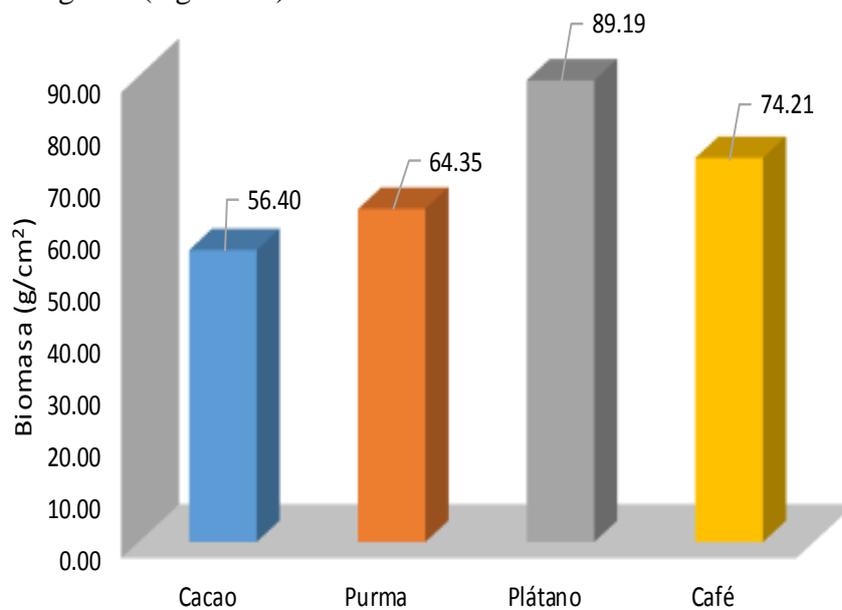


Figura 17. Biomasa de macrofauna (g/cm^2) del suelo en cuatro sistemas de uso.

El estudio de varianza de la biomasa de macrofauna (g/cm^2) entre los sistemas de uso, se obtiene respuestas que tienen desigualdad entre los sistemas de uso Parcela de cacao, purma, plátano y café (Tabla 32).

Tabla 32. ANVA para biomasa de macrofauna (g/cm^2) del suelo en diferentes sistemas de uso.

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	3	2640.50	880.17	309.92	$<0.001^S$
Error experimental	16	45.38	2.84		
Total	19	5.84			

Coefficiente de variación (CV%) = 21.50%

Las respuestas conseguidas en la prueba de Duncan con 5% para la biomasa de macrofauna (g/cm^2), nos da como resultado la significación estadística para la parcela de plátano (89.19 g/cm^2) en el grupo “a”, seguido de la diferencia significativa de la parcela de café (74.21 g/cm^2) y parcela purma (64.35 g/cm^2) en el grupo “b”, a su vez, este último no significativo con la Parcela cacao (56.40 g/cm^2) en el grupo “c” (Tabla 33).

Tabla 33. Prueba Duncan al 5% de la biomasa de macrofauna (g/cm^2) del suelo en 4 sistemas de uso.

N°	Sistemas de uso	Promedio (mg/100g)	Significación
1	Parcela de plátano	89.19	a
2	Parcela de café	74.21	b
3	Parcela purma	64.35	b c
4	Parcela de cacao	56.40	c

– Por estrato (profundidad) del suelo

Este indicador, estuvo influenciado por la profundidad de muestreo, siendo a la profundidad de 10 cm obtuvo 114.77 g/cm^2 , seguido de la profundidad de 20 cm que llegó a 93.20 g/cm^2 y por último la profundidad de 30 cm que obtuvo 76.18 g/cm^2 (Figura 18).

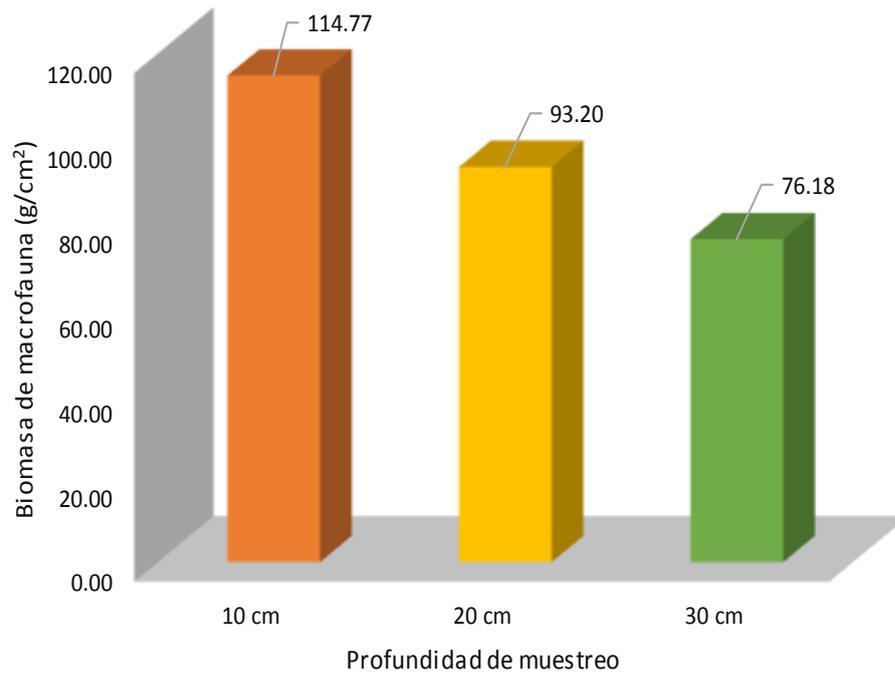


Figura 18. Biomasa de macrofauna (g/cm^2) por profundidades del suelo.

El estudio de varianza de la biomasa del suelo en los 4 sistemas de uso, nos dice que hay diferencia significativa en las profundidades de muestreo (Tabla 34).

Tabla 34. ANVA para la variable biomasa de macrofauna ($\text{individuo}/\text{m}^2$) por profundidades de muestreo

FV	GL	SC	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	2	3310.08	1655.04	452.69	$<0.001^S$
Error experimental	9	32.91	3.66		
Total	11	3342.99			

Coefficiente de variación (CV%) = 33.28%

Las respuestas conseguidas en la prueba de Duncan para la biomasa de macrofauna del suelo a distintas profundidades de muestreo, nos dice que existe significación estadística en los sistemas de uso, con la profundidad de 10 cm ($114.77 \text{ g}/\text{cm}^2$), la profundidad de 20 cm ($93.20 \text{ g}/\text{cm}^2$) y la profundidad de 30 cm ($76.18 \text{ g}/\text{cm}^2$) (Tabla 35).

Tabla 35. Prueba Duncan al 5% para la biomasa de macrofauna (g/cm^2) por profundidades de muestreo

N°	Estrato (profundidad)	Promedio (individuo/ m^2)	Significación
1	10 cm	114.77	a
2	20 cm	93.20	b
4	30 cm	76.18	c

4.3.3. Diversidad de macrofauna en el suelo

Se encontró un total de siete familias en diferentes estados de crecimiento (metamorfosis en caso de insectos), de las cuales la *Lumbricidae* fue la que superó a todos con un total de 219 individuos que simboliza el 96.9% (Tabla 36)

Tabla 36. Número total de familias encontradas en los 4 sistemas de uso de suelo (cacao, plátano, purma y café).

Familia	N° de individuos	Porcentaje
Noctuidae	2	0.88%
Scarabaeidae	1	0.44%
Grillotalpidae	1	0.44%
Lumbricidae	219	96.90%
Calopterygidae	1	0.44%
Nynphalidae	1	0.44%
Termitidae	1	0.44%
Total, general	226	

Como se puede observar en la table 36, la familia Lumbricidae es la familia más poblada, ya que varían según las condiciones del sitio, época del año y especies estudiadas. Las poblaciones pueden oscilar entre menos de 10 y 10 000 individuos por metro cuadrado, aunque las lombrices de tierra no se encuentran en todas las áreas (USDA, 1999). Las lombrices de tierra promueven la actividad microbiana al descomponer la materia orgánica y aumentar el área de superficie disponible para hongos y bacterias. Debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno en los túneles y la facilidad con que las raíces cruzan los canales existentes, también estimulan el crecimiento radicular extensivo en el subsuelo (Donoso, C., 1981).

Además, las actividades de excavación de las lombrices proporcionan canales para la entrada de aire y el paso del agua, lo que afecta significativamente la difusión de oxígeno y el drenaje en la zona de la raíz. Los largos canales verticales formados por las excavaciones profundas de las lombrices ayudan a aumentar en gran medida la infiltración de agua durante las fuertes lluvias o los suelos saturados (CATIE, 1991).

– **Por sistema de uso de suelo**

Posteriormente, tomando como referencia el sistema de uso de suelo de la muestra, podemos afirmar que la familia *Lumbricidae* sigue siendo la dominante en los cuatro sistemas (cacao, café, plátano y purma) con un 91.11%, 98.44%, 98.44% y 98.11% respectivamente. Sin embargo, existe una mayor cantidad de familias en la parcela de cacao (*Grillotalpidae*, *Noctuidae* y *Nynphalidae*) (Tabla 37).

Tabla 37. Diversidad de macrofauna del suelo en los 4 sistemas de uso.

Sistema	Familia	N° individuos	Suma/estrato
Cacao	Noctuidae	2	45
	Grillotalpidae	1	
	Lumbricidae	41	
	Nynphalidae	1	
Café	Lumbricidae	63	64
	Calopterygidae	1	
Plátano	Lumbricidae	63	64
	Scarabaeidae	1	
Purma	Lumbricidae	52	53
	Termitidae	1	
Total		226	

– **Por estrato (profundidad) del suelo**

Similarmente, tomando como diferencia la profundidad de la muestra de suelo, podemos decir que la familia *Lumbricidae* fue la dominante puesto que en el estrato de 10 cm representa un 96.67% (87 individuos), en el estrato de 20 cm representa un 94.44% (68

individuos) y el estrato de 30 cm representa la totalidad de individuos con un 100% (64 individuos) (Tabla 38)

Tabla 38. Número de familias de macrofauna del suelo a diferentes profundidades de muestreo.

Estrato	Familia	N° individuos	Suma/estrato
10 cm	Noctuidae	1	90
	Lumbricidae	87	
	Calopterygidae	1	
	Nynphalidae	1	
20 cm	Noctuidae	1	72
	Scarabaeidae	1	
	Grilloalpidae	1	
	Lumbricidae	68	
	Termitidae	1	
30 cm	Lumbricidae	64	64
Total		226	

El contenido de macrofauna del suelo disminuye con la profundidad, al igual que el tamaño de los artrópodos en general (Encarnación, F., 1983). Los organismos más grandes están activos en la capa de rastrojos sobre la superficie del suelo (Harold, W., 1984).

En tal sentido, el análisis de la riqueza de especies encontrado en los cuatro sistemas tuvo como resultado que el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') se mantuviera con un valor de 0.192 lo cual indica baja diversidad. Similarmente para el índice de equidad (J) que expresa un valor de 0.099 por lo que la distribución de la diversidad de especies no fue similar en los sistemas (Tabla 39).

Tabla 39. Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') e índice de equidad (J) en 4 sistemas de uso.

Riqueza de especies	Índice de Shannon-Wiener (H)	Índice de equidad (J)
7	0.192	0.099

4.4. Uso sustentable del suelo

La sostenibilidad del uso del suelo se calculó mediante SUSS con base en los valores estandarizados que se muestran en la Tabla 10; los suelos cacao y purma presentaron valores superiores de 0,45 y 0,44, respectivamente, correspondientes a calidad “mala”; mientras que los suelos de plátano y café presentaron menor valor (0,43 y 0,41, respectivamente) y tiene una clasificación de calidad “pobre” (SAGARPA, 2012), como se muestra en la Figura 19; aunque la mala calidad corresponde a todos los usos de suelo, algunos usos de suelo están cerca de mejorar la calidad, como el cultivo de cacao.

Este uso de la suelo tiene en cuenta el componente agroforestal e inicia las prácticas de manejo agrícola recomendadas al propietario, mientras que la parcela de purma obtiene tierras asequibles porque lleva tiempo mejorar el suelo. Esto también es consistente con Lal, R. (1996) quien identificó los efectos de la labranza, la deforestación y los sistemas de cultivo en las propiedades del suelo.

La deforestación y el cambio de uso de suelo están provocando fuertes cambios en las propiedades que eran bastante favorables antes de la deforestación, obligándonos a considerar qué está pasando con nuestras parcelas cafetaleras como resultado del manejo agrícola previo de varios cultivos.

Del mismo modo, Chavarría et al. (2012) nos dice que la calidad del suelo (ICSA), es mayor en los sistemas forestales. En cuanto al suelo cafetalero de Cuyaco, se ve afectado por años de cultivo y el uso de pesticidas que afectan las propiedades del suelo; también se ve afectado por factores climáticos, incluidas las altas precipitaciones que conducen a la pérdida de nutrientes, la acidificación del suelo, etc.

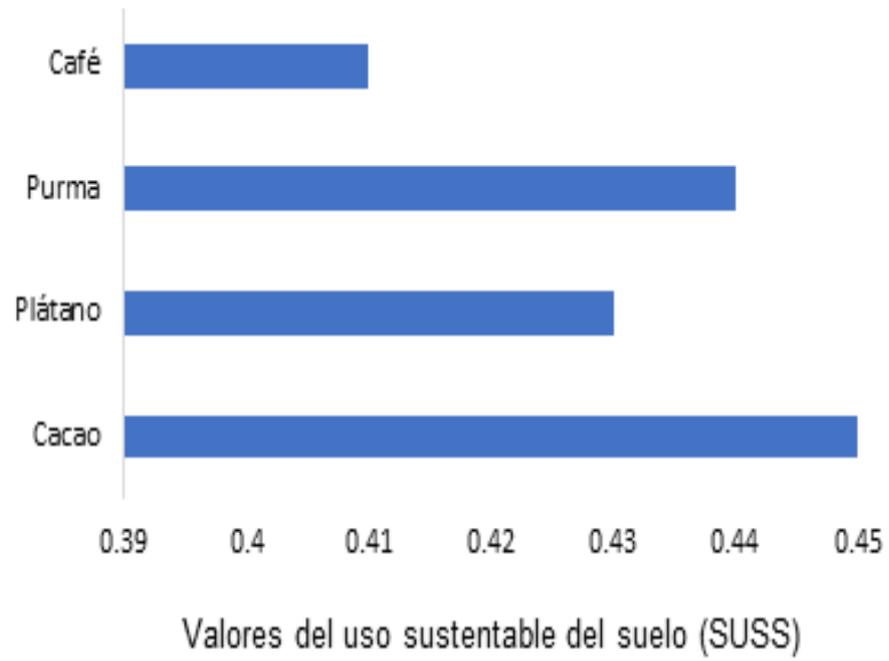


Figura 19. Valores del uso sustentable del suelo en 4 sistemas de uso.

V. CONCLUSIONES

1. Se evaluó la calidad del suelo en 4 sistemas de uso (cacao, plátano, café y purma) teniendo como resultado un suelo de calidad “pobre” con los siguientes valores: 0.45, 0.43, 0.44 y 0.41 respectivamente; según el índice de uso sustentable del suelo (SUSS) referido por Sagarpa estos valores indican que la calidad de los suelos para fines agrícolas se encuentra amenazada. Los indicadores se alejan de los niveles deseables.
2. Se determinó las propiedades físicas del suelo en los cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, café y purma) dando como resultado los siguientes datos: textura (franco, franco, franco y franco limoso), densidad (1.04 g/cm^3 , 1.06 g/cm^3 , 0.93 g/cm^3 y 0.96 g/cm^3) y resistencia a la penetración (1.09 Kg/cm^2 , 1.70 Kg/cm^2 , 1.70 Kg/cm^2 y 1.30 Kg/cm^2) respectivamente. Estos datos nos indican buen tipo de suelo con respecto a la textura y suelos suaves con respecto a la densidad y resistencia a la penetración.
3. La determinación de los indicadores químicos fue significativa en los cuatro sistemas de uso de suelo (cacao, plátano, purma y café) dando como resultado lo siguiente: pH (4.93, 4.56, 4.9 y 4), materia orgánica (1.60%, 1.32%, 1.57% y 1.36%), nitrógeno disponible (0.08%, 0.07%, 0.08% y 0.05%), fósforo disponible (6.16ppm, 1.67ppm, 3.68ppm y 1.51ppm), potasio disponible (70.97ppm, 47.48ppm, 63.47ppm y 43.30ppm) e intercambio catiónico (6.76 mg/100g, 8.58 mg/100g, 6.27 mg/100g y 7.53 mg/100g respectivamente. Esto quiere decir que presenta un pH de extremada a fuertemente ácida y niveles bajos en materia orgánica, N, P, K y CIC.
4. Se determinó la diversidad en los cuatro sistemas de uso y estas presentan una baja diversidad con un índice de Shannon-Wiener de 0.192 y un índice de equidad (J) de 0.099 por lo que la distribución de las abundancias de especies no fue similar en el sistema, encabezando con la familia *Lumbricidae*.

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. Se recomienda seguir con la investigación, pero considerando los signos de erosión, historia de manejo, información climática y ubicación de áreas sensibles con el fin de considerar otros factores y mejorar la precisión de los resultados.
2. Los muestreos del suelo para el estudio en la misma zona, se deberán realizar de forma anual debido que las épocas lluviosas y calurosas afectan los resultados de los indicadores físicos y químicos.
3. Relacionar la estructura del suelo con los indicadores físicos y biológicos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo, J. (2005). Criterios de calidad de suelos agrícolas. En línea: USDA (<http://Soils.Usda.gov/sqi/soil/>, documento 25 de jul 2019).
- Alegre, J. y Rao, M. (1996). Conservación del suelo y el agua por la cobertura de contorno en los trópicos húmedos de Perú. *Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente* 57: 17 - 25 p.
- Allison, F. (1973). *Materia orgánica del suelo, y su papel en la producción de cultivos*. Amsterdam. Elsevier. Evolución de la Ciencia del Suelo. 637 p.
- Angulo, W. (1995). Experiencias silviculturales para el establecimiento de regeneración artificial en el Bosque del Campo Experimental Alexander Von Humboldt INIA-Estación Experimental Pucallpa. TFC. Iquitos, Perú. 120 p.
- Arostegui, V. (1970). Descripción de las propiedades físicas, mecánicas y el uso de la madera del Perú. Universidad Nacional Agraria la Malina, Lima, Perú. 18-20 p.
- Assman, E. (1970). *Los principios del estudio de rendimiento forestal*. Nueva York, Nueva York: Pergamon Press. 506 p.
- Baldoceca, R.; Pinedo, J.; Castillo, A.; Vidaurre, H. (1991). Silvicultura de la bolaina blanca. *Temas forestales* N°. 10, Pucallpa, Perú. 38 p.
- Bárbaro, L. A. & *et al* (2019). Importancia del ph y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. INTA. Argentina. 11p.
- Baur, G. (1964). *La base ecológica de la selva tropical gestión*. Nueva Gales del Sur, Australia: Ministerio de Conservación, Comisión Forestal de New South País de Gales. 499 p.
- Bitton, G., Lahav, N. y Henis, Y., (1974). Movement and retention of *Klebssiella aerogenes* in soil columns. *Plant and Soil* 40, 373-380.
- Black, C. A. (1975). *Relaciones suelo-planta*, tomo II; Ed. hemisferio sur. 90p.
- Blanco, Antonio. (2004.). *Química biológica* (7a. ed.). Buenos Aires: El Ateneo.
- Brady, N. y Weil, R. (1999). *La naturaleza y las propiedades de los suelos*. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey.
- Castellanos, J. Z. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Segunda edición. Intagri, S. C. México. 226p.

- Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (1991). Pochote: *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand, especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No 172. 44 p.
- Chávez, E. y Fonseca, W. (1991). Teca: *Tectona grandis* L. f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico N°.179. 47 p.
- Chavarría, N., Tapia, A., Soto, G. y Virginio, E. (2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. Revista InterSedes, 13(26), 85-105. En línea: (<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/2991>)
- Cooperación Técnica del Gobierno Suizo (COTESU). (1991). Silvicultura de la bolaina. Pucallpa, Perú.
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (1993). Claves para el suelo taxonomía. 9 a edición. Washington, OC, de Recursos Naturales Servicio de Conservación. 332 p.
- Dighton, J., Jones, H., Robinson, C. y Beckett, (1997). The role of abiotic factors, cultivation practices and soil fauna in the dispersal of genetically modified microorganism in soils. *Applied Soil Ecology* 5: 109-131.
- Domínguez, G., (1991). La bolaina blanca: En conozcamos nuestras especies nativas N° 3. Lima, Perú. 4 p.
- Donoso, C. (1981). Ecología Forestal: El bosque y su medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Ed. Universitario. 369 p.
- Donahue, R., Miller, W., Shickluna, J. (1981). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Prentice/Hall Internacional. Madrid, España. 624 p.
- Encarnación, F. (1983). Nomenclatura de las especies forestales comunes en el Perú. Urna, Perú. 149 p.
- Estrada, J. (1966). Reconocimiento del estado de fertilidad de los suelos del Huallaga Central. Universidad Nacional Agraria la Malina. Lima, Perú. 5(3): 20 - 25 p.
- Etchevers, J.D. (1991). La función del Laboratorio en el Diagnóstico de las Necesidades de Fertilizantes ADIFAL XIV (44):21-27.
- Fassbender, H. (1975). Química de los suelos. 2da edición. IICA. San José, Costa Rica. 398 p.
- Fassbender, H. (1982). Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 3ra reimpresión. IICA San José, Costa Rica. 422 p.

- Folegatti (2001) Equipo de muestreo para la determinación de la densidad aparente del suelo probado en un Kandiualfic Eutrudox y un Typic Hapludox. *Ciencia Agrícola*. 58: 833-838.
- García, O. (1970). índices de sitio para Pino insigne en Chile. Instituto Forestal. Serie de Publicación No 2, Santiago. Chile. GIL, H. 1995. Elementos de la fisiología vegetal. Relaciones hídricas, nutrición mineral, transporte, metabolismo. Mundi Prensa, Madrid, España. 315 p.
- García, L. A.; Quinke, A. (2012). El Potasio (K) en la Producción de Cultivos de Invierno. Serie Actividad de Difusión No. 677. INIA. Argentina. 9-14 p.
- Gallardo L. j. & *etal* (1982) La materia orgánica del suelo, su importancia en suelos naturales y cultivados. I.O.A.T.O. centro de edafología y biología aplicada excma. Diputación provincial. Edit. Europa artes grañas. S.a. Salamanca. 40p.
- Goyal, S. M. y Gerba, C. P., (1979). Comparative adsorption of human enteroviruses, simian rotovirus and selected bacteriophages to soils. *Applied Environment Microbiology* 38, 241-247.
- Guerrero, H. (1995). Cultivos herbáceos extensivos. Sta ed. Madrid, España. 779 p.
- Guerrero, J. (1996). Agricultura convencional. Tecnología para el manejo de suelos. Edit. R. A. Lima, Perú. 90 p.
- Gros, A. y Domínguez, A., (1992). Abonos guía práctica de la fertilización. 8va. edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 450 p.
- Hairston, A. y Grigal, D. (1991). Influencias topográficas en los suelos y los árboles dentro de las unidades de mapeo simples en una playa de paisaje. *Ecología y manejo forestal*. Holanda 43 (1-2): 35- 45 p.
- Harold, W. (1984). Introducción a la biología forestal. AGT Editor. México.
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. y Nelson, W. (1999). La fertilidad del suelo y los fertilizantes, una introducción al manejo de nutrientes. 6ta. Ed. Estados Unidos. 499 p.
- Herrera M. & Colonia L. (2011). Manejo integrado del cultivo de plátano. En línea: UNALM (https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/Platano/manejo_integrado_del_cultivo_de_platano.pdf).
- Herrick, J.E., Jones, T.L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetra Θ on resistance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1320–1324.
- Holdridge, R. (1987). Ecología basada en zonas de vida. 3 ed. San José, Costa Rica, Servicio editorial CA. 216 p.

- Hubert, M., Courrand, R. (1991). Poda y formación de los árboles forestales.
- Hunnemeter, A., De Camino, R. y Muller, S. (1997). Análisis de desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. San José, Costa Rica. 19- 27 p.
- INTA. (1980). Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa. Clima, geomorfología, suelo, vegetación. Buenos Aires. Argentina. 493p.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1992). Fertilización en diversos cultivos, Santa Fé de Bogotá, Colombia.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) (2007). Informe anual. Sub-Proyecto silvicultura de bolaina en plantaciones y sucesiones secundarias en Ucayali. Programa de ecosistemas terrestres. IIAP, Ucayali. 76 p.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), (1996). Manual de Identificación de Especies Forestales de la sub región Andina. INIA - OIMT. PD 150/91. Lima, Perú. 489 p.
- Intagri. (2018). Disponibilidad de Nutrimientos y el pH del Suelo. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 113. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- Intagri. (2017). Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- Jaramillo, J. (2000). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 613 p.
- Kass, D. (1996). Fertilidad de suelos. EUNED. San José, Costa Rica. 233p.
- Karlen, D. L. et al. (1997). Calidad del suelo: un concepto, definición y marco para la evaluación. Suelo Sociedad de Ciencias de América J. 61:4
- Lal, R. (1996). Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. III. Runoff, soil erosion and nutrient loss. Land Degradation & Development, 7(2), 99-119. En línea: ([https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199606\)7:2%3C99::AID-LDR220%3E3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199606)7:2%3C99::AID-LDR220%3E3.0.CO;2-F))
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos; los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas - posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Trad. Por Antonio Carrillo. Eschborn, Alemania, GTZ. 335 p.
- Lampurlanés, J., Cantero-Maronez, C. (2003). Soil bulk density and penetraon resistance under different llage and crop management systems and their relaonship with barley root growth. Agron. J. 95, 526–536.

- Mostacero, L y Mejía, C. (1993). Taxonomía de fanerógamas peruanas. CONCYTEC, Primera Edición. Trujillo, Perú. 601 p.
- Mustin, M., (1987). Le compost. Ed. François Dubusc. París, 954 p.
- Navarro, P. (1987). Evaluación del crecimiento y rendimiento de *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand en 14 sitios en Costa Rica: índices de sitio y algunos aspectos financieros de la especie. Tesis Mag. Se. Turrialba, Costa Rica., Convenio UCRICATIE. 136 p.
- Navarro, P.; Martínez, H. (1989). *Bombacopsis quinatum* “El pochote” en Costa Rica: Guía silvicultural para el establecimiento en plantaciones. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico N°. 142. 44 p.
- Navarro Pedreño, J., Moral Herrero, Gómez Lucas y Mataix Beneyto., (1995). Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. Alicante. España, 108p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2006). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible. Estudio FAO. Montes, Italia. 351 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2002). El estado mundial para la agricultura y la alimentación. Dirección de información de la FAO. Roma, 248p.
- Proyecto de Capacitación, Extensión y Divulgación Forestal (PCEDF). (1990). Manual de identificación de especies forestales. DGFF. Pucallpa, Perú. 79 p.
- Pozo, E. (2005). Efecto de la fertilización sobre plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* de siete años de edad en la comuna de Máfil, provincia de Valdivia. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 115 p.
- Porta, J.; López Acevedo, M. & Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ª edición, Mundi-Prensa, Madrid, 180p.
- PRONAMACHCS, (1998). Manual de Plantaciones Forestales para la Sierra Peruana. Proyecto Forestería en Microcuencas Altoandinas- FEMAP. Lima, Perú.
- Quintana, J. O.; Blandón, J.; Flores, A.; Mayorga, E. (1983). Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Ithaca, Nueva Yor. Residencial Las Mercedes N° 19-A. Managua, Nicaragua. 60p.
- Ramos, J. (1979). Selvicultura. Sección de Publicaciones. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

- Ramírez, R. (1997). Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos. Primera edición. Fenalce-cena. Sac. Santa fe de Bogota. 24p.
- Reynel, C. *et al.*, (2003). Árboles útiles de la Amazonia peruana y sus usos. Manual de identificación ecológica y propagación de las especies. Universidad Nacional Agraria La Malina, Lima, Perú. 509 p. (<http://www.scribd.com/doc/17139180/caracteristicas-fenologicas-delabolaina>).
- Rizzo, P. (2005). Especies maderables. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de agricultura y Ganadería del Ecuador. (www.especies_maderables.htm).
- Ruiz, S. R.; Sadzawka R. A. (2005). Nutrición y Fertilización Potásica en Frutales y Vides. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. 80 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. FAO y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México.
- Sánchez, P. (1981). Suelos del trópico, constitución y manejo. San José, costa Rica. 634 p.
- Sánchez, V. (2000). Aspectos físicos y químicos del suelo. Facultad de agronomía- Universidad de Concepción. 80- 82 p.
- Sampat, G., S. (1987). Física de suelos, principios y aplicaciones. Editorial LIMUSA. México, D:F, 352 pp.
- SQI-Instituto de Calidad del Suelo. 1996. Indicadores para suelo evaluación de la calidad. Recursos naturales del USDA servicio de conservación. El Estudio Nacional de Suelos Centro / El Instituto de Calidad del Suelo, NRCS, USDA / El Laboratorio Nacional de Labranza de Suelos, Agrícola Servicio de Investigación. EE.UU.
- Soil Survey División Staff (SSDS). (1999). Taxonomía de Suelos. Un sistema básico de clasificación del suelo para la toma y la interpretación de los estudios de suelos. USDA. Agriculture Handbook No 436. 869 p.
- Sotelo, M. y Valdivia, A. (1992). Aptitud de tres especies Forestales para embalaje de cítricos en Selva Central. Revista Forestal del Perú, Vol. 19, N° 2, UNALM - MAG - Lima. 57 - 66 p.
- Soudre, M. (2006). Transferencia tecnológica de plantaciones y manejo de bosques aluviales en Ucayali. Informe final -Programa de ecosistemas Terrestres. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Pucallpa, Perú.
- Sposito, G. (1989). La química de los suelos. Universidad de Oxford. Nueva York, Estados Unidos, 273 p.

- Spurr, S. (1982). *Ecología Forestal*. AGT Editor. México.
- Studdert, G. A. & Echeverría, H. (2000). Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.* 64:1496-1503.
- Taboada M.A. & Álvarez, C. R. (2008) *Fertilidad física de los suelos*. 2da Ed. Editorial facultad de Agronomía. Universidad de buenos aires.
- Terborgh, J. (1973). Sobre la noción de favorabilidad en la planta de la ecología. *American Naturalist*. 107 (956): 481 - 501 p.
- Thomas, G. (1967). Problemas encontrados en los suelos de los métodos de ensayo. En los suelos de pruebas y análisis que de las plantas. Parte 1 Pub. N° 2, Madison.
- Tisdale, S.L., W. L. Nelson, J.D. Beaton y J.H. Havlin. (1993). *Soil Fertility and fertilizers*. 5th Ed. Macmillan. New York.
- Ugalde, L., Vásquez, W. (1995). Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe final. Convenio de Cooperación IDA/FAO-CATIE. Turrialba, Costa Rica. 33 p.
- Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), (2011). Guía de fertilización. ¿Cuál de los tres suelos está más próximo a la saturación? departamento de suelos. Lima, Perú 104 p.
- Valencia A. G. (1999) *Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto*. Chinchiná, Cenicafe-Agro insumos del café. 94p.
- Van Bodegom, A.J., Van Den Berg, J., Van Der Meer, P. (2008). *Plantaciones forestales para la producción sostenible en los trópicos: Cuestiones clave para la toma de decisiones*. Wageningen University & Research Centre. Países Bajos. 26 p.
- Vaz, C.M.P., Hopmans, J.W. 2001. Simultaneous measurement of soil penetraon resistance and water content with a combined penetrometer–TDR moisture probe. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 4–12.
- Villachica, H., Julca, A, Alván, G., Canchucaja, J., Parraga, R. (1993). Evaluación de tres especies forestales de rápido crecimiento para embalaje de frutas. Lima, Perú. 167-169 p.
- Weaver, J., Clements, F. (1989). *Ecología vegetal*. 2da. Edición. Buenos Aires, Argentina. 649 p.
- Whitmore, J. (1998). La importancia social y ambiental de las plantaciones forestales con énfasis en América Latina. *Ciencias Forestales del Trópico*. EE.UU. 255-269 p.

- Wightman, K., Cornelius, J., Ugarte, J. (2006). *Plantemos Madera*. ICRAF technical manual No 4. Perú. 193 p.
- Wild A. (1992) *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, 1045p.
- Wolters, V. (2000). Control de invertebrados del suelo orgánico. Estabilidad de la materia. *Biología y Fertilidad de los Suelos*. 31 (1):1
- Zavaleta, A. (1974). Descripción morfológica y los datos fisicoquímicos de algunos perfiles de suelo. En *Contribución al conocimiento de los suelos del Perú* Rijks universiti Gent, Bélgica.

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 20. Georreferenciación de las parcelas con diferentes sistemas de uso.



Figura 21. Muestreo de suelos para las propiedades físicas y químicas.



Figura 22. Pesado de muestras de suelos para densidad aparente.



Figura 23. Muestreo de suelos para la macrofauna.



Figura 24. Muestreo de suelos para la macrofauna caserío Los Cedros