

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



INFLUENCIA DE SISTEMAS DE USO SOBRE LAS PROPIEDADES DE
LOS SUELOS EN EL DISTRITO DE MONZÓN

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

MAYRA PATRICIA CHAVEZ SOTO

Tingo María – Perú

2023



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°029-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 17 de julio de 2023, a horas 04:00 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:

**“INFLUENCIA DE SISTEMAS DE USO SOBRE LAS PROPIEDADES DE
LOS SUELOS EN EL DISTRITO DE MONZÓN”**

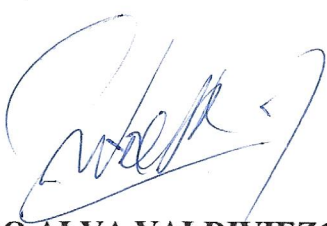
Presentado por el Bachiller: **CHAVEZ SOTO, Mayra Patricia**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

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

Tingo María, 12 de marzo de 2024


Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
PRESIDENTE


Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO


Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO




Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 163 - 2024 - CS-RIDUNAS

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

CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
INFLUENCIA DE SISTEMAS DE USO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN EL DISTRITO DE MONZÓN	MAYRA PATRICIA CHAVEZ SOTO	23 % Veintitrés

Tingo María, 22 de mayo de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

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



INFLUENCIA DE SISTEMAS DE USO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS
SUELOS EN EL DISTRITO DE MONZON

Autor	: Br. Mayra Patricia Chavez Soto
Asesor	: Ing. José D. Lévano Crisóstomo
Programa de Investigación	: Manejo y conservación de suelos
Línea (s) de Investigación	: Evaluación de parámetros fisicoquímicos y biológicos
Eje Temático de Investigación	: Agroforestería comunitario
Lugar de Ejecución	: Caserío Nuevo Rondos, distrito Monzón
Duración	: 6 meses
	Fecha de Inicio : Octubre 2019
	Término : Abril 2020
Financiamiento	: Propio s/. 2 525,60
	FEDU : NO
	Propio : SI
	Otros : NO

DEDICATORIA

A Dios quien supo guiarnos por el buen camino, enseñándonos a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento. Es muy sencillo sentirnos ahogados por los problemas, pero siempre podemos encontrar bendiciones para agradecerte, Dios.

Gracias a mis queridos padres Oscar y Julia; por heredarme el tesoro más grande que es la educación y haberme forjado en la persona con valores que soy, a mis hermanas Katherine y Karen; por el apoyo incondicional, consejos e impulso que me brindaron en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mis queridos hijos, a mi esposo por compartir esta linda experiencia conmigo.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que me acogió en sus aulas; y así lograr estudiar la carrera que me apasiona, logrando culminar con éxito mi formación profesional.
- A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes contribuyeron en mi formación académica.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo, Ing. Jaime Torres García, por el tiempo tomado para la evaluación de mi tesis.
- Al Ing. M.Sc. Lévano Crisóstomo José, docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor del presente trabajo, por su función como mentor y formador, amistad y la desinteresada asistencia en la presente tesis.
- A mi familia; por ser los principales promotores de mí sueño; gracias a ellos por confiar, creer y las palabras de aliento; gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada momento de mi vida, estando en las largas y agotadoras noches.

INDICE

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	Marco teórico.....	3
2.1.1.	El suelo.....	3
2.1.2.	Características físicas del suelo	3
2.1.3.	Características químicas del suelo	8
2.1.4.	Indicadores de calidad biológica del suelo	13
2.1.5.	Clasificación de la fauna del suelo	15
2.1.6.	Inventario de la macrofauna edáfica	16
2.1.7.	Importancia de macrofauna en el suelo	18
2.1.8.	Factores que afectan a la macrofauna del suelo.....	19
2.1.9.	Densidad de macrofauna.....	19
2.1.10.	Diversidad de especies	20
2.1.11.	Cuantificación de la diversidad de especies	20
2.1.12.	Factores que influyen en la densidad y diversidad de la fauna del suelo	22
2.1.13.	Biomasa microbiana	22
2.1.14.	La biodiversidad.....	22
2.1.15.	Diversidad de macrofauna	23
2.1.16.	Riqueza biológica.....	23
2.1.17.	La calidad del suelo	24
2.1.18.	Los sistemas agroforestales (SAF).....	24
2.1.19.	Bosques secundarios	25
2.1.20.	Suelos con ex cicales	26
2.2.	Estado del arte	27
2.2.1.	Investigaciones realizadas	27
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1.	Lugar de ejecución.....	28
3.1.1.	Ubicación política y geográfica	28
3.1.2.	Clima	29
3.1.3.	Zona de vida	29
3.1.4.	Suelo	29

3.1.5. Fisiografía	29
3.1.6. Hidrografía.....	29
3.1.7. Accesibilidad	29
3.2. Descripción de los lugares donde se realizó el muestreo.....	30
3.2.1. Bosque secundario	30
3.2.2. Parcela agroforestal	30
3.2.3. Parcela de leguminosa <i>Inga edulis</i>	30
3.2.4. Parcela con <i>Erythroxylum coca</i>	30
3.3. Tipo y nivel de investigación.....	31
3.3.1. Tipo de investigación	31
3.3.2. Nivel de la investigación.....	31
3.4. Método y diseño de la investigación	31
3.4.1. Método de la investigación.....	31
3.4.2. Diseño de la investigación.....	31
3.5. Materiales, insumos y equipos	31
3.5.1. Materiales.....	31
3.5.2. Equipos.....	31
3.6. Metodología.....	32
3.6.1. Determinación de las propiedades físicas (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) en sistemas de uso en parcelas con bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas <i>I. edulis</i> y parcela con <i>E. coca</i>	32
3.6.2. Determinación de las propiedades químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fosforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas <i>I. edulis</i> y parcela con <i>E. coca</i>	34
3.6.3. Determinación de las propiedades biológicas (diversidad y densidad de macrofauna) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas <i>I. edulis</i> y parcela con <i>E. coca</i>	35
3.7. Variables para evaluar.....	38
3.7.1. Variables independientes.....	38
3.7.2. Variables dependientes	38
3.8. Análisis de datos	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40

4.1.	Determinación de las propiedades físicas (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas I. edulis y parcela con E. coca del suelo	40
4.1.1.	Textura.....	40
4.1.2.	Densidad aparente.....	41
4.1.3.	Resistencia a la penetración	43
4.2.	Determinación de las propiedades químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas I. edulis y parcela con E. coca.....	44
4.2.1.	Reacción del suelo o pH	44
4.2.2.	Materia orgánica	45
4.2.3.	Nitrógeno disponible	47
4.2.4.	Fósforo disponible	49
4.2.5.	Potasio	50
4.3.	Determinación de las propiedades biológicas (diversidad y densidad de macrofauna) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas I. edulis y parcela con E. coca.	52
4.3.1.	Abundancia.....	52
4.3.2.	Biomasa.....	54
4.3.3.	Riqueza o diversidad de especies	56
V.	CONCLUSIONES.....	58
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	59
VII.	REFERENCIAS	60
	ANEXO	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Tamaño de las partículas del suelo.....	5
2. Agrupamiento general de las clases texturales.....	5
3. Densidad aparente y densidad relativa de los suelos de acuerdo con su grupo textural.	7
4. Relación textura/densidad aparente y porosidad del suelo.....	7
5. Niveles de resistencia a la penetración del suelo.....	8
6. Niveles de pH en el suelo.....	9
7. Intervalos de materia orgánica en el suelo.	10
8. Niveles de contenido de nitrógeno.	10
9. Niveles de contenido de fósforo disponible.	11
10. Niveles de contenido de potasio disponible (K ₂ O).	11
11. Capacidad de intercambio catiónico para un pH >5.5.....	13
12. Capacidad de intercambio catiónico para un pH < 5.5.....	13
13. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna.	14
14. Coordenadas UTM de los sistemas de uso en el caserío de Nuevo Rondos.	28
15. Coordenadas UTM del caserío de Nuevo Rondos.	28
16. Métodos para determinar los indicadores físicos.	34
17. Métodos para determinar los indicadores químicos.	35
18. Parámetros biológicos del suelo a evaluar.....	38
19. Esquema del análisis de variancia.	39
20. Textura del suelo de los sistemas de uso en estudio.	40
21. Análisis de varianza para variable densidad aparente del suelo en diferentes sistemas de uso.....	41
22. Promedio de densidad aparente del suelo (g/cm ³) en diferentes sistemas de uso. ...	42
23. Análisis de varianza para la variable de resistencia a la penetración del suelo de diferentes sistemas de uso.	43
24. Promedio de resistencia a la penetración del suelo (Kg/cm ²) en diferentes sistemas de uso.....	43
25. Análisis de varianza para variable reacción del suelo o pH en diferentes sistemas de uso.	44
26. Promedio de reacción del suelo o pH en los diferentes sistemas de uso en estudio.	45

27. Análisis de varianza para la materia orgánica del suelo en diferentes sistemas de uso.	46
28. Promedio de materia orgánica en el suelo (%) de diferentes sistemas de uso.	46
29. Análisis de varianza para variable nitrógeno disponible en el suelo (%) de diferentes sistemas de uso.	47
30. Promedio de nitrógeno disponible (%) en el suelo de diferentes sistemas de uso.	48
31. Análisis de varianza para variable fósforo disponible en el suelo (ppm) de diferentes sistemas de uso.	49
32. Promedio de fósforo disponible (ppm) en el suelo de diferentes sistemas de uso.	49
33. Análisis de varianza para el potasio en el suelo (ppm) de diferentes sistemas de uso.	50
34. Promedio de potasio en el suelo de diferentes sistemas de uso.	51
35. Abundancia de macrofauna (ind/m ²) en el suelo de diferentes sistemas de uso.	52
36. Análisis de varianza para variable abundancia de macrofauna (ind/m ²) en el suelo de diferentes sistemas de uso.	53
37. Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m ²) en el suelo de diferentes sistemas de uso.	53
38. Análisis de varianza para variable biomasa (g/m ²) en el suelo de diferentes sistemas de uso.	55
39. Promedio de abundancia de biomasa (g/m ²) en el suelo de diferentes sistemas de uso.	55
40. Promedio de riqueza específica (S), índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de la macrofauna del suelo de diferentes sistemas de uso.	57
41. Índice de Shannon y Wiener de los dos sistemas de uso del suelo	68
42. Rango de materia orgánica en el suelo	69
43. Niveles de pH del suelo	69
44. Niveles de contenido de nitrógeno	69
45. Niveles de contenido de fósforo	69
46. Niveles de contenido de potasio.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Triangulo textural del USDA.	6
2. Mesofauna del suelo. Collembola: Symphypleona, Entomobryomorpha (A, B y C), Ácari: Mesostigmata, Cryptostigmata (D, E y F), Symphyla (G), Diplura (H) y Thysanoptera.	15
3. Macrofauna del suelo. Chilopoda: Scolopendromorpha, Scutigleromorpha (A y B.), Haplotaxida (C), Gastropoda (D), Opiliones (E), Dictyoptera: Blattaria (F), Orthoptera (G) y Hemiptera: Heteróptera (H).....	16
4. Modelo de trampa de caída. Tomado de Bignell et al., (2012) citado por Cabrera et al., (2017).	17
5. Modelo de muestreo para el inventario de la macrofauna edáfica mediante método estándar lineal y trampas de caída. Tomado de diversidad biológica de Cuba: Fauna del suelo. Cabrera, et al., (2017).....	18
6. Toma de muestra de suelo en zigzag.	33
7. Promedio de densidad aparente del suelo en diferentes sistemas de uso (SUT).	42
8. Promedio de reacción del suelo o pH en los diferentes sistemas de uso.	45
9. Promedio de materia orgánica en el suelo (%) de diferentes sistemas de uso del suelo.	47
10. Promedio de nitrógeno disponible en el suelo (%).	48
11. Promedio de fósforo en el suelo (ppm) de diferentes sistemas de uso del suelo.	50
12. Promedio de potasio en el suelo (ppm) de diferentes sistemas de uso.	51
13. Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m ²) en diferentes sistemas de uso del suelo.....	54
14. Promedio de biomasa (g/m ²) en diferentes sistemas de uso del suelo.	56
15. Vista panorámica del caserío de Nuevo Rondos	71
16. Sistema de uso de la parcela con Erytroxylum coca.	71
17. Sistema de uso de la parcela de bosque secundario.	72
18. Muestreo del suelo para determinar la densidad aparente.....	72
19. Midiendo la resistencia a la penetración del bosque secundario.	73
20. Muestreo de suelos para macrofauna de la parcela de sistema agroforestal	73
21. Análisis de suelos de los cuatro sistemas de uso.	74

RESUMEN

El estudio fue realizado en cuatro parcelas diferenciadas por el sistema de uso (parcela con cultivo de hoja coca, parcela agroforestal, parcela con leguminosa *Inga edulis*, y bosque secundario) que se sitúa en el caserío Nuevo Rondos, distrito de Monzón, teniendo como objetivo evaluar la influencia de cuatro sistemas de uso en las características fisicoquímicas y biológicas en la restauración de tierras en el caserío Nuevo Rondos, distrito de Monzón. El tipo de investigación fue descriptivo. Para la toma de muestras se obtuvo tres submuestras de suelo por parcela en estudio a una profundidad de 30 cm y las calicatas fueron por el método de zigzag, en parcela de un área de 50 m x 25 m, respectivamente. El método de muestreo de la macrofauna de la tierra fue parecido al que recomendó el Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) (Anderson y Ingram, 1993, citado por Pashanasi, 2002). El área de la unidad básica de muestreo fue de 25 x 25 x 20 cm de profundidad.

Los resultados con respecto a las características físicas de los sistemas de uso del suelo presentan una textura desde franco arcillo arenoso en el bosque secundario hasta franco arcilloso en la parcela con *E. coca*, el mayor valor promedio de DA fue en el sistema bosque secundario con 1,79 g/cm³, y el mayor valor promedio de resistencia a la infiltración en la parcela de *E. coca* con 2,20 kg/m². Las características químicas de los sistemas de uso del suelo presentan el mayor valor promedio del pH, materia orgánica nitrógeno disponible, potasio disponible en el bosque secundario con 5,38, 2,24%, 0,11% y 144,40 kg/ha mayor valor promedio en fósforo disponible en la parcela agroforestal con 5,96 ppm. Las propiedades biológicas de los sistemas de uso del suelo presentan un mayor promedio de abundancia y biomasa, riqueza de especies, índice de Shannon-Wiener e índice de equidad de Pielou en la parcela bosque secundario con 684 ind/m² y 34,20 g/m², 11 órdenes, 3,04 y 1,27, podemos añadir que la abundancia de los sistemas de uso en estudio estuvo representada por los órdenes Orthoptera, Hemiptera, Dermaptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Diplopoda, Araneae, Acari, Isopoda, Haplotaxida. Concluyéndose que la restauración de suelos degradados con sistemas agroforestales ejerce un efecto positivo en las características físicas, químicas y biológicas de la tierra.

Palabras claves: propiedades, suelos, diversidad, sistemas, descomponedores, erosión.

ABSTRACT

The study was carried out in four plots differentiated by the system of use (plot with coca leaf cultivation, agroforestry plot, plot with *Inga edulis* legume, and secondary forest) located in the Nuevo Rondos hamlet, Monzón district, with the objective of evaluate the influence of four use systems on the physicochemical and biological characteristics in land restoration in the Nuevo Rondos hamlet, Monzón district. The type of research was descriptive. For sampling, three subsamples of soil were obtained per plot under study at a depth of 30 cm and the pits were used by the zigzag method, in a plot with an area of 50 m x 25 m, respectively. The soil macrofauna sampling method was similar to that recommended by the Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) (Anderson and Ingram, 1993, cited by Pashanasi, 2002). The area of the basic sampling unit was 25 x 25 x 20 cm deep.

The results regarding the physical characteristics of the land use systems present a texture from sandy clay loam in the secondary forest to clay loam in the plot with *E. coca*, the highest average value of DA was in the secondary forest system with 1.79 g/cm³, and the highest average value of resistance to infiltration in the *E. coca* plot with 2.20 kg/m². The chemical characteristics of the land use systems present the highest average value of pH, organic matter available nitrogen, available potassium in the secondary forest with 5.38, 2.24%, 0.11% and 144.40 kg/ha highest average value in available phosphorus in the agroforestry plot with 5.96 ppm. The biological properties of the land use systems present a higher average abundance and biomass, species richness, Shannon-Wiener index and Pielou equity index in the secondary forest plot with 684 ind/m² and 34.20 g/ m², 11 orders, 3.04 and 1.27, we can add that the abundance of the systems used in the study was represented by the orders Orthoptera, Hemiptera, Dermaptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Diplopoda, Araneae, Acari, Isopoda, Haplotaxida. Concluding that the restoration of degraded soils with agroforestry systems has a positive effect on the physical, chemical and biological characteristics of the land.

Keywords: properties, soils, diversity, systems, decomposers, erosion

I. INTRODUCCION

No hay duda de que Perú es un país rico en recursos naturales, pero cuando miramos la riqueza de recursos terrestres, podemos ver que es la más baja de América Latina. La relación hombre-suelo en Perú, para la productividad de alimentos es baja y limitada, y lo es en algunas áreas; por lo tanto, es importante formular una estrategia integral de manejo del territorio para comprender su uso en función de su potencial, valores económicos, ambientales y sociales, conociendo las probabilidades de manejo desde una apta zonificación económica, ecológica, categorizando el vínculo de manejo y ocupación para no provocar conflictos de uso o explotación que casi siempre terminan en conflictos sociales y ambientales en nuestro país.

Año tras año, imágenes satelitales del Proyecto de Monitoreo de la Amazonia Andina (MAAP) revelan avances alarmantes en la deforestación en Perú, concentrada principalmente en Madre de Dios, Amazonas, San Martín, Huánuco y Cusco. La consiguiente reducción de la cubierta forestal es necesario conservar el equilibrio ecológico. Este fenómeno también perjudicará el régimen hídrico, porque la calidad y cantidad del agua es diferente, ahora la sequía está aumentando y el agua está turbia. Además, el impacto sobre los residentes es mayor cuando llueve debido al peor estado del suelo.

Durante 30 años, el Valle de Monzón estuvo dominada por sembríos ilegales: hoja de coca y el tráfico de drogas, que es la fuente básica de ingresos de la población, lo que exige la expansión de las áreas de plantaciones y una extensa deforestación. Esta degradación es causada por el uso excesivo de pesticidas para controlar las malezas durante el cultivo de coca, provocando la erosión de la superficie del suelo.

En la provincia de Huamalíes, específicamente en el distrito de Monzón, instituciones públicas como: la municipalidad mediante de los PIRDAIS (Desarrollo Alternativo Integral y Sostenible); la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas – DEVIDA; han implementado proyectos utilizando la restauración de tierras degradadas a través de la plantación de especies forestales combinadas con sembríos. Sin embargo, la existencia de falta de datos sobre el impacto de estos sistemas agroforestales sobre las características físicas, químicas y biológicas de la tierra.

Ante esto, se formuló la pregunta de investigación: ¿La restauración de suelos degradados bajo distintos regímenes de explotación tiene una consecuencia positiva en las características físicas, químicas y biológicas del suelo? Se concluyó que la restauración de

suelos degradados mediante sistemas agroforestales tiene un impacto positivo en las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Con base en estas consideraciones y la debida importancia de información que contribuya al desarrollo de prácticas sustentables y amigables con el medio ambiente, especialmente para la población rural, impulsan la implementación de este estudio, tratando de confirmar que al menos un sistema de uso tiene un efecto en el características físicas, químicas y biológicas del suelo en el caserío Nuevo Rondos, distrito de Monzón, al respecto se consideran los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Determinar las características de cuatro sistemas de uso en las características física química y biológica en la restauración de suelos en el caserío Nuevo Rondos, distrito de Monzón.

1.2. Objetivos específicos

- Evaluar las característica físicas (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) en sistemas de uso en bosque secundario, parcela agroforestal, parcela con leguminosa *Inga edulis* y parcela con *Erytroxylum coca*.
- Estimar las característica químicas del suelo (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible), en sistemas de uso en bosque secundario parcela agroforestal, parcela con leguminosa *I. edulis* y *E. coca*.
- Determinar las propiedades biológicas (abundancia, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo) en sistemas de uso en bosque secundario parcela agroforestal, parcela con leguminosa *I. edulis* y *E. coca*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. El suelo

La tierra alberga muchas etapas terminales de las etapas de vida, con varios ciclos fundamentales que ocurren, por lo que la continuidad de la vida y la existencia de la Tierra deben estar respaldadas por los siguientes factores: organismos, topografía, clima, rocas y tiempo. El suelo tarda mucho tiempo, miles de años, en formarse. La acción del clima y la biología provoca este proceso. La lentitud de su composición hace que la tierra sea un recurso casi no renovable. Los horizontes del suelo son capas de tejido del suelo que comparten características comunes. Una serie de vistas forman una silueta. Crecen de arriba hacia abajo por el aporte de MO y de abajo hacia arriba por el cambio en la roca. (Ruz, 2018).

Caballero (2015) sostuvo que la tierra es la capa superficial terrestre en donde viven innumerables organismos y crece la vegetación. Producido como resultado del desgaste de rocas bajo la influencia de cambios bruscos de temperatura y humedad, del aire y de los seres vivos, su perfil de horizonte tiene un carácter único y reconocible.

Es una colección de objetos naturales en la superficie terrestre, colocados en un lugar modificado o incluso creado por el hombre, cuyos materiales contienen materia viva y sostienen o son capaces de sostener la vegetación externa. Su límite superior es el aire o el agua poco profunda. Sus bordes varían según los grados de profundidad del agua o zonas sin vegetación (restos) de rocas o hielo. Su límite inferior con la no tierra es quizás el más difícil de determinar. ([USDA], 2014).

2.1.2. Características físicas del suelo

Según Sánchez (2007), las características son condiciones específicas que consignan a la tierra sus propiedades, como textura, estructura, color, composición mineral, DA y verdadera, mientras que las características hacen referencia a cómo se comporta el suelo como resultado de sus características como por ejemplo, la capacidad de almacenar agua, coeficiente de humedad, aireación, porosidad, permeabilidad, etc.

2.1.2.1. Textura del suelo

Es el volumen de arena, limo y arcilla que se expresa como porcentaje. En la fracción mineral de la tierra sólo las partículas con un diámetro inferior a 2 mm es importante edafológicamente (Sánchez, 2007).

La textura de la tierra está determinada por la proporción de arena, limo y arcilla que contiene. Si más minúsculas son las fracciones, más cercana es la textura a un tipo

arcilloso, y cuanto más grandes son las partículas, más cercana es la textura a un tipo arenoso. (Zavaleta, 1992).

$$\% \text{ arena} + \% \text{ limo} + \% \text{ arcilla} = 100\%$$

- **Textura arenosa**

Suelo no cohesivo que se compone únicamente de partículas simples. Las fracciones individuales se ven y sienten con facilidad al tacto. Apriétalo en tu mano mientras esté seco y se soltará fácilmente cuando se libere la presión. Al presionarse mientras está húmedo, forma una forma que se rompe al tocarlo.

- **Textura franco arenosa**

Se compone de tierra con mucha arena, limo y arcilla, los que ocasionan que haya más compatibilidad en las partículas. Los granos de arena se pueden ver con más simplicidad y de fácil sensación al tacto. Al extrudirse en seco, se rompe con facilidad, al extrudirse en húmedo, el patrón resultante se conservara al manipularse con cuidado.

- **Textura franca**

Cualitativamente forma una tierra con una mezcla homogénea de tres componentes estructuralmente diferentes. Es blando o quebradizo, dando un tacto áspero, blando y ligeramente plástico. Al extrudirlo en seco, el molde se conservará íntegro si se maneja con cuidado, al estar húmedo, el molde se manipula con libertad y no se romperá.

- **Textura franco limosa**

Tierra que contiene una proporción prudente de finas fracciones de arena, un pequeña volumen de arcilla y más de la mitad de fracciones son de tamaño limo.

Cuando están secas su apariencia es aterronada, pero los terrones se rompen con facilidad. Al lijar, el elemento se siente suave y parece polvoriento a simple vista. Así estén secos o mojados, conservan su forma al manipularse con libertad, al extrudirlo entre el pulgar y los dedos, no forman una "cinta" sólida.

- **Textura franco arcillosa**

Tierra de textura fina que a menudo se rompe en grumos duros al secarse. Al friccionar la tierra entre el pulgar y los dedos cuando está húmeda, formando una unión que se quiebra con facilidad por su propio peso. El suelo húmedo es plástico y formará moldes que resistirán la manipulación. No se rompe fácilmente al amasarlo a mano, pero forman grumos densos.

- Textura arcillosa

Es una tierra de textura fina que a menudo forma grumos duros al estar seco y es muy maleable y pegajoso al estar mojado. Al presionar la tierra húmeda entre el pulgar y los dedos restantes, se forma una banda larga y flexible.

Tabla 1. Tamaño de las partículas del suelo.

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

Fuente: laboratorio de análisis de suelos de la UNAS

2.1.2.2. Clase textural

La tierra es el producto de mezclar sus partes. Las categorías de textura se basan en distintas asociaciones de arena, limo y arcilla, al combinarlas son casi infinitas. Asimismo, se fijaron solo doce clases texturales primordiales enumeradas en orden de aumento de la partícula fina y relacionada con la tierra denominada (Zavaleta, 1992):

Tabla 2. Agrupamiento general de las clases texturales

Grupos y clases texturales	Clases texturales
Ligeros	Arena
	Arena franca
Mediano	Franco arenoso
	Franco
	Franco limoso
	Limo
Pesado	Franco arcilloso
	Franco arcillo limoso
	Franco arcillo arenoso
Muy pesado	Arcillo arenoso
	Arcillo limoso
	Arcilloso

Fuente: laboratorio de análisis de suelos de la UNAS

Las mezclas de arena, limo y arcilla se describen así:

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

2.1.2.3. Triángulo textural

Lo utilizan quienes requieren describir la conclusión de las evaluaciones de laboratorio del suelo. El triángulo utilizado lo desarrolló el USDA. En la Figura 1 se ve que a la izquierda el porcentaje de arcilla es de 0 a 100%, a la derecha limo de 0 a 100%, y en la parte inferior arena de 0 a 100%, las clases texturales se obtienen del análisis mecánico. Si la mezcla de puntos cae dentro de la categoría textural: el nombre corresponde al de la clase textural más fina (Zavaleta, 1992).

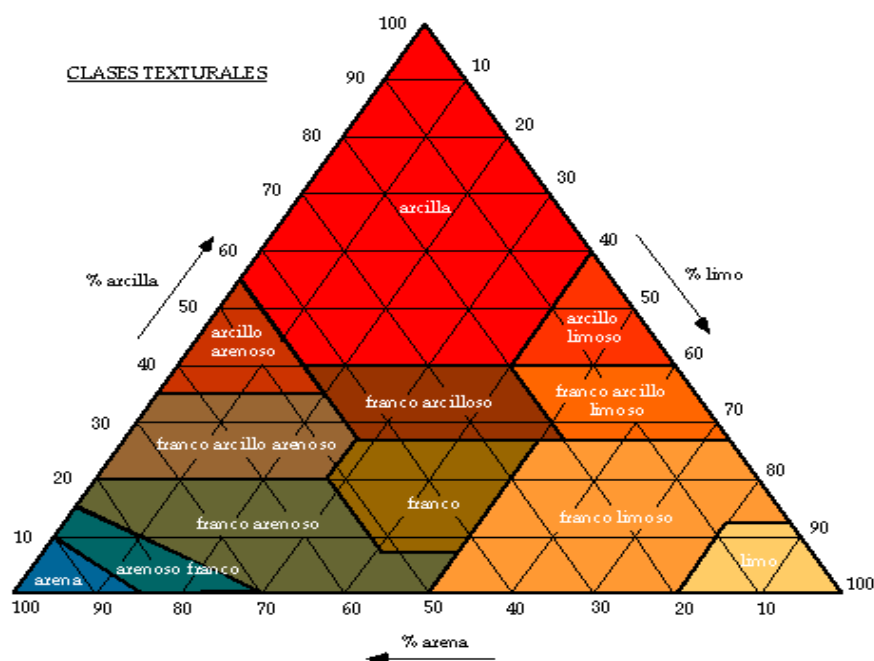


Figura 1. Triángulo textural del USDA.

2.1.2.4. Densidad aparente del suelo

La DA requiere que la tierra este suelo o poroso; valor variable que necesita de la textura, contenido de MO y estructura (Sánchez, 2007). Valdés et al. (2016) afirmaron que la DA de la tierra representa una unidad de volumen de tierra seca con estructuras naturales. Según Vargas y Valdivia (2005), la DA del suelo es una característica que se relaciona con la compactación, la porosidad y el recorrido de agua y aire en la tierra; en tanto, cumple un rol necesario en la evolución de los cultivos agrícolas. Es definido como el vínculo de la masa de tierra secada al horno y el volumen total, incluyendo la cantidad de fracciones y los espacios porosos entre partículas. Las densidades de las fracciones minerales están en tierras

arenosas, arcillosas entre $<1,0$ a $>1,7$ g/cm³ en suelos franco-arcillosos de $1,0$ a $1,5$ g/cm³ y en suelos francos de $1,5$ a $1,7$ g/cm³ (USDA, 1999).

La DA del suelo puede indicar limitaciones de compactación y crecimiento de raíces. La DA típica de la tierra varía de $1,0$ a $1,7$ g/cm³ y generalmente incrementa con la profundidad del perfil (Acevedo y Martínez, 2003). Doran y Parkin (1994) observaron que de esta manera la DA puede servir como indicador de la compactación del suelo y la limitación relativa del crecimiento de las raíces. La Tabla 3 muestra los rangos interpretados de DA y verdadera según grupos estructurales.

Tabla 3. DA y DR de los suelos de acuerdo con su grupo textural.

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

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

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

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

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

Con base en lo anterior, DR es un valor estable (debido a que el volumen de sólidos no puede variar), ya que DA es más variable (por la inestabilidad y soltura de la tierra). Así, la tierra recién sembrada tendrá un valor de DA más bajo, y la misma tierra luego de cosechar tendrá un valor de DA más alto, en especial si fue trabajada con máquinas pesadas.

2.1.2.5. Resistencia del suelo a la penetración

La FAO, 2020, concluyó que en los suelos se puede observar pérdida de C orgánico y estabilidad estructural, mayor sensibilidad a la compactación del suelo, mientras que tierras con mejor características estructurales y menor resistencia a la infiltración tendría una mejor resistencia a factores que afectan el comportamiento de descomposición y tierras inestables estructuralmente de agregados han sido tierras compactadas. Para el USDA, 1999, citado por Huamán, (2021) a medida que incrementa el espesor de tierra, generalmente incrementa la resistencia mecánica y disminuye la porosidad de la tierra, lo que limita la evolución de propiedades esenciales de las raíces. La oposición del suelos se encuentra entre los alcances bajos $>2 \text{ g/cm}^3$, medios g/cm^3 y altos o suficientes $<2 \text{ g/cm}^3$.

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

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

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

2.1.3. Características químicas del suelo

Cuenta con el contenido de macro y micronutrientes, el pH y la CIC. Un equilibrio entre estos tres elementos proporcionaría suficiente sustrato para el mejor crecimiento de sembríos (Ramírez, 2013).

Determina el vínculo suelo-planta, la calidad del agua, las reacciones, agua y nutrientes disponibles y la vida microbiana. Algunos indicadores incluyen macro y micronutrientes, MO, CO lábil, pH, CE, capacidad de adsorción de fosfato, CIC, cambios de MO, N total y nitrógeno mineralizable.

2.1.3.1. Reacción del suelo (pH)

Probablemente es la característica química con mayor importancia de la tierra como forma de cultivar plantas expresada en pH. Es una característica que de forma indirecta daña las fases químicas, nutrientes disponibles, fases biológicas y la actividad microbiana (Sánchez, 2007).

Respecto al pH, determinada el nivel de adsorción de iones (H^+) por las fracciones de la tierra y define el grado de acidez o alcalinidad; también, daña la solubilidad, movilidad, componentes del suelo y contaminantes inorgánicos disponibles. (FAO, 2020).

Tabla 6. Niveles de pH en el suelo

Interpretación	Rango
Extremadamente ácido	< 4,5
Fuertemente ácido	4,6 – 5,4
Moderadamente ácido	5,5 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 – 8,5
Fuertemente alcalino	>8,5

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.1.3.2. Materia orgánica

La materia orgánica lo compone elementos de origen biológico que están en la tierra, y los residuos vegetales son el material principal de la MO de la tierra. (Fassbender, 1975). La MO de la tierra es producto de la degradación química de excretas animales y microbianas, residuos vegetales o de la degradación después de su muerte. Suministra energía y alimento a los organismos de la tierra, y es materia prima para formar de coloides orgánicos. (Jaramillo, 2002).

El humus constituye entre el 65 y el 75 % de la MO del suelo mineral. El suelo mineral se refiere a suelos con un contenido de MO inferior al 20% y constituye el 95% de la tierra del planeta. A la tierra con mayor proporción de MO se le llama suelo orgánico. El contenido medio de MO en el suelo cultivable varía de 1% a 6%. (Brady, 1984).

La MO presenta diferentes grados de descomposición y composición, como componentes lábiles (hidratos de carbono, lignina, proteínas, taninos, ácidos grasos) o húmicos (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y sustancias húmicas). MO mejora parámetros físicos como el almacenamiento de agua y la formación de agregados, aumenta la CIC y retiene cationes y micronutrientes esenciales que promueven el crecimiento de las plantas. (FAO, 2020).

Tabla 7. Intervalos de MO en la tierra.

Nivel	Rango (%)
Bajo	< 2
Medio	2 a 4
Alto	>4

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.1.3.3. Nitrógeno del suelo

La proporción de N disponible en los suelos está limitada por la dinámica y los ciclos biogeoquímicos del propio suelo. El N puede llegar al suelo mediante el aporte de MO (excremento y desechos de sembríos) y procesos de fijación de bacterias en la atmósfera (Sánchez, 1981). El estado del clima afecta de forma significativa la cantidad de nitrógeno en la tierra; al aumentar la temperatura, reduce la proporción de N; al aumentar la humedad, incrementa la cantidad de N. La pérdida de N con mayor importancia son: producción de cultivos, lixiviación, volatilización, desnitrificación y fijación de amonio. (Navarro, 2003).

Tabla 8. Niveles de contenido de nitrógeno.

Nivel	Rango (%)
Bajo	Menor de 0,1
Medio	0,1 – 0,2
Alto	Mayor de 0,2

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.1.3.4. Fósforo disponible del suelo

Clasificada en P inorgánico, derivado del desgaste del lecho rocoso mediante el proceso de erosión, y P orgánico, que encontramos en el humus y la MO. La proporción de P total en la tierra, representada como P_2O_5 , algunas veces rebasa el valor de 7 ppm. La mayor parte del P de la tierra no pueden ser utilizadas por las plantas por a su alta insolubilidad; para ser asimilable debe encontrarse en la solución de la tierra como $H_2PO_4^-$ o HPO_4^- . La absorción del P por los cultivos sería normal a pH bajo, es decir, cuando la solución de la tierra tiene un grado importante de acidez, ya que la forma HPO_4^- asimila mejor. (Navarro, 2003).

Sánchez (1981) también mencionó que lo que contiene este elemento está relacionado con lo que contiene el MO y la textura de la tierra, con un promedio de 180 mg/kg. Mientras tanto, el componente está fijado en el suelo. El P está dentro de los compuestos estructurales y energéticos de las plantas (como las semillas), pero es difícil de obtener porque

es muy reactivo en el suelo y forma sustancias químicas poco solubles, especialmente en suelos ácidos, este aporte necesita de la fase de meteorización de rocas y contribución de compost. (SAGARPA, 2012).

Tabla 9. Niveles de contenido de fósforo disponible.

Nivel	Fósforo (ppm)
Bajo	Menor de 7
Medio	7 – 14
Alto	Mayor de 14

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.1.3.5. Potasio disponible del suelo

Esto se forma por la disolución y desgaste de rocas que tienen minerales de potasio, a esto hay que sumarle los elementos obtenidos por el desgaste de restos vegetales y animales. El contenido de potasio en la tierra es relativamente alto. El contenido de K_2O necesita de su textura. El potasio es un nutriente con mucha importancia para los organismos vivos. Las hortalizas necesitan una gran cantidad de K para cubrir los requerimientos de N. El K cumple un rol importante al activar muchas enzimas. También se ve afectada el equilibrio hídrico y desarrollo de meristemas, asimismo interviene en procesos metabólicos que aportan al desarrollo vegetativo, crecimiento, maduración y calidad de los frutos, estos cambios en la proporción del K se ve afectada por pérdidas intensas: cosecha, lixiviación y erosión. (Navarro, 2003).

El K en forma de ion K^+ , su concentración es función del K, está presente en la estructura estratificada de la arcilla (SAGARPA, 2012). Además, es la sustancia más necesaria en la fisiología vegetal, ya que forma parte de los tejidos, ya que actúa como no componente de la estructura básica esencial y en forma iónica neutraliza los ácidos orgánicos producidos en el proceso metabólico. (Navarro & Navarro, 2003).

Tabla 10. Niveles de contenido de potasio disponible (K_2O).

Nivel	Rango (kg/ha)
Bajo	Menor de 300
Medio	300 – 600
Alto	Mayor de 600

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

2.1.3.6. Capacidad de intercambio catiónico

Es la sumatoria de cationes de cambio (H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , etc.), compone la capacidad total de cambio (CTC) de la tierra. Los suelos con más CIC tienen más disposición de almacenar nutrientes para sembríos (Guerrero, 2000). La CIC depende de la composición de tierra y de lo que contiene el MO. Cuanta más arcilla y MO haya en la superficie, mayor será la capacidad de intercambio. Es necesario el contenido de arcilla ya que estas fracciones minúsculas cuentan con un alto vínculo superficie-volumen. Los distintos tipos de arcilla cuentan con diferentes valores de CIC (Ferrerías et al., 2007).

La CIC es una de las características de mayor importancia de la tierra, sus cationes intercambiables dañan la estructura de la tierra, la actividad biológica, el estado del agua y el gas, las fases genéticas en la tierra y su composición. El Ca es el de mayor abundancia, en tanto que los niveles de otros componentes varían por el estado de la tierra. El IC en la tierra se ve influenciada por: cationes en la solución de la tierra y en la superficie de minerales y coloides orgánicos. (Lavelle et al., 1997).

Factores de CIC

Son varios los que hacen que la tierra tenga una capacidad de intercambio catiónico definida, entre ellos:

- La medida de partículas, al ser más pequeña la partícula, la capacidad de cambio será más grande.
- Clase de cationes cambiables (monovalentes, divalentes)
- pH, en tierras ácidas predominan H^+ , Al^{+++} , en las tierras alcalinas prevalecen las bases, básicamente el Na^+ y en los neutros el Ca^{++} (Zavaleta, 1992)

Importancia de la capacidad de intercambio catiónico

- Controla la disponibilidad de nutrientes para los sembríos: Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , entre otros.
- Define el rol de la tierra como purificador natural al aceptar el almacenamiento de componentes contaminantes que se incorpora a la tierra
- Intervienen en la etapa de floculación, dispersión de arcilla y evolución de la disposición y estabilidad de los agregados (Ferrerías et al., 2007).

Tabla 11. CIC para un pH >5.5.

Niveles de CIC ≥ 5.5	
Nivel	CIC (meq/ 100 g de suelo)
Bajo	< 12
Medio	12 – 20
Alto	>20

Fuente de laboratorio de análisis de suelo de la UNAS.

Tabla 12. CIC para un pH < 5.5.

Niveles de CIC ≤ 5.5	
Nivel	CIC (meq/ 100 g de suelo)
Bajo	<4
Medio	4 - 30
Alto	>30

Fuente de laboratorio de análisis de suelo de la UNAS.

2.1.4. Indicadores de calidad biológica del suelo

2.1.4.1. Macrofauna del suelo

Obran en un espectro más amplio de tiempo y espacio que los individuos más minúsculos. La mayor parte caracterizada por etapas largas de vida (más de un año), baja tasa de propagación, desplazamientos lentos y escasa disposición de expansión. Desde el punto de vista alimentario, esto incluye herbívoros, detritívoros y carnívoros. (Brown et al., 2001).

La macrofauna son los grandes invertebrados que forman la parte orgánica del suelo e incluyen aquellos visibles a simple vista que miden más de 2 mm de longitud. Los animales grandes se desplazan de forma activa por la tierra y crean galerías donde viven. Este grupo incluye isópodos, calcáreos, diplópodos, arácnidos, moluscos y hormigas, Isopteros, Coleopteros y oligoquetos (lombrices de tierra). (Ramírez y Trujillo, 2003).

Estos organismos son necesario por su acción en las siguientes fases:

- Depredan los microbios.
- Modifican la estructura de la tierra.
- Descomponen la MO.
- Mezclan la MO degradada con el suelo.

- Aumenta la composición de agregados; una fase que mejora la característica física de la superficie y proporciona hábitat para otras comunidades, algunas de las cuales incluyen: arácnidos, isópodos, miriápodos, himenópteros, coleópteros y gasterópodos.

Lo integran animales de cuerpo ancho mayor a 2 mm (Master, 2004) y perteneciente a diferentes Filos, Clases y Órdenes (Tabla 13).

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

Phylum	Clase	Sub-Clase	Orden	Nombre común
Annelida	Clitellata	Oligochaeta	Haplotaxida	Lombriz
Artrópoda	Arachnida	-	Araneae	Araña
		-	Coleóptera	Escarabajo
		-	Díptera	Mosca
		-	Hemíptera	Chinches
	Insecta	Pterygota	Hymenóptera	Avispas
		-	Homóptera	Chicharra
		-	Isóptera	Termitas
	Crustácea	-	Orthoptera	Grillos
		Eumalacostraca	Isópoda	Cochinillas
	Miriápoda	Chilopoda	Scolopendromorpha	Ciempies
		Diplopoda	Julida	Milpies
Nemátoda	Adenophorea	-	Mermithida	Nemátodos
Mollusca	Gasteropoda	Orthogastropoda	Pulmonata Cuvier	Caracol

Mediante su actividad física (mezcla de mantillo y tierra, elaboración de estructuras y corredores, fortalecer la tierra) y metabólica (uso de recursos orgánicos utilizables, desarrollo de relaciones mutuamente beneficiosas y antagónicas), participan en muchas fases. Al descomponer las fracciones, formar gránulos fecales y estimular la actividad de los microbios, interfieren en el recorrido de la MO y los nutrientes. Al combinar la tierra con fracciones orgánicas y la productividad de gránulos fecales mejoran la agregación a medida que se redistribuyen la MO y los microorganismos. También cambian la aireación, la infiltración y la textura creando galerías y llevando tierra desde debajo del perfil a la superficie y mezclándola. (Máster, 2004).

2.1.5. Clasificación de la fauna del suelo

Fragoso et al., (2001) clasificó en concordancia al tamaño adulto y forma de vida, estas están dividida en:

2.1.5.1. Microfauna del suelo

Son invertebrados acuáticos de menos de 0,2 mm de largo y 0,1 mm de diámetro que están en el agua entre fracciones de tierra. Son animales (incluidos los protozoos) que miden menos de 1 mm de diámetro.

2.1.5.2. Mesofauna del suelo

Esto incluye organismos de hasta 4 mm de longitud y de 0,2 a 2 mm de diámetro. Su hábitat es la maleza y el interior de la tierra. La Figura 2 muestra algunos de los organismos encontrados en la clasificación de la mesofauna de la tierra. La mesofauna de la tierra está involucrada en las fases de desgaste de la MO, aceleración y reutilizar nutrientes, especialmente en la mineralización de P y N. (García-Álvarez y Bello, 2004).

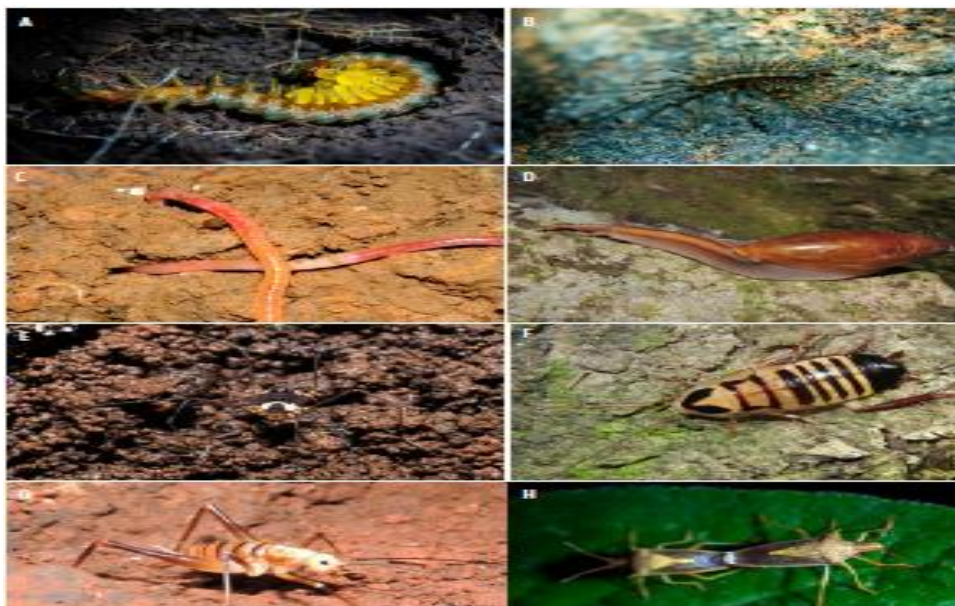


Fuente: Cabrera, et al. (2017)

Figura 2. Mesofauna del suelo. Collembola: Symphypleona, Entomobryomorpha (A, B y C), Ácari: Mesostigmata, Cryptostigmata (D, E y F), Symphyla (G), Diplura (H) y Thysanoptera.

2.1.5.3. Macrofauna del suelo

Esto incluye los invertebrados que miden 10 mm o más de largo y 2 mm de ancho que son visibles al ojo humano y viven en o sobre la tierra (hojarasca). La Figura 3 muestra algunos invertebrados pertenecientes a la macrofauna terrestre.



Fuente Fauna del suelo. Cabrera, et al. (2017).

Figura 3. Macrofauna del suelo. Chilopoda: Scolopendromorpha, Scutigleromorpha (A y B.), Haplotaenidae (C), Gastropoda (D), Opiliones (E), Dictyoptera: Blattaria (F), Orthoptera (G) y Hemiptera: Heteroptera (H).

2.1.6. Inventario de la macrofauna edáfica

2.1.6.1. Recolección por transecto lineal

Anderson e Ingram (1993) datos citados en Cabrera et al. (2017) utilizaron la metodología lineal estándar propuesto por el Programa Internacional de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF) para inventariar la macrofauna del suelo, y un resumen del método es el siguiente:

- Disponer de 8 a 10 cantos monolitos de 25 x 25 x 30 cm de profundidad en cada zona y distribuirlos aleatoriamente en diagonal cada 5 metros, incluyendo marcar un cuadrante de 25 x 25 cm. Una vez marcada cada roca, comience a excavar.
- Obtener todo el contenido del suelo y colocarlo en bandejas o plásticos grandes de polietileno para cuantificar y recabar de forma manual toda la macrofauna visible utilizando pinzas y cepillos.
- La macrofauna recuperada se coloca en un frasco de plástico con tapa, que puede ser pequeño o mediano, que contiene un 4% de formol para conservar las lombrices y un 70-75% de etanol para conservar la macrofauna.

- Cada frasco grande de animales debe estar etiquetado y la etiqueta debe contener cierta información como número de rocas, ubicación, fecha y tipo de ecosistema.
- Para estudiar la distribución vertical de la fauna del suelo, se separaron monolitos y se recogieron en capas de 0 - 10, 10 - 20 y 20 - 30 cm. La maleza es incluida en capas de 0 a 10 cm o identificarse como una capa separada.
- El suelo excavado deberá refundirse en el cuadrante expuesto.

2.1.6.2. Recolección mediante trampas de caída o pitfall

Bignell et al., (2012) citado por Cabrera et al., (2017) son trampas útiles y muy efectivas basadas en contenedores profundos que se utilizan para recolectar invertebrados que habitan en la follaje. La figura 4 observamos un boceto de la trampa.

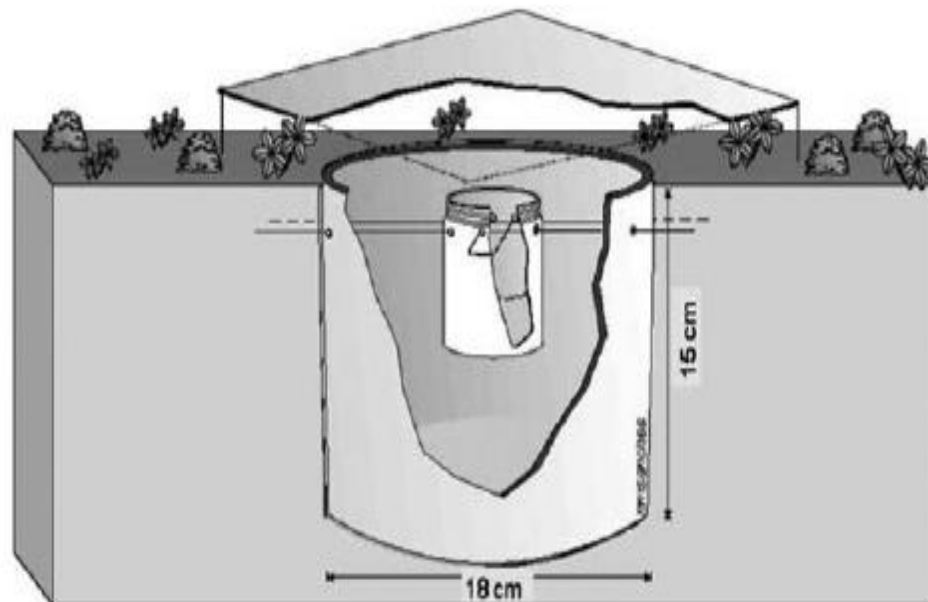


Figura 4. Modelo de trampa de caída. Tomado de Bignell et al., (2012) citado por Cabrera et al., (2017).

En resumen, Cabrera et al (2017) mostraron un método de recolección mediante trampas como se describe a continuación (figura 4):

- Utilice el apoyo de la pala para cavar un hoyo en el suelo hasta poder enterrar el recipiente (vidrio, botella mediana de plástico, etc.) encima de la superficie.
- Coloque la trampa en el hoyo, llene los lados vacíos con tierra para que el borde de la trampa quede al nivel de la tierra. Si cae tierra en la trampa, retírela con la mano.

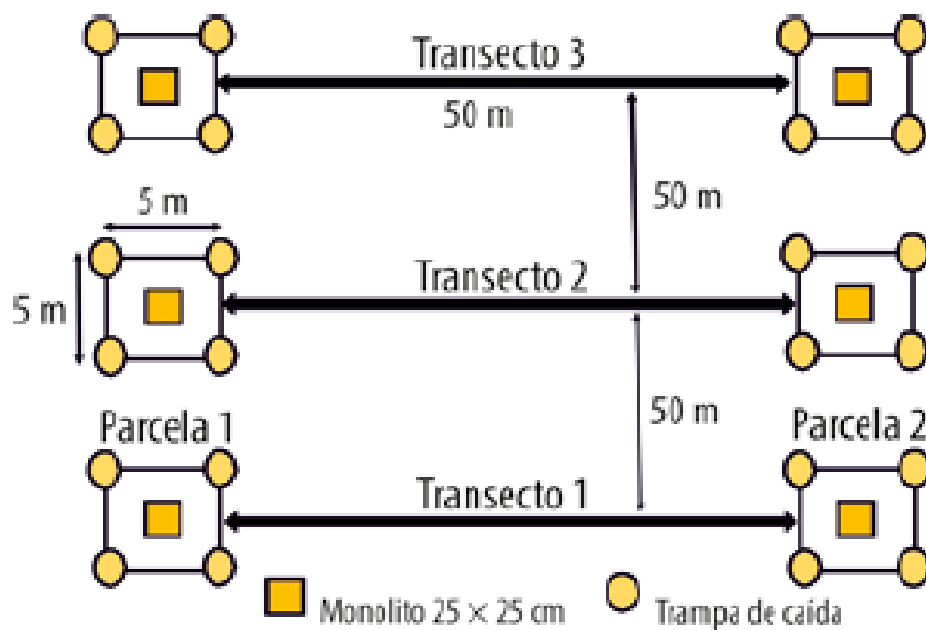


Figura 5. Modelo de muestreo para el inventario de la macrofauna edáfica mediante método estándar lineal y trampas de caída. Tomado de diversidad biológica de Cuba: Fauna del suelo. Cabrera, et al., (2017).

2.1.7. Importancia de macrofauna en el suelo

Es importante para la producción de agroecosistemas (agricultura, ganadería, silvicultura, etc.) La macrofauna únicamente no se convierte en plagas o afectan la reproducción de patógenos, estos invertebrados pueden alterar el interior del suelo y la superficie de desarrollo vegetal (Lavelle et al., 1994, citado por Brown et al., 2001). Ruiz (2015) agregó que los macroinvertebrados rompen, mueven y componen la tierra para formar galerías, nidos y lugares de nacimiento.

Geissert et al. (2013) afirmaron que la diversidad biológica y la riqueza genética de los organismos de la tierra conservan el equilibrio biológico y neutralizan los efectos nocivos de las plagas y otros organismos no deseados.

2.1.7.1. Funciones importantes de los grupos de la macrofauna edáfica

Cabrera et al. (2011) señalaron que los grupos funcionales desempeñan las funciones de regular las fases del suelo, las funciones y el equilibrio de los ecosistemas e incluyen ingenieros del suelo, detritívoros, herbívoros y depredadores.

- **Los ingenieros del suelo:** El cometido específico de la tierra es cambiar las características físicas, promover la composición y estructura de agregados, el movimiento y

retención de agua e influir en el intercambio de gases. Los principales consumidores de MO en este grupo son las lombrices de tierra (Haplotaxida), hormigas (Hymenoptera: Formicidae) y termitas (Isoptera) (Lavelle, 2000, citado por Cabrera et al., 2011).

- **Los detritívoros:** Se nutren de hojas caídas, trabajan juntas para descomponer y promover el proceso de descomposición, aumentando la exposición de las comunidades microbianas a los ataques. En este grupo se encuentran los milpiés (Spirobolida, Polydesmida), cochinilla (Isópoda) y caracol (Archaeogastropoda). (Lavelle, 1997, citado por Cabrera et al., 2011).

- **Los herbívoros:** alimentados por materiales vivos vegetales y animales, creando la riqueza y calidad de estos elementos en la tierra. En este grupo se encuentran escarabajos (Coleoptera), insectos (Hemiptera) y otras familias de insectos; también están depredadores como arañas (Araneae, Opiliones, Pseudoscorpionida) y ciempiés (Geophilomorpha, Scopenendromorpha). (Lavelle, 1997, citado por Cabrera et al., 2011).

La fauna del suelo más relevante son las lombrices por su alta densidad y biomasa. Desempeñan un papel primordial en la estructura de la tierra, debido a que sus canales ayudan a que las raíces de los sembríos penetren y sus deposiciones almacenan agua y contienen alimentos beneficiosos. Las lombrices de tierra también cumplen un rol necesario en la salud de la tierra al reducir la incidencia de patógenos de la tierra. (Ruiz, 2015).

2.1.8. Factores que afectan a la macrofauna del suelo

El reparto de la macrofauna se realiza por diversos factores del clima del suelo, incluyendo la precipitación, la temperatura y la humedad del suelo (Cabrera y López, 2018). La actividad humana (agricultura) puede cambiar las características fisicoquímicas y alterar la estructura de las comunidades biológicas, ocasionando una gran reducción de la actividad de los animales del suelo que desempeñan actividades necesarias como la endurecimiento de la MO, la estabilización de los agregados, porosidad y ciclo de alimentación (Souza et al., 2016). Cabrera et al. (2011) mencionan, en zonas de desarrollo agrícola, el número de animales macrobentónicos es muy raro debido a cambios provocados por la intervención humana.

2.1.9. Densidad de macrofauna

Se utilizó un cuadrado de 0,25 mx 0,25 m que indica una extensión de 1/16 m² para evaluar la densidad en ind/m². Los datos de cada sitio de muestra es multiplicada

por 16 para calcular la cantidad de individuos por m^2 . (Correia y Oliveira, 2000, cito por Valdez, 2021).

2.1.10. Diversidad de especies

Ñique (2010) indica que incluye la variación de especies en una zona definida y tiene dos principios:

- **Riqueza de especies:** hace referencia a la cantidad de especies que hay en un lugar definido.

- **Heterogeneidad:** hace referencia a la riqueza de especies y cantidad de cada grupo en un lugar definido.

2.1.11. Cuantificación de la diversidad de especies

Ñique (2010) mencionó que la definición de variedad en un hábitat incluye dos principios: el que tiene más antigüedad es el medido por la riqueza de grupos en un área determinada, y el otro es la heterogeneidad, hace referencia a la riqueza y abundancia de especies.

2.1.11.1. Índice de diversidad de Simpson (D)

Ñique (2010) indica que el índice determina la posibilidad de que dos individuos elegidos de forma aleatoria de una población se mantengan en el mismo grupo. Este índice es útil para el seguimiento ambiental porque mide los cambios en las especies más comunes debido a ciertos cambios. La fórmula es como se muestra a continuación:

$$D = \sum_{i=1}^S (p_i^2) \quad (1)$$

Donde:

p_i = cantidad de individuos total de la muestra que pertenecen la especie ($p_i = n_i/N$)

n_i = abundancia de la especie i

N = Número total de individuos en toda la comunidad

Simpson mide el dominio en una comunidad, así que resta 1 para definir la variedad.

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S (p_i^2) \quad (2)$$

Simpson cree que el valor de la diversidad está entre 0 y 1. Cuando está cerca de 1, significa más ventaja, cuando está cerca de 0, significa poca ventaja. (Ñique, 2010).

2.1.11.2. Índice de Equitatividad o uniformidad (E)

Calcula la proporción de variedad verificada en cada muestra en concordancia con la diversidad máxima deseada, que varía de 0 a 1; muestra que 1 todas las especies son iguales (Magurran, 1989, citado en Reyes y Torres, 2009). La fórmula es expresada así:

$$E = J = \frac{H'}{\ln S} \quad (3)$$

Donde:

J = índice de equidad de Pielou

$\ln$ = logaritmo natural

S = Riqueza de especies

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

Ñique (2010), indica que este es el estándar de medición para especies que pertenecen a especies extraídas al azar de la sociedad. El índice se caracteriza por la sensibilidad de los cambios de abundancia de especies raras. Por lo tanto, es adecuado para la investigación de protección de animales. La fórmula se muestra a continuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \log(p_i)) \quad (4)$$

Para calcular se utiliza diferentes logaritmos: $\ln$, $\log_{10}$ y $\log_2$.

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \ln(p_i)) \quad (5)$$

Donde:

H' = Diversidad de especies

S = Número de especies

P_i = Cantidad de individuos total de las muestras que pertenecen la especie

$\ln$ = Logaritmo natural

Al calcular la variedad con distintos logaritmos, los datos obtenidos cuentan con las siguientes unidades:

$\ln$: bels naturales /individuo ó nats/individuo

$\log_{10}$: decits/individuo

$\log_2$: bits/individuo (digito binario).

Los valores de este índice cambian en escala de 1.5 a 3.5, en excepciones llegan o sobrepasa 4.5 (Ñique, 2010).

2.1.12. Factores que influyen en la densidad y diversidad de la fauna del suelo

Las medidas de empleo en la productividad agrícola afectan directa e indirectamente a los animales terrestres, lo que se refleja en su densidad y variedad. El impacto directo es la mecanización del suelo (arado, compactación) y el impacto indirecto de la agricultura está relacionado con la estructura del hábitat y los recursos alimentarios asociados a los cambios. (Correia y Oliveira, 2000).

El empleo de cubierta es necesaria, desplaza los desechos originales, al igual que los alimentos y el hábitat, lo que contribuye a una mayor disponibilidad de alimentos y la presencia de nuevos hábitats que ayudan a aumentar la consistencia y variedad de macroinvertebrados de la tierra. (Takeda, 1995, citado en Correia y Oliveira, 2000). Asimismo, el empleo de agroquímicos resulta supresor sobre la fauna de la tierra, reduciendo la densidad y diversidad, quitando cobertura y reduciendo su hábitat; los pesticidas tienen efectos negativos tanto en animales grandes como medianos. (Wardle, 1995 y Gupta, 1994 citado por Correia y Oliveira, 2000).

2.1.13. Biomasa microbiana

La cantidad general de microorganismos viables en una proporción definida de tierra o elemento. Carga microbiana total en un clima determinado (Cárdenas, 2008). Un autor parecido indicó que la riqueza y biomasa de macrofauna variaba de forma significativa dependiendo de la tierra (tratamiento) y la profundidad (capa) utilizada, obteniéndose la mayor en la capa superficial (hojarasca 0-10 cm) Población y biomasa.

La existencia de macrofauna requiere enteramente del empleo de la tierra y de la consistencia de la condición natural del sistema biológico, incluida la radiación solar (temperatura), la viscosidad relativa, la arquitectura vegetal (excreción) y el compromiso de desgaste de plantas. (Porta et al., 1999, citado por Merino, 2021).

2.1.14. La biodiversidad

La diversidad natural, indica a la diversidad en cada entidad orgánica viva y la arquitectura del entorno en el que existe. Las estructuras agroforestales cuentan con mayor potencial para monitorear la biodiversidad. Cuenta con una rica diversidad vegetal,

distintas capas de vegetación y una alta densidad de árboles, esencialmente igual que la selva (Pagiola y Ota, 1997).

Delgado y España (1999) sostienen que la diversidad natural e caracterizada por coordinar gradualmente de la cantidad y estructura del material natural presente en los sistemas biológicos. Doran y Lincoln (1999) tienen un marco de calidad de vida que se considera en diferentes etapas de relación, desde poblaciones de especies y redes hasta escenarios naturales.

2.1.15. Diversidad de macrofauna

La macrofauna terrestre incluye organismos visibles a simple vista sin vertebrados y que habitan exclusiva o principalmente en tierra o sobre ella. Estos invertebrados (gusanos, termitas, insectos, milpiés, ciempiés, arácnidos, rastreadores, pollos aturdidos, grillos, cigarras, caracoles, escorpiones, chinches, orugas y mariposas) recuerdan 1 000 elementos para un solitario medio ambiente, densidad de población y biomasa superior a 1.000.000 de individuos y más de 1 tn por acre. Estas entidades orgánicas realizan distintas funciones en los sistemas biológicos y se clasifican en distintas categorías al utilizar distintas medidas útiles (Etter, 1991). Aunque Franco (1989) demostró que hay una gran cantidad de artículos que pueden medir la diversidad en áreas locales, entre aquellos que hacen suposiciones sobre los datos, tienen el mejor impulso independientemente de la alteración en los límites de Shannon-Weiner. Según el archivo Equity y el de Simpson Heterogeneity, esta última estima la posibilidad de que dos personas seleccionadas al azar en una zona local infinita tenga una ubicación con animales similares. Creadores similares señalan que en el contexto de la preservar la naturaleza los precios se basan en la variedad de la riqueza de especies, por lo que es primordial emplear documentos que estimen las especies menos numerosas, es decir, las especies raras, y por ello utilizan Shannon-Wiener.

2.1.16. Riqueza biológica

Franco (1989) señaló que la riqueza de especies es intrínseca a la verdadera idea de que la riqueza de especies es la cantidad de especies dado la cifra de poblaciones o territorios y su valor es independiente del volumen de la muestra.

2.1.16.1. Diversidad alfa

Halffer y Col. (2001) afirmaron que la proporción de especies en una zona local determinada es considerada igual. Manejando un enfoque equilibrado, para este sistema la terminación diversidad alfa se restringe al orden de formas de grupos de marcadores superpuestos en el espacio similar de la escena. Esta zona es la unidad de prueba, es decir, la parcela de vegetación en la que habitualmente nos centramos para comparar con muestras de la zona local. Franco (1989) muestra que se utilizó distintos índices para analizar la diversidad, podemos: Estimar medidas de heterogeneidad.

2.1.17. La calidad del suelo

Debe deducirse como la utilidad de la tierra para un objetivo determinado durante un amplio período de tiempo (Carter, 1997). Esto ha sido reconocido de diversas maneras desde que el concepto se hizo popular en la última década (Karlen et al., 1997). Este concepto se relaciona en función de la tierra. Esto cuenta con propiedades de fertilidad, producción potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Al mismo tiempo, la calidad de la tierra es un medio de salud del recurso. Aunque sea importante, la ciencia de la tierra no es el idóneo para determinar con claridad la calidad del contenido comprensible.

Jiménez y González (2006) mencionan que la calidad se considera un medio ideal para percibir o saber en qué condiciones de descomposición se encuentra operando la tierra en un tiempo específico y qué disposiciones son imprescindibles para el trabajo principal, ya que facilita datos sobre los aspectos físicos del proceso del suelo, uso y registro de créditos químicos y naturales son signos tempranos y fuertes de cambios en la calidad de la tierra proporcionados por el sistema de creación. Larson y Pierce (1991) creen que la calidad de la tierra es esencialmente la capacidad de trabajar de acuerdo con las demandas del entorno natural y la clara interacción del clima con el entorno externo, sugiriendo un enfoque revisado para el cambio de calidad.

2.1.18. Los sistemas agroforestales (SAF)

La agrosilvicultura es una manera de manejo del suelo en la que las plantas leñosas perennes se relacionan de forma biológica con cultivos y/o animales; el objetivo principal es variar y mejorar la productividad respetando los principios sostenibles. (Riascos, 2006). La agrosilvicultura también desempeña un rol necesario en la protección de la biodiversidad en paisajes boscosos y fragmentados al proporcionar hábitats y recursos para

especies de plantas y animales; conservar la conectividad del paisaje (facilitando así el traslado de animales, semillas y polen); y disminuir el riesgo de supervivencia de los habitantes de los bosques; reduce la frecuencia e intensidad de los incendios, puede reducir el impacto de los residuos adyacentes y proporcionar una zona de amortiguamiento para áreas protegidas (Albrecht y Kandji, 2003). Implica el uso de múltiples métodos que componen la agronomía, la silvicultura y la ganadería para conseguir una gestión adecuada del conjunto y la interdependencia de cada elemento.

Tres principales elementos agroforestales, plantas de madera perenne (árboles), la agricultura y los animales (césped) determinan las siguientes categorías. Estas categorías se basan en la naturaleza y la existencia de estos ingredientes: los árboles del sistema de circulación agrícola y la composición de los cultivos (año (planta anual o perenne); Sistemas de silvopastoriles: consisten en árboles y césped alternativos para conservar la productividad de animales y el sistema de purificación agrícola Sistema: consisten en árboles alternativos, culturas estacionales y céspedes para apoyar. Los objetivos de la agroforestería son: variedad de la producción; mejora de la agricultura rotacional; aumento del nivel de MO del suelo; fijación de nitrógeno en la atmósfera; reciclaje de nutrientes; cambios microclimáticos; optimización de la productividad del sistema, cumplimiento del concepto de producción sostenible; se basa en objetivos y planes establecidos. El principio y tipo de cultivo de la tierra con mecanismos variables y flexibles permiten a los agricultores diversificar la producción de su finca o terreno, obteniendo de una sola forma madera, leña, frutos, plantas medicinales, forrajes. En cuanto a otros productos agrícolas (Riascos, 2006).

2.1.19. Bosques secundarios

Los bosques secundarios actualmente están atrayendo interés de investigación porque son vegetación leñosa establecida después de que la tierra ha sido abandonada debido a la conversión agrícola (TCA, 1999), la mayoría de los cuales pasan por varias etapas sucesivas vegetal conocidas localmente como purmas. La composición florística es quizás una de las cualidades más llamativas, pues suele indicar el número de especies de plantas, así como el número de individuos que representa cada especie. (Buendía, 1996). Una secuencia de especies nativas pioneras es la primera en surgir porque tienen características de colonización, por lo que crecen rápidamente, invierten mucha energía en la producción de biomasa y, por lo tanto, tienen mucha producción anual de semillas y alta amplitud de colonización. Llamadas especies estratégicas de vida “r”, sobreviven en condiciones duras y

entornos muy alterados. Cuando continúa la sucesión, se sabe que la variedad tiende a ser mayor en las sociedades más antiguas, mientras que la diversidad tiende a ser menor en las sociedades recién formadas. (Odum, 1983)

2.1.20. Suelos con ex cicales

El suelo ex cocal ha sufrido extensos procesos de pérdida de elemento superficial, nutrientes y de estructura original por las actividades humanas. El desgaste de los agregados de la tierra, su transporte y/o eliminación a otros lugares es un fenómeno normal y continuo, pero la intervención humana acelera estos procesos y complica drásticamente el equilibrio y la regeneración de estos suelos pueden seguir utilizándose durante mucho tiempo con rendimientos aceptables.

En el Alto Huallaga, 194 mil Has son favorables para sembríos puros, 59 mil Has para sembríos perennes, 418 mil Has para pastos, 737 Has para bosques y 1,966 millones Has de suelos protegidos. Los suelos agrícolas se distribuyen proporcionalmente en la superficie, no siendo recomendable elegir cultivos anuales en laderas (cerros) con una pendiente superior al 30% (terrenos aptos para silvicultura y protección). En esta parte del Alto Huallaga, gran parte de la tierra ha sido degradada y erosionada por la migración agrícola, principalmente el cultivo de coca, la deforestación (perdida forestal indiscriminada) para cultivar cultivos anuales como yuca, maíz, papaya cultivada en surcos a lo largo de las laderas, y tierras sin cubierta vegetal. Estas tierras ocupan más del 50% del área. (Zavala et al., 1985). Estas tierras son ácidos con saturación alta de Al y bajo contenido de P son las especies de *Pteridium aquilinum* "Macorilla", *Andropogon bicomis* "Rabo de Zorro", *Imperata brasiliensis* "Cashruesha o Chicula" (Huamaní et al., 1998).

Una investigación realizada por la UNAS muestra que la erosión de sembríos de coca alcanza las 40 tn por Has, lo que en 2006 resultó en la pérdida de aproximada 680 mil toneladas de suelo fértil, esto significa que cada año se degrada más suelo. Más de 680 Has de tierra dejarán de ser aptas para la agricultura dentro de unos años. Cada año se deforestan en el país entre 200 mil y 300 mil Has de bosque, citando datos de INRENA y DEVIDA, según los cuales los árboles "representan entre el 26% y 27 % de toda la deforestación, proporción que aumenta rápidamente en las cuencas cocaleras de cuales las áreas dañadas son Tingo María, el valle del río Apurímac y Ene y el valle del Monzón. (INFOREGION, 2007).

2.2. Estado del arte

2.1.1. Investigaciones realizadas

Aguilera (2000) menciona que la MO de tierra daña la reacción del suelo (pH) por la presencia de distintos grupos reactivos que dan acidez, la base de variación y el contenido de N que se encuentra en los desechos orgánicos de la tierra. WONG et al. (2000) incubaron dos tierras con diferentes contenidos de carbono orgánico del suelo (COS), Oxisol (4.5% COS) y Ultisol (2.6% COS), podar ramas de árboles verificándose en los primeros 14 días un incremento en pH de 4,8 a 5,8 en el Oxisol y de 4,1 a 6,8 en el Ultisol junto a una reducción del Al intercambiable. Para Ultisol, el mejor factor de pronóstico de la variación de pH es el contenido básico general de las ramas. El autor señala que el mecanismo de neutralización de acidez es causado por un complejo de protones e iones orgánicos.

Carrasco (1992) indicó que la MOS contiene grupos carboxilo y grupos fenólicos que actúan como ácidos débiles y suelen reducir el pH de la tierra. También afirma que en suelos que son casi neutros o contienen altas cantidades de carbonatos y bicarbonatos, el pH disminuirá a medida que aumenta la presión parcial de CO₂ en la atmósfera terrestre. El CO₂ de la atmósfera se mezcla con el agua para formar ácido carbónico, que se descompone y produce H⁺, acidificando el suelo. De acuerdo con lo anterior, cuando el suelo es ácido, la MO de la tierra suele elevar el pH, mientras que cuando el suelo es ácido suele bajar el pH del suelo alcalino.

Martínez et al. (2004) mencionaron que en Haploxeroll de Chile central moderadamente alcalino; después de cuatro años de labranza cero, se observó una reducción del pH cerca de la superficie terrestre.

Magdoff et al. (1987) evaluaron hasta qué punto los suelos están protegidos contra la variación de pH y encontraron que en tierras con niveles más bajos de COS, los cambios en el COS resultaron en mayores variaciones en la capacidad amortiguadora. En tierras con alto COS, estos cambios resultan sólo en pequeños cambios en la capacidad de amortiguación. La CIC es una característica química de la tierra que está relacionada con su fertilidad. Necesita del contenido de coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio) y MOS. (Aguilera, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Fue desarrollado en cuatro parcelas diferenciadas por el sistema de uso (bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas (*I. edulis*) y parcela con *E. coca*). La zona en estudio está ubicada en el caserío de Nuevo Rondos, distrito de Monzón, provincia de Huamalíes, región Huánuco, situada al margen izquierdo del río Patay Rondos, a la entrada al valle del Monzón. Presenta una población de 67 habitantes distribuida en 40 varones y 27 mujeres (Comisión De Descentralización, Regionalización, Gobiernos Locales y Modernización de la Gestión Del Estado, 2021).

Tabla 14. Coordenadas UTM de los sistemas de uso en el caserío de Nuevo Rondos.

Sistema de uso	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
Bosque secundario	379449	8972490	781
Parcela agroforestal	379555	8972516	754
Parcela con <i>I. edulis</i>	379531	8972574	774
Parcela con <i>E. coca</i>	379568	8972452	751

3.1.1. Ubicación política y geográfica

Políticamente el caserío Nuevo Rondos corresponde al distrito de Monzón, provincia Huamalíes y del departamento de Huánuco. Geográficamente la ubicación del caserío de Nuevo Rondos, presenta las coordenadas siguientes:

Tabla 15. Coordenadas UTM del caserío de Nuevo Rondos.

Caserío	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
Nuevo Rondos	380133	8971924	761

3.1.2. Clima

En Nuevo Rondos, el verano es de corto tiempo, fresco y nublado; el invierno es corto, frío, parcialmente nublado y todo el año es seco. Durante año, la temperatura cambia de 2 °C a 17 °C y en algunas ocasiones baja a menos de -1 °C o sube a más de 19 °C.

3.1.3. Zona de vida

Acorde con la distribución de la zona de vida de Holdridge (1986) la zona evaluada pertenece al área de vida de transición: Bosque Muy Húmedo – Premontano Tropical (bmh-PT) a Bosque Muy Húmedo – Subtropical (bmh-S) (INRENA, 1995).

3.1.4. Suelo

El sitio de estudio tiene una estructura franco a franco arcilloso, un nivel de pH de fuerte a ácido moderado, bajo contenido de MO, N, P y K, y el área está cubierta por suelos de formación residuales. Dependiendo de las propiedades de la tierra, el suelo profundo es apto para cultivos limpios como arroz (de regadío), plátano, frutales, pastos, cacao y especies nativas. Sin embargo, las tareas de manejo del territorio permiten el desarrollo de cultivos perennes como el cacao y el café; en las montañas encontramos que son bajas en MO y por tanto poco fértiles, boscosas y protectoras; en estas zonas se estableció el cultivo de cacao asociado a *I edulis*. (Proyecto Especial Alto Huallaga – [PEAH], 2012).

3.1.5. Fisiografía

El terreno de la zona de análisis es de terraza plana no inundable con algunos desniveles, olas y plataformas fluviales que cubren una superficie aproximada de 50,80 ha.

3.1.6. Hidrografía

La red hidrográfica caracterizada por tener como río principal el río Rondos, el cual es afluente del río Monzón, el cual a su vez se extiende por unos 8,5 km para ser afluente por la margen izquierda del río Huallaga.

3.1.7. Accesibilidad

El acceso al área en el que se desarrolló la evaluación es por tierra, saliendo de la ciudad de Tingo María hacia el C.P de Cachicoto por la carretera asfaltada hasta

el km 16 después de cruzar el puente ubicado en el río Rondos que lleva el mismo nombre, con dirección a la izquierda con carretera afirmada a una distancia aproximada de 500 metros en dirección al caserío de Corvinilla Baja, llegando a la parcela de propiedad de la Sra. Eulalia.

3.2. Descripción de los lugares donde se realizó el muestreo

3.2.1. Bosque secundario

Parcela de bosque secundario como chacra en descanso de 15 años aproximado, con un área de 2 ha, con pendiente de 25% y con una cobertura de amplia diversidad natural de especies como herbáceas, arbustivas, parásitas, epifitas y arbóreas las que vienen siendo cortadas en su totalidad, existiendo muy pocas aéreas protegidas ubicadas a la margen izquierda del caserío Nuevo Rondos con destino al río.

3.2.2. Parcela agroforestal

Parcela instalada de 7 años aproximadamente, con un área de 2 ha, de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) y *Guazuma crinita* (bolaina blanca) con distanciamiento de 3,20 m entre plantas alrededor de la parcela, con pendiente de 15% y con una cobertura de hojarascas, como componente agrícola se tiene el *Theobroma cacao* (cacao), ubicadas a la margen izquierda del caserío Nuevo Rondos con destino al caserío de Corvinilla Baja.

3.2.3. Parcela de leguminosa *Inga edulis*

Terreno de unos 8 años, área de 1 hectárea, distancia de 3,20 m de calle, 2,30 m entre plantas, 10% de pendiente, cubierto de maleza, ubicado en la margen izquierda del caserío Nuevo Rondos hacia el caserío de Corvinilla Baja.

3.2.4. Parcela con *Erythroxylum coca*

Terreno de unos 10 años, área de 0.5 hectárea, distanciado 0,20 m como calle y 0,80 m entre plantas, con pendiente de 20% y cobertura de malezas y vegetación homogénea de *Pteridium aquilinum* (macorilla), ubicadas a la margen izquierda del caserío Nuevo Rondos hacia el caserío de Corvinilla Baja.

3.3. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Es descriptivo ya que describen las propiedades fisicoquímicas y biológicas de cada sistema de aplicación, correlacional y causal, ya que las características fisicoquímicas se relacionan con la macrofauna presente en el sistema de aplicación.

3.3.2. Nivel de la investigación

Es probabilístico, el muestreo fue aplicado aleatoriamente para conseguir información representativa.

3.4. Método y diseño de la investigación

3.4.1. Método de la investigación

Descriptivo – comparativo y explicativo.

Es de alcance descriptivo - comparativo, explicativo, ya que se describe y compara entre diferentes sistemas de uso de la tierra, es explicable porque se explican las relaciones causa-efecto entre variables independientes y dependientes.

3.4.2. Diseño de la investigación

Es transversal ya que los datos se recolectaron en un tiempo determinado, a través del muestreo y evaluación del suelo, la compactación, la DA y la macrofauna de la tierra se evaluaron durante un tiempo de seis meses.

3.5. Materiales, insumos y equipos

3.5.1. Materiales

Wincha de 50 m, libreta de campo, fichas de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, cuadrado muestreador, cilindro muestreador, machete, pala recta, lupa, papel secante; se utilizó agua destilada, alcohol y formol en los frasquitos como una forma de resguardar las muestras de la macrofauna en la investigación.

3.5.2. Equipos

Cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS), balanza de precisión, estufa, pHmetro y penetrómetro.

3.6. Metodología

Para desarrollar la investigación se consideró los trabajos de gabinete – campo y campo – gabinete

3.6.1. Determinación de las propiedades físicas (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) en sistemas de uso en parcelas con bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca*

3.6.1.1. Reconocimiento del terreno

Se reconoció el lugar y se hicieron las coordinaciones con las autoridades del caserío de Nuevo Rondos y con los pobladores con la finalidad de explicar el motivo de mi visita y el trabajo a realizar, se les explicó las tareas a realizarse en el área de intervención.

3.6.1.2. Ingreso al lugar de trabajo (caserío Nuevo Rondos)

Consistió en programar una serie de actividades en campo, incluyendo la obtención de equipos y elementos que se utilizaron, previo reconocimiento del caserío de Nuevo Rondos, se coordinó con los dueños de las parcelas ocupando el área del terreno con sus cultivos y se validaron las características del terreno a través de los mapas temáticos.

3.6.1.3. Georreferenciación de los sistemas de uso

Se ubicaron y se georreferenciaron los cuatro sistemas de uso, con el fin de llevar a cabo el trabajo de campo respecto al estudio según la metodología planteada.

3.6.1.4. Determinación del número de muestras por sistemas de uso

Se realizaron en función al sistema de uso ya que por cada parcela se tuvo zonificar y homogenizar el área de terreno para realizar el muestreo al azar en forma de zigzag, a lo largo de 25 metros.

3.6.1.5. Muestreo de suelo

Se ubicaron los cuatro sistemas de uso (bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca*), en el caserío de Nuevo Rondos, luego fue realizado el muestreo respectivo. El muestreo del suelo se realizó al

azar en forma de zigzag y se obtuvo un promedio de 25 submuestras utilizando una pala recta, las cuales se almacenaron en costal de yute y luego se homogeneizaron para conseguir una muestra de 1 kg, obteniendo así 3 muestras por cada sistema de uso, haciendo un total de 12 muestras, posteriormente se colocaron en bolsas plásticas y etiquetadas para su identificación.

Las muestras se secaron por separado al aire libre bajo techo. Después del secado, se frota a través de un tamiz de 2 mm y se almacenan en bolsas de polipropileno etiquetadas, que evitan que pierdan sus propiedades químicas y físicas. Luego la muestra se lleva al laboratorio. (Figura 6).

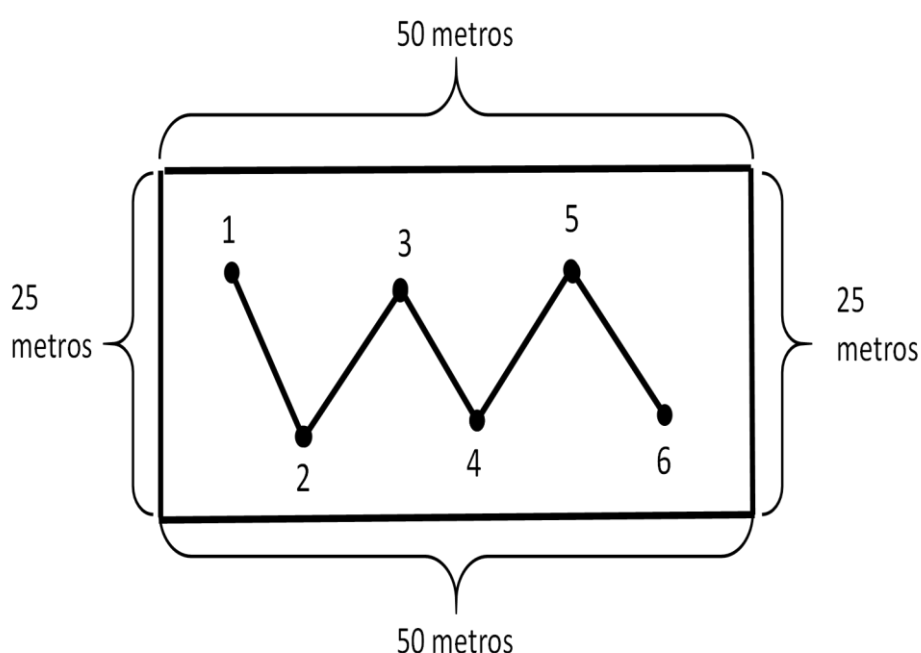


Figura 6. Toma de muestra de suelo en zigzag.

3.6.1.6. Estimación de los indicadores físicos

La definición de los indicadores físicos de la tierra se realizó de acuerdo con la siguiente Tabla 16 y describiendo la metodología de cada una de ellas:

- **Textura del suelo**

Fue definida en el Laboratorio por el método del hidrómetro de Bouyoucos.

- **Densidad aparente**

Para determinar la densidad, en la primera capa del perfil del suelo, se introduce verticalmente con un martillo un cilindro metálico hasta cubrir todo el perfil

del suelo; luego saque el cilindro con la muestra de tierra, se enraza los bordes del cilindro metálico con una navaja y luego se llevaron al laboratorio de suelos. Registrar las medidas y peso del cilindro, así como el peso fresco de la tierra; luego colocar la muestra de tierra en una estufa a 105°C por 72 horas, se registra el peso seco del suelo y se determina la DA a partir de los datos obtenidos a través de la fórmula:

$$\text{Densidad aparente} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen del suelo}} \quad (6)$$

Tabla 16. Métodos para determinar los indicadores físicos.

Indicadores físicos	Método
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Volumen, peso húmedo y seco del suelo
Resistencia a la penetración	Método directo (penetrómetro)

Fuente: (Moscatelli *et al.*, 2005); (Acevedo *et al.*, 2005)

- Resistencia a la penetración del suelo

Para definir la resistencia del suelo se introdujo el penetrómetro en el suelo en forma vertical, luego se registraron las lecturas en kg/cm².

Esto incluye recopilar toda los datos necesarios sobre la zona evaluada, incluida datos del suelo, sistemas utilizados en la zona, mapas base de la zona y una comprensión general de toda la zona donde se establecen los sitios de muestreo de estudio. Los indicadores evaluados directamente en campo se separan de los evaluados en laboratorio.

3.6.2. Determinación de las propiedades químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fosforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca*

Se determinaron el pH, MO, N total, P disponible, K disponible, CIC del suelo, para ello se recogieron las muestras de tierra de los cuatro sistemas de uso (bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca*) (04) en el caserío Nuevo Rondos, donde algunas propiedades fueron determinados en el lugar y los otros se llevaron al Laboratorio, para su respectivo evaluación.

El muestreo de suelo fue realizado a 20 cm de profundidad en un hoyo de medidas de 0,20 x 0,20 cm en cada sistema para su evaluación; los parámetros considerados para el estudio de laboratorio fueron: %MO, CIC, pH, nitrógeno total (Nt), fósforo y potasio disponible. Para definir la fertilidad de los suelos se utilizará la siguiente metodología (Tabla 17).

3.6.2.1. Estimación de los indicadores químicos

La determinación de los indicadores químicos de la tierra se realizó de acuerdo con los protocolos correspondientes y con los métodos analíticos de los análisis correspondientes al laboratorio de suelos. (Tabla 17).

Tabla 17. Métodos para determinar los indicadores químicos.

Indicadores químicos	Método
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo o pH	Método del potenciómetro
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen modificado
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
C.I.C	Método del acetato de amonio

Fuente: (Moscatelli *et al.*, 2005); (Acevedo *et al.*, 2005)

3.6.3. Determinación de las propiedades biológicas (diversidad y densidad de macrofauna) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca*

3.6.3.1. Inspección previa de la zona de estudio

Se reconoció el lugar de evaluación de los sistemas de uso de las parcelas con bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca* y se coordinó con el propietario del predio, para definir hora y fecha para la ejecución del trabajo.

3.6.3.2. Delimitación y georreferenciación de la zona de estudio

Se ha delimitado la parcela de 50 m x 25 m en cada uno de los sistemas de uso de las parcelas con bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca* y debidamente georreferenciados.

3.6.3.3. Muestreo de la macrofauna edáfica

Se utilizó una metodología parecida al que recomendó el Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF), según la método sugerida por Anderson y Ingram, (1993) citado por Cabrera, et al. (2017); Se ha distribuido 10 monolitos (marco de madera de 25 cm x 25 cm) cada 5 metros, en cada sistema de uso de las parcelas con bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca*. El monolito se extrajo fuera del marco con una pala recta con un calado de 30 cm. toda los macroinvertebrados fueron recolectados y se depositados en frascos de vidrio con alcohol al 70% y etiquetados (lugar, sistema de uso del suelo, número de monolito y profundidad).

3.6.3.4. Cálculo de densidad y biomasa de macrofauna de los sistemas de uso del suelo

- Estimación de la abundancia

La densidad se calculó en ind/m² utilizando cubos de madera de 0,25 m x 0,25 m para cada muestra, lo que indica una medida de 0,0625 m². Multiplique la información de cada punto de muestreo por 16 para calcular la cantidad de individuos por m². (Correia y Oliveira, 2000).

- Estimación de la biomasa

La biomasa (g/m²) fue calculada pesando individuos recién hechos de diferentes usos del suelo utilizando balanzas analíticas. Encuentre la biomasa total para cada sistema de uso de la tierra en gramos de peso fresco por m² (g/m²). Los organismos recolectados se conservaron en etanol al 70% y formalina al 4% y luego se identificaron utilizando claves taxonómicas para secuenciar y nivel familiar.

3.6.3.5. Cálculo la diversidad de macrofauna en los sistemas de uso del suelo

Para definir la variedad de la macrofauna edáfica se empleó las siguientes fórmulas:

- Índice de Simpson (D)

Ñique (2010), la fórmula que se empleó es:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S (pi^2) \quad (7)$$

Donde:

pi = Cantidad de individuos total de la muestra que pertenecen a la especie ($pi = ni/N$)

ni = abundancia de la especie i

N = Número total de individuos

- Equidad de Pielou (E)

Fórmula que empleó Magurran (1989) citado por Reyes Y Torres (2009) definida por:

$$E = J = \frac{H'}{\ln S} \quad (8)$$

Donde:

J = índice de equidad de Pielou

H' = índice de diversidad de Shannon - Wiener

$\ln$ = logaritmo natural

S = Número de especies

- Índice de Shannon-Wiener (H')

Ñique (2010) la fórmula que se empleó es:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (pi \ln(pi)) \quad (9)$$

3.6.3.6. Determinación de las propiedades biológicas de los sistemas de uso del suelo

Tabla 18. Parámetros biológicos del suelo a evaluar.

Parámetros físicos	Método de su determinación
Densidad de la macrofauna	Método directo por conteo
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo
Diversidad de especies	Método Shannon – Wiener

3.7. Variables para evaluar

Las variables independientes y dependientes consideradas para la investigación fueron los siguientes:

3.7.1. Variables independientes

- Sistemas de uso de tierras (SUT)

- Bosque secundario
- Parcela agroforestal
- Parcela con leguminosa *I. edulis*
- Parcela con *E. coca*

3.7.2. Variables dependientes

- Indicadores de calidad del suelo

- Propiedades físicas y químicas del suelo
- Densidad de la macrofauna
- Biomasa de la macrofauna
- Índice de diversidad

3.8. Análisis de datos

Con la finalidad de realizar comparaciones entre los promedios de los indicadores fisicoquímicos y macrofauna de la tierra entre sistemas de uso, se utilizó la herramienta estadística denominada análisis de la varianza (Tabla 19); y las diferencias estadísticas significativas se compararon medias con la prueba Tukey, ambos obtenidos mediante una confiabilidad del 95%.

Tabla 19. Esquema del ANOVA.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado
Tratamiento	(t-1)	SCtrat	CMtrat	CMtra/CMee
Error experimental	t(r-1)	SCee	CMee	
TOTAL	tr-1	SCtotal		

t: tratamientos, r: repeticiones, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrado medio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de las propiedades físicas (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca* del suelo

4.1.1. Textura

Los suelos con sistemas de uso bosque secundario, parcela agroforestal y parcela con *I. edulis*, presentaron suelos francos arcillo arenoso, franco y franco limoso, los cuales muestran una combinación parcialmente uniforme, en términos cuantitativos, de las tres fracciones texturales, de características blando o friable, que se deshace con facilidad, además es muy suave y ligeramente plástico. Asimismo, por presentar arcilla muestra mayor cohesión. Sin embargo, los suelos en la parcela con *E. coca* fueron franco arcilloso, lo cual conforman una tierra de fina textura que suele formar terrones duros que se quiebran al estar seco y al estar mojado es muy plástico y pegajoso, según Larson y Pierce (1991) mencionan que la textura varía mucho más lentamente que la estructura, en nuestro caso los suelos del distrito de Monzón se caracterizan en ser suelos pesados donde abundan estructuras laminares y prismáticas, por influencia indirecta de los conflictos de uso, a consecuencia de uso desmedido para el cultivo de la coca, sumado a ello, las altas precipitaciones de esta parte de selva alta.

Tabla 20. Textura del suelo de los sistemas de uso en estudio.

Sistema de uso	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
	%	%	%	
Bosque secundario	54	21	25	Franco arcilloso arenoso
Bosque secundario	28	47	25	Franco
Bosque secundario	38	45	17	Franco
Parcela agroforestal	28	49	23	Franco
Parcela agroforestal	36	39	25	Franco
Parcela agroforestal	44	37	19	Franco
Parcela con <i>I. edulis</i>	24	53	23	Franco limoso

Parcela con <i>I. edulis</i>	36	37	27	Franco arcilloso
Parcela con <i>I. edulis</i>	49	33	18	Franco
Parcela con <i>E. coca</i>	32	41	27	Franco arcilloso
Parcela con <i>E. coca</i>	42	29	29	Franco arcilloso
Parcela con <i>E. coca</i>	38	31	31	Franco arcilloso

4.1.2. Densidad aparente

Los valores encontrados mediante el ANOVA para la densidad aparente (Tabla 21), muestra que hay razones considerables para considerar diferencias significativas entre los promedios de la densidad aparente en la tierra de los sistemas de uso en evaluación. El coeficiente de variación encontrado es de 6.59%, valor aceptable tomando en cuenta la heterogeneidad de los sistemas de empleo de la tierra.

Tabla 21. Análisis de varianza para variable densidad aparente del suelo en diferentes sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Sistema de uso	3	0.66	0.22	87.55	<0.0001
Error	8	0.02	0.0025		
Total	11	0.68			

CV (%): 6.59%

Para la prueba Tukey para los diferentes sistemas de uso de suelo en estudio, existió diferencia significativa entre los promedios de DA (Tabla 22), donde los sistemas de bosques secundario, parcela agroforestal, y la parcela con *I. edulis* mostraron igual significancia estadística en la DA del suelo, aunque el mayor valor lo obtuvo el sistema de uso bosque secundario con 1,79 g/cm³, y en orden sucesivo las otras parcelas con 1,73 g/cm³, 1,72 g/cm³, así mismo observamos que, el sistema de uso de la parcela agroforestal y la parcela con *E. coca* fue el que mostró menor promedio con 1,21 g/cm³. Según lo manifiestan Arskead et al., 1996; citado por USDA (1999) la DA es una característica dinámica que cambia con la estado de estructura de la tierra. Este estado se altera por acción del cultivo; pisado de animales; maquinas agrícola; y el clima, por ejemplo, por impacto de gotas de lluvia y de acuerdo con Acevedo y Martínez (2003) puede utilizarse como indicador de compresión y limitaciones del

crecimiento de las raíces. La DA típica de la tierra varía de 1,0 a 1,7 g/cm³ y generalmente incrementa con el calado de la superficie del perfil.

Tabla 22. Promedio de DA del suelo (g/cm³) en distintos sistemas de uso.

Sistema de uso	Promedio (g/cm ³)	Significancia
Bosque secundario	1,79	a
Parcela agroforestal	1,73	a
Parcela con <i>I. edulis</i>	1,72	a
Parcela con <i>E. coca</i>	1,21	b

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

De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla 22 y figura 7), la Soil Survey Staff (1993) define para la investigación que los sistemas de uso de suelo, sobre todo las parcelas bosque secundario, parcela agroforestal, y la parcela con *I. edulis* se encuentran en suelos francos arcillosos, los cuales suelen ser secos, deficientes en nutrientes y de drenaje moderado y en todo caso los sistemas de uso del suelo al menos las tres mencionadas se encuentran instalados en un suelo restrictivo en nutrientes y por ende una limitación en el buen enraizamiento.

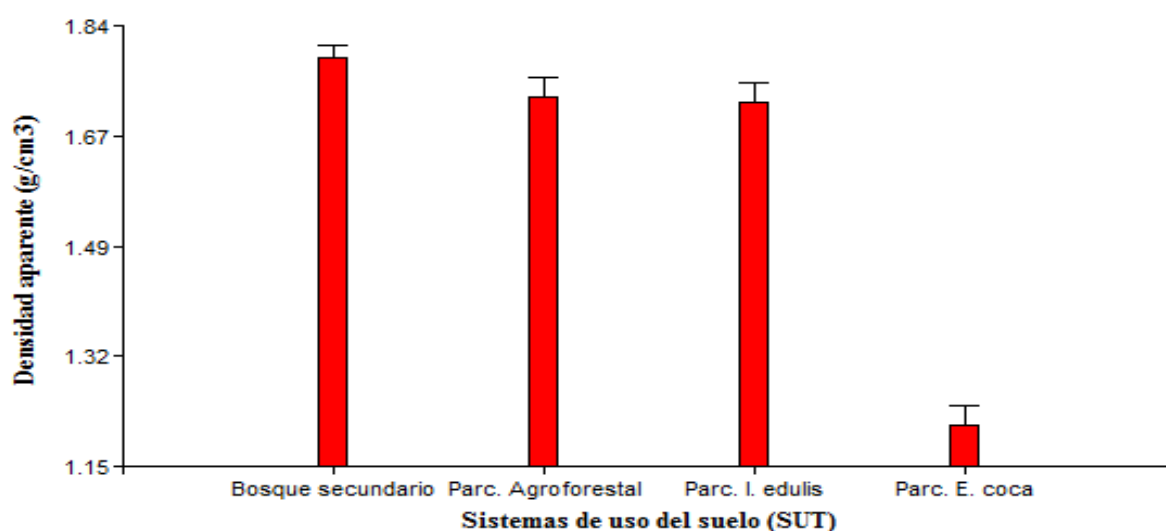


Figura 7. Promedio de DA del suelo en diferentes sistemas de uso (SUT).

4.1.3. Resistencia a la penetración

La Tabla 23 muestra que el ANOVA no tiene razones suficientes para asumir una diferencia significativa entre las resistencias promedio a la infiltración de la tierra de los sistemas de aplicación estudiados.

Tabla 23. ANOVA para la variable de resistencia a la penetración del suelo de diferentes sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Sistema de uso	3	0.32	0.11	2.73	0.1142
Error	8	0.31	0.04		
Total	11	0.62			

CV (%): 9.93%

Aunque no existan diferencias significativas entre los promedios de resistencia a la infiltración de la tierra, los valores están en el rango de 1,80 a 2,20 kg/cm².

Tabla 24. Promedio de resistencia a la penetración del suelo (Kg/cm²) en distintos sistemas de uso.

Sistema de uso	Promedio (kg/cm ²)	Significancia
Parcela con <i>E. coca</i>	2.20	a
Parcela agroforestal	2.07	a
Bosque secundario	1.85	a
Parcela con <i>I. edulis</i>	1.80	a

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

Según Navarro (2003), su valor en este contexto es un índice compuesto de compactación de la tierra, contenido de humedad, textura, tipo de arcilla mineral, contenido de MO y estructura de la tierra. La FAO (2020) concluyó que la susceptibilidad a la compactación del suelo aumenta con el carbono orgánico y la estabilidad estructural cuando se produce la pérdida del suelo, mientras que la tierra con mejor característica estructural tienen menor resistencia a la penetración; según Zerpa (2006) Según el comunicado, si los valores son mayores a 1,4 kg/cm², los tipos de sembríos antes mencionados se sembrarán en suelos restrictivos para enraizar, altos valores encontrados en este estudio indican que estos sistemas

de uso del suelo son compactados y requieren un manejo estricto del suelo para restaurar los valores normales.

4.2. Determinación de las propiedades químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca*

4.2.1. Reacción del suelo o pH

El ANOVA (Tabla 25) proporciona, con un nivel de confianza del 95%, razón suficiente para suponer que hay una diferencia significativa entre los valores medios de reacción de la tierra o valores de pH para los sistemas estudiados.

Tabla 25. ANOVA para variable reacción del suelo o pH en distintos sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Sistema de uso	3	1.38	0.46	34.23	<0.0001
Error	8	0.11	0.01		
Total	11	1.49			

CV (%): 2.74%

Al nivel de confianza del 95% de la prueba de Tukey, hubo diferencias significativas entre los valores promedio de pH de la tierra de los sistemas estudiados (Tabla 26 y figura 8), resultando en dos grupos bien determinados con mayor y menor respuesta de la tierra o pH, el sistema de manejo del bosque secundario, las parcelas agroforestales y las parcelas de *I. edulis* mostraron valores de pH más altos (5,13 a 5,38) propios de suelos muy ácidos, el sistema con *E. coca* tuvo el pH promedio más bajo (4,49) encontrándose en el rango de suelo extremadamente ácido (Tabla 26). Según el USDA (1999), la acidez es generalmente mayor en ambientes lluviosos y los desechos orgánicos son ácidos. Además de esto, el comportamiento humano a través de enmiendas, fertilizantes y estiércol o riego también puede alterar el pH natural del suelo.

Según Fassbender (1987) El pH es probablemente la característica química con mayor importancia de la superficie como fuente de desarrollo de sembríos, ya que afecta decisivamente la disponibilidad de la mayoría de los alimentos, la característica química

y biológica del suelo, Fassbender y Bornemisza (1987) agregaron el valor del pH apto para el desarrollo de los sembríos es de 6,5 a 7,5 valores de pH, pH mayores o menores que este rango causarán problemas tóxicos. Según los valores obtenidos, se puede asegurar de que los tres cultivos se cultivan en suelos muy ácidos.

Tabla 26. Promedio de reacción del suelo o pH en los distintos sistemas de uso en estudio.

Sistema de uso	Promedio	Significancia
Bosque secundario	5,38	a
Parcela agroforestal	5,21	a
Parcela con <i>I. edulis</i>	5,13	a
Parcela con <i>E. coca</i>	4,49	b

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

En la Figura 8, observamos los valores de pH o reacciones de la tierra determinada en los sistemas de uso en evaluación.

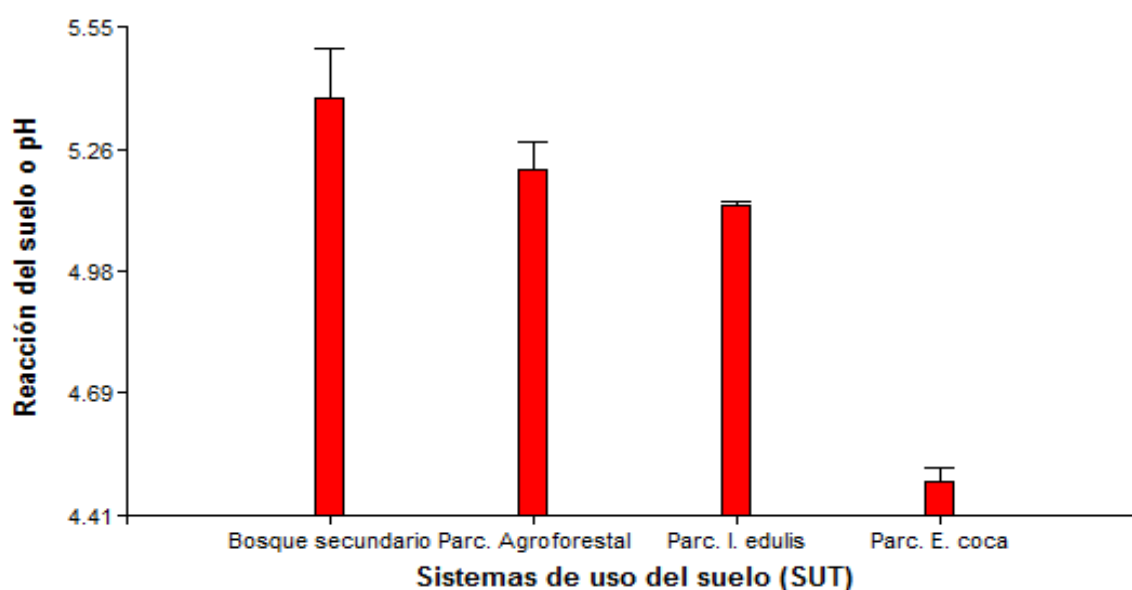


Figura 8. Promedio de reacción de la tierra o pH en los distintos sistemas de uso.

4.2.2. Materia orgánica

Para el ANOVA (Tabla 27), a un 95% de confianza hay razones considerables para aceptar diferencias significativas entre los promedios de MO en la tierra de los sistemas de manejo en evaluación. Presenta un coeficiente variación de 14,68%, es decir la influencia ambiental fue relativamente mínima.

Tabla 27. ANOVA para la MO de la tierra en diferentes sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Sistema de uso	3	3,09	1,03	41,04	<0,0001
Error	8	0,20	0,03		
Total	11	3,29			

CV (%): 14.68%

En cuanto a la prueba de medias (prueba de Tukey), existen diferencias significativas entre los valores medios de MO en el suelo en los sistemas de uso investigados.

Tabla 28. Promedio de MO en el suelo (%) de diferentes sistemas de uso.

Sistema de uso	Promedio (%)	Significancia
Bosque secundario	2,24	a
Parcela agroforestal	2,02	a
Parcela con <i>I. edulis</i>	1,47	b
Parcela con <i>E. coca</i>	0,93	c

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

De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla 28 y Figura 9), se observa que el sistema de uso con bosque secundario obtuvo mayores valores de MO en la tierra (2.24%), con niveles medios de fertilidad. Además, observamos un grupo intermedio de valores (2.02%), ostentado por la tierra con sistema agroforestal, siendo estos también de fertilidad media. El sistema de uso con *I. edulis* y *E. coca* mostraron menores valores con promedio de 1.47% y 0.93%, siendo estos de fertilidad baja, según manifiesta Navarro (2003) El contenido de MO o fracciones orgánicas que juegan un papel importante en el suelo, varía mucho, por lo que no existe un análisis absoluto. Cabe señalar que los valores comparados de sustancias orgánicas tienen orígenes diferentes. Según Soil Survey Staff (1993), los valores más altos del estudio corresponden a bosques secundarios, algunos de los cuales son artificiales o reciclados (como es el caso de los bosques secundarios) contiene niveles altos de MO y parcela de *E. coca* de nivel medio.

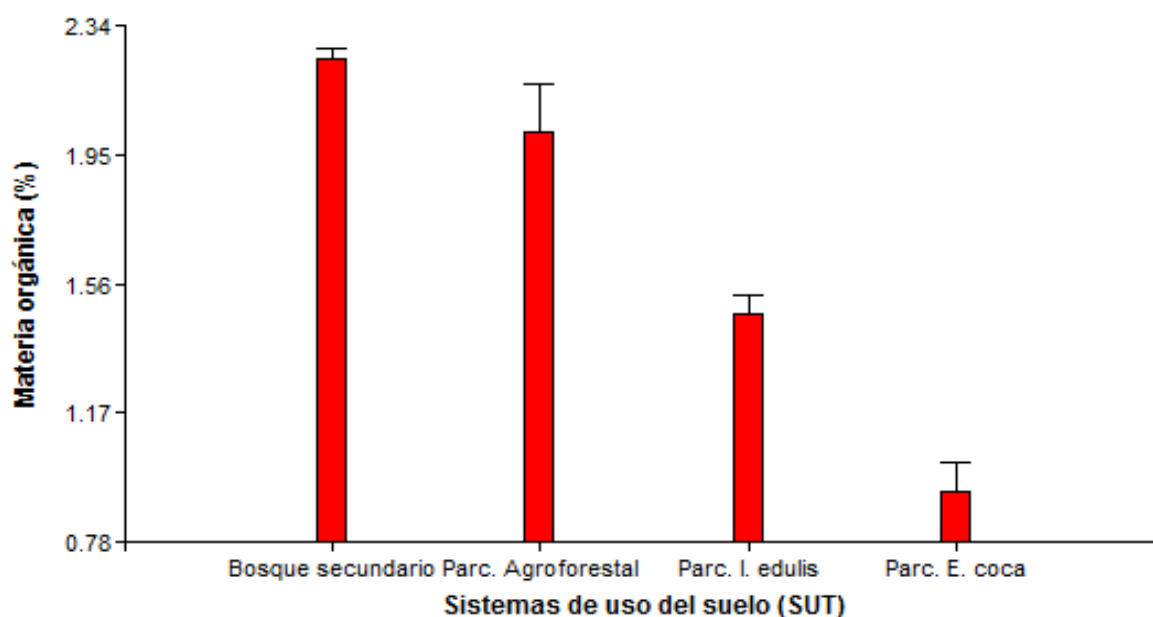


Figura 9. Promedio de MO en la tierra (%) de distintos sistemas de uso de la tierra.

4.2.3. Nitrógeno disponible

Para el ANOVA (Tabla 29), a un 95% de confianza hay razones considerables para aceptar diferencias significativas entre los promedios de nitrógeno disponible de la tierra en los sistemas de empleo en evaluación.

Tabla 29. ANOVA para variable nitrógeno disponible en la tierra (%) de diferentes sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Sistema de uso	3	0,01	0,0027	24,72	0,0002
Error	8	0,00087	0,00011		
Total	11	0,01			

CV (%): 12.25%

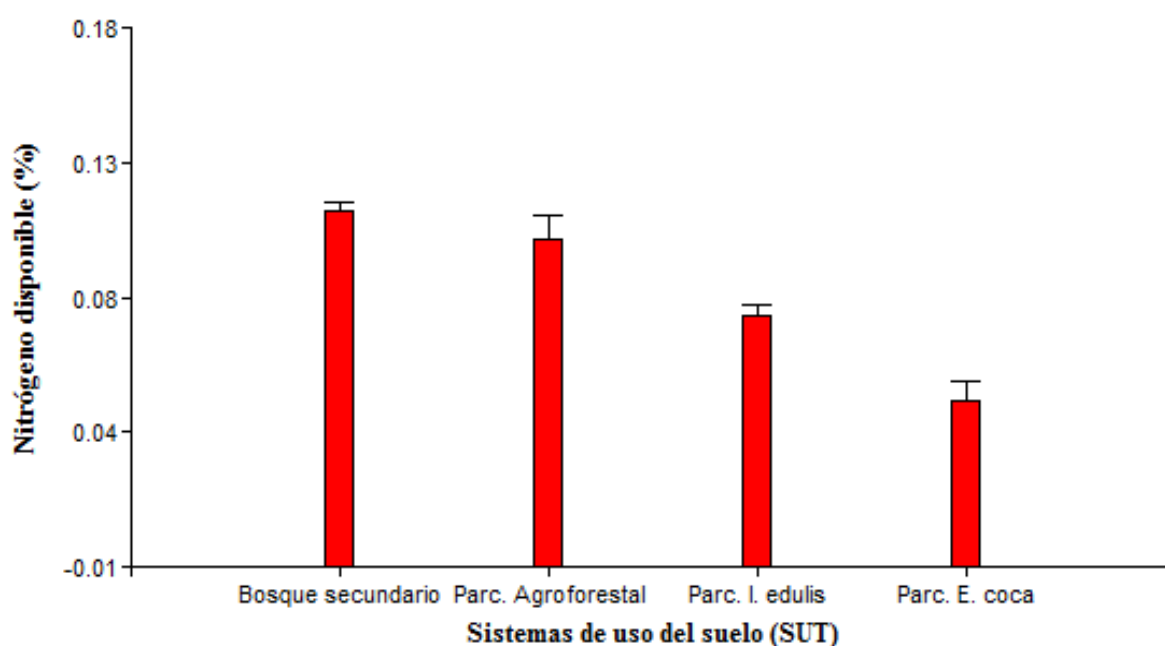
En la Tabla 30, se observa que el sistema de uso con bosque secundario obtuvo mayor proporción de nitrógeno disponible en la tierra (0,11%), con niveles medios de fertilidad. Asimismo, apreciamos un grupo intermedio de valores (0,10%), ostentado por la tierra de la parcela agroforestal, siendo este también de fertilidad media. El sistema de uso parcela con *I. edulis* y parcela con *E. coca* mostró menores valores con promedios de 0,08% y 0,05% respectivamente, siendo estos de fertilidad baja.

Tabla 30. Promedio de nitrógeno disponible (%) en la tierra de distintos sistemas de uso.

Sistema de uso	Promedio (%)	Significancia	
Bosque secundario	0,11	a	
Parcela agroforestal	0,10	a	b
Parcela con <i>I. edulis</i>	0,08		b
Parcela con <i>E. coca</i>	0,05		c

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

Para mayor detalle en la Figura 10 se detalla la distribución de medias del nitrógeno disponible en la tierra de los sistemas de uso en análisis.

**Figura 10.** Promedio de nitrógeno disponible en el suelo (%).

Según Sánchez (1981), menciona que la cantidad de N existente en varios suelos está limitada por la misma dinámica y ciclos biogeoquímicos. El N llegaría a la tierra debido al aporte de MO (fertilizantes orgánicos, guano y residuos de cultivos) y etapas de fijación de bacterias de la atmósfera. Los valores encontrados en este estudio son promedio, según la Soil Survey Staff (1993) dice que el bosque secundario y la parcela agroforestal presentan valores medios de nitrógeno, estos resultados hablan de las condiciones e interacciones del medio, Navarro (2003) consideró que los estados del clima influyen significativamente en el contenido de N del suelo cuando aumenta la temperatura, reduce el nitrógeno; cuando aumenta la humedad, aumenta el nitrógeno.

4.2.4. Fósforo disponible

En la Tabla 31 se muestra el ANOVA para la variable P disponible en la tierra en los sistemas de uso en evaluación.

Tabla 31. ANOVA para variable P disponible en la tierra (ppm) de distintos sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Sistema de uso	3	33.79	11.26	447.55	<0.0001
Error	8	0.20	0.03		
Total	11	33.99			

CV (%): 4.34 %

Con 95% de confianza hay razones suficientes para suponer que existe diferencia significativa entre las medias de P disponible en la tierra en los sistemas de uso estudiados (Tabla 32). Según Navarro (2003), el fósforo disponible se encuentra en el suelo gracias a la fertilización con este macroelemento, es el macronutriente que limitante del rendimiento porque interfiere con muchas fases bioquímicas a nivel celular y es considerada un nutriente importante para el crecimiento de los cultivos, de acuerdo con la Soil Survey Staff (1993) la parcela agroforestal tiene el mayor valor con un 5.96 ppm de fosforo disponible el cual es un contenido de nivel bajo, este resultado puede deberse al abonamiento realizado a la parcela.

Tabla 32. Promedio de P disponible (ppm) en la tierra de distintos sistemas de uso.

Sistema de uso	Promedio (ppm)	Significancia
Parcela agroforestal	5,96	a
Parcela con <i>I. edulis</i>	3,91	b
Bosque secundario	3,52	b
Parcela con <i>E. coca</i>	1,23	c

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

En la Figura 11, observamos que el sistema de uso la parcela agroforestal obtuvo el mayor valor de P disponible en el suelo (5,96 ppm) el cual representa un nivel bajo de fosforo disponible de fertilidad. Asimismo, apreciamos un grupo intermedio de valores ostentado por la tierra con la parcela con *I. edulis* y bosque secundario (3,91 ppm y 3,52 ppm respectivamente) en un segundo nivel, siendo estos también de contenido bajo. Por otra parte,

el sistema de uso de la parcela con *E. coca* indicó el menor valor promedio con 1,23 ppm, siendo este de fertilidad baja.

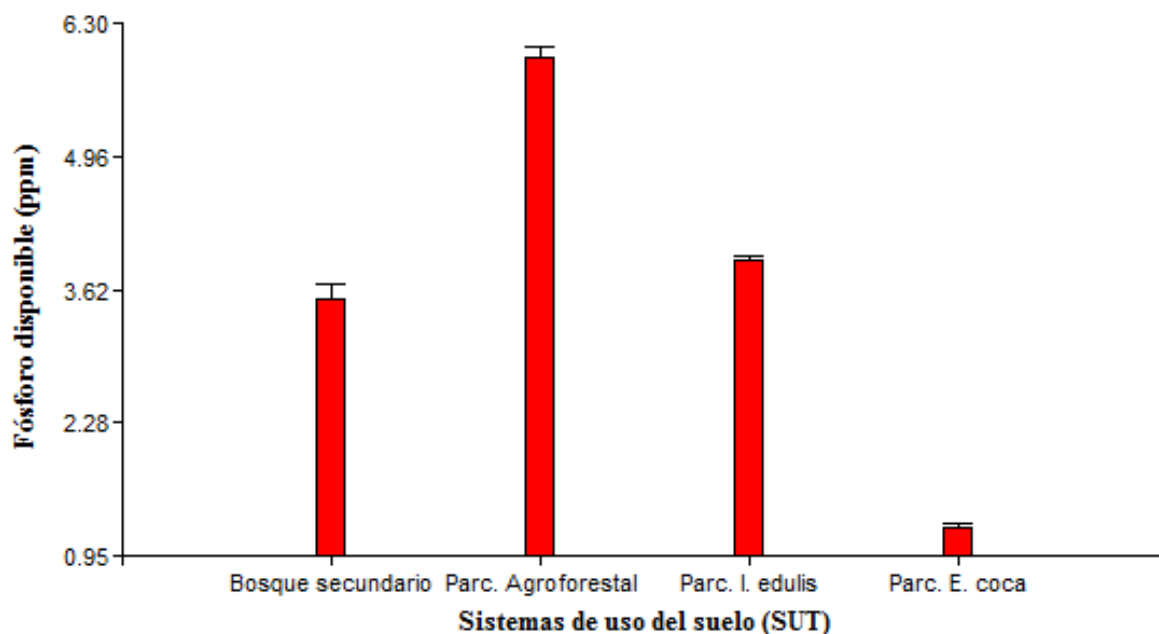


Figura 11. Promedio de P en la tierra (ppm) de distintos sistemas de uso del suelo.

4.2.5. Potasio

ANOVA (Tabla 33), a un 95% de confianza hay razones considerables para aceptar diferencias significativas entre los promedios de K en la tierra de los sistemas de uso en evaluación.

Tabla 33. ANOVA para el K en la tierra (ppm) de diferentes sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Sistema de uso	3	5 917,41	1 972,47	192,22	<0,0001
Error	8	82,09	10,26		
Total	11	5 999,50			

CV (%): 2.98%

Hubo diferencia significativa entre los valores medios de potasio de la tierra en los sistemas utilizados en el estudio al nivel de confianza del 95% de la prueba de Tukey, resultando dos grupos claros con mayor y menor nivel de K, siendo el sistema con bosque secundario agroforestal. (SAF) tuvo el valor medio más alto de 144,40 ppm, lo que identificó suelos de mediana fertilidad. Por otra parte, el sistema de uso parcela con *I. edulis* y

parcela agroforestal, se encuentran en un segundo nivel con valores de 102,12 y 98,80 respectivamente, y el de más bajo valor la parcela con *E. coca* con 85,00 ppm, encontrándose en la categoría de fertilidad de tierras de muy bajo nivel de K (Tabla 34).

Tabla 34. Promedio de K en la tierra de diferentes sistemas de uso.

Sistema de uso	Promedio (ppm)	Significancia
Bosque secundario	144,40	a
Parcela con <i>I. edulis</i>	102,12	b
Parcela agroforestal	98,80	b
Parcela con <i>E. coca</i>	85,00	c

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

Según Guerrero (2000), es un componente alimenticio básico para los organismos vivos, es decir, los sembríos requieren proporciones máximas de este nutriente, similares a las necesidades de N. El K cumple un rol importante al activar gran cantidad de enzimas (se sabe que más de 60 enzimas son activadas por este catión) que intervienen en diversas fases metabólicas como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y carbohidratos; asimismo es responsable del equilibrio del agua y el crecimiento del meristemo. Según los resultados obtenidos (tabla 34 y figura 12) el bosque secundario presenta el mayor valor y según Soil Survey Staff (1993) presenta un nivel de potasio medio.

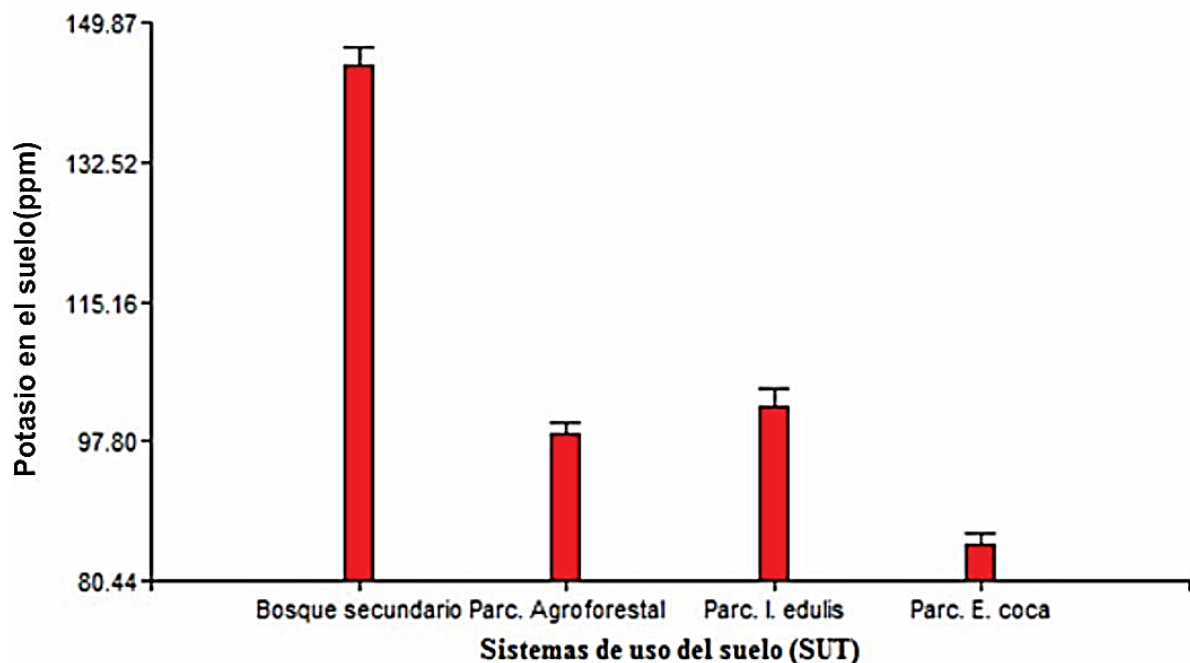


Figura 12. Promedio de K en el suelo (ppm) de diferentes sistemas de uso.

4.3. Determinación de las propiedades biológicas (diversidad y densidad de macrofauna) en sistemas de uso bosque secundario, sistema agroforestal, parcela con leguminosas *I. edulis* y parcela con *E. coca*.

4.3.1. Abundancia

Se observa la abundancia de la macrofauna (ind/m²) en la tierra (Tabla 35) en total, la sumatoria de cantidad de individuos en los sistemas de uso en estudio muestra 5150 ind/m² equivalente al 100%, de los cuales, el sistema de bosque secundario almacenó mayor proporción de individuos, con 2052 ind/m² equivalente al 39,84%, seguido por el sistema de uso parcela agroforestal, quien mostró 1586 ind/m² equivalente al 30,80%, consecuentemente, el sistema de uso parcela con *I. edulis* mostró una abundancia de 1093 ind/m² equivalente al 21,22%, en tanto que el sistema con parcela con *E. coca* indicó una menor cantidad con 419 ind/m² equivalente al 8,14%.

Tabla 35. Abundancia de macrofauna (ind/m²) en la tierra en distintos sistemas de uso.

Filo	Clase	Ordenes	Abundancia (Ind/m ²)				Total
			BS	PA	PIE	PEC	
Arthropoda	Insecta	Orthoptera	42			32	74
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	306	124	142	30	602
Arthropoda	Insecta	Dermaptera	271	164	168	64	667
Arthropoda	Insecta	Hymenoptera	142		149	33	324
Arthropoda	Insecta	Diptera	38	184	88	16	326
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	264	122	122	44	552
Arthropoda	Chilopoda	Scolopendromorpha		62	50	32	144
Arthropoda	Diplopoda	Polydesmida	132	146	80		358
Arthropoda	Malacostraca	Isopoda	161	113	164	48	486
Arthropoda	Arachnida	Araneae	167	168		86	421
Anellida	Clitellata	Haplotaxida	345	369	130	34	878
Mollusca	Gasteropoda	Pulmonata	184	134			318
Total			2052	1 586	1 093	419	5 150
Porcentaje (%)			39,84	30,8	21,22	8,14	100

BS: bosque secundario, PA: parcela agroforestal, PIE: parcela con *I. edulis*, PEC: parcela con *E. coca*.

La abundancia de los sistemas de uso evaluada se representa por los órdenes Haplotaxida (878 ind/m²), Hemíptera (602 ind/m²), Dermáptera (667 ind/m²), Hymenóptera (324 ind/m²), Quilopodo (144 ind/m²), Diptera (326 ind/m²), Coleóptera (552 ind/m²), Diplópodo (358 ind/m²), Aráneae (421 ind/m²), Pulmonata (318 ind/m²), Isópoda (486 ind/m²), Orthoptera (74 ind/m²). Los mismos que son detallados a continuación:

El ANOVA (Tabla 36) con un nivel de confianza del 95% proporciona motivos suficientes para suponer que hay diferencia significativa en la proporción promedio de macrofauna (ind/m²) entre los sistemas estudiados utilizados. Además, se puede observar que el valor del impacto ambiental es del 6,71%.

Tabla 36. ANOVA para variable abundancia de macrofauna (ind/m²) en tierra de distintos sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	488561,67	162853,89	196,27	<0,0001
Error	8	6638,0	829,75		
Total	11	495199,67			

CV (%): 6.71 %

La prueba de Tukey encontró diferencias significativas entre la cantidad promedio de macrofauna (ind/m²) en la tierra en los sistemas de uso estudiados (Tabla 37). El sistema forestal secundario tuvo el valor medio más alto con 684 ind/m², seguido del sistema agroforestal con 528,67 ind/m², sistema de *I. edulis* muestra 364,33 ind/m². El sistema con parcela de *E.coca* mostró menor promedio con 139,67 ind/m². La Figura 13 describe la operación anterior.

Tabla 37. Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m²) en la tierra de distintos el sistemas de uso.

Sistema de uso	Promedio	Significancia
Bosque secundario	684,00	a
Parcela agroforestal	528,67	b
Parcela con <i>I. edulis</i>	364,33	c
Parcela con <i>E. coca</i>	139,67	d

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

Los resultados obtenidos (tabla 37 y figura 13) muestran quizás un resultado esperado por ser un bosque en formación con procesos en crecimiento, al respecto Brown et al. (2001) dice que la macrofauna del suelo opera en escalas de tiempo y espacio más extensas que los individuos más minúsculos. La macrofauna se trasladan de forma activa en el superficie y elaboran galerías en las cuales viven, además Ramírez y Trujillo (2003) dice que

forman parte de la macrofauna del suelo, los isópodos, quilópodos, diplópodos, arácnidos, moluscos y formícidos, isópteros, coleópteros y oligoqueto (lombrices de tierra), al ser un bosque secundario como el sistema de uso de suelo con más abundancia de individuos es razonable comprender el resultado obtenido, tal como lo describe otra vez Brown et al., (2000) al referir que la abundancia de la macrofauna podría exceder el millar de especies en ecosistemas complejos, como la selva tropical.

A partir de nuestros resultados, la abundancia promedio del sistema forestal secundario sugiere que proporciona mejores condiciones para la supervivencia de la macrofauna (temperatura, humedad, aporte de materia envejecida, etc.). Asimismo, fue menor la presencia del organismo en el suelo procedente de suelos en la parcela de *E. coca* señala que en estos sistemas de uso del suelo la MO se encuentra sólo en la primera parte de la capa del suelo, además del uso constante de pesticidas, una gran oferta de fertilizantes inorgánicos y un manejo intensivo del cultivo (caminar por pendientes a pleno sol).

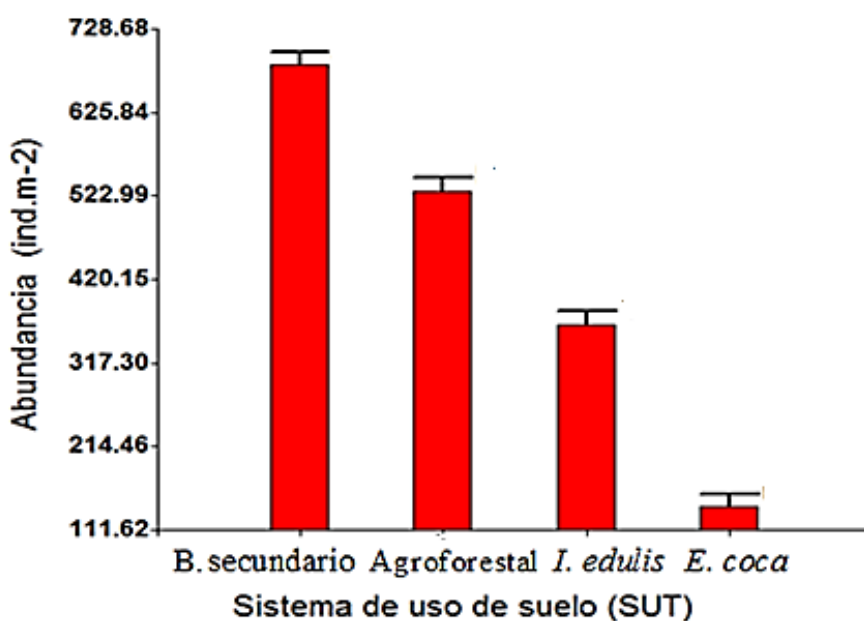


Figura 13. Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m²) en diferentes sistemas de uso del suelo.

4.3.2. Biomasa

ANOVA (Tabla 38), a un 95% de confianza hay razones considerables para aceptar diferencias significativas entre los promedios de biomasa (g/m²) de los sistemas de uso en evaluación.

Tabla 38. ANOVA para variable biomasa (g/m²) en la tierra de diferentes sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	679,07	226,36	72,32	<0,0001
Error	8	25,04	3,13		
Total	11	704,11			

CV (%): 7.65 %

Hay una diferencia significativa entre la cantidad media de biomasa (g/m²) en el suelo en los sistemas de uso investigados al nivel de confianza del 95% de la prueba de Tukey. (Tabla 39).

Tabla 39. Promedio de abundancia de biomasa (g/m²) en la tierra de diferentes sistemas de uso.

Sistema de uso	Promedio	Significancia
Bosque secundario	34,20	a
Parcela agroforestal	25,44	b
Parcela con <i>I. edulis</i>	18,55	c
Parcela con <i>E. coca</i>	14,33	c

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

En la Figura 14, la prueba de Tukey indica diferencias significativas entre la biomasa media (g/m²) de macroinvertebrados de la tierra. Los sistemas forestales secundarios tuvieron el contenido promedio más alto – 34,20 g/m², seguidos por los sistemas de campo agroforestales – 25,44 g/m². Utilizando sistemas que contienen *I. edulis* y *E. coca*, mostraron la biomasa más baja, con una biomasa promedio que oscila entre 18,55 g/m² y 14,33 g/m². Según Porta et al. (1999) la macrofauna son organismos que se pueden detectar a simple vista y varían en tamaño y peso, por lo que los valores obtenidos representan mayor actividad al exterior por el número de individuos con respecto a otros niveles, y esto se debe a que la biomasa presente también se ve afectado.

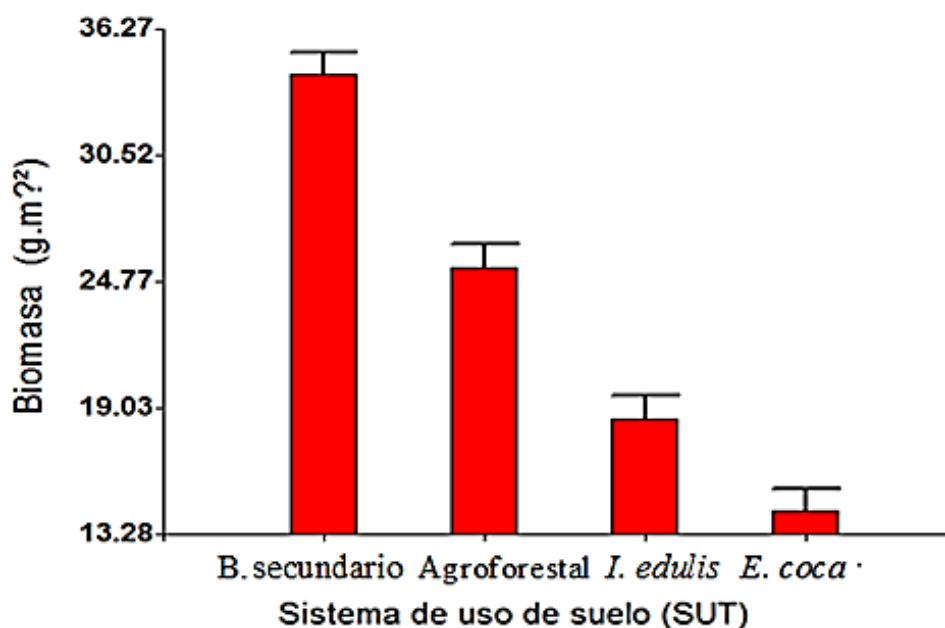


Figura 14. Promedio de biomasa (g/m²) en diferentes sistemas de uso del suelo.

Cárdenas (2008) mencionó que todos los microorganismos vivos están presentes en una proporción definida de tierra o material que determina su presencia o ausencia. Según Porta et al. (1999) Para que exista macrofauna en la tierra requiere de cómo se aprovecha y estabiliza la forma natural de los sistemas biológicos, particularmente de la radiación solar (temperatura), viscosidad relativa, técnica de vegetación (desprendimiento) y el trabajo de desgaste del cuerpo vegetal, lo que sugiere que los valores de biomasa depende de características ambientales beneficiosas que no ocurren en zonas intervenidas o sembríos agrícolas, se puede decir que la biomasa conseguida es consistente con los bosques y otros sistemas. Además, para comprender la presencia o el peso de la macrofauna individual, la clase de tierra es un elemento crítico que interviene en el conducta de la macrofauna en cada sistema, ya que se producirán cambios en número y peso si están secos o húmedos.

4.3.3. Riqueza o diversidad de especies

En la Tabla 40 se muestra los promedios de riqueza específica (S), índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de la macrofauna de la tierra de diferentes sistemas de empleo. Los sistemas forestales secundarios han mostrado mayor riqueza específica de especies (11) (tabla 40), seguidamente de la parcela agroforestal y parcela con *E. coca* (10), mientras que las parcelas que contenían *I. edulis* indicó menor promedio de riqueza específica (9). Por otro lado, el índice de Shannon-Weaver (H') y el índice de equidad (J) mostraron que el sistema de bosque secundario tiene una mayor variedad (3.04) en comparación con el sistema

de parcela agroforestal (2.65) y la parcela con *I. edulis* (2,00), en tanto que la parcela de *E. coca* tiene menor diversidad (0,81) los resultados muestran que los sistemas asociados a especies vegetales son más ricos, debido a que la disposición de los ecosistemas incluye estratos herbáceos, que brindan condiciones favorables para la supervivencia de microorganismos y macroorganismos. De igual forma, la macrofauna también incluye epigeos, es decir, invertebrados que viven en la superficie y en los restos del suelo (milpiés, caracoles, ostras rosadas, etc.) y anélidos que viven en la tierra (termitas y hormigas; así como organismos endógenos). (Lavelle, 1997).

Tabla 40. Promedio de riqueza específica (S), índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de la macrofauna del suelo de diferentes sistemas de uso.

Índice	Sistema de uso de suelo			
	BS	PA	PIE	PEC
Riqueza específica (S)	11	10	9	10
Índices de Shannon-Weaver (H')	3.04	2.65	2.00	0.81
Índice de equidad (J)	1.27	1.15	0.91	0.35

BS: bosque secundario, PA: parcela agroforestal, PIE: parcela con *I. edulis*, PEC: parcela con *E. coca*.

V. CONCLUSIONES

1. La influencia de los sistemas de uso del suelo presentan una textura desde franco arcillo arenoso en el bosque secundario hasta franco arcilloso en la parcela con *E. coca*, el mayor valor promedio de densidad aparente fue en el sistema bosque secundario con 1,79 kg/cm², y el mayor valor promedio de resistencia a la infiltración en la parcela de *E. coca* con 2,20 kg/cm².
2. Las características químicas de los sistemas de uso del suelo presentan el mayor valor promedio del pH, materia orgánica, nitrógeno disponible, potasio disponible en el bosque secundario con 5,38, 2,24%, 0,11% y 144,40 ppm; y mayor valor promedio en fósforo disponible en la parcela agroforestal con 5,96 ppm.
3. Las propiedades biológicas de los sistemas de uso del suelo presentan un mayor promedio de abundancia, biomasa, riqueza de especies, índice de Shannon-Wiener e índice de equidad de Pielou en la parcela bosque secundario con 684 ind/m² y 34,20 g/m², 11 órdenes, 3,04 y 1,27.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Desarrollar parámetros fisicoquímicos y microbianos adicionales del suelo evaluado durante la temporada seca para poder comparar con investigaciones actuales y poder generar indicadores de evaluación de la calidad del suelo.
2. Elaborar análisis posteriores con la finalidad de definir el incremento poblacional de individuos en cada uno de los sistemas de uso.
3. La información de evolución de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en los diversos sistemas de uso a través del tiempo son precarios, lo que se sugiere determinar evaluaciones posteriores.

VII. REFERENCIAS

- Acevedo, J., Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. Serie ciencias agronómicas.
- Acevedo, E., Xarrasco, A., León, O., Silva, P., Castillo, G., Borie, G., Martínez, E., Gonzales, S., Ahumada, I., (2005). Criterios de calidad del suelo agrícola. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/>).
- Aguilera, R. (2000). Abonos orgánicos y práticamente. 35 p.
- Albrecht, P; Kandji, J. (2003). Suelos del Trópico. Características y Manejo. Traducido del inglés por Edilberto Camacho. IICA. San José, Costa Rica. 634 p.
- Brady. (1984). Materia orgánica en el suelo. <http://froac.manizales.unal.edu.co/roap/scorm/690/MateriaOrganica.html>.
- Brown, L; Etchevers, B., Del Castillo, R., Gutiérrez, C. (2000). La calidad de los suelos y sus indicadores. HEET, (<http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>, 30 Nov .. 2005).
- Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Departamento de biología de suelos, instituto de ecología. Xalapa, México.
- Buol, S. W. (1995). Sustainability of soil use. Annual Review of Ecology and Systematic 26:25-44.
- Caballero, M. (2015) Suelos. (<file:///E:/arbildo/34c-Suelos%20y%20edafizacion.pdf>).
- Cabrera, G. Y López, G. (2018). Caracterización ecológica de la macrofauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El Salón, Sierra del Rosario, Cuba. *BOSQUE. (Valdivia)* 39(3): 363 – 373. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002018000300363>
- Cabrera, G., Robaina, N. Y Ponce, D. (2011 b). Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34 (3): 313 -330. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942011000300007&lng=es&nrm=iso
- Cabrera, G., Socarrás, A. Gutiérrez, E., Tcherva, T., Martínez, C. Y Lozada, A. (2017). Fauna del suelo. En Mancina, C. y Cruz, D, (Eds.). *En diversidad biológica de cuba: Métodos de*

inventario, monitoreo y colecciones biológicas (pp. 254 – 283). AMA.
https://www.researchgate.net/publication/323253773_Fauna_del_Suelo

- Cárdenas, P. (2008). Determinación de la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú.
- Carrasco, K. (1992). Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605 -620.
- Carter, J. (1997). Manual Agropecuario Tecnológicas Orgánicas de la granja integral Autosuficiente. Fundación Hogares Juveniles Campesinos.
- Doran, J., Lincoln, N. (1999). Guía para la evaluación de la calidad del suelo. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>).
- Doran, J; Parkin, T. (1994). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America, Wisconsin, USA. 244 p.
- Etter, R.J. (1991). PopDyn: an ecological simulation program. *Bioscience* 41: 784-790.
- Franco, J. (1989). Manual de ecología. Trillas, México.
- Fassbender, H. (1975). *Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina*. 2ed. IICA. San José, Costa Rica.
- Fassbender, H. W., Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica. 2da edición. Talleres gráficos de Trejos Hnos. Sucs., S. A. Pág. 174.
- Ferreras L, Magra G; Besson P; Kovalevski E; Garcia F., (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. *Ci. Suelo (Argentina)* 25(2): 159-172 p.
- Freitas, S. (2006). La Degradación de los Suelos y la expansión de la Frontera Agropecuaria en el Parque Chaqueño Occidental. Séptima reunión Nacional Para el Estudio de las Regiones Áridas Y Semiáridas. IDIA No 36 San Luis, Buenos Aires. 146p.
- García-Álvarez, A. & Bello, A. 2004. Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. Memorias. I Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost. León, España. p. 211.

- Geissert, D., Barois, I., Mólgora, A., Mokondoko, P., Mass, K. Y Manson, R. (2013). *Manual para el manejo sustentable del suelo en cafetales de sombra*. FORDECYT Y Café In Red. https://www.researchgate.net/publication/328342454_Manual_para_el_manejo_sustentable_del_suelo_en_cafetales_de_sombra
- Geraldes, A., Torres, Y., Pizarro, A., Guerra, O. (1995) La producción y consumo de alimentos en el Perú. Publicación Cultivos Andinos. Ayacucho. Perú.
- Guerrero, A. (2000). El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 2ª reimpresión. Edit. Aedos S.A. España.
- Halfpter, G., Moreno, C.E., Pineda, E.O. (2001). Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. Manuales & Tesis vol. 2.
- Huamán, M. J. H. (2021). Influencia de los sistemas de uso en la calidad del suelo sector Cora Cora, distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 74 p.
- Huamaní, H., Mansilla, L., Zavala, W. (1998). Evaluación de enmiendas orgánicas e inorgánicas en la recuperación de suelos degradados bajo sistemas de cultivos en fajas. CIUNAS. Tingo María - Perú.
- INFOREGION, (2007). Narcotráfico destruyó 2 millones de hectáreas de bosques y contaminó ríos del VRAE y Alto Huallaga. Info región, (http://www.inforegion.pe/region/noticia_detalle.php?v_idnoticia=19847&v_idlocacion=1&v_idcategoria=28, dptos, 10 Mar. 2009).
- Jadan, H. (2010). Utilización de la Mesofauna Edáfica como Indicador Biológico del Estado del Suelo. 11. Suelos con manejo orgánico en la provincia la Habana. En: Memorias del XIII Congreso Científico del INCA, la Habana, Cuba. CD-room.
- Jaramillo, J. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. (<http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>).
- Jiménez, R. y González, V. (2006). La calidad de suelos como medida para su conservación. Edafología. Universidad Autónoma de Madrid. Dpto. de Geología y Geoquímica. Madrid, España, vol 13.
- Karlen, D; Mausbach, M; Doran, J; Schuman, G.E. (1997). Soil quality: a concept. 243 p.

- Krull, O; Burgues, A. Y Raw, F. (2004). *Biología del suelo*. Edit. Paraninfo. Edic. Omega. SA. Barcelona, España. 470p.
- Larson, W; Pierce, F (1991). Conservation and enhancement of soil quality. En: *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. Proc. of on evaluation for sustainable world. Bangkok, Thailand. 175 p.
- Lavelle, P. (1997). Faunal activities and soil processes: adaptive Strategies that determine ecosystem function. *Adv. Ecol. Res.* 24:93-132.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O., Ghillion, S. (1997). Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33.
- Magdoff, W; Hagar, C., Jiménez, R. (1987). Assessing the abundance and role of invertebrate communities in tropical soils: Aims and methods. In: Ghabbour, S.I. & Davis, R.C. (Eds.). *Proceedings of the Seminar on Resources of Soil Fauna in Egipto and África*. Cairo, 16-17 Abril 1986. *Revue Zool. Afr. J. Afr. Zool.*, 102: 275-283.
- Magurran, L. (1989). Recycling of nutrients in tropical pastures and acid soils. In E.J. Homan (ed.). *San José, C.R.). Proceedings of a SymposiumlWorshop held in San José, C.R.* pp. 161 p.
- Másters, G. (2004). Belowground herbivores and ecosystem processes. *Ecological Studies* 173:93-112.
- Merino, R. M. P. (2021). Indicadores físicos químicos y biológicos del suelo en tres sistemas de plantaciones del predio Santa Rita Cervecería San Juan S.A. – Pucallpa. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 94 p.
- Metson, A. J. (1961). *Methods of chemical analysis for soil survey samples*, Department of Scientific and Industrial Research and New Zealand Soil Bureau, Wellington, Nueva Zelanda. 153 p.
- Navarro, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal*. 2 ed. Mundi Prensa, España.
- Navarro, B. & Navarro, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda edición. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 487p.

- Ñique, M. (2010). *Biodiversidad: Clasificación y cuantificación*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://www.researchgate.net/publication/298950055_BIODIVERSIDAD_Clasificación_y_Cuantificación
- Odum, E. (1983). *Ecología*. 3ra Edic. Edit. Nueva editorial Interamericana, S.A. México, D.F.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades químicas del Suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Pagiola, L., Ota, M. (1997). La diversidad biológica o biodiversidad. Citado por ALTIERI.
- Parr, J. (1992). Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. *American J. of Alternative Agriculture*. 7:5.
- Pashanasi, T. (2002). El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 46 p.
- PEAH, (2012). Manual de Formulación de proyecto (Asistencia técnica personalizada) Formulación de proyectos – Dirección de estudios. 30 de abril del 2012. 35 p.
- Pocknee, K; Sumner, J. (1997). Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- Porta, M., López, A., Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España.
- Ramírez, S; Trujillo. L. (2003). *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems: Principles and their application*. Chichester, U-K.. Wiley. 190 p.
- Ramírez, S. (2013). Estudio de indicadores de la calidad del suelo en áreas destinadas a la producción intensiva de gramíneas cespitosas. (<http://biblioteca.ihatuey.cu/link/tesis/tesism/wendyramirez.pdf>).
- Riascos, U. (2006). Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. 74 p.
- Reyes, P. y Torres. J. (2009). Diversidad, distribución, riqueza y abundancia de condrictios de aguas profundas a través del archipiélago patagónico austral, Cabo de Hornos, Islas Diego Ramírez y el sector norte del paso Drake. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(1): 243-251. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100025>

- Ruiz, R. (2015). Evaluación e identificación preliminar de la macrofauna asociada al cultivo de Piña (*Ananas Comosus*) en localidad de Poroto. *Tecnología y desarrollo* 13(1): 041 – 046. <https://1library.co/document/y8195gwz-evaluacion-cacion-Preliminar-macroFauna-asociada-cultivo-comosus-localidad.html>
- Ruz, N. (2018). *Manual de Práctica de la asignatura de edafología* (pp. 1–81). Instituto Tecnológico de Tizimín-Tecnología nacional de México. <http://www.ittizimin.edu.mx/archivos/man-prac-agro/Manual-edafologia.pdf>
- Sánchez, P. (1981). Suelos del Trópico Características y Manejo. Traducido por Edilberto Camacho, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.
- Sánchez, J. (2007). Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. [SAGARPA] (2012). *Suelos*. SMYE, ([http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico_suelos\).pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos).pdf).
- Soil Survey Staff. (1993). Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Souza, S., Cassol, P., Baretta, D., Bartz, L., Klauberg, O., Mafra, A. Y Rosa, M. (2016). Abundance and Diversity of Soil Macrofauna in Native Forest, Eucalyptus Plantations, Perennial Pasture, Integrated Crop-Livestock, and No-Tillage Cropping. *Revista brasileira de ciencia do solo*. 1-14. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150248>
- TCA. (1999). La calidad del suelo y sus indicadores.
- United States Department of Agriculture. [Usda]. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos.
- United States Department of Agriculture. [Usda]. (2014). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos.
- Valdés, L., Martínez, L., Bonilla, M., Castillo I. (2016). Efectos del fuego en algunas características de suelo de pinares, Macurije, Pinar del Rio, Cuba.
- Valdez, A. K. E. (2021). Macrofauna en suelos con *Coffea arabica* L. “Café# distrito de Moyobamba- provincia Moyobamba. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 70 p.

- Vargas, Y., Valdivia, L. (2005). Recuperación, mediante leguminosas rastreras, de suelos degradados (ex cicales) en la Selva Alta del Perú. Mosaico científico 2(2).
- Zavaleta, A. (1992). Edafología, El suelo en relación con la producción. CONCYTEC. Lima – Perú.
- Zerpa, G. (2006). Acción del pisoteo de la hacienda sobre la estabilidad estructural de un suelo. En: IV Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo y Reunión Internacional de Rhizosfera. 2 p.

ANEXO

Tabla 41. Índice de Shannon y Wiener de los dos sistemas de uso del suelo

Grupo Taxonómico (Clase u Orden)	Nombre Común	Agroforestal							Bosque secundario								
		10 cm	20 cm	30 cm	Total	Abundancia relativa pi	Ln2"pi"	Pi*LN2(pi)	10 cm	20 cm	30 cm	TOTAL	Abundancia relativa pi	Ln2"pi"	Pi*LN2(pi)		
Díptera	Moscas y mosquitos	31	0	0	31	0.03016738	-	-0.15237142	17	0	0	17.4	0.0229491	-	-0.124967		
Coleóptera	Escarabajos	32	9	0	42	0.04087193	-	-0.18853184	41	11	0	51.8	0.0683197	-	-0.264503		
Araneae	Arañas	23	0	0	23	0.02257688	-5.46901	-0.12347318	10	1	0	10.2	0.0134529	-	-0.083622		
Haplotaxida	Lombrices de tierra	195	36	3	234	0.22790969	-	-0.48623754	164	36	3	204	0.2690583	-	-0.509599		
Diplopoda	Milpiés	11	0	0	11	0.0103153	-	-0.06807138	0	0	0	0.4	0.0005276	0	0		
Himenóptera	Hormigas	48	1	0	49	0.04787855	-	-0.20992239	12	3	0	14.6	0.0192561	-	-0.109732		
Isópoda	Cochinillas	119	15	0	134	0.13001168	-	-0.38266167	149	33	2	183.8	0.2424162	-	-0.495606		
Dictióptera	Cucarachas	22	5	0	27	0.02646944	-	-0.1386874	0	0	0	0.4	0.0005276	0	0		
Hemíptera	Chinches y salta hojas	26	4	0	30	0.0295835	-	-0.15025646	9	2	0	11	0.014508	-	-0.088601		
Isóptera	Termitas	337	26	4	367	0.35714286	-	-0.53050958	201	27	5	232.8	0.307043	-	-0.523044		
Orthóptera	Grillos	37	0	0	37	0.03600623	-4.79561	-0.17267182	19	2	0	21.2	0.027961	-	-0.144291		
TOTAL		905	100	7	1013			-2.857582637	631	117	10.2	757			-2.42505459		
INDICE DE SHANNON WINER							H' =	2.86	INDICE DE SHANNON WINER							H' =	2.43

Anexo 1. Valores máximos y mínimos de las propiedades físicas y químicas

Tabla 42. Rango de materia orgánica en el suelo

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

Fuente: Sistema de clasificación USDA –Laboratorio de suelos UNAS

Tabla 43. Niveles de pH del suelo

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4.5
Fuertemente ácido	4.5 - 5.5
Moderadamente ácido	5.5 - 6.5
Neutro	6.5 - 7.5
Moderadamente alcalino	7.5 - 8.5
Fuertemente alcalino	Mayor de 8.5

Fuente: Sistema de clasificación USDA – Laboratorio de suelos UNAS

Tabla 44. Niveles de contenido de nitrógeno

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	Menor de 0.1
Medio	0.1-0.2
Alto	Mayor de 0.2

Fuente: Sistema de clasificación USDA – Laboratorio de suelos UNAS

Tabla 45. Niveles de contenido de fósforo

Nivel	Fósforo (%)
Bajo	Menor de 7.0
Medio	7.0 – 14.0
Alto	Mayor de 14.0

Fuente: Sistema de clasificación USDA – Laboratorio de suelos UNAS

Tabla 46. Niveles de contenido de potasio.

Nivel	Potasio (ppm)
Bajo	Menor de 120
Medio	120 – 200
Alto	Mayor de 200

Fuente: Sistema de clasificación USDA – Laboratorio de suelos UNAS

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 15. Vista panorámica del caserío de Nuevo Rondos



Figura 16. Sistema de uso de la parcela con *Erytroxylum coca*.



Figura 17. Sistema de uso de la parcela de bosque secundario.



Figura 18. Muestreo del suelo para determinar la densidad aparente.



Figura 19. Midiendo la resistencia a la penetración del bosque secundario.



Figura 20. Muestreo de suelos para macrofauna de la parcela de sistema agroforestal



LASA TINGO MARÍA

Laboratorio de análisis de Suelos y Agua

A.V. Asunción Saldaña Lt. 34 Telf. 999250084 – 988094215 Correo: Lasatingomaria@gmail.com

PROPIETARIO :	Mayra Patricia Chávez Soto			FE
DISTRITO:	Monzón			CO
CASERIO:	Nuevo Rondos			EL
PROVINCIA:	Huamalis			
REGIÓN:	Huánuco			
REFERENCIA	--	FINCA	--	CULTIVO

RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELO

ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO AGRICOLA															
Datos de la Muestra	ANÁLISIS MECÁNICO				pH	Da	M.O.	N	P	K	CIC	CATIONES CAM			
	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural								Ca	Mg	K	
	%	%	%		(1:1)		(%)	(%)	(p.p.m.)	(p.p.m.)	(meq/100)				
Bosque secundario	54	21	25	Franco Arcilloso Arenoso	5.16	1.82	2.22	0.11	3.25	148.20	--	5.45	0.82	--	
Bosque secundario	28	47	25	Franco	5.44	1.75	2.30	0.12	3.56	144.80	--	5.16	0.91	--	
Bosque secundario	38	45	17	Franco	5.54	1.80	2.20	0.11	3.75	140.20	--	5.80	0.90	--	
Agroforestal	28	49	23	Franco	5.32	1.67	1.95	0.10	6.15	101.20	--	4.95	0.86	--	
Agroforestal	36	39	25	Franco	5.10	1.75	2.30	0.12	5.86	96.35	--	4.42	0.92	--	
Agroforestal	44	37	19	Franco	5.22	1.77	1.80	0.09	5.86	98.85	--	5.25	0.86	--	
Inga edulis (Guaba)	24	53	23	Franco Limoso	5.15	1.66	1.50	0.08	3.95	105.60	--	4.10	0.35	--	
Inga edulis (Guaba)	36	37	27	Franco Arcilloso	5.12	1.74	1.35	0.07	3.84	102.40	--	3.85	0.43	--	
Inga edulis (Guaba)	49	33	18	Franco	5.12	1.76	1.55	0.08	3.95	98.36	--	3.65	0.36	--	
Cocal	32	41	27	Franco Arcilloso	4.43	1.16	1.10	0.06	1.15	84.60	--	2.57	0.40	--	
Cocal	42	29	29	Franco Arcilloso	4.51	1.27	0.85	0.04	1.28	82.80	--	2.56	0.30	--	
Cocal	38	31	31	Franco Arcilloso	4.52	1.20	0.85	0.04	1.26	87.60	--	3.20	0.42	--	

*Muestras proporcionadas por el interesado.

Oficina Tingo María: Asunción Saldaña Lt 34
Teléfono de consultas: #999250084, #988094215
FIJO: 062284134
Correo: lasatingomaria@gmail.com



Figura 21. Análisis de suelos de los cuatro sistemas de uso.