

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



**PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN TRES TIPOS DE**  
**SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN EL CASERÍO CAJATAMBO – UCHIZA –**  
**TOCACHE – SAN MARTÍN**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**EROS BILLY FERNANDEZ RIOS**

**Tingo María – Perú**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°035-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 25 de enero de 2024, a horas 06:00 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:

**“PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN TRES TIPOS DE SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN EL CASERÍO CAJATAMBO – UCHIZA – TOCACHE – SAN MARTIN”**

Presentado por el Bachiller: **FERNANDEZ RIOS, Eros Billy Jean**, 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 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, 14 de marzo de 2024

**Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA**  
**PRESIDENTE**



**Ing. MSc. SANDRO RUIZ CASTRE**  
**MIEMBRO**

**Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO**  
**MIEMBRO**

**Dr. JOSE D. LEVANO CRISOSTOMO**  
**ASESOR**



“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° 335 - 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
PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN TRES TIPOS DE SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN EL CASERÍO CAJATAMBO – UCHIZA – TOCACHE – SAN MARTÍN	EROS BILLY JEAN FERNANDEZ RIOS	<b>23 %</b> <b>Veintitrés</b>

Tingo María, 25 de noviembre de 2024

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

Dr. Tomas Menachó Mallqui  
JEFE

C.C. Archivo



## DEDICATORIA

### **Queridos papá y mamá:**

Hoy, con profunda emoción y una gratitud que desborda mi corazón, me dirijo a ustedes para dedicar estas palabras de agradecimiento en el momento más significativo de mi vida. La culminación de mi carrera de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua es un logro que no podría haber alcanzado sin su inquebrantable apoyo y amor incondicional a lo largo de este emocionante y desafiante viaje.

Desde mis primeros pasos en la universidad, ustedes han sido mi inspiración. Su ejemplo de tenacidad, trabajo duro y valores sólidos me ha guiado en cada decisión y ha sido un faro en medio de las incertidumbres que encontré en el camino. Me enseñaron que la educación es el cimiento para un futuro prometedor y que, con esfuerzo y dedicación, puedo alcanzar cualquier meta que me proponga.

En cada desafío académico, siempre estuvieron ahí para animarme y apoyarme. Cuando la carga de estudio se volvía abrumadora, sus palabras de aliento me dieron la fuerza para seguir adelante. Sus abrazos cálidos y su fe inquebrantable en mis capacidades me recordaron que no estaba solo en este camino y que juntos podíamos superar cualquier obstáculo.

Recuerdo con cariño las noches de estudio en las que se quedaban despiertos conmigo, compartiendo su sabiduría y experiencia para ayudarme a comprender conceptos complejos. Siempre me sentí afortunado de tener a dos personas tan maravillosas como ustedes, dispuestas a invertir tiempo y esfuerzo para verme crecer y alcanzar mis sueños.

A través de los años, ustedes me han enseñado la importancia del respeto, la humildad y la perseverancia. Cada vez que enfrenté un desafío, recordé sus consejos sobre cómo afrontar las adversidades con valentía y sabiduría. Sus valores se convirtieron en los pilares de mi formación como persona y como profesional, y estoy agradecido por la fortaleza que me han brindado.

Hoy, al recibir mi título de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, sé que este logro no es solo mío, sino también de ustedes. Cada paso que di en esta carrera, cada proyecto exitoso y cada superación, lleva impreso su amor y apoyo incondicional.

No puedo expresar con palabras cuánto significan para mí. Ustedes son mis héroes, mis guías y mis mejores amigos. Su presencia ha sido el pilar en el que he construido mi futuro, y les agradezco por ser mi fuente de fortaleza y confianza en cada paso del camino.

Hoy, este título es un símbolo del amor y dedicación que han invertido en mi educación y en mi vida. Es un testimonio de sus sacrificios y una muestra de cómo su influencia positiva ha dado frutos en mi desarrollo profesional.

Al mirar hacia el futuro, sé que hay nuevos retos y oportunidades que me esperan. Pero estoy seguro de que con los valores y enseñanzas que ustedes me han brindado, estaré preparado para enfrentar lo que venga. Mi compromiso es continuar aprendiendo, creciendo y trabajando arduamente para honrar su apoyo y hacerles sentir orgullosos.

En este día de celebración, quiero reiterar mi más profundo agradecimiento por ser los mejores padres que alguien podría desear. Gracias por todo lo que han hecho por mí, por su amor incondicional y por creer en mi potencial. Su presencia en mi vida ha sido un regalo inestimable, y siempre llevaré conmigo sus valores y su amor mientras sigo adelante en este emocionante camino llamado vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queridos padres, familiares y apreciados docentes,

Hoy, con una emoción inmensa me dirijo a ustedes para expresarles mi más profundo agradecimiento por el apoyo brindado en mi camino para culminar mi carrera profesional. Fueron años de dedicación, esfuerzo y perseverancia, y este logro no habría sido posible sin su amor, aliento y orientación constante. Desde los primeros pasos en esta carrera, sentí el calor de su apoyo incondicional. Cada vez que tropecé, ustedes estuvieron ahí para levantarme. Cuando dudé de mí mismo, ustedes me recordaron mi potencial y me alentaron a seguir adelante. Han sido mi red de seguridad en los momentos de tempestad y mi faro de luz en los momentos de oscuridad. Por todo esto, quiero decirles su presencia fue mi mayor motivación y bendición.

A ustedes, mis queridos padres, les debo todo. Su amor, sacrificio y dedicación fueron la base de mi éxito. Desde que era un niño, estuvieron a mi lado, apoyándome en cada paso del camino. Nunca dudaron y creyeron en mis sueños, incluso cuando yo mismo lo hacía. Me enseñaron la importancia de la perseverancia, la disciplina y el trabajo arduo. Hoy, puedo mirar hacia atrás y ver cómo sus valores se han convertido en los pilares de mi formación como persona y profesional.

A mi familia y amigos cercanos, agradecerles por su inquebrantable apoyo. Sus palabras de ánimo, gestos de cariño y presencia constante, fueron un bálsamo para mi alma en los momentos de incertidumbre. Siempre estuve respaldado y acompañado por cada uno de ustedes. Su confianza en mí y su alegría por mis logros fueron el motor para seguir adelante, incluso cuando el camino se tornó difícil.

A mis estimados docentes, les agradezco de todo corazón por su entrega y dedicación. Su pasión por enseñar y su compromiso con nuestro crecimiento académico y personal han sido fundamentales en mi desarrollo profesional. Cada lección, cada consejo y cada corrección constructiva me han llevado a superar mis limitaciones y a alcanzar mis metas. Ustedes han sido más que maestros, han sido mentores y guías en esta travesía educativa. Hoy, al alcanzar este importante logro, miro hacia atrás con gratitud y hacia adelante con esperanza. Este no es el final del camino, sino el comienzo de un nuevo capítulo en mi vida profesional. Sé que enfrentaré nuevos desafíos y oportunidades, pero estoy seguro de que, gracias a su apoyo, estaré preparado para enfrentar lo que venga. Una vez más, les doy las gracias desde lo más profundo de mi corazón. Mi éxito no solo es mío, sino también de cada uno de ustedes que han sido parte de mi vida y mi formación. Siempre llevaré conmigo sus enseñanzas, sus valores y su amor, mientras sigo creciendo y aprendiendo en este fascinante viaje llamado vida.

## ÍNDICE

	Página
<u>I.</u> <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<u>II.</u> <u>REVISIÓN DE LITERATURA</u> .....	3
<u>2.1.</u> <u>Marco teórico</u> .....	3
<u>2.1.1.</u> <u>El uso del suelo</u> .....	3
<u>2.1.2.</u> <u>La calidad del suelo</u> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<u>2.1.3.</u> <u>Indicadores de la calidad del suelo</u> .....	7
<u>2.1.4.</u> <u>Propiedades físicas</u> .....	7
<u>2.1.5.</u> <u>Propiedades químicas</u> .....	12
<u>2.1.6.</u> <u>Propiedades biológicas</u> .....	19
<u>2.1.7.</u> <u>Inventario de la macrofauna edáfica</u> .....	21
<u>2.1.8.</u> <u>Importancia de macrofauna en el suelo</u> .....	22
<u>2.1.9.</u> <u>Densidad de macrofauna en el suelo</u> .....	22
<u>2.1.10.</u> <u>Diversidad de especies</u> .....	22
<u>2.1.11.</u> <u>Cuantificación de la diversidad de especies</u> .....	22
<u>2.1.12.</u> <u>Factores que influyen en la densidad y diversidad de la macrofauna</u> <u>del suelo</u> .....	24
<u>2.1.13.</u> <u>Biomasa microbiana</u> .....	25
<u>2.1.14.</u> <u>La biodiversidad</u> .....	26
<u>2.1.15.</u> <u>Diversidad de especies</u> .....	26
<u>2.1.16.</u> <u>Riqueza biológica</u> .....	27
<u>2.2.</u> <u>Estado del arte</u> .....	27
<u>2.2.1.</u> <u>Antecedentes</u> .....	27
<u>III.</u> <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	31
<u>3.1.</u> <u>Lugar de ejecución</u> .....	31
<u>3.1.1.</u> <u>Ubicación política</u> .....	25
<u>3.1.2.</u> <u>Ubicación geográfica</u> .....	31
<u>3.1.3.</u> <u>Datos climáticos</u> .....	31
<u>3.1.4.</u> <u>Relieve</u> .....	32
<u>3.1.5.</u> <u>Hidrografía</u> .....	32
<u>3.1.6.</u> <u>Accesibilidad</u> .....	32
<u>3.1.7.</u> <u>Descripción de las parcelas</u> .....	32

3.2. <u> Materiales y equipos</u> .....	33
3.2.1. <u> Materiales</u> .....	33
3.2.2. <u> Equipos</u> .....	33
3.3. <u> Criterios de investigación</u> .....	33
3.3.1. <u> Tipo de investigación</u> .....	33
3.3.2. <u> Nivel de investigación</u> .....	33
3.3.3. <u> Variables de investigación</u> .....	33
3.3.4. <u> Operacionalización de variables</u> .....	34
3.3.5. <u> Diseño de investigación</u> .....	35
3.3.6. <u> Población y muestra</u> .....	35
3.3.7. <u> Técnicas e instrumentos de recolección de datos</u> .....	36
3.3.8. <u> Análisis de datos</u> .....	36
3.4. <u> Metodología</u> .....	36
3.4.1. <u> Determinar las propiedades físicas y químicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – San Martín...</u> .....	36
3.4.2. <u> Determinar la diversidad de macrofauna en tres sistemas de uso del suelo</u> ... ..	38
3.4.3. <u> Determinar la relación existente entre las características físicas, químicas y biológicas en los tres sistemas de uso del suelo</u> .....	39
IV. <u> RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	41
4.1. <u> Determinar las propiedades físicas y químicas en tres tipos de sistemas de uso en el caserío Cajatambo – Uchiza – San Martín</u> .....	41
4.1.1. <u> Propiedades físicas del suelo</u> .....	41
4.1.2. <u> Propiedades químicas del suelo</u> .....	45
4.2. <u> Determinar la diversidad de macrofauna en tres sistemas de uso del suelo</u> .....	54
4.2.1. <u> Riqueza de especies</u> .....	55
4.2.2. <u> Diversidad de la macrofauna</u> .....	56
4.3. <u> Determinar la relación existente entre las propiedades físicas, químicas y biológicas en los tres sistemas de uso del suelo</u> .....	57
4.3.1. <u> Correlación de las propiedades físicas versus la macrofauna del suelo</u> .....	57
4.3.2. <u> Correlación de las propiedades químicas versus la macrofauna del suelo</u> .....	58
V. <u> CONCLUSIONES</u> .....	60
VI. <u> PROPUESTAS A FUTURO</u> .....	61
VII. <u> REFERENCIAS</u> .....	62
<u> ANEXO.....</u> .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. <a href="#">Tamaño de las partículas del suelo</a> .....	9
2. <a href="#">Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo</a> .....	10
3. <a href="#">Valores a la resistencia a la penetración del suelo</a> .....	11
4. <a href="#">Niveles de pH en el suelo</a> .....	13
5. <a href="#">Intervalos de materia orgánica en el suelo</a> .....	14
6. <a href="#">Niveles de contenido de nitrógeno</a> .....	15
7. <a href="#">Niveles de contenido de fósforo disponible</a> .....	15
8. <a href="#">Niveles de contenido de potasio disponible (K<sub>2</sub>O)</a> .....	16
9. <a href="#">Rangos interpretativos para Calcio (Ca<sup>2+</sup>) intercambiable</a> .....	17
10. <a href="#">Rangos interpretativos para Magnesio (Mg<sup>2+</sup>) intercambiable</a> .....	18
11. <a href="#">Rangos interpretativos para la capacidad de intercambio catiónico</a> .....	19
12. <a href="#">Clasificación de la macrofauna del suelo por grupos</a> .....	20
13. <a href="#">Coordenadas UTM (Datum WGS 84, UTM/UPS) del área de investigación</a> .....	31
14. <a href="#">Variables en estudio</a> .....	34
15. <a href="#">Determinación de los indicadores físicos y químicos evaluados</a> .....	37
16. <a href="#">Textura de los suelos encontrados en los tres sistemas de uso</a> .....	41
17. <a href="#">Valores para la densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) en los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	43
18. <a href="#">Valores para la resistencia a la penetración (kg/cm<sup>2</sup>) en tres sistemas de uso del suelo</a> ...	44
19. <a href="#">Valores para el pH del suelo en los tres sistemas de uso</a> .....	46
20. <a href="#">Valores para el nitrógeno disponible (%) en los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	47
21. <a href="#">Valores para la materia orgánica del suelo (%) en los tres sistemas de uso</a> .....	48
22. <a href="#">Valores para el fósforo disponible del suelo (ppm) en los tres sistemas de uso</a> .....	50
23. <a href="#">Valores para el potasio disponible del suelo (kg.K<sub>2</sub>O/ha) en los tres sistemas de uso</a> .....	51

24. <a href="#">Valores para la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Cmol(+)/kg-1) en los tres sistemas de uso</a> .....	53
25. <a href="#">Número de individuos por orden en los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	55
26. <a href="#">Diversidad de Shanon – Wiener para los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	57
27. <a href="#">Correlación de las propiedades físicas versus la macrofauna del suelo en cada sistema de uso</a> .....	57
28. <a href="#">Correlación de las propiedades químicas versus la macrofauna del suelo en cada sistema de uso</a> .....	58
29. <a href="#">Valores de la textura del suelo</a> .....	73
30. <a href="#">Valores para la densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>)</a> .....	73
31. <a href="#">Valores para la resistencia a la penetración del suelo (kg/cm<sup>2</sup>)</a> .....	74
32. <a href="#">Valores para el pH del suelo</a> .....	74
33. <a href="#">Valores para el nitrógeno (%) del suelo</a> .....	75
34. <a href="#">Valores para la materia orgánica del suelo (%)</a> .....	75
35. <a href="#">Valores para el fósforo del suelo (ppm)</a> .....	76
36. <a href="#">Valores para el potasio del suelo (kg.K<sub>2</sub>O/ha)</a> .....	76
37. <a href="#">Valores para la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Cmol(+)/kg-1)</a> .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. <a href="#">Diagrama de muestreo en cada uno de los sistemas de uso del suelo</a> .....	37
2. <a href="#">Diagrama de muestreo del suelo para las características biológicas en cada uno de los sistemas de uso</a> .....	38
3. <a href="#">Valores en proporción de arena, arcilla y limo en los sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo</a> .....	42
4. <a href="#">Valores de la densidad aparente en los tres sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo</a> .....	43
5. <a href="#">Valores de la resistencia a la penetración (kg/cm<sup>2</sup>) en los tres sistemas de uso del suelo</a> ...	45
6. <a href="#">Valores para el pH en los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	46
7. <a href="#">Valores para el nitrógeno disponible (%) de los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	47
8. <a href="#">Valores para la materia orgánica (%) de los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	49
9. <a href="#">Valores para el fósforo disponible (ppm) de los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	51
10. <a href="#">Valores para el potasio disponible (kg.K<sub>2</sub>O/ha) de los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	52
11. <a href="#">Valores para la capacidad de intercambio catiónico Cmol(+)/kg<sup>-1</sup> de los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	54
12. <a href="#">Número de individuos por orden en los tres sistemas de uso del suelo</a> .....	56
13. <a href="#">Muestreo de suelos en un sistema de uso agroforestal</a> .....	78
14. <a href="#">Muestreo de suelos en un sistema de uso ex cocal</a> .....	78
15. <a href="#">Muestreo de suelos en un sistema de bosque</a> .....	79
16. <a href="#">Muestras de suelos en un sistema de uso ex cocal</a> .....	79
17. <a href="#">Muestras de suelos en un sistema de bosque</a> .....	80
18. <a href="#">Muestras de suelos en un sistema de uso agroforestal</a> .....	80
19. <a href="#">Etiquetado de las muestras de suelos para laboratorio de suelos de la UNAS</a> .....	81
20. <a href="#">Muestras de suelos a diferentes profundidades para ser analizadas en el Laboratorio de suelos de la UNAS</a> .....	81

## RESUMEN

La investigación se realizó en el caserío Cajatambo, en tres tipos de sistemas de uso, los cuales son bajo un sistema agroforestal, un excocal y un bosque primario ubicados en el distrito de Uchiza, provincia de Tocache y departamento de San Martín, el objetivo fue determinar las propiedades fisicoquímicas, la diversidad de macrofauna en los suelos y la relación existente entre las propiedades biológicas, físicas y químicas en los tres tipos de sistemas de uso del suelo, para el análisis y validación de datos se usó la estadística descriptiva, los resultados arrojaron que: Las propiedades físicas de los sistemas de uso en el caserío Cajatambo presenta una textura franco arcillosa, el mejor valor de densidad aparente y resistencia a la penetración del suelo en el bosque primario con  $1,45 \text{ g/cm}^3$  y  $1,64 \text{ kg/cm}^2$ , así mismo en las propiedades químicas en el bosque primario se tuvieron los mayores valores el pH con 5,97, nitrógeno con 0,07%, materia orgánica con 1,25% y la capacidad de intercambio catiónico con  $7,17 \text{ Cmol}(+)/\text{kg-1}$ , en el caso del fósforo y potasio disponible se obtuvo mayores valores en el sistema de uso agroforestal con 24,68 ppm y  $76,32 \text{ kg. K}_2\text{O/ha}$  respectivamente. La diversidad de macrofauna de los sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo 15 órdenes de macrofauna, para los sistemas de uso del suelo agroforestal con el orden Isóptera y Haplotaxida como las más predominantes con 382 y 250 individuos por  $\text{m}^2$ , pero en cuanto a la mayor diversidad mediante Shannon Wiener en el sistema de uso bosque primario con 0,91. La relación existente entre las características biológicas con las físicas de los sistemas de uso del suelo presentan una correlación positiva media de la macrofauna en el sistema de uso excocal versus la densidad aparente con un valor de 0,51 y una correlación positiva media del sistema de uso agroforestal versus la resistencia a la penetración del suelo con un valor de 0,49, así mismo un valor importante en las propiedades químicas el valor del potasio con una relación positiva media en relación a la macrofauna obtenido en el sistema de uso bosque primario con un valor de 0,51. En general los resultados demostraron que existen diferencias entre las propiedades físicos, químicas y biológicos en los sistemas de uso del suelo.

**Palabras clave:** Agroforestería, muestreo, características, suelos, relación.

## ABSTRACT

The research was carried out in the Caserío Cajatambo, in three types of use systems, which are under an agroforestry system, an excocal and a primary forest located in the district of Uchiza, Province of Tocache and department of San Martin, the objective was to determine the physicochemical properties, the diversity of macrofauna in the soils and the relationship between the biological, physical and chemical properties in the three types of land use systems, for the analysis and validation of data, descriptive statistics were used. , the results showed that: The physical properties of the use systems in the Cajatambo hamlet present a clay loam texture, the best value of apparent density and resistance to soil penetration in the primary forest with  $1,45 \text{ g/cm}^3$  and  $1,64 \text{ kg/cm}^2$ , likewise in the chemical properties in the primary forest the highest values were pH with 5,97, nitrogen with 0,07%, organic matter with 1,25% and cation exchange capacity. with  $7,17 \text{ Cmol}(+)/\text{kg-1}$ , in the case of available phosphorus and potassium, higher values were obtained in the agroforestry use system with 24,68 ppm and 76,32 kg.  $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$  respectively. The diversity of macrofauna of the land use systems in the Cajatambo hamlet 15 orders of macrofauna, for the agroforestry land use systems with the order Isóptera and Haplotaxida as the most predominant with 382 and 250 individuals per  $\text{m}^2$ , but in terms of the greatest diversity by Shannon Wiener in the primary forest use system with 0,91. The relationship between the biological and physical characteristics of the land use systems show a positive mean correlation of the macrofauna in the excocal use system versus apparent density with a value of 0,51 and a mean positive correlation of the agroforestry use system versus resistance to soil penetration with a value of 0,49, likewise an important value in the chemical properties of potassium with a mean positive relationship in relation to the macrofauna obtained in the primary forest use system with a value of 0,51. In general, the results showed that there are differences between the physical, chemical and biological properties in the land use systems.

**Keywords:** Agroforestry, sampling, characteristics, soils, relationship.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú los sistemas de uso de suelo en el campo agrícola buscan regular y promover una agricultura sostenible y productiva, conservando los recursos naturales, fomentando las buenas prácticas agrícolas y promoviendo la diversificación de cultivos, esto implica establecer normas y directrices para el uso adecuado de los suelos agrícolas, considerando factores como la calidad del suelo, el clima, el tipo de cultivo y las prácticas agrícolas con la participación activa de agricultores, comunidades locales y entidades gubernamentales, buscando garantizar el desarrollo equilibrado de las zonas rurales y contribuir al bienestar de los agricultores y al desarrollo agrario sostenible en el país.

En la zona de Tocache San Martín los proyectos especiales y otras instituciones del estado han implementado prácticas agrícolas sostenibles, mediante enfoques y metodologías utilizadas que permiten clasificar e identificar las áreas de tierra en función de sus usos y características específicas., como es el empleo de técnicas de agricultura orgánica, la rotación de cultivos y el control integrado de plagas y enfermedades, hecho que han orientado la producción de cultivos agrícolas como el plátano, cacao, café y otros que requieren una efectiva fertilización para su producción y que modifican rotundamente los parámetros fisicoquímicos de suelo original.

Las características fisicoquímicas del suelo están estrechamente relacionadas con los sistemas de empleo del suelo, ya que el tipo de actividad humana que se realice en un área determinada puede tener un impacto significativo en estas características del suelo, por lo que resulta importante gestionar de manera sostenible los sistemas de uso del suelo para conservar y mejorar estas propiedades, garantizando así la productividad del suelo y la protección del medio ambiente, hecho que genera la siguiente pregunta ¿como son las propiedades fisicoquímicas y biológicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – Tocache – San Martín?, es pertinente mencionar que la planificación adecuada y el manejo responsable de las actividades humanas siempre son fundamentales para mantener la salud y la funcionalidad del suelo en los diferentes sistemas de uso del suelo de cualquier región.

La investigación se justifica porque la investigación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en los sistemas de uso es esencial para promover prácticas sostenibles, conservar los recursos naturales, proteger el medio ambiente y garantizar la seguridad alimentaria, en tal sentido la comprensión profunda de estas propiedades nos brinda una base sólida para el desarrollo de políticas y estrategias que aseguren la gestión adecuada y responsable de nuestros suelos y la protección de los ecosistemas terrestres.

En base a estas consideraciones y la importancia por aportar información relevante y con esto contribuir al desarrollo de una agricultura sostenible, principalmente de la población rural, motivaron el desarrollo de la investigación, formulándose para ello la siguiente hipótesis: las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo tienen distintos valores debido a las actividades antrópicas que modifican dichas propiedades en los sistemas de uso en el caserío de Cajatambo, Uchiza, por tanto se plantea los siguientes objetivos:

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar las propiedades fisicoquímicas y biológicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – Tocache – San Martín.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas y químicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – Tocache – San Martín
- Determinar la diversidad de macrofauna en los tres sistemas de uso del suelo.
- Determinar la relación existente entre las características propiedades físicas, químicas y biológicas en los tres sistemas de uso del suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. El uso del suelo

El término "uso" se refiere a las distintas formas de ocupación y aprovechamiento de la tierra por parte de los seres humanos, como la actividad agrícola, ganadera, el desarrollo urbano o el uso recreativo. Las condiciones socioeconómicas y culturales de una comunidad determinan las formas en que se emplean los recursos naturales del territorio, y a su vez, estos recursos tienen un impacto directo en la sociedad que los utiliza. Existen diversas metodologías y sistemas de clasificación para categorizar y describir la cobertura y el uso de la tierra (Rico Calvano & Rico Fontalvo, 2014).

Los usos del suelo se refieren a las diversas maneras en que se utiliza un terreno y su cobertura vegetal. Estos usos y el grado en que se explotan tienen un impacto significativo en la apariencia y características del paisaje. Cuando se producen modificaciones en los usos del suelo, se generan cambios en la forma en que se emplea la tierra y su vegetación. Estos cambios pueden resultar en alteraciones notables en el paisaje y en las funciones ecológicas de la zona en cuestión (López Vázquez et al., 2015).

El uso del suelo se define como la utilización de una superficie específica en relación con su capacidad agrológica y su potencial de desarrollo. Este se categoriza según su ubicación en áreas urbanas o rurales. El uso del suelo es un compuesto esencial para el desarrollo de una ciudad y su población, ya que determina la estructura urbana y define su funcionalidad. Es a través de los usos del suelo que se establecen las actividades y funciones que se llevarán a cabo en distintas áreas, como zonas residenciales, comerciales, industriales, agrícolas u otras. Estos usos del suelo influyen en la organización espacial de una ciudad, la disponibilidad de servicios y la calidad de vida de sus habitantes. (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del DF. [PAOT], 2003)

El uso del suelo se refiere a los efectos de las actividades socioeconómicas realizadas sobre una determinada área de cobertura. Estas actividades están vinculadas a la explotación de los recursos naturales para la producción de bienes y servicios. Es importante considerar que el territorio no puede ser visto como un sistema aislado de los procesos sociales. Debe ser concebido como un conjunto integrado compuesto tanto por aspectos naturales como sociales, los cuales son dinámicos y están sujetos a cambios a lo largo del tiempo. Esto implica

que tanto la parte natural del territorio como la sociedad que lo ocupa están en constante transformación, y estas transformaciones pueden influenciarse mutuamente (Pineda, 2011).

La vocación de empleo de tierra se refiere a la principal categoría de uso que una unidad de suelo puede sustentar de manera sostenible, evaluada en función de sus características biofísicas. Esta vocación se divide en cinco clases principales: agrícola, ganadera, agroforestal, forestal y de conservación. Estas clases representan los principales tipos de usos que pueden ser apropiados y viables para una determinada área de suelo, considerando su capacidad natural. Cada clase de uso del suelo tiene requisitos específicos en términos de clima, suelo, topografía y otros factores para garantizar su sostenibilidad a largo plazo. La evaluación de la vocación de uso del suelo es importante para tomar decisiones informadas sobre la gestión y planificación de las actividades humanas en un área determinada, con el objetivo de promover un uso correcto y sostenible de los recursos naturales. (IGAC, 2012).

La vocación de empleo de tierra se refiere a la relación entre el área de tierra ocupada y la duración de las actividades humanas realizadas en ella. Además, es importante realizar una evaluación cualitativa de los cambios que experimenta el suelo como resultado de su uso. Durante la descripción del ciclo de vida del suelo, se consideran dos aspectos fundamentales del uso de la tierra: la extensión de área ocupada y las alteraciones en la calidad del suelo. Estos aspectos son cruciales para comprender el impacto y la sostenibilidad de las actividades humanas en el suelo. Se reconoce la importancia de evaluar tanto el área utilizada como las variaciones en la calidad de la tierra para conseguir una visión completa de los efectos del uso de la tierra y poder tomar decisiones informadas sobre su gestión y conservación (Weidema & Lindeijer, 2001).

Los indicadores de uso del suelo expresan los conceptos de ocupación y transformación. La ocupación se refiere al impacto generado en la flora, fauna, suelo y superficie del suelo mientras se lleva a cabo una actividad humana. Por otro lado, la transformación implica un proceso en el cual se produce un cambio en el estado original de la flora, fauna, suelo o superficie del suelo hacia un estado alterado. Estos indicadores han sido propuestos considerando la capacidad de resiliencia del suelo, es decir, su capacidad para adaptarse y recuperarse de los impactos generados por el uso del suelo. En resumen, los indicadores de uso del suelo permiten medir y evaluar el impacto y los cambios resultantes de las actividades humanas en la flora, fauna, suelo y superficie del suelo, teniendo en cuenta la capacidad de resiliencia del suelo (Goedkoop & Spriensma, 2000).

Existen métodos de clasificación que consideran el suelo como un recurso productivo y se enfocan en indicadores que están directamente relacionados con su capacidad de producción. Estos indicadores se centran en evaluar la fertilidad, textura, drenaje, contenido de nutrientes y otros aspectos que determinan la aptitud del suelo para la agricultura, la silvicultura u otros usos productivos (Ríos, 2011).

. Estos métodos de clasificación se basan en medir la capacidad del suelo para sostener y generar recursos naturales y productivos, y se utilizan para orientar las decisiones sobre el empleo y uso adecuado del suelo en actividades agrícolas y forestales, maximizando su potencial productivo y minimizando los impactos negativos en el medio ambiente. (Weidema & Lindeijer, 2001).

Además de los métodos de clasificación basados en la productividad del suelo, también hay enfoques que consideran la influencia del empleo del suelo en su calidad, particularmente en términos de biodiversidad. Estos enfoques incorporan indicadores de biodiversidad como parte de la evaluación del uso del suelo. Los indicadores de biodiversidad incluyen medidas de la diversidad de especies vegetales y animales presentes en un área determinada, así como la presencia de especies endémicas o en peligro de extinción. Estos indicadores proporcionan información valiosa sobre la salud y la vitalidad del ecosistema, y ayudan a evaluar los impactos potenciales del uso del suelo en la conservación de la biodiversidad. Al considerar los indicadores de biodiversidad, se puede buscar un equilibrio entre el desarrollo humano y la preservación de los valores ecológicos y naturales del suelo, promoviendo prácticas de uso sostenible que preserven y protejan la diversidad biológica (Lindeijer, 2000).

### **2.1.2. La calidad del suelo**

El concepto de calidad del suelo se ha relacionado con la capacidad del suelo para desempeñar sus funciones de manera efectiva. La calidad del suelo abarca diversas características, como la fertilidad, la productividad potencial, la sostenibilidad y la calidad ambiental. Evaluar la calidad del suelo es fundamental para comprender su utilidad y salud como recurso natural. Se considera que la calidad de la tierra es un indicador clave para determinar la capacidad de la tierra para sustentar la vida vegetal, proporcionar nutrientes a los cultivos, filtrar y purificar el agua, y mantener la estabilidad de los ecosistemas (Bautista Cruz, 2004).

El Comité para la Salud del Suelo define la calidad del suelo como su capacidad para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o gestionado. Esto

implica que el suelo debe preservar la producción de plantas y animales, preservar o mejorar la calidad del aire y el agua, y sostener la salud humana y el hábitat. Es decir, la calidad del suelo se refiere a su papel esencial en el mantenimiento de la vida y los procesos ambientales (García, 2012).

Parr et al. (1992) añaden que la calidad del suelo implica su capacidad para producir cultivos saludables y nutritivos de manera sostenible, promoviendo la salud humana y animal sin dañar los recursos naturales o el entorno. En resumen, un suelo de calidad mantiene la productividad de los cultivos, asegura la salud de todos los seres vivos y no compromete los recursos naturales ni el equilibrio ambiental.

Acton & Gregorich (1995) definen calidad de la tierra y el estado en la que el suelo puede conservar el desarrollo de las plantas sin sufrir desgaste ni causar daños al medio ambiente. Esto implica que el suelo está en condiciones de proporcionar un medio adecuado para el desarrollo de cultivos, regular y distribuir el flujo del agua en el entorno, y actuar como un amortiguador de los cambios ambientales por diversos efectos. En ese sentido la calidad de la tierra se refiere a su capacidad para conservar el desarrollo de los cultivos sin desgaste ni daños ambientales, considerando tanto las propiedades intrínsecas del suelo como sus interacciones con el medio ambiente. En consecuencia, para lograrlo, es fundamental adoptar prácticas de manejo sostenibles que promuevan la producción a largo plazo y fomenten la agricultura sustentable.

Doran & Parkin, 1994; Karlen et al. (1997) manifiestan que la calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo:

- propiciar la productividad del sistema sin perder sus características fisicoquímicas y biológicas (productividad biológica sostenible).
- reducir contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental).
- favorecer la salud de plantas, animales y humanos.

### **2.1.3. Indicadores de la calidad del suelo**

Hünemeyer et al. (1997) propusieron que los indicadores de calidad del suelo deben: (a) evaluar el estado actual y reconocer puntos críticos para el desarrollo sostenible; (b) estudiar posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las acciones humanas; y (d) definir la sostenibilidad del uso del recurso.

Astier & Calderón (2002) indican que los indicadores de calidad de la tierra se refieren a las características o parámetros fisicoquímicos y biológicos, estos

indicadores brindan datos sobre el estado y funcionamiento del suelo, y permiten determinar su capacidad para conservar el crecimiento de las plantas y su sostenibilidad a largo plazo. Los indicadores físicos se refieren a aspectos como la textura, estructura y porosidad del suelo. Los indicadores químicos incluyen la fertilidad, pH, contenido de nutrientes y presencia de contaminantes. Por último, los indicadores biológicos evalúan la actividad y diversidad de microorganismos, la presencia de organismos indicadores de salud del suelo, y la descomposición de MO.

Las condiciones del suelo se pueden monitorear a través de sus propiedades y dinámica en dimensiones espaciales y temporales. Dada su complejidad, la evaluación requiere considerar los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo. (Magdoff & Weil, 2004).

#### **2.1.4. Propiedades físicas**

Los parámetros físicos del suelo son elementos esenciales considerados en el estudio de la calidad del suelo, ya que son difíciles de mejorar de manera rápida o sencilla, estos aspectos físicos influyen en la capacidad del suelo para retener y transportar agua, permitir la penetración de las raíces de los cultivos, facilitar el intercambio gaseoso y promover la actividad biológica (Singer & Ewing, 2000).

El estado físico del suelo define su rigidez, capacidad portante, facilidad de penetración de raíces, aireación, drenaje, almacenamiento de agua, plasticidad y retención de nutrientes. Es crucial que quienes usan la tierra comprendan estas propiedades y cómo afectan el desarrollo de las plantas, así como el impacto de la actividad humana en ellas. También deben reconocer la importancia de conservar el estado físico del suelo. (Rucks et al., 2004).

Los parámetros físicos del suelo influyen significativamente en la capacidad humana para utilizar la tierra de diversas maneras. La condición del suelo afecta su habilidad para soportar y promover la penetración de raíces, la circulación del aire, el almacenamiento y drenaje de agua, y la retención de nutrientes, entre otros factores que afectan su potencial productivo (Carrasco & Ortiz, 2011).

Estas propiedades indican cómo la tierra acepta, almacena y suministra agua a los cultivos, así como las limitaciones para el desarrollo de raíces y vegetación, relacionadas con la disposición de partículas y poros. Propiedades físicas como la textura, DA, estabilidad de los agregados, infiltración, profundidad del suelo, capacidad de almacenamiento

de agua y conductividad hidráulica saturada son indicadores de la calidad del suelo. (Bautista Cruz, 2004).

– **La textura del suelo**

USDA (2006) la textura del suelo se define como la proporción (en porcentaje en masa) de partículas (arena, arcilla y limo) con un diámetro inferior a 2 mm en la capa de la tierra. En los problemas de las ciencias de la tierra, las partículas del suelo se dividen en elementos gruesos (diámetro superior a 2 mm) y elementos finos (tamaño inferior a 2 mm). Este último se utiliza para determinar la parte estructural del suelo.

La FAO (2019) indica a la textura del suelo como la cantidad de partículas de distintos tamaños, lo que determina la facilidad de trabajo de la tierra y su capacidad para retener agua y aire, así como la velocidad de infiltración del agua.

La textura indica al tamaño de las partículas minerales en la tierra que tienen menos de 2 mm de diámetro, donde se han definido tres tamaños de partículas minerales característicos: arena, limo y arcilla (Carrasco, 2008). Es decir, la textura es la proporción de estos elementos que componen el suelo. Las combinaciones de estos nombres se utilizan para indicar niveles intermedios. Por ejemplo, las texturas arenosas contienen 70% o más granos de arena, y las arenas arcillosas contienen entre 15% y 30% de limo y arcilla. Los suelos arcillosos contienen más de un 40% de partículas de arcilla, puede contener hasta un 45% de arena o hasta un 40% de limo y se clasifica como franco arenoso o arcilloso limoso. (Carrasco & Ortiz, 2011).

**Tabla 1.** Tamaño de las partículas del suelo.

Tamaño de las partículas del suelo	
Nombre del Componente	Diámetros límites (mm)
Arena muy gruesa	2.00 -1.00
Arena gruesa	1.0 0.50
Arena media	0.50-0.25
Arena fina	0.25-0.10
Arena muy fina	0.10-0.05
Limo	0.05-0.002
Arcilla	menos de 0.002

Fuente: Sistema de clasificación USDA (2006).

– **La densidad aparente**

La densidad de volumen o DA es definido como el peso seco de la tierra por unidad de volumen de suelo intacto en su estado natural, incluido el espacio poroso (Pinot, 2000).

La DA es un parámetro de suelo que se utiliza ampliamente en la actividad agrícola, principalmente en relación con las prácticas de uso de tierra y el agua (Folegatti et al., 2001), y es la propiedad con mayor impacto en la producción de los cultivos del suelo debido a su fuerte correlación con otros suelos. (Stewart et al., 1998).

Los valores altos de DA del suelo aumentan la compactación y dañan los estados de retención de humedad (Haddad, 2004), lo que a su vez limita el desarrollo de las raíces (Wolf & Snyder, 2003). La DA del suelo está influenciada por los sólidos y el espacio poroso (Dick, 2004), que a su vez está definido principalmente por la MO de la tierra (Stine & Weil, 2002). A medida que aumentan la MO y el espacio poroso, la DA disminuye y viceversa. (Salamanca & Sadeghian, 2005).

En suelos de textura fina, la densidad aparente oscila entre 1 y 1,2 g.cm<sup>-3</sup>, en tanto que en tierras arenosas la DA es mayor, oscilando entre 1,2 y 1,6 g.cm<sup>-3</sup> (Diks, 2004). Además, la naturaleza, tamaño y disposición de las partículas del suelo (Brady & Weil, 1999) y otros factores relacionados con su formación (Folegatti et al., 2001) afectan los valores de DA. (Salamanca & Sadeghian, 2005).

**Tabla 2.** Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura	Ideal (g.cm <sup>-3</sup> )	Aceptable (g.cm <sup>-3</sup> )	Puede afectar el crecimiento radicular (g.cm <sup>-3</sup> )	Restringe el crecimiento radicular (g.cm <sup>-3</sup> )
Arena, areno- franco	< 1.6	1.6 ≤ DA < 1.69	1.69 ≤ DA < 1.80	> 1.80
Franco-arenosa, franco	< 1.4	1.4 ≤ DA < 1.63	1.63 ≤ DA < 1.80	> 1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco-arcillosa	< 1.4	1.4 ≤ DA < 1.60	1.60 ≤ DA < 1.75	> 1.70
Limosa	< 1.3	1.3 ≤ DA < 1.60	1.60 ≤ DA < 1.75	> 1.75

Franco-limosa, franco-arcillo- limosa	< 1.4	$1.4 \leq DA < 1.55$	$1.55 \leq DA < 1.65$	>1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa	< 1.1	$1.1 \leq DA < 1.39$	$1.39 \leq DA < 1.58$	>1.58
Arcillosa (>45% arcilla)	< 1.1	$1.1 \leq DA < 1.39$	$1.39 \leq DA < 1.47$	>1.47

Fuente: SAGARPA (2017)

### – Resistencia a la penetración del suelo

La resistencia a la infiltración del suelo es una propiedad que tiene relación directa con la compactación resultante del incremento de la densidad y la reducción de la porosidad, lo que significa una degradación estructural que limita el progreso y el rendimiento de las plantas (Dexter et al., 2007). Los suelos con poca MO suelen ser más susceptibles a la compactación porque no forman agregados fuertes (partículas de suelo unidas entre sí). (Wolkowski & Lowery, 2008).

El informe del USDA (2006) indica que el aumento de la DA aumenta la resistencia mecánica y reduce la porosidad de la tierra, lo que limita el crecimiento de las raíces a niveles críticos.

La resistencia a la penetración es un indicador de la compactación de la tierra, que restringe el desarrollo radicular y la disponibilidad de aire y agua para las plantas (Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003). Esta resistencia se mide calculando la fuerza del penetrómetro en relación con la profundidad de penetración. (Herrick & Jones, 2002).

La resistencia a la penetración del suelo brinda información útil sobre la distribución espacial y la profundidad de las capas de suelo compactadas. El suelo compactado reduce la tasa de desarrollo de los sistemas de raíces de los cultivos, lo que limita el uso de agua y nutrientes de los cultivos. (Upadhyaya et al., 1999).

La medición de la resistencia mecánica del suelo a la penetración es un método sencillo para detectar cambios de perfil asociados con la exploración de raíces (Pires da Silva et al., 2003). Las diferencias espaciales en la resistencia a la penetración de la tierra son más adecuadas que la DA para definir las capas limitantes del crecimiento de las raíces, ya que muestra una mayor sensibilidad en la determinación de fracciones de compactación diferenciales. (Jorajuria Collazo, 2004).

**Tabla 3.** Valores de la resistencia a la penetración del suelo.

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

Fuente: Bazán (2017)

### **2.1.5. Propiedades químicas**

Los indicadores químicos reflejan condiciones que dañan la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación de la tierra y la disponibilidad de agua y nutrientes para cultivos y microorganismos (SQI, 1996). Estos incluyen la disponibilidad de nutrientes, C orgánico total y lábil, pH, CE, capacidad de adsorción de fosfatos, CIC, cambios en la MO, N total y N mineralizable (Bautista Cruz, 2004).

Los indicadores más utilizados son la disponibilidad de nutrientes, pH, CE, C orgánico total y lábil, MO, CIC, N total y mineralizable, capacidad de adsorción de fosfatos y disponibilidad de micronutrientes. (Bautista et al., 2004; Bautista & Etchevers, 2014).

#### **– El pH**

La estructura química del suelo incluye el pH y los nutrientes, cuyo análisis es esencial para optimizar la fertilización, seleccionar los cultivos adecuados y maximizar los rendimientos de la cosecha (Acevedo et al., 2005).

El pH mide la acidez, neutralidad o alcalinidad de la tierra, calculándose como el logaritmo negativo de la concentración de H<sup>+</sup> en moles por litro, en una escala de 0 a 14. Una solución es ácida si prevalecen los cationes de H<sup>+</sup>, básica si predominan los aniones OH<sup>-</sup>, y neutra si ambos están en igual concentración (Martínez, 2003).

El pH óptimo para el rendimiento de las plantas se encuentra entre 6.5 y 7.5; valores fuera de este rango pueden generar problemas de toxicidad. Los suelos con un pH entre 5.8 y 7.5 son más propensos a estos problemas que aquellos con valores extremos. Un pH menor o igual a 5 indica deficiencias en Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, o la presencia de elementos tóxicos como Zn<sup>2+</sup> y Al<sup>3+</sup> (Fassbender y Bornemisza, 1987). Además, el pH afecta indirectamente fases químicas, la disponibilidad de nutrientes, etapas biológicas y actividad microbiana. (Sánchez, 2007).

**Tabla 4.** Niveles de pH en el suelo

<b>Interpretación</b>	<b>Rango</b>
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: Laboratorio de análisis de suelos de la UNAS

#### – La materia orgánica

La MO del suelo, compuesta por sustancias orgánicas de color pardo y negro resultantes del desgaste de materia vegetal, es esencial y contiene alrededor del 5% de N. Su valor en la tierra se estima multiplicando su contenido total de N por 20. (Navarro, 2003).

Esta materia incluye organismos vivos, restos de plantas y residuos animales, siendo la fracción más activa del suelo. Almacena nutrientes esenciales, mejora la estructura del suelo, actúa como fuente de CIC, regula el pH y optimiza las relaciones entre el aire y el agua, además de ser un importante depósito de C (Bohn et al., 1993).

El contenido de MO varía significativamente según la región. Por ejemplo, un 2% es alto en un valle aluvial de la costa, pero bajo en la sierra y medio en la Amazonía. Por ello, los niveles de bajo, medio y alto deben evaluarse regionalmente en función de las necesidades de los cultivos (Lok, 2005).

Según Martínez (2003), la MO es el indicador más relevante de la calidad de la tierra, siendo crucial para mantener su estructura, retener agua y actuar como reserva nutritiva.

Los suelos presentan una gran variabilidad en contenido de MO: los típicos de pradera tienen entre 5 y 6%, los desérticos arenosos menos del 1%, los de drenaje insuficiente más del 10%, y algunos suelos turbosos pueden alcanzar casi el 100% (Bohn et al., 1993).

**Tabla 54.** Intervalos de materia orgánica en el suelo.

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

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

#### – Los nutrientes del suelo

Los nutrientes del suelo son factores limitantes para el rendimiento de los cultivos. Comprender su dinámica de almacenamiento, requerimientos y roles es esencial para lograr una producción alta, eficiente y sostenible (Abbate & Andrade, 2015).

Según la FAO (1996), los nutrientes esenciales, necesarios en grandes cantidades para las plantas, incluyen N, P, K, C y Mg, y provienen de rocas madres y MO descompuesta por microorganismos. Deben estar siempre presentes en las cantidades y proporciones correctas.

La mayor parte del N en los suelos minerales se encuentra en la MO, resultante de la descomposición de microorganismos y plantas muertas, y no es directamente aprovechable por las plantas (Alvarado & Raigosa, 2007).

Aunque gran parte del N de la tierra proviene de la MO de animales, plantas, hongos y bacterias muertas (Schlesinger, 1997), este no está disponible a corto plazo y solo se libera tras los procesos de descomposición y mineralización. Las formas biológicas de N que las plantas pueden utilizar son inorgánicas: amonio y nitrato (Vitousek & Matson, 1985).

**Tabla 6.** Niveles de contenido de nitrógeno.

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

Fuente: USDA (2006).

Munera y Meza (2012) afirman que el P es uno de los 17 nutrientes esenciales para el rendimiento de los cultivos, vital para su desarrollo y reproducción. Su

deficiencia es común en la producción agrícola, y los cultivos necesitan proporciones relativamente grandes, con concentraciones que varían de 0.1 a 0.5%.

El fósforo es esencial para el almacenamiento y transferencia de energía, y se encuentra en macromoléculas clave como ácidos nucleicos y fosfolípidos, resaltando su importancia en todas las etapas fisiológicas. En el sistema suelo-planta, el 90% del P está en el suelo, y menos del 10% es accesible.

A diferencia del nitrógeno, que puede ser fijado por microorganismos, el P se origina solo de la desgaste de la roca madre en la meteorización, representando aproximadamente el 0.1% de la corteza terrestre. (Alvarado y Raigosa, 2007).

**Tabla 7.** Niveles de contenido de fósforo disponible.

Nivel	Fósforo (ppm)
Muy Bajo	< de 5
Bajo	5.1 – 15
Normal	15.1- 30
Alto	30.1 – 40

Fuente: USDA (2006).

El K es un macronutriente primordial para los cultivos, requerido en grandes cantidades, a veces comparables al N. Juega un rol fundamental para activar más de 60 enzimas relacionadas con etapas metabólicas como la fotosíntesis y la síntesis de proteínas y carbohidratos. También ayuda en el equilibrio hídrico y el desarrollo meristemático (Mengel & Kirkby, 2000).

A diferencia del P, el K está presente en la mayoría de tierras en proporciones relativamente altas, con un contenido de K<sub>2</sub>O que varía entre 0.5% y 3%, dependiendo de la textura del suelo. Los suelos arcillosos y limo-arcillosos tienen mayor concentración de K que los limo-arenosos y arenosos. (Bonh et al., 1985).

El potasio del suelo proviene de la desgaste de rocas que contienen minerales potásicos, siendo los feldespatos potásicos las fuentes originales más comunes (Alvarado & Raigosa, 2007).

Es un nutriente fundamental para mantener la alta producción en campos agrícolas, especialmente en presencia de especies leguminosas. Por lo tanto, la fertilización potásica es una práctica necesaria cuando análisis de suelo revelan niveles deficientes de potasio (Vistoso Gacitúa & Martínez Lagos, 2020).

**Tabla 8.** Niveles de contenido de potasio disponible (K<sub>2</sub>O).

Nivel	Potasio kg. ha <sup>-1</sup>
Muy Bajo	menos de 300
Bajo	300-600
Normal	más de 600

Fuente: USDA (2006).

Monge et al. (1994) mencionan que el calcio es uno de los componentes con mayor abundancia en la litosfera, presente en tierras en proporciones muy variables, principalmente según la roca madre. Sus formas minerales más comunes son carbonatos, fosfatos, sulfatos y algunos silicatos, siendo los primeros de solubilidad variable y los demás prácticamente insolubles.

Según SAGARPA (2017), el calcio intercambiable está directamente vinculado a la desgaste de la tierra por salinización y es relativamente abundante en suelos semiáridos. En tanto, suele presentarse en formas químicas de baja solubilidad, lo que limita su disponibilidad en la solución de la tierra. Aunque es el catión con más proporción en el complejo de variación de la tierra, su proporción utilizable depende del grado de saturación. El calcio y el magnesio son los principales componentes del complejo de intercambio catiónico, mientras que los cationes monovalentes están presentes en menor cantidad.

El contenido de C en los cultivos oscila del 0,1 al 5 % del peso seco, según la especie, el órgano y el estado del desarrollo. Asimismo, los niveles de Ca<sup>++</sup> libres en el citoplasma y cloroplastos deben mantenerse bajos para prevenir la precipitación de P inorgánico y la regulación descontrolada de enzimas como la fosfolipasa y la NAD-quinasa. (Dieter, 1984).

**Tabla 9.** Rangos interpretativos para calcio (Ca<sup>2+</sup>) intercambiable.

Clase	Ca (Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )
Muy bajo	Ca < 2
Bajo	2 ≤ Ca < 5
Medio	5 ≤ Ca < 10
Alta	Ca ≥ 10

Fuente: SAGARPA (2017)

El Mg es un nutriente esencial para los cultivos, interviniendo en la síntesis de xantofilas y carotenos, activando enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas,

manteniendo la turgencia celular y participando en la formación de carbohidratos (Cakmak y Yazici, 2010).

Este elemento, que representa el 2% de la corteza terrestre, está en minerales arcillosos del suelo o asociado al intercambio de cationes en la superficie de las arcillas (Mikkelsen, 2010).

Según Cakmak y Yazici (2010) y SAGARPA (2017), el magnesio es de particular interés por ser parte de la molécula de clorofila, relacionada con la fotosíntesis y el color verde de las plantas. Las deficiencias de Mg son comunes en tierras arenosas con baja CIC, limitando así la producción de cultivos.

Ross (2004) indica que las fracciones principales de Mg en los suelos son: Mg no intercambiable (fijado en minerales y rocas), Mg intercambiable (absorbido por minerales de arcilla y MO) y Mg en solución.

**Tabla 10.** Rangos interpretativos para magnesio (Mg<sup>2+</sup>) intercambiable.

Clase	Mg (Cmol <sup>(+)</sup> ·kg <sup>-1</sup> ) Muy baja
Muy bajo	Mg < 0.5
Bajo	0.5 ≤ Mg < 1.3
Medio	1.3 ≤ Mg < 3.0
Alta	Mg ≥ 3.0

Fuente: SAGARPA (2017)

La CIC mejora la estructura de la tierra, favoreciendo la aireación, retención de agua, actividad microbiana y fertilidad. La Tabla 11 muestra los rangos interpretativos para la CIC (SAGARPA, 2012).

Según la FAO (2022), el pH, la CIC, la materia orgánica y la acidez son propiedades químicas clave para la fertilidad del suelo. Un bajo CIC indica una limitada capacidad para retener nutrientes, lo que se refleja en tierras analizadas, que presentaron niveles de materia orgánica entre muy bajos y bajos.

Arévalo & Gauggel (2014) destacan que la determinación de la CIC es crucial, ya que el suelo actúa como reserva de nutrientes; una mayor CIC permite un mayor depósito de iones nutritivos, esenciales para el desarrollo de cultivos.

Fassbender (1987) señala que la CIC es una característica fundamental del suelo, correlacionándose con la textura: su capacidad incrementa en tierras de textura fina y reduce en tierras gruesas, donde las arenas y margas arenosas son deficientes en arcilla y humus.

Cuando la CIC está neutralizada principalmente por C, Mg, K y Na, se considera saturada de bases. Mientras los cultivos o el lixiviado eliminaron la mayoría de los cationes básicos, la tierra presenta baja saturación de bases o alta saturación ácida. La relación entre los cationes ácidos y la CIC sirve como medida de la saturación ácida, lo que también indica la necesidad de encalar la tierra (Cepeda, 1991).

**Tabla 11.** Rangos interpretativos para la capacidad de intercambio catiónico.

Clase	CIC (Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )
Muy Alta	CIC ≥ 40
Alta	25 ≤ CIC < 40
Medio	15 ≤ CIC < 25 Baja
Baja	5 ≤ CIC < 15
Muy baja	CIC < 5

Fuente: SAGARPA (2012)

### 2.1.1. Propiedades biológicas

El suelo como ecosistema, es el hábitat de millones de organismos que incluyen vertebrados, insectos, arácnidos, lombrices, nemátodos, protozoarios, hongos y bacterias, además de las plantas que crecen en él. Se estima que el suelo alberga el 25% de la biodiversidad del planeta. Estos organismos interactúan entre sí y con los componentes abióticos del suelo estableciendo una red de relaciones ecológicas (FAO, 2016).

La biota edáfica responde rápidamente a las prácticas de manejo y cambios en el uso de la tierra por lo que su abundancia, su actividad y sus productos pueden resultar indicadores valiosos para el monitoreo de las condiciones de este ecosistema, lo cual permite entender los impactos de su intervención, prever futuros problemas y tomar decisiones para su uso óptimo (Navarrete & Segueda et al., 2011).

Mientras que para García et al. (2003) el análisis de indicadores de la calidad biológica del suelo nos permite detectar las condiciones edáficas en un sitio y momento determinado e inferir la tendencia o dirección que estas pueden tener en el futuro. También Bautista Cruz (2004) señala que los indicadores biológicos incluyen una gran proporción de factores que influyen en la calidad de la tierra, como la abundancia y los subproductos de micro y macroorganismos, entre ellos bacterias, hongos, nematodos, gusanos, anélidos y artrópodos.

**Tabla 5.** Clasificación de la macrofauna del suelo por grupos.

<b>Grupos</b>
<b>Diámetro &gt; 2 mm, longitud &gt; 10 mm</b>
Artrópodos
Arácnidos
Ácaros
Isóptera
Miriópodos
Quilópodos
Colémbolos
Himenópteros
Coleópteros
Gasterópodos

Fuente: PORTA (1999)

Los parámetros biológicos de la tierra son dinámicas y actúan como indicadores tempranos de desgaste o mejora. Entre estos indicadores se encuentran el Ca y N de la biomasa microbiana, el N potencialmente mineralizable y la respiración edáfica (Sánchez, 2007).

Son considerados indicadores de población de lombrices de suelo y el desarrollo de plantas. Los parámetros biológicos y bioquímicos, como la respiración edáfica, la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas, son fundamentales para entender la dinámica de la MO y la transformación de residuos orgánicos. Además, responden rápidamente a la variación en el uso de la tierra y a estrés ambiental, y son de fácil medición. (Acevedo y Martínez, 2003).

El suelo no es solo un reservorio de nutrientes, sino que alberga millones de organismos por metro cuadrado. La macrofauna incluye seres visibles a simple vista, como lombrices y escarabajos, mientras que la mesofauna requiere una observación más atenta, y la microfauna solo es observable con microscopio (Bello et al., 2002).

#### **2.1.6. Inventario de la macrofauna edáfica**

##### **2.1.6.1. Recolecta por transecto lineal**

Anderson e Ingram (1993), citados por Cabrera et al. (2017), propusieron un método estándar lineal según el Programa Internacional sobre la Biología y

Fertilidad del Suelo Tropical (TSBF) para el inventario de macrofauna edáfica. A continuación se presenta un resumen de la metodología:

1. Extraer de 8 a 10 monolitos de 25 x 25 x 30 cm de profundidad, distribuidos diagonalmente cada 5 mt. Se delimita un cuadrante de 25 x 25 cm y se comienza a cavar el suelo.
2. Extraer de 8 a 10 monolitos de 25 x 25 x 30 cm de profundidad, distribuidos diagonalmente cada 5 mt. Se delimita un cuadrante de 25 x 25 cm y se comienza a cavar el suelo.
3. Depositar la macrofauna extraída en frascos plásticos con tapa, pequeños o medianos, que contengan formaldehído al 4% para las lombrices y alcohol etílico al 70-75% para el resto de la macrofauna.
4. Identificar cada frasco con una etiqueta que incluya el número de monolito, lugar, fecha y tipo de ecosistema.
5. Para estudiar la distribución vertical de la fauna edáfica, separar el monolito por capas de 0-10, 10-20 y 20-30 cm, incluyendo la hojarasca en la capa de 0-10 cm o tratándola como estrato independiente.
6. Incorporar nuevamente el suelo extraído en el cuadrante abierto.

#### **2.1.7. Importancia de macrofauna en el suelo**

La macrofauna edáfica es crucial para la producción de ecosistemas agrícolas. Estos invertebrados no solo pueden ser plagas o proliferar patógenos, sino que también afectan la estructura de la tierra y la superficie donde crecen los cultivos. (Lavelle et al., 1994 citado por Brown et al., 2001).

#### **2.1.8. Densidad de macrofauna en el suelo**

Para calcular la densidad en ind/m<sup>2</sup>, se utiliza un cuadrado de 0,25 m x 0,25 m, que representa una zona de 1/16 m<sup>2</sup>. La información de cada punto de muestreo se multiplica por 16 para estimar el número de individuos por m<sup>2</sup>. (Correia y Oliveira, 2000, cito por Valdez, 2016).

#### **2.1.9. Diversidad de especies**

Ñique (2010) indica que engloba la variabilidad de especies en una zona específica y cuenta con dos criterios:

- a) **Riqueza de especies:** Cantidad de especies que existen en la zona definida.
- b) **Heterogeneidad:** Riqueza de especies y la proporción de cada especie en un ámbito definido.

### 2.1.10. Cuantificación de la diversidad de especies

Ñique (2010) señala que para calcular la variedad en un hábitat se utilizan dos criterios: el primero es la riqueza de especies en una zona específica y el segundo es la heterogeneidad, que considera tanto la riqueza de especies como su abundancia.

#### 2.1.10.1. Índice de diversidad de Simpson (D)

Ñique (2010) señala que este índice mide la probabilidad de que dos individuos elegidos al azar en una población sean de la misma especie. Es útil para el monitoreo ambiental, ya que evalúa la variación de las especies más abundantes ante alteraciones. A continuación se presenta la fórmula:

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

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 evalúa la dominancia en una comunidad, por lo que se debe restar 1 para obtener la diversidad.

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

Según Simpson Sus valores de diversidad oscilan entre 0 y 1: un valor cercano a 1 indica mayor dominancia, mientras que uno cercano a 0 sugiere menor dominancia. (Ñique, 2010).

#### 2.1.10.2. Índice de Equitatividad o uniformidad (E)

La cantidad de diversidad observada en cada muestra, en relación con la máxima diversidad esperada, varía de 0 a 1, donde 1 indica que todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988, citado por Reyes y Torres, 2009). Su fórmula se expresa así:

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

Donde:

$J$  = índice de equidad de Pielou

$\ln$  = logaritmo natural

$S$  = Riqueza de especies

### 2.1.10.3. Índice de diversidad Shannon-Wiener ( $H'$ )

Ñique (2010) señala que este índice mide el grado de certeza en la predicción de la especie a la que corresponde un individuo seleccionado al azar de la comunidad. Su característica principal es la sensibilidad a la variación en la abundancia de especies raras, lo que lo hace relevante en estudios de conservación de fauna. A continuación, se presenta la fórmula:

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

Para calcular se pueden emplear varios 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 diversidad con distintos logaritmos, los resultados de la información se tienen con las siguientes unidades:

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

$\log_{10}$ : decits/individuo

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

El valor de este índice suele oscilar entre 1,5 y 3,5 y puede alcanzar o superar 4,5 en condiciones especiales. (Ñique, 2010).

### 2.1.11. Factores que influyen en la densidad y diversidad de la macrofauna del suelo

Las prácticas agrícolas pueden impactar la fauna del suelo, afectando su densidad y diversidad. Los impactos directos incluyen la mecanización de la tierra (arado y

compactación) y el empleo de pesticidas, mientras que los indirectos están relacionados con la modificación del hábitat y los recursos alimentarios (Correia & Oliveira, 2000).

La utilización de coberturas que reemplacen la basura original es crucial, ya que sirven como alimento y hábitat, lo que incrementa la disponibilidad de alimentos y genera nuevos hábitats, contribuyendo así a una mayor densidad y variedad de la macrofauna de tierra (Takeda, 1995, citado por Correia y Oliveira, 2000). Sin embargo, los herbicidas inhiben las poblaciones de fauna del suelo, reduciendo su densidad y diversidad al mitigar la cobertura y disminuir su hábitat, mientras que los insecticidas afectan negativamente sobre la macro y mesofauna (Wardle, 1995; Gupta, 1994, citados por Correia & Oliveira, 2000).

La quema de terrenos para siembra o cosecha tiene efectos drásticos y negativos, al eliminar alimento y hábitat y provocar la extinción de fauna, lo que retrasa la recuperación del ecosistema. (Correia & Oliveira, 2000).

#### **2.1.12. Biomasa microbiana**

La masa total de microorganismos vivos en un volumen específico del suelo. Carga microbiana en un clima definido (Cárdenas, 2008). Según otro autor, la riqueza y biomasa de macroinvertebrados varían significativamente según el uso del sustrato (tratamiento) y la profundidad (capas), siendo mayores en la capa superficial (hojarasca y 0-10 cm).

La presencia de macroinvertebrados varía según el sustrato utilizado y la estabilidad del estado natural del sistema biológico, en particular la radiación solar (temperatura), la pegajosidad relativa, la estructura de la vegetación (diversidad) y la capacidad de desgastar el material vegetal. (Porta *et al.*, 1999, citado por Merino, 2021).

#### **2.1.13. La biodiversidad**

La biodiversidad se refiere a la variabilidad de los organismos vivos y sus entornos. Los marcos agroforestales son ideales para monitorear esta biodiversidad, ya que presentan alta diversidad florística, múltiples capas de vegetación y un notable espesor de árboles, asemejándose a los bosques (Pagiola & Ota, 1997).

Es definido como la cantidad y organización de datos biológicos en sistemas vivos interconectados. Doran & Lincoln (1999) mencionan que estos marcos de vida pueden evaluarse en distintos niveles de interrelación, desde poblaciones de especies hasta complejas redes biológicas.

#### **2.1.14. Diversidad de especies**

La macrofauna terrestre incluye criaturas sin espinas visibles que viven principalmente en el suelo o en su superficie. Estas entidades, como gusanos, termitas, insectos, milpiés, ciempiés, arácnidos, grillos, cicadas, caracoles, escorpiones, chinches y larvas de moscas y mariposas, pueden sumar más de 1 000 especies en un solo hábitat, alcanzando densidades y biomasa que superan un millón de individuos y una tonelada por hectárea. Desempeñan diversas funciones en el ecosistema y se pueden clasificar según diferentes criterios (Etter, 1991). Franco (1989) destaca que existen numerosos registros que miden la diversidad local, y los basados en datos han mostrado un mayor impulso, pese a los límites del índice de Shannon-Weiner y del índice de heterogeneidad de Simpson. Este último evalúa la probabilidad de que dos individuos elegidos al azar pertenezcan a especies similares en un área dada. En la conservación, se enfatiza la importancia de enfocarse en la variedad de especies, lo que justifica el uso del índice de Shannon-Weiner para incluir también a las especies menos prevalentes.

#### **2.1.15. Riqueza biológica**

Franco (1989) sostiene que la riqueza de especies es intrínseca a la idea real, ya que la variedad de especies es proporcional al número de individuos o territorio, y su valor es independiente del tamaño de la muestra.

##### **2.1.15.1. Diversidad alfa**

Halfpter y Col. (2001) indican que la abundancia de especies en un espacio local se considera homogénea. Usando una metodología equilibrada, definimos la diversidad alfa como la distribución de tipos de racimos de marcadores en un espacio homogéneo, conocido como nuestra unidad de prueba, que es la zona de vegetación estudiada en términos comparables a una zona local. Franco (1989) señala que se han propuesto varios índices para estudiar la diversidad, lo que nos lleva a considerar la medida de heterogeneidad.

## **2.2. Estado del arte**

### **2.2.1. Antecedentes**

La investigación realizada por Hosokay (2012) en un fundo agrícola de la microcuenca del río Supte, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, tuvo como objetivo estudiar el impacto de distintos sistemas de empleo de la tierra sobre la calidad de la tierra, considerando sus parámetros fisicoquímicos y biológicos. Se tomaron muestras de suelo de siete sistemas (bosque, cacao, plátano, pasto, maíz, coca y suelo degradado), las cuales fueron analizadas en el laboratorio de Conservación de Suelos y Agua de la UNAS, además de realizar

determinaciones in situ. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Los sistemas con bosque, cacao, plátano y pasto presentaron textura franco-arcillosa; el maíz, textura franca; y los de coca y suelo degradado, textura arcillosa. El suelo degradado mostró la mayor resistencia a la penetración ( $4,50 \text{ kg/cm}^2$ ) y la mayor inestabilidad estructural (66,36%). El sistema de maíz tuvo mayor proporción de P (11,18 ppm), mientras que el de cacao presentó el nivel más elevado de materia orgánica (4,38%). La respiración microbiana fue más baja en los sistemas con coca ( $0,045 \text{ mg CO}_2/100 \text{ g de suelo}$ ), y el sistema de plátano tuvo la mayor densidad de macroorganismos ( $2,416 \text{ ind/m}^2$ ). En las condiciones estudiadas, la respiración microbiana resultó ser el indicador más sensible para analizar la calidad del suelo.

La investigación de Daza (2018) se llevó a cabo en parcelas de pastura natural y mejorada en el caserío Merced de Locro, distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, región Huánuco, con el objetivo de estudiar la calidad de la tierra y el C orgánico en estos dos sistemas (pastura natural con *Paspalum conjugatum* y pastura mejorada con *Brachiaria decumbens*). Las muestras se recolectaron usando una palana, extrayendo 5 submuestras de 1.0 kg cada una a 30 cm de profundidad en el centro de cada cuadrante. Se aplicó la prueba LSD de Fisher para determinar diferencias estadísticas entre las dos parcelas respecto a las variables analizadas. Los resultados indican que la tierra con pastura mejorada presentaron mayor DA, pero niveles más bajos de MO y N en comparación con los suelos de pastura natural, lo que apoya la hipótesis de que la pastura mejorada tiene un efecto positivo sobre la natural. Sin embargo, no se encontró diferencia significativa en los niveles de fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre ambos sistemas. En cuanto al almacenamiento de C, la tierra de pastura natural mostró una mayor capacidad de almacenamiento de C orgánico respecto a los de pastura mejorada.

La investigación de Azañero et al. (2020) indica que para desarrollar la agricultura en zonas frágiles es esencial evaluar la calidad del sistema tierra. El objetivo fue definir y comparar la calidad de tierra usando el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) en distintos sistemas de uso en Río Espino, Monzón (Huánuco-Perú). Este estudio no experimental y descriptivo comparativo analizó tres sistemas: agroforestal (SAF), cocal (CO) y bosque secundario (BS). Se analizaron indicadores como textura, DA, resistencia a la penetración, infiltración, temperatura, pH, P, MO, N total, K, Ca, Mg y CIC. Los resultados muestran que la calidad de la tierra en el sistema agroforestal es aceptable, el bosque secundario es sensible y el cocal tiene calidad marginal. Según la metodología del SUSS, el SAF obtuvo el mayor índice de calidad, aunque algunos indicadores se desviaron de los valores óptimos. En

contraste, el sistema CO tuvo el menor índice, con indicadores alejados de los deseables, lo que demuestra la efectividad del SUSS para medir cambios en la calidad del suelo según su uso.

Ruiz (2016) señala que el objetivo de esta investigación fue estudiar los indicadores fisicoquímicos que estiman la fertilidad de la tierra en un sistema de andenería. La investigación se realizó en el C.P de Caca, en el distrito homónimo, ubicado en la margen izquierda de la parte alta de la microcuenca del río Caca, provincia de Yauyos, región Lima, abarcando aproximadamente 40 ha (400,000 m<sup>2</sup>) de cultivos. Se tomaron muestras de suelo en dos momentos: el 24 de mayo de 2015 durante la siembra y el 19 de julio del mismo año durante la cosecha, siguiendo un patrón de muestreo en rejilla que incluyó 9 muestras superficiales de 0-30 cm de profundidad. Los resultados indicaron que los suelos tienen buena compactación, texturas franca arcillo arenosa y franca arenosa, baja salinidad, baja sodicidad, macronutrientes moderados y altos niveles de micronutrientes disponibles como hierro, cobre y zinc. Sin embargo, presentan potencial de acidez por la lixiviación de cationes básicos y a la presencia de componentes como aluminio y hierro, que contribuyen a la acidez según su geoquímica. Adicionalmente, se aplicaron métodos quimiométricos (estudios de compuestos principales, PCA) para diferenciar las áreas de cultivo.

Saénz (2011) evaluó las propiedades fisicoquímicas de la tierra en sistemas agroforestales de cacao y bosques secundarios en el Sur Occidente del país, con el objetivo de establecer una tipología de referencia y evaluar su relación con la macrofauna. Se recolectaron muestras de suelo y hojarasca en 36 fincas de cacao y 3 bosques secundarios, analizando 25 variables fisicoquímicas. Se seleccionaron 6 indicadores (suma de bases, DA, porosidad, humedad gravimétrica, y relaciones C:N y N:P), que formaron 5 grupos de calidad del suelo mediante un Análisis de Conglomerados: +Bases, Alta N:P, Alta DA, ±Bases, y -Bases. Estos suelos tienen bajos niveles de P, y solo la categoría -Bases presenta deficiencia de nutrientes. Sus características favorables para el cacao incluyen pH neutro, textura arcillosa, baja DA y alto contenido de MO. La estructura de los cacaotales es parecida a la de los bosques locales. La fauna se clasificó en 26 grupos, siendo las hormigas las más abundantes (42%). No se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en la macrofauna entre las categorías de suelo. Sin embargo, un Análisis de Correspondencias Canónicas reveló que los grupos funcionales se distribuyeron en dos comunidades: una vinculada a las concentraciones de bases y relación N:P, y otra asociada a la DA, porosidad y humedad, sugiriendo que estos indicadores son relevantes para la regulación de la fauna.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política

Realizado en el caserío Cajatambo, en tres tipos de parcelas, los cuales son bajo un sistema agroforestal, un excocal y un bosque primario, los cuales se ubican las coordenadas UTM (tabla 3).

**Tabla 6.** Coordenadas UTM (Datum WGS 84, UTM/UPS) del área de investigación.

Área	Coordenadas geográficas (UTM)		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
Sistema de uso agroforestal	336292	9056382	554
Sistema de uso excocal	336002	9057082	521
Sistema de uso bosque primario	336112	9057102	581

Políticamente el caserío de Cajatambo se encuentra dentro del distrito de Uchiza, Provincia de Tocache y departamento de San Martín, el cual es administrado por el gobierno regional de San Martín.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

El caserío de Cajatambo se encuentra dentro del distrito de Uchiza, provincia de Tocache y departamento de San Martín, cuyas coordenadas geográficas son: 8°27'32" de Latitud Sur, 76°27'43" de Longitud Oeste, con una altitud de 544 msnm.

##### 3.1.3. Datos climáticos

Las condiciones climáticas de la zona son: temperatura máxima de 29.4 °C, mínima de 18.1 °C y media de 24.2 °C; precipitación promedio anual de 2750 mm; humedad relativa del 86%; y altitud de 660 m.s.n.m. Según la clasificación de zonas de vida y el diagrama bioclimático de Holdridge (1971), el distrito de Uchiza se sitúa en la formación vegetal de bosque húmedo Premontano Tropical (bh - PT) y bosque húmedo subtropical (bh – ST). De acuerdo con las regiones naturales del Perú, se encuentra en la selva alta o Rupa Rupa.

##### 3.1.4. Relieve

El relieve del caserío se caracteriza por ofrecer una configuración plana y semi plana, ondulada y colinada que es la fisiografía de la peni llano Amazónico y pendientes de regulares dimensiones, características propias de la selva alta. Cuenta con cerros elevados

de regular altitud sobre todo al frente la Cordillera Azul por el Este, parte de la Cordillera de los Andes por el Oeste).

### **3.1.5. Hidrografía**

La zona cuenta con una diversidad de ríos y quebradas, destacando el río Chontayacu, tributario del Huallaga, que es el más importante y conecta diferentes territorios. Es navegable en su totalidad por embarcaciones pequeñas. Estos ríos sustentan una rica fauna que se convierte en alimento para las comunidades ribereñas.

### **3.1.6. Accesibilidad**

La accesibilidad al lugar de investigación vía terrestre por la carretera Fernando Belaunde Terry, partiendo desde la ciudad de Tingo María hacia la ciudad de Tocache pasando por los distritos de Aucayacu, Nuevo progreso, a 10 km con dirección a la ciudad de Tocache se toma una carretera afirmada hacia la margen izquierda hasta llegar al río Uchiza para posteriormente seguir la ruta de viaje a la ciudad de Uchiza para posteriormente llegar al caserío de Cajatambo con una distancia de 174 km y con un tiempo de recorrido de 3 horas con 57 minutos aproximadamente en auto.

### **3.1.7. Descripción de las parcelas**

El sistema de uso del suelo **sistema agroforestal.**, cuenta con siete años promedio, localizada a una altitud de 554 msnm. Sistema de empleo del suelo constituido por la asociación de plantas de *Theobroma cacao* (cacao variedad CCN 51), con *Inga edulis* (guaba) plantados cada 30 m, complementándose con árboles de la especie *Guazuma crinita* (bolaina blanca) distanciamiento de 4 m, *Calycophyllum spruceanum* (capirona) establecidos en linderos, *Cedrela odorata* (cedro) y *Swietenia macrophylla* (caoba) instalados cada 13 m dentro de la parcela.

El sistema de uso del suelo **Ex cocal.** Está a una altitud de 521 msnm, con aproximadamente 9 años, esta área fue erradicada hace 9 años y se encuentra cubierto por especies del género *Bacharis* spp, *Pteridium aquilinum* (macorilla) y *Andropogon bicornis* (rabo de zorro)

El sistema de uso del suelo **Bosque primario** está constituido por especies propias del lugar como son *Cedrelinga cateniformis* (tornillo), *Trema micrantha* (atadijo) Blume), *Micrandra spruceana* (higuerilla), *Parkia multijuga* (pashaco) *Aniba perutilis* (moena negra) *Ocotea olivácea* (Moena amarilla), *Ormosia coccinea* (huayruro), *Miconia*

*barbeyana* (rifari) y *Bursera graveolens* (Incienso), .Este sistema de empleo del suelo se localiza a una altitud de 581 msnm.

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. 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, Agua destilada, alcohol y formol.

### **3.2.2. Equipos**

Termómetro de suelo, penetrómetro, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS), balanza de precisión, estufa, peachímetro y estereoscopio.

## **3.3. Criterios de investigación**

### **3.3.1. Tipo de investigación**

La investigación es de campo y aplicada, en razón, que se utilizaron conocimientos de las ciencias del suelo para determinar sus propiedades fisicoquímicas por efecto de los tres sistemas de uso del suelo, es decir SUS Sistema agroforestal, SUS Excocal y SUS Bosque primario en el caserío Cajatambo – Uchiza. El nivel fue probabilístico ya que se aplicó un muestreo para conseguir información representativa.

### **3.3.2. Nivel de investigación**

El estudio tiene características de investigación descriptiva y correlacional.

### **3.3.3. Variables de investigación**

Para la investigación se consideran las siguientes variables dependientes e independientes:

**Variable Dependiente (Y)** = Sistemas de uso de suelo

**Indicadores Y = Tipos de sistemas del suelo**

Y1 = SU sistema agroforestal

Y2 = SU excocal

Y3 = SU bosque primario

**b. Variable Independiente (X)** = Propiedades físicas y químicas

X1 = físicas

X2 = químicas

X3 variación de macrofauna

### Indicadores de la variable X: macrofauna

X1 = Annelida

X2 = Arthropoda

X3 = Nematoda

X4 = Mollusca

### 3.3.4. Operacionalización de variables

Las variables analizadas en la investigación estuvieron desglasadas de la siguiente manera:

**Tabla 14.** Variables en estudio.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Índices	
Variable dependiente	Sistemas de uso del suelo	Tipos de sistemas	Sistema agroforestal	ha
			Excocal	ha
			Bosque primario	ha
Variable independiente	Propiedades físicas, químicas y biológicas	Físicas	Textura	Granulometría
			Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>
			Resistencia a la penetración	Kg/cm <sup>2</sup>
		Químicas	pH	Rangos
			MO	%
			N	%
			P	ppm
			K	K <sub>2</sub> O
			CIC	(Cmol(+).kg <sup>-1</sup> )
			Ca	(Cmol(+).kg <sup>-1</sup> )
Mg	(Cmol(+).kg <sup>-1</sup> )			

Variable interviniente	Indicadores de Variables	Relación entre propiedades físicas, químicas y biológicas	Biológicas	Individuos (m <sup>2</sup> )
			Riqueza de especies Shannon - Wiener	DA (g/cm <sup>3</sup> ) vs RPS (kg/cm <sup>2</sup> )
			Propiedades físicas vs macrofauna	Individuos (m <sup>2</sup> )
			Propiedades químicas vs macrofauna	pH, N (%), MO (%), N (%), P (ppm), K (kg K <sub>2</sub> O/ha), CIC

### 3.3.5. Diseño de la investigación

La investigación será no experimental, transversal y correlacional causal (Hernández et al., 2014), ya que se recopilarán datos en un solo momento a través de muestreo y estudio de suelos, evaluación de compactación, DA y macrofauna, actividades que se llevarán a cabo en un período de seis meses.

### 3.3.6. Población y muestra

La población serán las áreas de los sistemas de empleo de tierra en el caserío Cajatambo en el distrito de Uchiza, provincia de Tocache y departamento San Martín.

La muestra son los suelos muestreados asociados con la presencia de vegetación característica de cada uso del suelo en la presente investigación.

### 3.3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se tomaron muestras de suelo de los distintos sistemas de uso, siguiendo el protocolo establecido y las recomendaciones. Los estudios fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de la UNAS, que tiene los reactivos, equipos y materiales necesarios, bajo la supervisión de docentes especialistas.

### 3.3.8. Análisis de datos

La interpretación de los datos fue realizado analizando los resultados del estudio mediante inferencias basadas en la estadística descriptiva y otras técnicas estadísticas que permitan concluir sobre las relaciones entre las parámetros fisicoquímicos de tierras en los sistemas de empleo del suelo .

## 3.4. Metodología

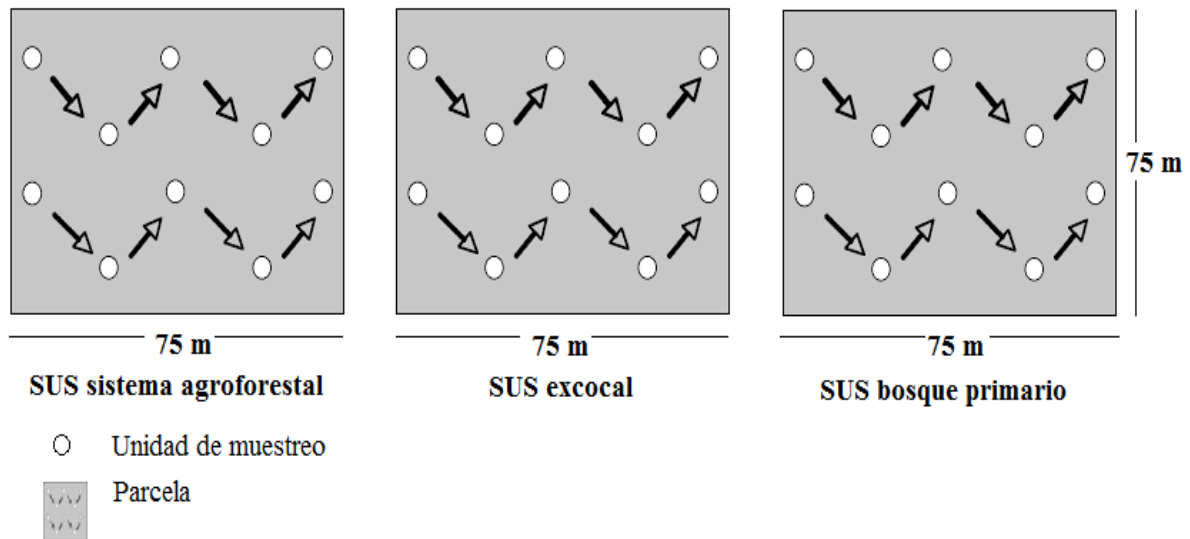
### 3.4.1. Determinar las propiedades físicas y químicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – San Martín

#### 3.4.1.1. Delimitación y georreferenciación de las parcelas

Para esto se delimitó las parcelas o transectos de 75 m x 75 m en cada método de empleo del suelo (es decir, uno en cada sistema), los cuales son: Sistema de empleo del suelo bajo sistemas agroforestales, sistema de empleo de suelo de excocal y método de empleo de tierra de bosque primario.

### 3.4.1.2. Muestreo de suelos para el análisis físico químico

La labor fue realizada tras delimitar las tres parcelas, tomando 12 muestras en cada sistema de uso del suelo, distribuidas en un trazado en zig-zag a lo largo y ancho de cada parcela. Cada unidad de muestreo consistió en un hoyo de 30 cm de profundidad, del cual se puede extraer tierra hasta conseguir 1 kg de muestra homogénea por sistema, para luego trasladarla al laboratorio.



**Figura 1.** Diagrama de muestreo en cada uno de los sistemas de uso del suelo.

### 3.4.1.3. Determinación de las propiedades físicas y químicas

El estudio de las muestras de las parcelas se llevó a cabo en el Laboratorio de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la UNAS.

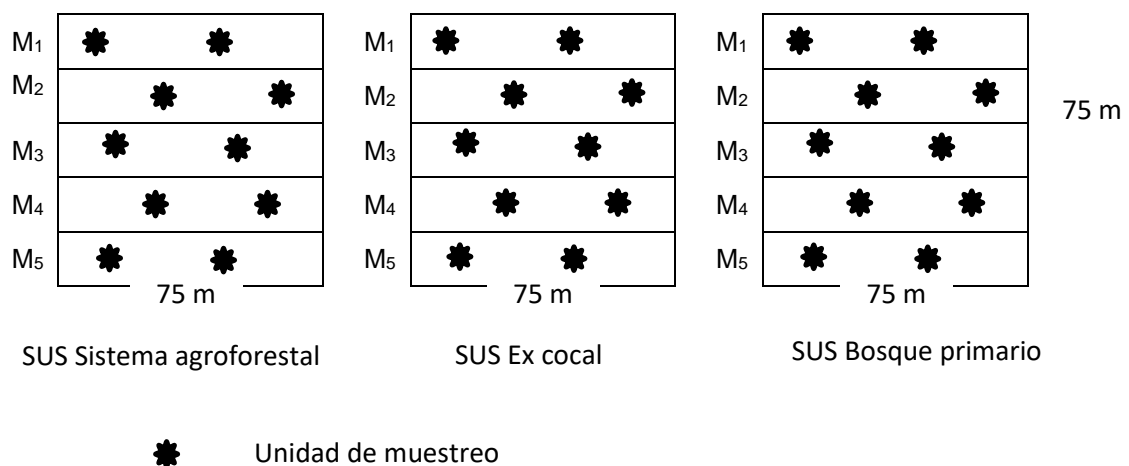
**Tabla 157.** Determinación de los indicadores físicos y químicos evaluados.

Indicadores físicos y químicos	Método de determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Método del cilindro metálico
Resistencia a la penetración del suelo	Penetrómetro
Reacción del suelo	Método del potenciómetro

Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Nitrógeno total	Método del micro-Kjeldahl
Fósforo disponible	Método del Olsen modificado
Potasio disponible	Extracción con acetato de amonio
CIC	Saturación con acetato de amonio

### 3.4.2. Determinar la diversidad de macrofauna en los tres sistemas de uso del suelo

Se seguirá el sistema de muestreo recomendado por el Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Lavelle, 1997; Anderson e Ingram, 1993), que consiste en tomar 10 muestras de cada sistema de empleo de suelo. Se demarcaron cinco fajas de 75 x 15 m, distribuidas paralelamente a lo largo del transecto. En cada faja, se ubicaron dos unidades de muestreo, totalizando 10, de donde se extrajeron muestras de suelo a profundidades de 10, 20 y 30 cm utilizando un marco metálico. (Figura 2).



**Figura 2.** Diagrama de muestreo de suelos para características biológicas en cada uno de los sistemas de uso.

La recolección de macroinvertebrados se realizó en cada estrato o profundidad del campo. Los insectos de cuerpo endurecido se conservaron en una solución de alcohol al 80%, mientras que las larvas y los insectos de cuerpo blando se colocaron en formol al 4-10% (Decaëns et al., 1994). Con la ayuda de una guía de identificación, todos los organismos se clasificaron por órdenes. Los organismos no identificados se enviaron al Laboratorio de Microbiología de la UNAS, donde se utilizó un estereoscopio para clasificarlos correctamente.

Para definir el índice de diversidad de especies se aplicarán las fórmulas de Simpson y Shannon Wiener.

- **Riqueza de la diversidad biológica alfa**

Las variables de análisis e índices de diversidad alfa fueron calculados:

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

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

Dónde:

$n_i$  = Abundancia de género

$N$  = Abundancia total de los géneros =  $\sum n_i$

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

**3.4.3. Determinar la relación existente entre las características físicas, químicas y biológicas en los tres sistemas de uso del suelo**

Esta actividad se llevó a cabo considerando los valores y porcentajes relativos de los indicadores, según la metodología de Chen (2000), Doran & Lincoln (1999) y Porta (1999).

Para definir la relación entre los parámetros fisicoquímicos de la tierra y la macrofauna, los datos se evaluaron utilizando el coeficiente de correlación de Pearson mediante la siguiente expresión:

$$r_{XY} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}}$$

Al respecto, según Hernández *et al.* (2006), el coeficiente  $r$  de Pearson puede variar de -1.00 a +1.00, donde:

- \* -1.00 = Correlación negativa perfecta: a medida que X aumenta, Y disminuye proporcionalmente en una cantidad constante. Lo mismo ocurre al disminuir X, aumentando Y.
- \* -0.90 = Correlación negativa muy fuerte
- \* -0.75 = Correlación negativa considerable
- \* -0.50 = Correlación negativa media

- \*  $-0.25$  = Correlación negativa débil
- \*  $-0.10$  = Correlación negativa muy débil
- \*  $0.00$  = No existe correlación alguna entre las variables
- \*  $+0.10$  = Correlación positiva muy débil
- \*  $+0.25$  = Correlación positiva débil
- \*  $+0.50$  = Correlación positiva media
- \*  $+0.75$  = Correlación positiva considerable
- \*  $+0.90$  = Correlación positiva muy fuerte
- \*  $+1.00$  = Correlación positiva perfecta

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Determinar las propiedades físicas y químicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo

#### 4.1.1. Propiedades físicas del suelo

Según manifiestan Singer & Ewing (2000), los parámetros físicos de la tierra son elementos esenciales que se consideran en la evaluación del suelo, ya que son difíciles de mejorar de manera rápida o sencilla influyendo en la capacidad del suelo para retener y transportar agua, permitir la penetración de las raíces de las plantas, Rucks et al. (2004) destacan la importancia de que las personas involucradas en el empleo del suelo conozcan los parámetros físicos de la tierra, para comprender cómo influyen en el crecimiento de las plantas.

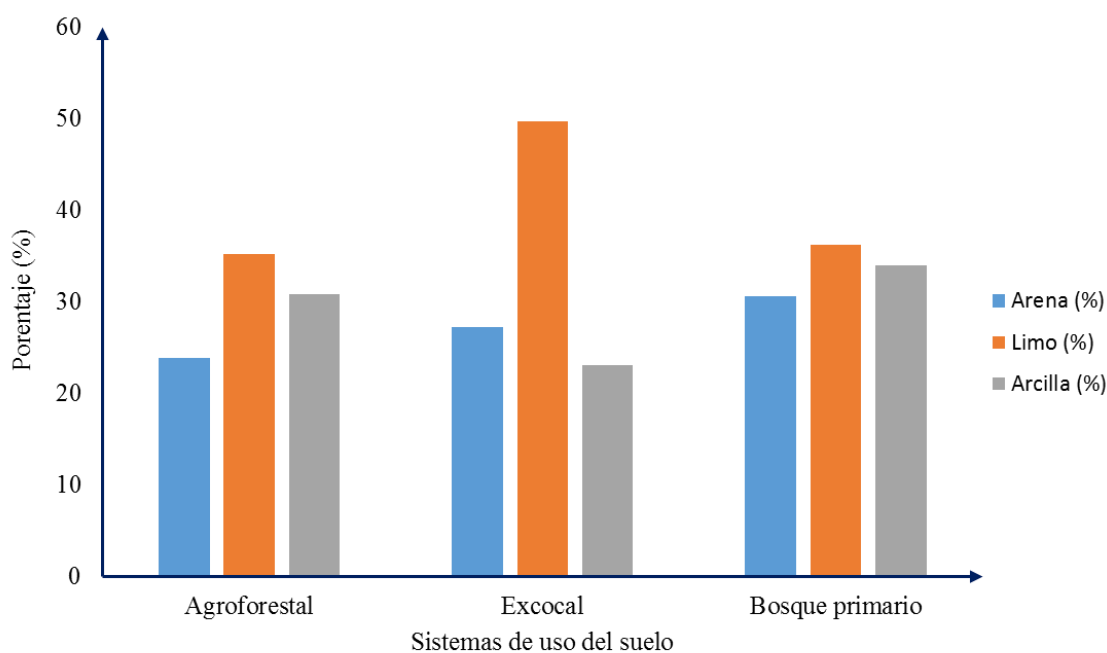
##### 4.1.1.1. La textura

Los valores encontrados para la textura de la tierra en los tres tipos de sistemas de empleo del suelo (tabla 16 y figura 3) estudiados en la presente tesis presentaron texturas finas, los sistemas de empleo de tierra Sistema agroforestal y bosque primario tuvieron una textura franco arcilloso, mientras el sistema excocal tuvo una textura arcillosa. Al realizar la suma y promedio de valores podemos encontrar que los suelos en el caserío de Cajatambo Uchiza presenta un suelo Franco arcilloso, al respecto USDA (2014) reportan que determinar la textura de la tierra es referirse a la cantidad (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes de la tierra, en donde radica su importancia edafológica.

**Tabla 168.** Textura de los suelos encontrados en los tres tipos de sistemas de uso.

<b>Textura</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Arcilla (%)</b>	<b>Textura</b>
Agroforestal	24	35	31	Franco arcilloso
Excocal	27	50	23	Arcilloso
Bosque primario	31	36	34	Franco arcilloso
<b>Promedio</b>	<b>27</b>	<b>40</b>	<b>29</b>	<b>Franco arcilloso</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>3,38</b>	<b>8,04</b>	<b>5,61</b>	.....
<b>Coefficiente variación</b>	<b>12,41</b>	<b>19,92</b>	<b>19,15</b>	.....

Según Carrasco (2008), la textura del suelo es la proporción de arena, limo y arcilla presentes. Carrasco y Ortiz (2011) indican que un suelo se clasifica como arenoso si contiene un 70% o más de partículas de arena. Los suelos arenos francos tienen entre 15% y 30% de limo y arcilla, mientras que los suelos arcillosos presentan más del 40% de arcilla, pudiendo contener hasta 45% de arena o 40% de limo, clasificándose como arcillo arenosos o arcillo-limosos. Henríquez y Cabalceta (1999) destacan la importancia de conocer la textura de la tierra, ya que brinda datos sobre sus características generales y permite sugerir formas de empleo adecuado. En nuestro caso, se identificaron suelos francos y francos limosos. Según Campos y Cornelio (2006), estos suelos y sus clasificaciones cercanas, como los francos arcillosos o arenosos, son ideales para el cultivo, ya que presentan características óptimas para un crecimiento sano y vigoroso de las plantas, lo cual es beneficioso para los cultivos evaluados.



**Figura 3.** Valores en proporción de arena, arcilla y limo en los sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo.

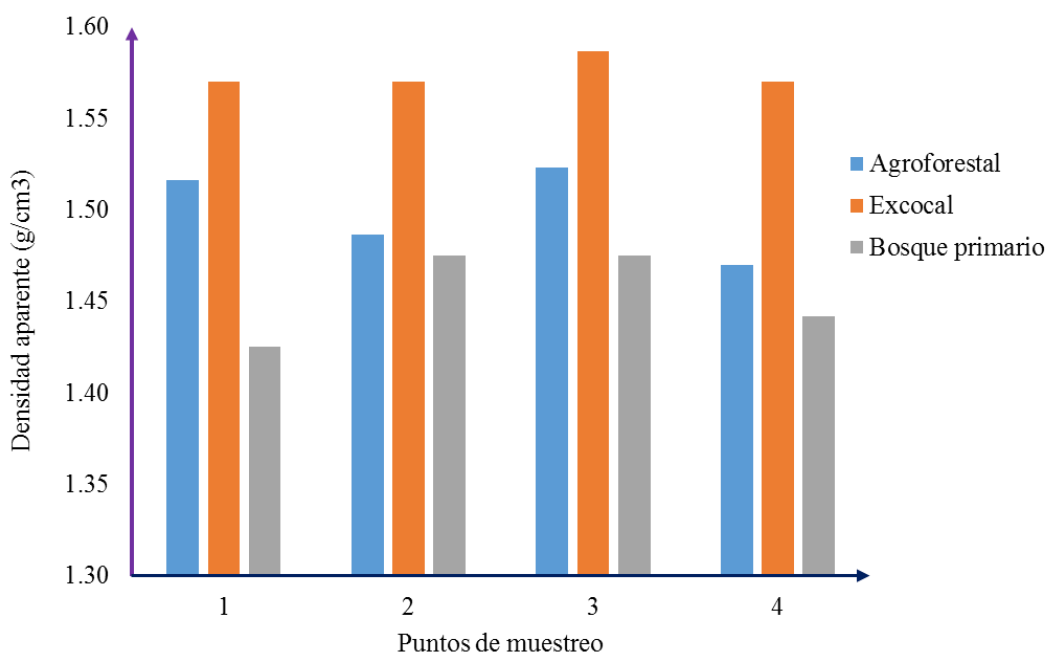
#### 4.1.1.2. La densidad aparente

Los valores encontrados para la DA del método de empleo de suelo (tabla 17 y figura 4) en el caserío Cajatambo muestran que el mayor valor presenta el sistema de uso del suelo Excocal con  $1,57 \text{ g/cm}^3$  seguido del sistema agroforestal con  $1,50 \text{ g/cm}^3$  y con el menor valor el sistema de uso bosque primario con  $1,45 \text{ g/cm}^3$ , con valores casi homogéneos debido a los valores bajos obtenidos para el coeficiente de variación en cada sistema de uso, siendo el valor más alto de dispersión el sistema de uso bosque primario, de

acuerdo con Folegatti et al. (2001) argumentan que la DA es una característica de la tierra considerablemente usada en la actividad agrícola, vinculada básicamente con las prácticas de empleo de tierras.

**Tabla 179.** Valores para la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) en los tres sistemas de uso del suelo.

Muestreo	Agroforestal	Excocal	Bosque primario
1	1,52	1,57	1,43
2	1,49	1,57	1,48
3	1,52	1,59	1,48
4	1,47	1,57	1,44
<b>Promedio</b>	<b>1,50</b>	<b>1,57</b>	<b>1,45</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>
<b>Coefficiente variación</b>	<b>1,68</b>	<b>0,53</b>	<b>1,72</b>



**Figura 4.** Valores de la densidad aparente en los sistemas de uso del suelo en Cajatambo.

Para Haddad (2004) valores altos de la DA produce un incremento en la compactación de la tierra y esto afecta las condiciones de retención de humedad, de acuerdo con Wolf & Snyder (2003) añaden que a su vez restringen el desarrollo de las raíces. Los valores encontrados para el bosque primario con  $1,45 \text{ g/cm}^3$  indican que la

materia orgánica reduce la compactación ya que Salamanca & Sadeghian (2005) dicen que a medida que incrementa la MO y el espacio poroso, reduce la DA y viceversa. En general podemos decir de acuerdo con SAGARPA (2017) que este tipo de sistema de uso se encuentra en un rango aceptable.

#### 4.1.1.3. Resistencia a la penetración del suelo

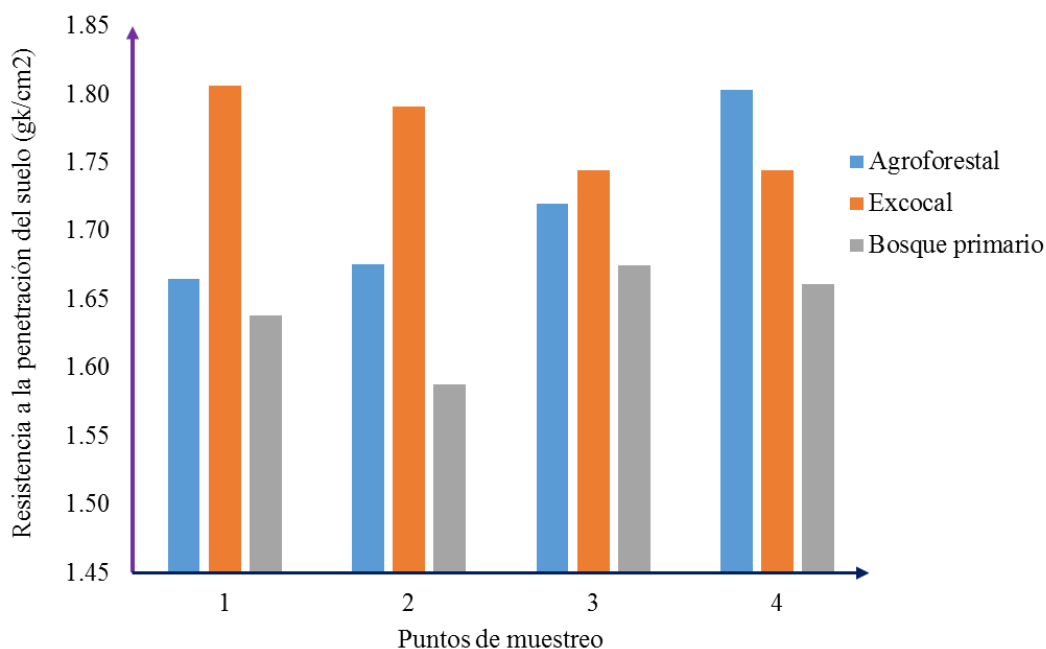
Los valores encontrados para la variable resistencia a la penetración de tierra en los métodos de empleo de suelo (tabla 18 y figura 5) en el caserío Cajatambo muestran que el mayor valor presenta el sistema de uso del suelo Excocal con 1,77 kg/cm<sup>2</sup> seguido del sistema agroforestal con 1,72 kg/cm<sup>2</sup> y con el menor valor el sistema de uso bosque primario con 1,64 kg/cm<sup>2</sup>, con valores casi homogéneos debido a los valores bajos obtenidos para el coeficiente de variación en cada sistema de uso, siendo el valor más alto de dispersión el sistema agroforestal con 3.66%.

**Tabla 1810.** Valores para la resistencia a la penetración (kg/cm<sup>2</sup>) en los tres sistemas de uso del suelo.

<b>Muestreo</b>	<b>Agroforestal</b>	<b>Excocal</b>	<b>Bosque primario</b>
<b>1</b>	1,67	1,81	1,64
<b>2</b>	1,68	1,79	1,59
<b>3</b>	1,72	1,74	1,67
<b>4</b>	1,80	1,74	1,66
<b>Promedio</b>	<b>1,72</b>	<b>1,77</b>	<b>1,64</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>
<b>Coefficiente variación</b>	<b>3,66</b>	<b>1,81</b>	<b>2,32</b>

Según Dexter et al. (2007), la resistencia a la penetración del suelo está directamente relacionada con la compactación, que resulta del incremento de densidad y reducción de porosidad, afectando negativamente la composición de la tierra, limitando el rendimiento de cultivos. Por su parte, Wolkowski & Lowery (2008) afirman que los suelos con bajo contenido de MO son más susceptibles a la compactación, ya que no forman agregados fuertes. Upadhyaya et al. (1999) destacan que esta variable brindan datos sobre la ubicación de las capas compactadas en el suelo. En general, Bazán (2017) indica que los valores obtenidos

en su investigación muestran que los tres sistemas de empleo de tierra presentan una resistencia baja, siendo el más bajo el del bosque primario, con 1,64 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 5.** Valores de la resistencia a la penetración (kg/cm<sup>2</sup>) en los tres sistemas de uso.

#### 4.1.2. Propiedades químicas del suelo

##### 4.1.2.1. EL pH

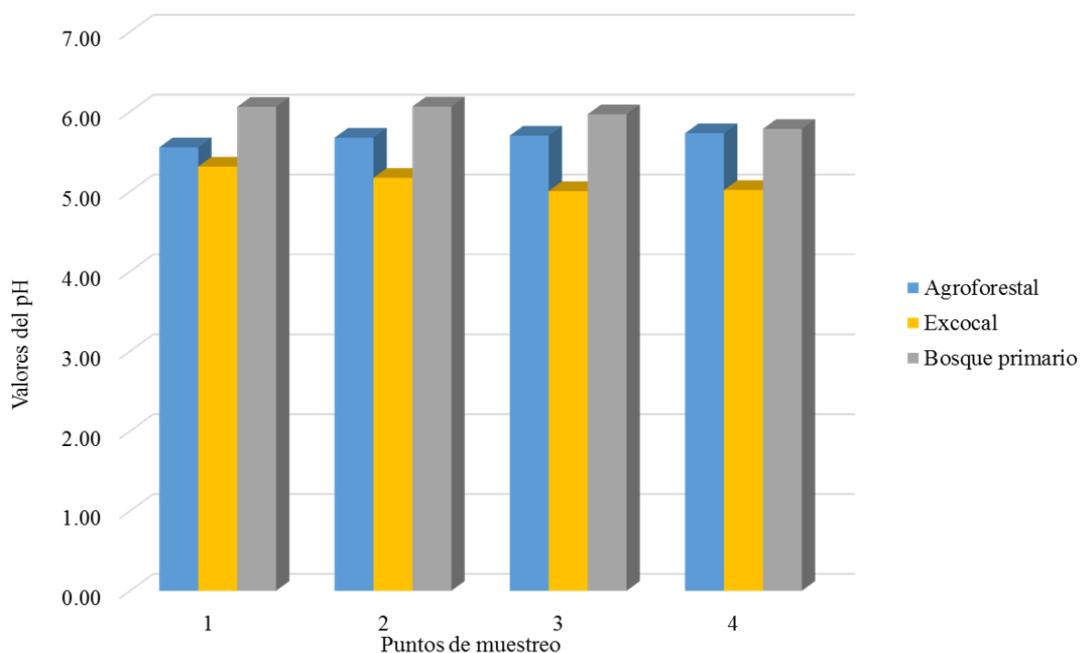
Los resultados que se muestran en la tabla 19 y figura 6 los valores para la variable pH del suelo de los sistemas de uso en el caserío Cajatambo donde se muestra que el mayor valor presenta el sistema de uso bosque primario con 5,97, y menores valores en orden sucesivo el sistema agroforestal con 5,66 y el sistema de empleo de la tierra Excocal con 5,13 con valores homogéneos obtenidos para el coeficiente de variación en cada sistema de uso están por debajo de 2,82%.

**Tabla 1911.** Valores para el pH del suelo en los sistemas de uso.

Muestreo	Agroforestal	Excocal	Bosque primario
1	5,55	5,31	6,06
2	5,67	5,17	6,06
3	5,70	5,00	5,97
4	5,73	5,02	5,78
<b>Promedio</b>	<b>5,66</b>	<b>5,13</b>	<b>5,97</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0,08</b>	<b>0,14</b>	<b>0,13</b>

<b>Coefficiente variación</b>	<b>1,37</b>	<b>2,82</b>	<b>2,20</b>
-------------------------------	-------------	-------------	-------------

Estos resultados denotan suelos moderadamente ácidos que pueda deberse a la zona de muestreo, refiere Acevedo et al. (2005) que es necesario el análisis del pH plan efectivo de fertilización del cultivo, además de la elección de las plantas más convenientes y la obtención de los mayores rendimientos de cosecha, con respecto a los valores obtenidos dice Sánchez (2007) que para el crecimiento de cultivos el pH óptimo esta dado entre los valores de 6,5 y 7,5, pH, caso contrario a lo obtenido en el presente trabajo que daría por sentado propiciar un plan efectivo de fertilización.



**Figura 6.** Valores para el pH en los tres sistemas de uso del suelo.

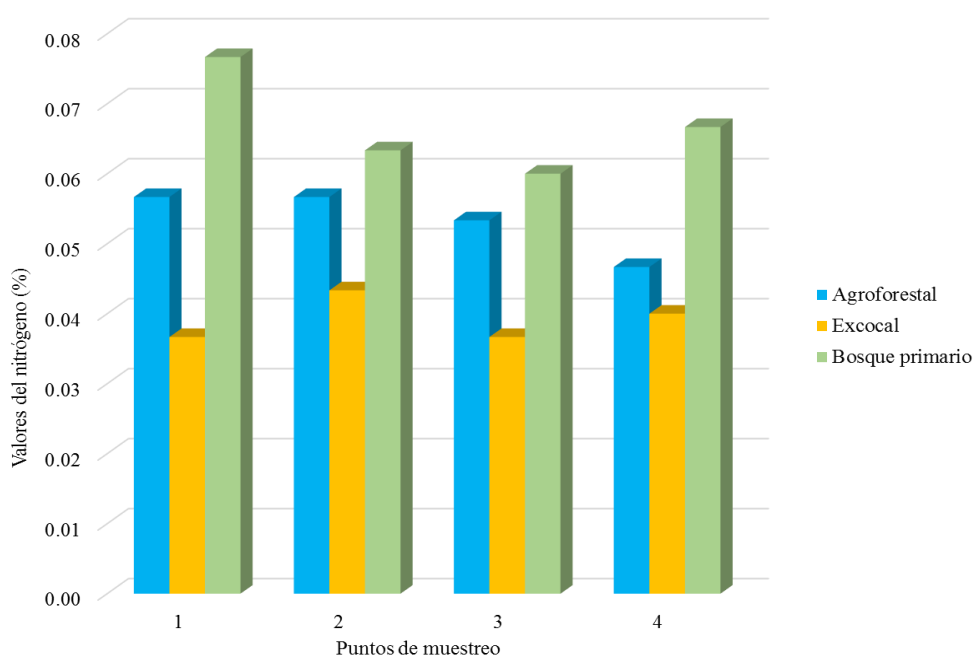
#### 4.1.2.2. El nitrógeno

Se observa en la tabla 20 y figura 7 los valores para la variable nitrógeno de los sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo donde se muestra que el mayor valor presenta el sistema de uso bosque primario con 0,07%, y menores valores en orden sucesivo el sistema agroforestal con 0,05% y el sistema de empleo de tierra Excocal con 0,05%, con valores poco homogéneos debido a los valores obtenidos para el coeficiente de variación en cada sistema de uso están por encima de 8,84% llegando hasta el 10,80%.

**Tabla 2012.** Valores para el nitrógeno disponible (%) en los tres sistemas de uso del suelo.

Muestreo	Sistema agroforestal	Excocal	Bosque primario
<b>1</b>	0,06	0,04	0,08

<b>2</b>	0,06	0,04	0,06
<b>3</b>	0,05	0,04	0,06
<b>4</b>	0,05	0,04	0,07
<b>Promedio</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,07</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>
<b>Coefficiente variación</b>	<b>8,84</b>	<b>8,15</b>	<b>10,80</b>



**Figura 7.** Valores para el nitrógeno disponible (%) de los tres sistemas de uso del suelo.

Según Alvarado & Raigosa (2007), el nitrógeno predominante en los suelos minerales proviene de la MO generada por la descomposición de microorganismos y plantas. Schlesinger (1997) complementa esta idea al señalar que la mayoría del nitrógeno en la tierra está presente en la MO de seres fallecidos, como animales, plantas, hongos y bacterias. Sin embargo, Vitousek & Matson (1985) indican que las formas biológicas de nitrógeno disponibles para las plantas son principalmente inorgánicas, como el amonio y el nitrato.

El USDA (2006) reporta que los valores encontrados en el presente estudio todos los sistemas de uso de tierra tienen un valor bajo en contenido de nitrógeno disponible, lo cual pueda deberse a la precipitación o quizás la pendiente del terreno que arrastra la materia orgánica donde se encuentra el nitrógeno y al excesivo uso del suelo por parte del cultivo de hoja de coca.

#### 4.1.2.3. Materia orgánica

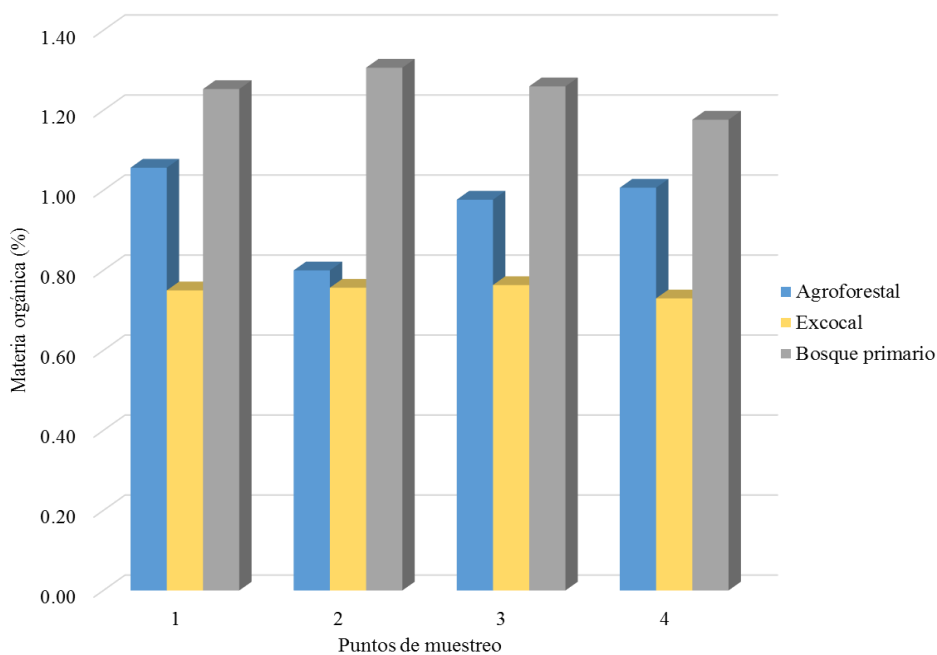
Los resultados que observamos en la tabla 21 y figura 8, muestran los valores en la variable materia orgánica de los sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo donde el mayor valor presenta el sistema de uso bosque primario con 1,25%, y menores valores en orden sucesivo el sistema agroforestal con 0,96% y el sistema de empleo del tierra Excocal con 0,75%, con valores poco homogéneos debido a los valores obtenidos para el coeficiente de variación en cada sistema de uso están por de 11,63%.

**Tabla 2113.** Valores para la materia orgánica del suelo (%) en los tres sistemas de uso.

<b>Muestreo</b>	<b>Sistema agroforestal</b>	<b>Excocal</b>	<b>Bosque primario</b>
<b>1</b>	1,06	0,75	1,25
<b>2</b>	0,80	0,76	1,31
<b>3</b>	0,98	0,76	1,26
<b>4</b>	1,01	0,73	1,18
<b>Promedio</b>	<b>0,96</b>	<b>0,75</b>	<b>1,25</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0,11</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>
<b>Coeficiente variación</b>	<b>11,63</b>	<b>1,92</b>	<b>4,31</b>

Navarro (2003) destaca que la MO es fundamental en la tierra, definiéndola como "sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, resultantes de la desgaste de la MO de origen vegetal". Lok (2005) añade que el contenido de MO cambia considerablemente, lo que significa que un mismo valor numérico puede tener diferentes implicaciones regionales; por ejemplo, un 2% puede ser considerado alto en un valle aluvial costero, bajo en la sierra y medio en la Amazonía. Por lo tanto, los niveles de bajo, medio, alto y muy alto deben estudiarse a nivel regional y en función de los requerimientos de cultivos específicos. Así, los resultados obtenidos en el caserío Cajatambo deben ser analizados desde diversas perspectivas.

Bohn et al. (1993) indica que existe una gran variación en el contenido de MO va de 5 a 6% en praderas, 1% en desiertos y hasta 10% en suelos no inundables, por lo que los valores conseguidos en esta investigación reflejan las condiciones del lugar en este caso el caserío Cajatambo, según expresa la Soil Survey Staff (1993) el valor más alto en materia orgánica es el sistema bosque primario 1.25% quiere decir que aunque el aporte de la vegetación genera materia orgánica que representa este valor en el sistema de uso, resulta tener un nivel bajo.



**Figura 8.** Valores para la materia orgánica (%) de los tres sistemas de uso del suelo.

#### 4.1.2.4. Fósforo disponible

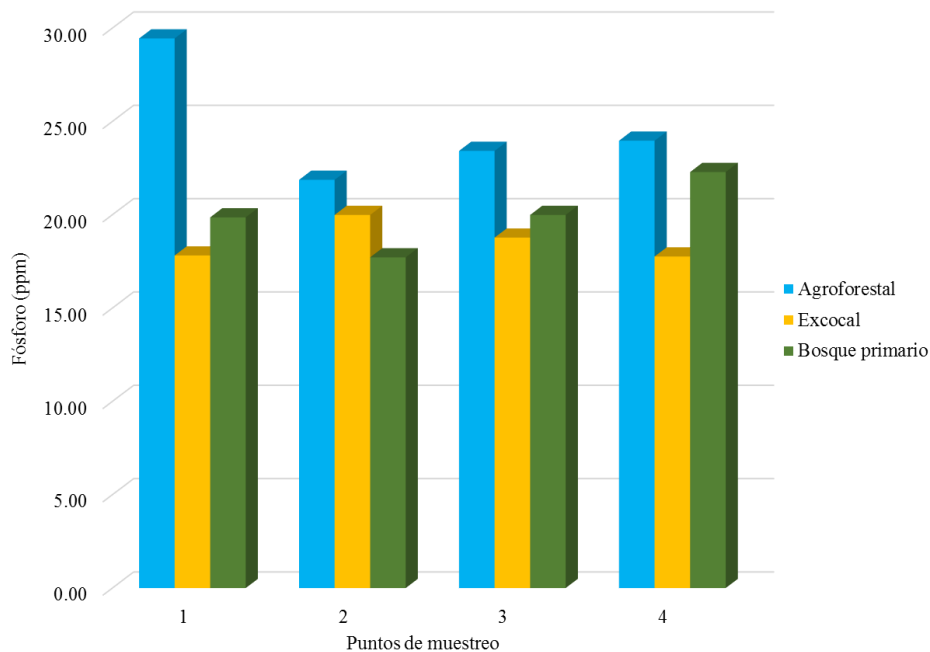
Se observa los resultados presentados en la tabla 22 y figura 9, los valores para la variable P disponible de los sistemas de empleo de tierra en el caserío Cajatambo donde el mayor valor presenta el sistema de uso el sistema agroforestal con 24,68 ppm seguido del sistema de uso bosque primario con 19,96 ppm, y el menor valor en orden sucesivo con 18,59 ppm el sistema de uso del suelo Excocal, estos valores tienen cierta homogeneidad debido a que los resultados obtenidos para el coeficiente de variación en los sistemas de uso están por encima de 5,62% llegando hasta el valor en porcentaje de 13,38%.

**Tabla 2214.** Valores para el fósforo disponible del suelo (ppm) en los tres sistemas de uso.

Muestreo	Sistema agroforestal	Excocal	Bosque primario
1	29,44	17,82	19,86
2	21,87	19,99	17,72
3	23,42	18,77	19,99
4	23,97	17,76	22,29
<b>Promedio</b>	<b>24,68</b>	<b>18,59</b>	<b>19,96</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>3,30</b>	<b>1,04</b>	<b>1,87</b>
<b>Coefficiente variación</b>	<b>13,38</b>	<b>5,62</b>	<b>9,35</b>

Munera y Meza (2012) indican que el P es uno de los 17 nutrientes primordiales para el desarrollo de los cultivos, ya que no puede ser sustituido por otros nutrientes y es crucial para su desarrollo y reproducción óptima. Fernández (2007) complementa que el P es un compuesto clave en los sistemas de captura, almacenamiento y transferencia de energía, y su función se extiende a todas las etapas fisiológicas. En el método suelo-planta, el 90% del P encontrándose en la tierra, mientras que menos del 10% está fuera de él. Según las condiciones de los sistemas de uso evaluados en el caserío Cajatambo, los valores encontrados reflejan las condiciones del sitio.

Argumentan Alvarado & Raigosa (2007) que este nutriente se incorpora a los suelos por medio de la degradación de la roca madre en la etapa de la meteorización, y representa alrededor del 0,1% de la corteza terrestre, es decir las cantidades son mínimas o dependen en demasía de la meteorización e intemperismo por lo que los valores por cada sistema de uso pueden ser variables y poco homogéneos, de acuerdo a ello el USDA (2006) dice para los resultados encontrados que el mayor valor en este caso el sistema de uso del suelo sistema agroforestal tiene un valor normal ya que obtuvo 24,68 ppm, resultado que pueda deberse a la aplicación de fosfatos ya que un sistema agroforestal es la asociación de cultivos con especies forestales.



**Figura 9.** Valores para el fósforo disponible (ppm) de los tres sistemas de uso del suelo.

#### 4.1.2.5. Potasio disponible

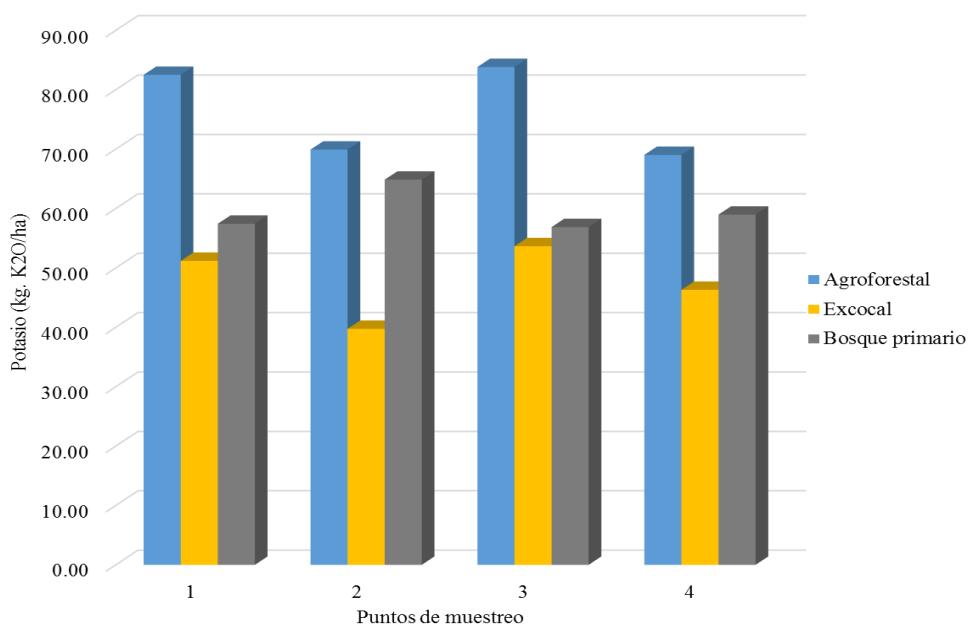
Los resultados presentados en la tabla 23 y figura 10, muestran para la variable potasio disponible siendo el mayor valor en el sistema de uso agroforestal con

76,32 kg. K<sub>2</sub>O/ha seguido del sistema de uso bosque primario con 59,53 kg. K<sub>2</sub>O/ha, y el menor valor en orden sucesivo con 47,72 kg. K<sub>2</sub>O/ha el sistema de uso del suelo Excocal, estos valores tienen poca homogeneidad porque los resultados para el coeficiente de variación en los sistemas de uso están entre 6,14% llegando hasta el valor en porcentaje de 12,85%.

**Tabla 2315.** Valores para el potasio disponible del suelo (kg. K<sub>2</sub>O/ha) en los tres sistemas de uso.

Muestreo	Sistema agroforestal	Excocal	Bosque primario
1	82,51	51,19	57,43
2	69,92	39,75	64,86
3	83,83	53,65	56,87
4	69,02	46,30	58,97
<b>Promedio</b>	<b>76,32</b>	<b>47,72</b>	<b>59,53</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>7,93</b>	<b>6,13</b>	<b>3,66</b>
<b>Coefficiente variación</b>	<b>10,40</b>	<b>12,85</b>	<b>6,14</b>

Alvarado y Raigosa (2007) indican que el potasio de la tierra proviene de la degradación de rocas madre con minerales potásicos, principalmente de feldespatos potásicos. Según Mengel y Kirkby (2000), el K es un macronutriente primordial que las plantas requieren en mayor proporción, desempeñando un rol crucial para activar más de 60 enzimas involucradas en etapas metabólicas como la fotosíntesis y la síntesis de proteínas y carbohidratos. Bonh et al. (1985) señalan que, a diferencia del P, el K se encuentra en la mayoría de los suelos en grandes proporciones, lo que resalta la importancia de evaluar las condiciones de un área en relación con este nutriente.



**Figura 10.** Valores para el potasio disponible (kg. K<sub>2</sub>O/ha) de los tres sistemas de uso del suelo.

Según Vistoso Gacitúa y Martínez Lagos (2020), el K es un nutriente esencial para mantener la alta producción en los cultivos, especialmente en aquellos con leguminosas. Por ello, la fertilización potásica se vuelve necesaria cuando los análisis del suelo indican deficiencia de este nutriente. Los resultados muestran que el sistema agroforestal tiene el mayor valor, probablemente debido a la adición de potasio a través del abonamiento asociado a los cultivos, además de acuerdo con USDA (2006) el nivel encontrado de acuerdo a los valores del sistema agroforestal con 76,32 kg. K<sub>2</sub>O/ha es de un valor muy bajo.

#### 4.1.2.6. Capacidad de intercambio catiónico

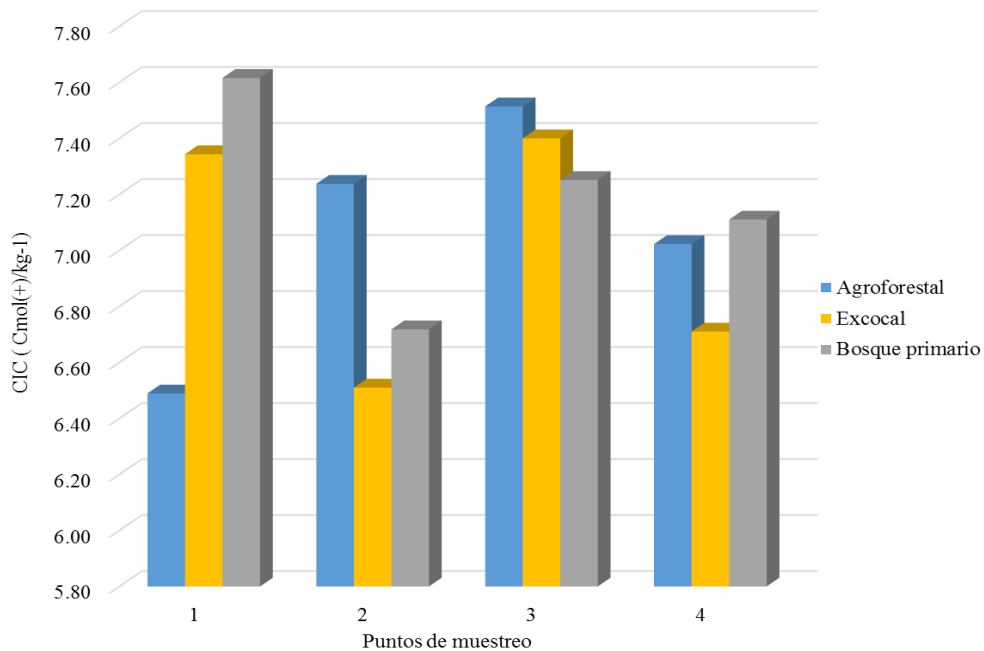
Se observa los resultados presentados en la tabla 24 y figura 11, sobre la variable CIC siendo el mayor valor en el sistema de uso bosque primario con 7,17 Cmol(+)/kg-1 seguido del sistema de uso agroforestal con 7,07 Cmol(+)/kg-1, y el menor valor en orden sucesivo con 6,99 Cmol(+)/kg-1 el sistema de uso del suelo Excocal, estos valores tienen relativa homogeneidad porque según indica el coeficiente de variación en los sistemas de uso están entre 5,17% llegando hasta el valor en porcentaje de 6,41%.

**Tabla 2416.** Valores para la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Cmol(+)/kg<sup>-1</sup>) en los tres sistemas de uso.

Muestreo	Sistema agroforestal	Excocal	Bosque primario
1	6,49	7,34	7,62
2	7,24	6,51	6,72
3	7,51	7,40	7,25
4	7,02	6,71	7,11
<b>Promedio</b>	<b>7,07</b>	<b>6,99</b>	<b>7,17</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0,43</b>	<b>0,45</b>	<b>0,37</b>
<b>Coefficiente variación</b>	<b>6,14</b>	<b>6,41</b>	<b>5,17</b>

Los resultados encontrados hablan de valores mínimos por lo que se hace necesario mejorar condiciones del suelo, ya que según manifiesta SAGARPA (2012) la CIC está relacionada con una mejora de la composición de tierras, y de acuerdo a esta institución los valores encontrados para cada uno de los sistemas de uso tienen un valor bajo, aun el mayor valor que es el sistema de uso bosque primario, en ese sentido la FAO (2022) refiere que la CIC es una de los parámetros químicos que afectan en mayor grado la fertilidad ya que también

argumenta Arévalo & Gauggel (2014) la capacidad de un suelo de ser fértil aumenta conforme se aumente la CIC del suelo, ya que se considera que una gran CIC en los suelos implica la posibilidad de aumentar el depósito de iones nutritivos, en general podemos decir que mediante la CIC de tierra las raíces de los cultivos absorben nutrientes minerales que son necesarios para el desarrollo de la planta.



**Figura 11.** Valores para la capacidad de intercambio catiónico Cmol(+)/kg-1 de los tres sistemas de uso del suelo.

#### 4.2. Determinar la diversidad de macrofauna en tres sistemas de uso del suelo

De acuerdo con lo que manifiesta Sánchez (2007) Las propiedades biológicas basada en la macrofauna de tierra son muy dinámicas y sirven de señales tempranas de descomposición o de mejoría de tierras, en ese sentido se hace necesario expresar en detalle lo encontrado en el presente trabajo de investigación.

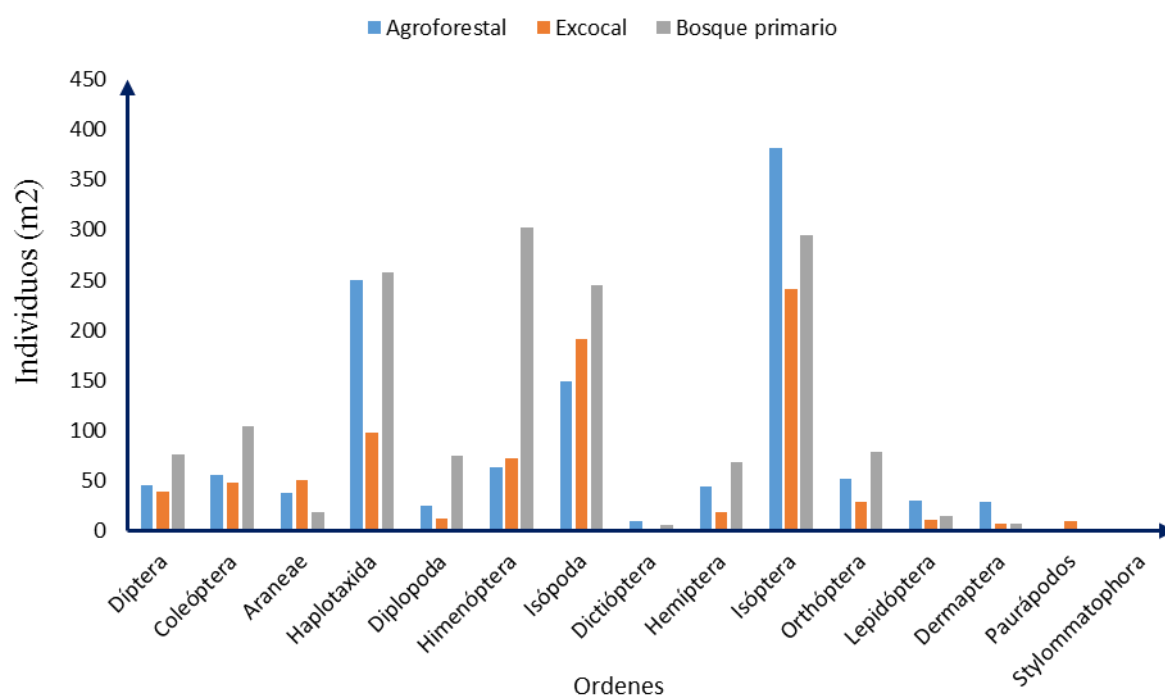
##### 4.2.1. Riqueza de especies

En cuanto a la riqueza de especies (tabla 25 y figura 12) se identificaron 15 órdenes de macrofauna, para los sistemas de empleo de la tierra agroforestal con el orden Isóptera y Haplotaxida como las más predominantes con 382 m<sup>2</sup> y 250 m<sup>2</sup> individuos respectivamente, seguido del sistema bosque primario con 13 órdenes siendo Himenóptera e Isóptera como los órdenes más abundantes, encontrándose 303 individuos y 295 individuos m<sup>2</sup> y por último el sistema de uso del suelo Excocal con 13 órdenes Isoptera e Isopoda como los más abundantes, teniendo 241 y 192 individuos por m<sup>2</sup>.

Según Acevedo & Martínez (2003) señalan que son indicadores biológicos la población de lombrices de suelo y el rendimiento de las plantas; así también opina Bello et al. (2002) que son las lombrices y los escarabajos quienes constituyen la macrofauna de tierra indicador de la salud de la tierra, en tal sentido se pudo observar que el sistema de uso agroforestal presenta mayor cantidad de ordenes indicando que lo asociado resulta en una expresión mayor de individuos de la macrofauna de tierra.

**Tabla 2517.** Número de individuos por orden en los tres sistemas de uso del suelo.

Orden	Nombre	Sistemas de uso del suelo		
		Sistema agroforestal	Excocal	Bosque primario
Araneae	Arañas	38	51	19
Coleóptera	Escarabajos	56	49	105
Dermaptera	Tijeretas	29	7	8
Dictióptera	Cucarachas	10	0	6
Diplopoda	Milpiés	26	13	75
Díptera	Moscas y mosquitos	46	39	76
Haplotaxida	Lombrices de tierra	250	98	258
Hemíptera	Chinches y salta hojas	45	19	69
Himenóptera	Hormigas	64	72	303
Isópoda	Cochinillas	149	192	245
Isóptera	Termitas	382	241	295
Lepidóptera	Oruga	30	11	15
Orthóptera	Grillos	52	29	79
Paurápodos	NN	3	10	0
Total		1180	831	1553



**Figura 12.** Número de individuos por orden en los tres sistemas de uso del suelo.

#### 4.2.2. Diversidad de la macrofauna

Los valores encontrados para la macrofauna edáfica del suelo en el caserío Cajatambo (tabla 26) muestra que el sistema de uso del suelo bosque primario muestra un valor de 1,05 y se presenta como el más diverso, seguido del sistema de uso agroforestal con un valor de 0,91 y el sistema con el valor más bajo es el excocal con 0,74 Según Pla (2006), los valores del índice de diversidad en ecosistemas varían generalmente entre 1 y 4,5. Valores inferiores a 3 indican baja diversidad de especies, mientras que máximos cercanos a 5 reflejan una mayor diversidad. Por lo tanto, nuestros resultados sugieren que los tres sistemas de empleo de tierra en el caserío de Cajatambo, Uchiza, presentan una baja diversidad o, en todo caso, son áreas con escasa diversidad.

**Tabla 2618.** Diversidad de Shannon, Wiener para los tres sistemas de uso del suelo.

Sistemas de uso del suelo	Shannon - Wiener ( $H'$ )
Sistema agroforestal	0,91
Excocal	0,74
Bosque primario	1,05

#### 4.3. Determinar la relación existente entre las propiedades biológicas, físicas y químicas de los suelos en tres sistemas de uso del suelo.

### 4.3.1. Correlación de las propiedades físicas versus la macrofauna del suelo

En el análisis correlacional para el coeficiente  $r$  de Pearson de los parámetros físicos con la macrofauna edáfica en la tierra a una profundidad de 0 – 10 cm (tabla 27) podemos observar que existe una correlación positiva media de la macrofauna en el sistema de uso excocal versus la DA con un valor de 0,51, así mismo observamos que también existe una correlación positiva media del sistema de uso agroforestal versus la resistencia a la penetración de la tierra con un valor de 0,49.

**Tabla 2719.** Correlación de las propiedades físicas versus la macrofauna del suelo en cada sistema de uso.

Sistema/propiedades	DA (g/cm <sup>3</sup> )	RPS (kg/cm <sup>2</sup> )
Sistema agroforestal	-0,05	0,49
Excocal	0,51	-0,10
Bosque primario	-0,37	-0,09

DA: densidad aparente; RPS: resistencia a la penetración del suelo

Los resultados obtenidos para la macrofauna de tierra con respecto al sistema de uso Excocal muestran una relación media con la densidad aparente, esto podría explicarse por las características propias del sistema de uso, un área cubierta por especies del género *Bacharis* spp, *Pteridium aquilinum* (macorilla) y *Andropogon bicornis* (rabo de zorro) donde el crecimiento de estas especies con respecto a la densidad aparente resulta beneficiosos medianamente a la macrofauna del suelo, en ese sentido argumenta Folegatti et al. (2001) al decir la DA es una característica de la tierra ampliamente usada en la actividad agrícola, vinculada básicamente con las prácticas de empleos de la tierra, es decir la cantidad de individuos encontrados están relacionados con las especies vegetales presentes en mediana relevancia, así como estas se relacionan con la DA de la tierra.

En cuanto a la macrofauna de tierra con respecto al sistema de uso agroforestal también muestran una relación media con la resistencia a la penetración de la tierra, deduciendo las características del lugar elegido donde se realizó el muestreo el cual está constituido por la asociación de plantas de *T. cacao* con *I. edulis* plantados además de árboles de la especie *G. crinita* *C. spruceanum* establecidos en linderos, *C. odorata* y *S. macrophylla* instalados permiten que las condiciones del suelo sean menos compactas y permitan el desarrollo de la macrofauna del suelo, el cual corrobora Upadhyaya et al. (1999) cuando afirman

que las tierras compactadas disminuyen las tasas de desarrollo de las raíces de los cultivos y así limitan la disponibilidad de agua y nutrientes a la planta y por ende el resultado explica una relación media.

#### 4.3.2. Correlación de las propiedades químicas versus la macrofauna del suelo

En el análisis correlacional para el coeficiente  $r$  de Pearson de las propiedades químicas con la macrofauna del suelo a una profundidad de 0 – 10 cm podemos observar que existe una correlación negativa media cercana a débil de la macrofauna en el sistema de uso excocal versus el nitrógeno con un valor de -0,33, así mismo observamos que también existe una correlación positiva media cercana a débil de la MO en el sistema de uso bosque primario con un valor de 0,33 y por ultimo algo más importante el valor del potasio con una relación positiva media en relación a la macrofauna obtenido en el sistema de uso bosque primario con un valor de 0,51.

**Tabla 2820.** Correlación de las propiedades químicas versus la macrofauna del suelo en cada sistema de uso.

Sist./prop.	pH	N (%)	MO (%)	P (ppm)	K (kg. K <sub>2</sub> O/ha)	CIC (Cmol(+)/kg-1)
Agroforestal	0,01	0,13	-0,20	-0,14	0,09	-0,18
Excocal	-0,06	-0,33	-0,08	-0,16	0,37	0,06
Bosque primario	-0,18	-0,51	0,33	-0,09	0,51	-0,01

pH: reacción del suelo; n: nitrógeno; MO: materia orgánica; P: fósforo; K: potasio; CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Con respecto al valor más alto y con correlación positiva media que resulta importante podemos decir que existe una reacción del potasio en el sistema de uso bosque primario, resultado quizás del material madre por estar a una altura de 581 msnm y por especies características de selva alta, Alvarado y Raigosa (2007) dicen que el potasio aparece en el suelo por intemperismo de las rocas que contienen minerales potásicos, siendo los feldespatos potásicos los minerales considerados generalmente como fuentes originales de K, es pertinente decir que parte de la macrofauna están relacionadas medianamente de este mineral del suelo.

## V. CONCLUSIONES

- Los parámetros físicos de los sistemas de uso en el caserío Cajatambo presenta una textura franco arcillosa, el mejor valor de DA y resistencia a la penetración en el bosque primario son suelos suaves, en las propiedades químicas el bosque primario presenta un pH moderadamente ácido, niveles bajos en N, MO y la CIC medio, niveles bajo en fosforo y potasio disponible en el sistema de uso agroforestal ha respectivamente.
- La diversidad de macrofauna de los sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo presenta 15 órdenes de macrofauna, sistemas de uso del suelo agroforestal con el orden Isóptera y Haplotaxida como las más predominantes con 382 y 250 individuos por m<sup>2</sup>, en cuanto a la mayor diversidad lo presenta el índice de Shannon Wiener en el sistema de uso bosque primario con 0,91.
- La relación existente entre las características biológicas con las físicas de los sistemas de empleo de la tierra presentan una correlación positiva media de la macrofauna en el sistema de uso excocal versus la DA con un valor de 0,51 y una correlación positiva media del sistema de uso agroforestal versus la resistencia a la penetración del suelo con un valor de 0,49, así mismo un valor importante en las propiedades químicas el valor del potasio con una relación positiva media en relación a la macrofauna obtenido en el sistema de uso bosque primario con un valor de 0,51.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

- Realizar la investigación sobre riqueza y biomasa edáfica del suelo en los tres sistemas de uso del suelo en época de invierno con la finalidad de comparar con otros trabajos realizados.
- Realizar una correcta identificación de las especies forestales mediante colecta de muestras botánicas por cada sistema de uso, sobre todo el bosque primario y relacionarlos con las características de la tierra.
- Realizar estudios que tengan como variante la fisiografía o pisos altitudinales para relacionarlos con los parámetros físicos y sustanciales de las dos áreas con especies agroforestales y los marcos distintivos de empleo del suelo.

## VII. REFERENCIAS

- Abatte, P. & Andrade, F. (2015). *Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de granos*. In book: Fertilidad de suelos y fertilización de los cultivos. 2da Edición (pp.165-204). INTA cap. 6. [https://www.researchgate.net/publication/320552429\\_Los\\_nutrientes\\_del\\_suelo\\_y\\_la\\_determinacion\\_del\\_rendimiento\\_de\\_los\\_cultivos\\_de\\_granos](https://www.researchgate.net/publication/320552429_Los_nutrientes_del_suelo_y_la_determinacion_del_rendimiento_de_los_cultivos_de_granos).
- Acevedo, E., Carrasco, M., León, O.; Silva, P., Castillo, G., Ahumada, I., Borie, G., González, S. (2005). *Informe de criterios de calidad de suelo agrícola*. Servicio Agrícola y Ganadero, Chile. 205 p. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/>).
- Acton, D. F., and L. J. Gregorich. (1995). *Understanding soil health*. In: *The Health of Our Soils: Toward Sustainable Agriculture in Canada*. Acton D. F. and L. J. Gregorich (eds) Centre for Land and Biological Resources Research 1: 5-10. Ottawa, Canada.
- Alvarado A., Raigosa, J. (2007) *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica San José, Costa Rica pp 83.
- Arévalo, G.E., Gauggel, C.A. (2014). *Manual de laboratorio de manejo de ciencia de suelos y aguas*. EAP el Zamorano, Honduras. p 79.
- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., Etchevers-Barra. J. (2002). *Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable*. *Agrociencia* 36: 605-620. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/download/214/214>.
- Azañero, A. L., Ñique, A. M. y Florida, R. N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Artículo original. Revista Tayacaja* 3(1). ISSN: 2617 – 9156, 112 – 125. DOI: <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>.
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Del Castillo, R.F., Gutiérrez, C. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. *Ecosistemas* 13 (2): 90-97. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>
- Bautista-Cruz, A., y J. D. Etchevers B. 2014. *Una Revisión sobre los Conceptos de la Calidad del Suelo: Sus Indicadores e Índices*. Editorial Académica Española. <https://www.eae-publishing.com/catalogue/details/es/978-3-8473-6509-9/una-revisi%C3%B3n-sobre-los-conceptos-de-la-calidad-del-suelo>.

- Bazán, T. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima Perú. 92 p. Recuperado de [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual\\_de\\_procedimientos\\_de\\_los.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf)
- Bello Pérez, A., García-Alvarez, A., Tello Marquina, J.C., López Pérez, J.A., 2002. *Los sistemas agrarios mediterráneos como modelo agroecológico*. Man. Agric. y Ganad. ecológica
- Bohn, H.; McNeal, B.; O'Connor, G. 1985. *Soil Chemistry*. John Willey and Sons. New York, US. 341 p.
- Bohn H., Mcneal B. yO'Connor G. (1993). *Química del suelo*. Limusa, D.F, México.
- Brady, N.C.; Weil, R.R. (1999). *The nature and properties of soils*. New Jersey, Prentice-Hall. 881 p
- 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.
- 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](https://www.researchgate.net/publication/323253773_Fauna_del_Suelo)
- Cakmak, I. and A.M. Yazici. 2010. *Magnesium: Forgotten elements in Crop Production*. Better Crops 94(2):23-25. <https://www.compo-expert.com/sites/default/files/2020-07/Journal%20Nutrici%C3%B3n%20Mineral.pdf>.
- Campos & Cornelio. (2006). *Clasificación de los suelos de la Comunidad Campesina San Juan Bautista de Huariaca, según su grado de fertilidad natural*. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional “Daniel Alcides Carrión. 120 p
- Carrasco, J. & Ortiz, m (2011). *Propiedades físicas del suelo, que condicionan el desarrollo de frutales en la región de O'Higgins*. Boletín IN/A, N° 227. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7436/NR38176.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- Carrasco, J. (2008). *Propiedades físicas del suelo y su relación con la productividad de frutales y vides*. En: Hirzel, J. (Ed). Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales

y v ides. 296 p. Colección libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. p 13-47.

Cepeda, D. (1991). *Química de Suelos*. 2 ed. Trillas S.A., México. 167 p.

Correa, C. (2012). *Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en el predio Tulumayo-UNAS-Tingo María*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/443>.

Correira, M. Y Oliveira, L. (2000). *Fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos*. (Documentos N° 112.). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Agrobiologia. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR20001597278>

Daza, J. (2018). *Evaluación de indicadores de calidad del suelo y carbono orgánico en dos sistemas de uso de la tierra en el distrito Rupa Rupa – Tingo María*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. [USDA]. (2006). *Keys to Soil Taxonomy*. 10ma edición, p:332. [http://soils.usda.gov/technical/classification/tax\\_keys/](http://soils.usda.gov/technical/classification/tax_keys/)

Dexter, A. R., E. A. Czyz, and O. P. Gate. (2007). *A method for prediction of soil penetration resistance*. Soil Tillage Res. 93: 412-419

Dick, R.P. (2004). *Soil Biological, chemical, and physical dynamics during transition to nonthermal residue management grass seed systems*. Online Internet. Oregon, GSCSSA, Progress reports FY00. <http://gscssa.wsu.edu/progress/00/100.htm>.

Dieter P (1984) *Calmodulin and calmodulin-mediated process in plants*. Plant Cell Environ. 7: 371-380.

Doran, J., Lincoln, N. (1999). Guía para la evaluación de la calidad del suelo. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>).

Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

Etter, R.J. (1991). PopDyn: an ecological simulation program. Bioscience 41: 784-790.

Franco, J. (1989). Manual de ecología. Trillas, México.

Fassbender, H.W. (1987). *Modelos Edafoclimáticos de Sistemas Agroforestales*. Turrialba, Costa Rica: GTZ-CATIE. p. 475 (Serie de materiales de enseñanza N° 29).

- Fernández, M. (2007). *Fósforo: amigo o enemigo*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 41(2): 51-57. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>.
- Folegatti, M.V.; Brasil, R.P.C. Do; Blanco, F.F. (2001) *Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a Kandialdic Eutrudox and a Typic Hapludox*. *Scientia Agricola* 58: 833-838.
- García, C.I., Sotres, F.G., Hernández, T.F., Trasar, C.C. (2003). *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Mundi-Prensa Murcia, España, pp. 51–76.
- García, Y, Ramírez, Wendy, & Sánchez, Saray. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&tlng=es).
- Goedkoop, M y Spriensma, R (2001) *Eco-Indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. Methodology Report. Anex 1. (3° edition) Amesfoort.
- Haddad, N. (2004). *Introduction - Why Study Earth System Science*. Online Internet. Cambridge, TERC: <http://serc.carleton.edu/files/eet/globe/EarthSysInt.pdf>.
- Halfpter, G., Moreno, C.E., Pineda, E.O. (2001). Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. Manuales & Tesis vol. 2.
- Henríquez C., Cabalceta G. (1999). *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque Agrícola*. ACCS. 1 ed. San José, Costa Rica. 111 p
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2014). Metodología de investigación. 4 ed. McGraw-Hill Interamericana. México.
- Herrick, J.E., Jones, T.L. 2002. *A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1320–1324.
- Hosokay, M. O. (2012). *Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge – Tingo María*. [ Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú.

- Hünemeyer, J.A., De Camino, R. y Müller, S. 1997. *Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2012). *Conflictos de uso del territorio colombiano*. Escala 1:100.000. IGAC. Bogotá (Colombia).
- Jorajuria Collazo, D. (2004). *La resistencia a la penetración como parámetro mecánico del suelo*. En: Filgueira, R. y Micucci, F. EDULP (eds.). *Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría*. 43-53.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. (1997). *Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation*. Soil Science Society of America J. 61: 4-10.
- Lampurlanés, J., Cantero-Maronez, C. (2003). *Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth*. Agron. J. 95, 526–536
- Lavelle, P. (1997). Faunal activities and soil processes: adaptive Strategies that determine ecosystem function. Adv. Ecol. Res. 24:93-132.
- Lindeijer, E. (2000b) “*Biodiversity and life support impacts of land use in LCA*”. Journal of Cleaner Production, 8 (2000), pp. 313-319.
- Lok, S. (2005). *Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción del ganado vacuno*. [Tesis de Doctorado]. Instituto de ciencia animal. Cuba. 119 p.
- López Vázquez, V., Balderas Plata, M., Chávez Mejía, M., Juan Pérez, J., Gastón Gutiérrez Cedillo, J. (2015). *Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano*. Ciencia 22(2): 136-144. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5116566.pdf>.
- Magdoff, F. y R. Weil. (2004). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, p. 327-329
- Martínez, E. (2003). *Reacción del suelo (pH)*. Rev. Batuco. Universidad de Chile. 1-34.
- Mengel, K. & Kirby, E. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Instituto Internacional de la Potasa. 4ta ed. Suiza.

[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod\\_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf).

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.

Mikkelsen, R. (2010). *Soil and Fertilizer Magnesium*. Better Crops 94(2):26-28. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/47833649504C3064852579A0006A1A38/\\$FILE/3.%20Fuentes%20de%20Magnesio.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/47833649504C3064852579A0006A1A38/$FILE/3.%20Fuentes%20de%20Magnesio.pdf).

Monge, E., J. Val; M. Sanz; A. Blanco and L. Montañés (1994). *Calcium as a nutrient for plants. The bitter pit in apple*. An. Estac. Exp. Aula Dei (Zaragoza) 21(3): 189-201. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/4021/1/analesv.21n.3-1995-Especial50.pdf#page=80>.

Munera, G. & Meza, D. (2012). *El fosforo elemento indispensable para la vida vegetal*. Universidad Tecnológica De Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/7377066a-bac4-4402-a306-eb45caa49d1c/content>.

Navarro, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal*. 2 ed. Mundi Prensa, España.

Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., López Blanco, J. Rodríguez Gamino, L. (2011) *Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo*. Contactos 80 (1), 29–37. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>.

Ñique, M. (2010). *Biodiversidad: Clasificación y cuantificación*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. [https://www.researchgate.net/publication/298950055\\_BIODIVERSIDAD\\_Clasificación\\_y\\_Cuantificación](https://www.researchgate.net/publication/298950055_BIODIVERSIDAD_Clasificación_y_Cuantificación)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2022). *Levantamiento de suelos “Propiedades Químicas”*. Portal de Suelos FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-desuelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2019). *Textura del suelo*. <https://bit.ly/2MmvZe0>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2016). *Suelos y biodiversidad*. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/285729/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (1996). *Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Estudio FAO Montes 131. <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage>.
- Pagiola, L., Ota, M. (1997). La diversidad biológica o biodiversidad. Citado por ALTIERI.
- Parr, J. F., R. I. Papendick, S. B. Hornick, and R. E. Meyer. (1992). *Soil quality: Attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture*. American Journal of Alternative Agriculture 7: 5-11.
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de valle de Santiago*. Conacyt – México. [Tesis de Maestría]. Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo, A.C. CentroGeo. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf>
- Pinot, R, H. (2000). *Manual de Edafología*. Ed.Computec. Chile.
- Pires da Silva, A.; Inhoff, S. y Corsi, M. (2003). *Evaluation of soil compaction in an irrigated short duration grazing system*. Soil & Tillage Research 70(1): 83-90.
- Pla, L., (2006). *Biodiversidad: inferencia basada en el índice de shannon y la riqueza*. Interciencia, 31(8), 583-590.
- Porta, M., López, A., Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España. 622 p.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del DF. [PAOT-DF]. (2003). *Uso del suelo*. Informe anual. PAOT. <https://paot.org.mx/centro/paot/informe2003/temas/suelo.pdf>.
- Reyes, P. y Torres. J. (2009). Diversidad, distribución, riqueza y abundancia de conductos 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>

- Rico Calvano, F., Rico Fontalvo, H. (2014). El uso del suelo, ¿Un problema de capacidad productiva y de políticas públicas? *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 5(2): 213-231. <https://www.redalyc.org/pdf/5177/517751549002.pdf>
- Ross, M. (2004). *Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. Palmas - Vol. 25 No. Especial, Tomo II.* <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/1071/1071>.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo.* <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>.
- Ruiz, G. (2016). *Estudio fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del Centro Poblado Cacara, provincia de Yauyos, Lima.* [Tesis de Maestría]. Pontificia Universidad Católica Del Perú. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7010/RUIZ\\_OLOR\\_TINO\\_GEAN\\_PIERRE\\_ESTUDIO\\_FISICO\\_QUIMICO\\_SUELO\\_YAUYOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7010/RUIZ_OLOR_TINO_GEAN_PIERRE_ESTUDIO_FISICO_QUIMICO_SUELO_YAUYOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sáenz, L. (2011) *Macrofauna y propiedades fisicoquímicas del suelo en sistemas agroforestales con cacao (Theobroma cacao L.) y bosques secundario sur occidente de Guatemala.* [Tesis de pregrado]. Universidad de San Carlos De Guatemala Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/B211.pdf>.
- Salamanca J., A.; Sadeghian Kh., S. (2005). *La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.* *Cenicafé* 56(4):381-397.
- Sánchez, J. (2007). *Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas.* FERTITEC S.A. 19 p.
- Schlesinger, W. H., J. A. Raikes, A. E. Hartley, and A. F. Cross. (1996). *On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems.* *Ecology* 77: 364-74.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2017). *Palma de aceite mexicana.* Planeación agrícola nacional 2017-2030. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [SAGARPA]. (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo- Metodología de Cálculo.* Recuperado de [http://smye.info/rn/ind\\_fin/suelos/Documento\\_metodologico\\_suelos.pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf)

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [SEMARNAT]. (2010). *Uso del suelo*  
[http://app1.semarnat.gob.  
mx/dgeia/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/02\\_Vegetacion/2.1\\_Vegetacion/index.shtml](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.1_Vegetacion/index.shtml)
- Singer, M.J. y Ewing, S. (2000). *Soil Quality*. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Soil Survey Staff. (1993). *Soil survey manual*. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- SQI-Soil Quality Institute. (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Stewart, D.P.; Cameron, K.C.; Cornforth, I.S.; Sedcole, J.R. (1998). *Effects of spent mushroom substrate on soil physical conditions and plant growth in an intensive horticultural system*. Australian Journal of Soil Research 36(6): 899- 912.
- Stine, M.A; Weil, R.R. (2002). *The relationship between soil quality and crop productivity across three tillage systems in South Central Honduras*. American Journal of Alternative Agriculture 17: 2-8.
- 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.
- Upadhyaya, S. K., U. A. Rosa, M. Ehsani, M. Koller, M. Josiah, and T. Shikanai. (1999). *Precision farming in a tomato production system*. Paper No. 99-1147. St. Joseph, MI, USA.
- Valdés, L., Martínez, L., Bonilla, M., Castillo I. (2016). Efectos del fuego en algunas características de suelo de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba. (<file:///C:/Users/USER/Desktop/TESIS%20METODOLOGIA/v12-n2-2-efectos-del-fuego-en-algunas-caracter%C3%ADsticas-de-suelos-de-pinares-Macurije-Pinar-del-R%C3%ADo-Cuba.pdf>).
- Vitousek, P. M. and P. A. Matson. (1985). *Disturbance, nitrogen availability and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation*. Ecology 66: 1360-1376.
- Vistoso Gacitúa, E. & Martínez-Lagos, J. (2020). *Potasio disponible y fertilización en suelos de la Región de Los Ríos*. Instituto De Investigaciones Agropecuarias – Boletín

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4037/Informativo%20INIA%20N%C2%B0%20254?sequence=1>.

Weidema, B., Lindeijer, E. (2001) “*Physical impacts of land use in product life cycle assessment*”. Final report of the EURENVIRON-LCAGAPS sub-project on land use. Department of Manufacturing Engineering and Management, Technical University of Denmark.

Wolkowski, R.; Lowery, B. (2008). *Soil Compaction: Causes, Concerns, and Cures*. University of Wisconsin – Extension. Estados Unidos de América.

Wolf, B.; Snyder, G. (2003). *Sustainable soils; the place of organic matter in sustainable soils and their productivity*. New York, Food Products Press. 352 p.

## **ANEXO**

**Anexo A. Datos recolectados en la investigación**

**Tabla 2921.** Valores de la textura del suelo.

Rep.	Muestra	SUS Agroforestal			SUS Excocal			SUS Bosque primario		
		Arena	Arcilla	Limo	Arena	Arcilla	Limo	Arena	Arcilla	Limo
r1	M1	21	41	36	26	47	27	33	34	33
	M2	19	52	29	31	48	21	35	41	24
	M3	19	48	33	37	49	14	32	37	29
r2	M4	22	42	36	30	48	22	35	35	30
	M5	25	48	27	31	53	16	25	48	27
	M6	46	38	16	19	52	29	31	41	28
r3	M7	22	53	25	23	49	27	29	38	33
	M8	18	56	26	25	46	29	34	34	32
	M9	18	50	32	19	53	28	29	38	33
r4	M10	16	39	45	23	52	25	25	31	49
	M11	28	37	35	31	50	19	27	30	50
	M12	32	39	29	31	49	20	32	28	40

**Tabla 3022.** Valores para la densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>).

Rep.	Muestra	SUS Agroforestal	SUS Excocal	SUS Bosque primario
R1	M1	1,52	1,52	1,38
	M2	1,56	1,62	1,43
	M3	1,47	1,57	1,48
	M4	1,42	1,52	1,53
r2	M5	1,52	1,57	1,53
	M6	1,52	1,62	1,38
	M7	1,53	1,62	1,43
r3	M8	1,47	1,57	1,53
	M9	1,57	1,57	1,48
r4	M10	1,52	1,62	1,43
	M11	1,47	1,57	1,43
	M12	1,42	1,52	1,48

**Tabla 3123.** Valores para la resistencia a la penetración del suelo (kg/cm<sup>2</sup>).

<b>Rep.</b>	<b>Muestra</b>	<b>SUS Agroforestal</b>	<b>SUS Excocal</b>	<b>SUS Bosque primario</b>
R1	M1	1,57	1,84	1,66
	M2	1,67	1,74	1,64
	M3	1,76	1,83	1,61
r2	M4	1,77	1,79	1,62
	M5	1,62	1,77	1,48
	M6	1,64	1,80	1,66
r3	M7	1,69	1,74	1,70
	M8	1,71	1,69	1,69
	M9	1,76	1,79	1,63
r4	M10	1,84	1,74	1,60
	M11	1,79	1,69	1,59
	M12	1,78	1,79	1,79

**Tabla 3224.** Valores para el pH del suelo.

<b>Rep.</b>	<b>Muestra</b>	<b>SUS Agroforestal</b>	<b>SUS Excocal</b>	<b>SUS Bosque primario</b>
R1	M1	5,43	5,36	5,89
	M2	5,68	5,25	6,08
	M3	5,55	5,32	6,21
r2	M4	5,79	4,94	5,90
	M5	5,76	4,75	5,79
	M6	5,64	5,36	5,66
r3	M7	5,98	5,25	5,78
	M8	5,89	5,19	5,69
	M9	5,86	4,94	6,35
r4	M10	5,61	4,75	6,26
	M11	5,72	4,94	6,23
	M12	5,65	4,75	5,98

**Tabla 3325.** Valores para el nitrógeno (%) del suelo.

<b>Rep.</b>	<b>Muestra</b>	<b>SUS Agroforestal</b>	<b>SUS Excocal</b>	<b>SUS Bosque primario</b>
R1	M1	0,06	0,04	0,08
	M2	0,06	0,04	0,06
	M3	0,05	0,03	0,09
r2	M4	0,06	0,04	0,06
	M5	0,06	0,05	0,07
	M6	0,05	0,04	0,06
r3	M7	0,06	0,04	0,05
	M8	0,04	0,03	0,07
	M9	0,06	0,04	0,06
r4	M10	0,05	0,03	0,07
	M11	0,04	0,05	0,06
	M12	0,05	0,04	0,07

**Tabla 3426.** Valores para la materia orgánica del suelo (%).

<b>Rep.</b>	<b>Muestra</b>	<b>SUS Agroforestal</b>	<b>SUS Excocal</b>	<b>SUS Bosque primario</b>
R1	M1	1,01	0,71	1,41
	M2	1,03	0,85	1,33
	M3	1,13	0,69	1,02
r2	M4	0,67	0,79	1,29
	M5	0,90	0,81	1,20
	M6	0,83	0,67	1,43
r3	M7	0,85	0,83	1,25
	M8	1,03	0,79	1,31
	M9	1,05	0,67	1,22
r4	M10	1,09	0,68	1,16
	M11	0,90	0,72	1,28
	M12	1,03	0,79	1,09

**Tabla 3527.** Valores para el fosforo del suelo (ppm).

<b>Rep.</b>	<b>Muestra</b>	<b>SUS Agroforestal</b>	<b>SUS Excocal</b>	<b>SUS Bosque primario</b>
	M1	20,75	16,51	19,15
R1	M2	43,71	17,95	18,19
	M3	23,87	18,99	22,24
	M4	17,95	21,63	17,25
r2	M5	25,55	16,11	18,11
	M6	22,11	22,23	17,79
	M7	22,35	15,55	22,35
r3	M8	20,27	21,62	20,27
	M9	27,64	19,15	17,35
	M10	25,14	18,19	21,42
r4	M11	23,89	16,11	27,25
	M12	22,87	18,99	18,19

**Tabla 3628.** Valores para el potasio del suelo (kg.K<sub>2</sub>O/ha).

<b>Rep.</b>	<b>Muestra</b>	<b>SUS Agroforestal</b>	<b>SUS Excocal</b>	<b>SUS Bosque primario</b>
	M1	20,75	16,51	19,15
R1	M2	43,71	17,95	18,19
	M3	23,87	18,99	22,24
	M4	17,95	21,63	17,25
r2	M5	25,55	16,11	18,11
	M6	22,11	22,23	17,79
	M7	22,35	15,55	22,35
r3	M8	20,27	21,62	20,27
	M9	27,64	19,15	17,35
	M10	25,14	18,19	21,42
r4	M11	23,89	16,11	27,25
	M12	22,87	18,99	18,19

**Tabla 3729.** Valores para la capacidad de intercambio del suelo (Cmol(+)/kg-1).

<b>Rep.</b>	<b>Muestra</b>	<b>SUS Agroforestal</b>	<b>SUS Excocal</b>	<b>SUS Bosque primario</b>
R1	M1	6,67	7,97	8,22
	M2	6,29	7,26	7,79
	M3	6,51	6,80	6,83
r2	M4	5,94	6,24	7,21
	M5	6,20	7,02	6,75
	M6	9,58	6,27	6,19
r3	M7	9,02	7,82	7,72
	M8	6,90	7,55	6,83
	M9	6,63	6,83	7,20
r4	M10	6,19	6,88	7,42
	M11	7,92	6,39	6,82
	M12	6,96	6,86	7,09

**Anexo B. panel fotográfico**



**Figura 1313.** Muestreo de suelos en un sistema de uso agroforestal.



**Figura 1414.** Muestreo de suelos en un sistema de uso ex cocal.



**Figura 1515.** Muestreo de suelos en un sistema de bosque.



**Figura 1616.** Muestras de suelo de un sistema de uso ex cocal.



**Figura 1717.** Muestras de suelo de un sistema de bosque.



**Figura 1818.** Muestras de suelo de un sistema agroforestal.



**Figura 1919.** Etiquetando las muestras de suelos para Laboratorio de suelos de la UNAS.



**Figura 2020.** Muestras de suelos a diferentes profundidades para ser analizadas en el Laboratorio de suelos de la UNAS.

