

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



ÍNDICES DE CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS INTEGRALES DE
PRODUCCIÓN EN EL CASERÍO PEREGRINO, DISTRITO DANIEL ALOMIA
ROBLES – TINGO MARÍA

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

MYANU CATLIN SANCHEZ MAYHUA

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°011-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 25 de enero de 2024, a horas 10:00 a.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:

“ÍNDICES DE CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS INTEGRALES DE PRODUCCIÓN EN EL CASERÍO PEREGRINO, DISTRITO DANIEL ALOMIA ROBLES-TINGO MARÍA”

Presentado por la Bachiller: **SANCHEZ MAYHUA, MYANU CATLIN**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“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.

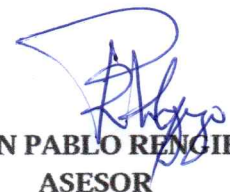
Tingo María, 29 de enero de 2024


Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE


Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO


Ing. M. Sc. SANDRO J. RUIZ CASTRE
MIEMBRO




Ing. M. Sc. JUAN PABLO RENCIFO TRIGOZO
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° 048 - 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
ÍNDICES DE CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS INTEGRALES DE PRODUCCIÓN EN EL CASERÍO PEREGRINO, DISTRITO DANIEL ALOMIA ROBLES – TINGO MARÍA	MYANU CATLIN SANCHEZ MAYHUA	21 % Veintiuno

Tingo María, 13 de febrero de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO,
INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

(Resol. 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales de Pregrado

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables
Título de tesis	:	Índices de calidad del suelo en sistemas integrales de producción en el caserío Peregrino, distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María.
Autor	:	Sanchez Mayhua, Myanu Catlin.
Asesor de tesis	:	Ing. MSc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo.
Escuela Profesional	:	Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua.
Programa de investigación	:	Ciencias Básicas.
Línea(s) de investigación	:	Física y química de suelos.
Eje temático de investigación	:	Calidad de suelos en sistemas integrales.
Lugar de ejecución	:	Caserío Peregrino, distrito Daniel Alomía Robles - Tingo María.
Duración	:	Inicio : 01 – 11 – 2022 Término : 01 – 05 – 2023
Financiamiento	:	FEDU : 0 soles Propio : 3 302,20 soles Otros : 0 soles

Tingo María - Perú, enero 2024

Bach. Sanchez Mayhua, Myanu Catlin
Tesisista

Ing. MSc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo
Asesor

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada a **Dios** por darme la vida, la sabiduría y ser mi guía en cada paso que he dado durante mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para culminar con mis metas trazadas.

A mis padres:

Norma Mayhua y Tito Sánchez a quien debo el cúmulo de valores que hoy pregonó, por ser mi fortaleza y motivación para seguir adelante, por el apoyo incondicional día a día; dedico esta investigación a su amor inquebrantable y sus buenos deseos.

A mis hermanos:

Jordy, Nayely y Kaori, fieles compañeros de aventuras, quienes fueron cómplices de mis primeras muestras de aprendizaje, quienes me apoyaron incondicionalmente y confiaron en mí en este largo camino.

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a "Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a todo el personal que la conforman, por su apoyo y confianza, en especial a los docentes de la Especialidad de Conservación de Suelos y Agua, que contribuyeron en mi formación profesional.

A mis padres, mis hermanos, a quien doy gracias por el gran amor, confianza y apoyo que me brindan día a día, para ser una persona de bien, de buenos valores y un buen profesional en la vida.

Agradezco de manera muy especial al Ing. MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, asesor de la presente investigación, por su incomparable colaboración y desarrollo en esta investigación.

A mis familiares, amigas y compañeros de la carrera por sus palabras de comprensión y apoyo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Calidad de suelos.....	3
2.1.1.1. Índice de calidad del suelo	3
2.1.1.2. Propiedades físicas	4
2.1.1.3. Propiedades químicas.....	6
2.1.1.4. Propiedades biológicas.....	9
2.1.1.5. Índice de R y Rho.....	10
2.1.2. Sistemas integrales	10
2.1.2.1. Sistema bosque primario	10
2.1.2.2. Sistema cacao	10
2.1.2.3. Sistema cítrico.....	11
2.1.2.4. Sistema coca.....	12
2.1.3. Suelos en Tingo María	12
2.2. Estado del arte	13
2.2.1. Antecedentes internacionales	13
2.2.2. Antecedentes nacionales	14
2.2.3. Antecedentes locales	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Características de la zona de estudio.....	16
3.1.1. Ubicación geográfica	16
3.1.2. Características del clima	17
3.1.3. Fisiografía	17
3.1.4. Zona de vida.....	17
3.2. Materiales y equipos.....	17
3.2.1. Materiales.....	17
3.2.2. Equipos.....	17
3.3. Generalidades de la investigación	18
3.3.1. Tipo de estudio.....	18

3.3.2.	Nivel de estudio.....	18
3.3.3.	Diseño de estudio	18
3.3.4.	Características del sistema del sistema bosque primario	19
3.3.5.	Características del sistema del sistema cacao	20
3.3.6.	Características del sistema del sistema cítrico	20
3.3.7.	Características del sistema del sistema cocal.....	20
3.4.	Metodología	20
3.4.1.	Se caracterizó las propiedades físicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles.....	20
3.4.2.	Descripción de propiedades químicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María	22
3.4.3.	Descripción de las propiedades biológicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María	23
3.4.4.	Correlacionar las propiedades fisicoquímicas con las propiedades biológicas	23
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1.	Propiedades físicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos y coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María.....	24
4.1.1.	Textura	24
4.1.2.	Densidad aparente y temperatura.....	24
4.1.3.	Resistencia del suelo	25
4.2.	Propiedades químicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos y coca	26
4.2.1.	Propiedades químicas de elementos frecuentes	26
4.2.2.	Propiedades químicas de bases intercambiables	28
4.2.3.	Bases y ácidos cambiabales, saturación de aluminio.....	30
4.3.	Propiedades biológicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos y coca.....	31
4.4.	Propiedades fisicoquímicas con las propiedades biológicas	32
4.5.	Índices de calidad del suelo en sistemas integrales.....	33
V.	CONCLUSIONES	38
VI.	PROPUESTA A FUTURO	39
VII.	REFERENCIAS	40
	ANEXOS	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Índices de calidad de suelos	3
2. Interpretación de resistencia al suelo agrícola.....	5
3. Interpretación de densidad aparente del suelo.....	5
4. Interpretación de la textura del suelo.....	6
5. Interpretación de pH.....	7
6. Interpretación de materia orgánica	7
7. Interpretación de nitrógeno	8
8. Interpretación de fosforo disponible.....	8
9. Interpretación de potasio disponible.....	8
10. Interpretación de calcio	8
11. Interpretación de magnesio	9
12. Índice de R y Rho	10
13. Ubicación de las parcelas del estudio.....	17
14. Interpretación de resistencia al suelo agrícola.....	21
15. Interpretación de densidad aparente del suelo.....	22
16. Interpretación de la textura del suelo.....	22
17. Textura del suelo en cuatro sistemas	24
18. Densidad aparente y temperatura del suelo en cuatro sistemas.....	25
19. Resistencia a la penetración del suelo en cuatro sistemas.....	26
20. Propiedades químicas de elementos relevantes en diferentes sistemas.....	27
21. Propiedades químicas de elementos cambiables en diferentes sistemas	29
22. Propiedades químicas de bases cambiables en diferentes sistemas.....	30
23. Indicadores biológicos de macrofauna (termita, hormiga y lombriz)	31
24. Correlación de las propiedades fisicoquímicas con las propiedades biológicas	32
25. Índices de calidad del suelo en sistemas integrales	34
26. Índice de calidad de suelos del sistema cacao	34
27. Índice de calidad de suelos del sistema cítricos	35
28. Índice de calidad de suelos del sistema cocal.....	35
29. Índice de calidad de suelos del sistema bosque primario	36
30. Operacionalización de variables.....	47
31. Características físicas de la textura del suelo	47

32. Características físicas de la densidad del suelo	48
33. Características físicas de la temperatura y la resistencia del suelo.	49
34. Características químicas de pH, CE, MO, N y C del suelo.	49
35. Características químicas de P, K, Ca y Mg del suelo.	50
36. Características químicas de K, Na, Al, H y CICE del suelo.	50
37. Características químicas de bases cambiables, ácidos cambiables y saturación de aluminio.	51
38. Características biológicas de termita, hormiga y lombriz del sistema cacao.	51
39. Características biológicas de termita, hormiga y lombriz del sistema cítrico.	52
40. Características biológicas de termita, hormiga y lombriz del sistema cocal.	52
41. Características biológicas de termita, hormiga y lombriz del sistema bosque primario. ...	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Panorama del área de estudio	16
2. Diseño de los puntos de muestreo.	18
3. Dimensiones del monolito a muestrear.	19
4. Tridimensional del monolito.	19
5. Parcela de cítricos en el fundo “Siriaco”	54
6. Materiales y equipos para la ejecución de la tesis.	54
7. Recolección de muestras de suelo.	55
8. Dimensiones del monolito del suelo	55
9. Muestra de 0 a 10 cm de profundidad.	56
10. Cuantificación de los organismos del suelo Isóptera (termita), Himenópteros (hormiga) y Haplotaxida (lombriz).	56
11. Medición de temperatura, resistencia de penetración al suelo y densidad aparente.....	57
12. Medición de la resistencia del suelo con el instrumento denominado penetrómetro.....	57
13. Análisis de suelos.	58

RESUMEN

El índice de calidad es un valor con rango estandarizado que permite el buen funcionamiento del sistema suelo, con el fin del sustento alimenticio para la población humana. Por lo tanto, el estudio busca determinar los índices de calidad del suelo en sistemas integrales de producción en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María, desarrollado en cuatro sistemas integrales cacao, cítrico, cocal y bosque primario, con diseño de punto de muestreo sistemático y para las propiedades químicas se utilizó la metodología de Hildenbrand y Thurian, (1996) y la cuantificación de las propiedades biológicas se realizó en niveles de 0-10, 10-20 y 20-30 cm de profundidad del suelo. Como resultados se determinó índice de calidad en textura “aceptable”, resistencia a la penetración “moderadamente resistente” y “resistente”, densidad aparente “alto” y “bajo”, pH “fuertemente ácido”, MOS “bajo” y “medio”, N “bajo” y “medio”, P “bajo” y “medio”, K “bajo”, calcio y magnesio “muy bajo” y el indicador biológico “bajo” y “medio”. En conclusión, los índices de calidad son estimaciones rápidas de las variables consideradas en el estudio del suelo.

Palabras clave: Índice de calidad de suelo, propiedades físico químico y biológico, sistemas integrales.

ABSTRACT

The quality index is a value with a standardized range which allows for a soil system to function well, with the goal of sustaining food for the human population. Thus, in the study, the soil quality indices for integral production systems on the Peregrino homestead in the Daniel Alomia Robles district of Tingo Maria, [Peru], were sought to be determined. This was carried out in four integral systems: cacao, citric, coca, and primary forest; with a systematic sampling point design. For the chemical properties, the Hildenbrand and Thurian (1996) methodology was used, and the quantification of the biological properties were done at the levels of 0-10, 10-20, and 20-30 cm of soil depth. For the results, it was determined that the quality index of the texture [was] “acceptable,” [the] penetration resistance [was] “moderately resistant” and “resistant,” [the] apparent density [was] “high” and “low,” [the] pH [was] “highly acidic,” [the] MOS (acronym in Spanish) [was] “low” and “high,” [the] N [was] “low” and “average,” [the] P [was] “low” and “average,” [the] K [was] “low,” [the] calcium and magnesium [were] “very low,” and the biological indicator [was] “low” and “average.” In conclusion, the quality indices were rapid estimations of the variables considered in the soil study.

Keywords: soil quality index, physicochemical and biological properties, integral systems.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los componentes más importantes, es el basal en el sentido de soporte y la estructura multifuncional de la producción agropecuaria y forestal, porque el suelo cumple con los atributos físicas, químicas y biológicas que son los pilares para la capacidad de funcionar el sistema del suelo para garantizar el sustento para la población humana, así como ingresos sostenidos para un país. Ahora entendemos la importancia que tiene el recurso suelo, entonces se deberá monitorear cada etapa o cosecha, mediante los muestreos de suelos y su interpretación, porque después de cada labor existe un desgaste, una deficiencia de nutrientes, entonces para el buen rendimiento para la siguiente campaña preparar el suelo la principal fuente, el componente más importante. Otro de los detalles que estamos dejando al aire es la verificación del suelo por estratos porque la compactación del medio edáfico es fundamental en el crecimiento de la planta, de acuerdo con la profundidad del suelo está el buen rendimiento del cultivo. En cuanto a la calidad del suelo, se examinan sus propiedades físicas, químicas y biológicas; la apreciación que se toma para seleccionar indicadores de calidad del suelo son variables y dependen del uso del suelo, siendo cambiantes con el tiempo. En este contexto, la evaluación de la calidad del suelo debe basarse en sus funciones específicas, que cada función se entiende como el resultado de la interacción de diversos atributos del suelo. Por lo tanto, los indicadores más efectivos serán aquellas propiedades que tengan una influencia considerable en la capacidad del suelo para desempeñar cada función.

Cada sistema integral conservará al suelo en condiciones aceptables o muy cercas al base o umbral de calidad del suelo, porque Pieri (1989) y Etchevers (1999) señala que las propiedades de las plantas tienen un impacto significativo en su proceso de crecimiento y desarrollo, el cual nace una interrogante ¿Cuáles serán las diferencias de los índices de calidad del suelo con los sistemas integrales en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María?, formulándose para ello la hipótesis que si existe diferencias entre los índices de calidad del suelo en los sistemas integrales en el caserío Peregrino – Pumahuasi.

Para la sustentabilidad de este recurso, la medición directa de la calidad del suelo no es posible, pero se considera un valor y un concepto que abarca la interrelación de diversos variables con criterios biológicos, químicos y físicos medibles e integrados en un criterio agrícola y ambiental. Por lo tanto, es crucial seleccionar y utilizar un indicador de calidad que brinde información sobre los cambios en los atributos del suelo causados por el manejo y uso de este. Formulándose para ello los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Determinar los índices de calidad del suelo en sistemas integrales de producción en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María.

1.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar las propiedades físicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María.
- Describir las propiedades químicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María.
- Describir las propiedades biológicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María.
- Correlacionar las propiedades fisicoquímicas con las propiedades biológicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Calidad de suelos

Este instrumento (calidad de suelo) permite entender el valor, la fundamentalidad de su salud de este preciado recurso. El significativo de valor de ciencia de suelo no ha sofisticado claramente a pesar que ha pasado mucho tiempo (Bautista et al. 2004). Para otros autores los indicadores de calidad del suelo comprenderían los atributos fisicoquímicos, bilógicos y los sucesos de ocurrencia de la naturaleza (SQI, 1996).

Los tres atributos del medio edáfico cambian naturalmente al pasar el tiempo, por variables que influyen su desarrollo como la lluvia, material geológico, los individuos que están en su condición, acción humana etc., en efecto no hay ninguna una sola medida fisicoquímica o biológica que indique la condición de salud y calidad del medio edáfico (Doran, 2002). Para acercarse un poco a la comprensión de las fases nutrimentales y a la acción de procesos de degradación (microorganismos), la investigación en calidad de suelos comprende varios contenidos como el desarrollo de actividades enzimáticas, funciones, reacciones bioquímicas que acontecen en este sistema complejo, además, la relación que existe entre ellos (atributos fisicoquímicos, biológicos) son muy delicados a las modificaciones de manejo en la agricultura, por lo tanto, las actividades biológicas permiten ver el correcto funcionamiento del medio edáfico respecto a las condiciones necesarias de impacto positivos, negativos e interactivos sobre los atributos y procesos que se desarrollan dentro del suelo acompañado con los factores externos como manejos antrópicos (Cerón y Melgarejo, 2005).

2.1.1.1. Índice de calidad del suelo

Tabla 1. Índices de calidad de suelos

Índices de calidad de suelos	Escala	Clases
Muy alta calidad	0,80 - 1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,80	2
Moderada calidad	0,40 - 0,60	3
Baja calidad	0,20 - 0,40	4
Muy baja calidad	0,00 - 0,20	5

Fuente: Cantú et al., (2007).

Contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumanski et al., 1998).

2.1.1.2. Propiedades físicas

Las prácticas perversas y el uso inapropiado de los agroecosistemas con el fin de dar sustento (alimento) para la población han generado en gran medida modificaciones y agravamiento en los ambientes, fundamentalmente el más afectado son los atributos fisicoquímicos y biológicos del medio edáfico (Oke, 2008). Los cambios se han mostrado en los atributos físicas desde el inicio en los sistemas de bosque secundario (SF) y también con los sistemas en comparación (sistema agroforestal INAS y sistema tradicional ITAS) cada dos años de evaluación (2004, 2006, 2008 y 2010) los resultados no fueron significativos (Arévalo, 2014).

– Temperatura del suelo

Las temperaturas del suelo para las lombrices oscilan de 10° y 20°C; el rango jerárquico, óptimo es de 25°C a 35°C. Limitadas especies toleran a temperaturas bajo 0°. Sin embargo, sucede la adaptación de costumbre fisiológicamente de acuerdo a la recepción de soportar a ese medio desfavorable (USDA, 1999).

La agricultura tradicional en efecto voltear la tierra elimina un porcentaje de 25% de la comunidad de lombrices. Los impactos indirectos de la agricultura tradicional dañan a la comunidad biológica sobrante, estos factores son incremento de la temperatura, humedad positiva o negativa del suelo, disminución de residuos orgánicos (USDA, 1999).

– Resistencia al suelo

Esta variable de resistencia del suelo es fácil de medir (penetrómetro), introduciendo el objeto al suelo (Bradford, 1986). La resistencia del medio edáfico muestra relevancia de estrato superficial si es posible el desarrollo de las raíces y así mismo se utilizaría información a similares condiciones, otros estudios con criterios de determinación a la resistencia (USDA, 1999).

La prueba de deslizamiento en los procedimientos que ofrece el rango de estabilidad es de 0 – 6 (Herrick, 1998). Las fracciones del suelo pertenecen a clase 0 – 3 son bastante inestable. Sin embargo, la clase 4 muestra poca estabilidad, con poca resistencia. Finalmente, la clase 5 – 6 indica suelos estables. La resistencia del medio edáfico

tiene relación con la inercia del suelo a poder soportar el deterioro de la estructura del suelo (USDA, 1999).

Los factores que inciden la inestabilidad del suelo dependen mayormente del contenido de agua, el suelo seco tiene mayor resistencia a la penetración. La mejor manera de recoger los datos para la resistencia es cuando el suelo está en capacidad de campo (uniformidad) (USDA, 1999).

Tabla 2. Interpretación de resistencia al suelo agrícola

Apreciación	Valores
Muy resistente	4 - 4,5
Resistente	2,6 - 4
Moderadamente resistente	0,5 - 2,6
Sin resistencia	0 - 0,5

Modificado, Fuente: Pérez, 2010.

– **Densidad aparente**

Las consecuencias indirectas de la agricultura tradicional (volteo del suelo) lastiman a los organismos remanentes. Estas consecuencias indirectas suman el incremento de la temperatura superficial, disminución de la infiltración del suelo, disminución del abastecimiento de los desechos (Cutty, 1998).

La densidad aparente edáfica regularmente determina la asignación de la población (lombriz) y su acción (USDA, 1999). La cantidad de agua del suelo es mencionada como un vínculo entre la cantidad de agua en una masa de suelo y la muestra de suelo seco (volumen original del suelo). Estas dos asignaciones están vinculadas por un coeficiente denominado DAM (densidad aparente del suelo muestreado) (Greacen, 1981).

Tabla 3. Interpretación de densidad aparente del suelo

	Valores	Interpretación
Densidad aparente - da (g/cc)	$\leq 0,7$	Bajo
	0,7 - 0,8	Ideal
	0,9 - 1,2	Alto
	$\geq 1,2$	Muy alto

Modificado, Fuente: Pérez, 2010.

– Textura del suelo

Esta propiedad del suelo es de los más estables en la variación, también podría ser modificado siempre cuando haya prácticas de suelos en condición extrema (cultivar, mezcla de suelos). Su condición determina (textura) factores fundamentales como la optimización en la fertilidad del suelo, velocidad de infiltración, retención de agua como almacenamiento y la aireación u oxigenación del suelo, ejemplo la textura arcillosa retiene agua + nutriente que la textura arenosa (USDA, 1999).

Tabla 4. Interpretación de la textura del suelo

	Valores	Apreciación
Textura (% de arena, limo y arcilla)	Franca	Ideal
	Franco arenosa	Buena
	Aproximándose o dentro de Franco limosa, Franco arcillosa o Arenosa franca	Aceptable
	Aproximándose o dentro de limosa, arcillosa o Arenosa	Regular

Modificado, Fuente: Abi-Saab, 2012.

2.1.1.3. Propiedades químicas

La MO (materia orgánica) establece el almacenamiento eventual como capturador de Carbono, por ser la causa primordial de sustancia en el suelo para nutrición de los arbustos, y la MO presenta un consistente dominio en la perduración y deterioro de plaguicidas y restos orgánicos (Fenton et al., 1999). Sin embargo, su relevancia establece no solo en abastecer sino también en ayudar en los complejos humus-enzimas (Masciandaro y Ceccanti, 1999).

Los atributos químicos del medio edáfico en la obtención de granos de cacao, en el transcurso del tiempo en evaluación se observó diferencia significativa en CE, MO, N, P, K, CIC, Ca, Mg, saturación de bases y micro-elementos Fe, Cu, Zn y Mn (Arévalo, 2014).

Los elementos antes mencionados intervienen en forma directa a las propiedades del suelo (fisicoquímicos y biológicos) (Astier-Calderón, 2002). El mismo autor manifiesta que los atributos químicos tales como la capacidad amortiguadora y la CIC aminoran la posibilidad de modificaciones drásticas en el pH y de las acumulaciones de cationes en el suelo.

La calidad del suelo (CS) es la capacidad con rango estandarizado que permite el buen funcionamiento del sistema suelo, con el fin del sustento alimenticio, calidad de agua, aire para la población humana y promoviendo la salud para la vegetación y animales (Karlen et al., 1997). Los atributos (físicoquímicos y biológicos) podrían ser excelentes indicadores de calidad de suelos, aunque en la mayoría no son universal, cambian de acuerdo a la función del ambiente, tipo de medio edáfico y el nivel de estudio (Shukla et al., 2005). Para evaluar la calidad de suelos, los indicadores se utilizan en función al criterio requerido al uso, también debe cumplir las variables asociados mínimos para integrar bien la información (Doran y Safley, 1997).

Tabla 5. Interpretación de pH

	Valores	Apreciación
pH Agua 1:1	$\leq 4,5$	Extremadamente ácido
	4,6 - 5,5	Muy ácido
	5,6 - 6,0	Ácido
	6,1 - 7,3	Neutro (ideal)
	7,4 - 7,8	Alcalino
	7,9 - 8,4	Muy alcalino
	$\geq 8,5$	Extremadamente alcalino

Modificado, Fuente: Abi-Saab, 2012 y Ortega, 1995.

Tabla 6. Interpretación de materia orgánica

	Valores (%)	Apreciación
Materia orgánica del suelo	< 2	Bajo
	2 - 4	Medio
	> 4	Alto

Modificado, Fuente: Laboratorio análisis de suelos, agua y ecotoxicología UNAS 2021.

Tabla 7. Interpretación de nitrógeno

	Valores (%)	Apreciación
Nitrógeno	< 0,1	Bajo
	0,1 – 0,2	Medio
	> 0,2	Alto

Modificado, Fuente: Laboratorio análisis de suelos, agua y ecotoxicología UNAS 2021.

Tabla 8. Interpretación de fósforo disponible

	Valores (mg Kg⁻¹)	Apreciación
Fósforo disponible (mg Kg ⁻¹)	< 10	Muy bajo
	10 - 20	Bajo
	20 - 30	Moderado
	30 - 40	Alta
	> 40	Muy alta

Modificado, Fuente: Abi-Saab, 2012 y Ortega, 1995.

Tabla 9. Interpretación de potasio disponible

	Valores (cmol Kg⁻¹)	Apreciación
Potasio disponible (cmol Kg ⁻¹)	< 0,10	Muy bajo
	0,10 - 0,20	Bajo
	0,21 - 0,30	Moderado
	0,31 - 0,40	Alta
	> 0,40	Muy alta

Modificado, Fuente: Abi-Saab, 2012 y Ortega, 1995.

Tabla 10. Interpretación de calcio

	Valores (cmol⁽⁺⁾/Kg⁻¹)	Apreciación
Calcio (cmol ⁽⁺⁾ /Kg ⁻¹)	< 2	Muy bajo
	2 - 5	Bajo
	5 - 10	Medio
	> 10	Alto

Modificado, Fuente: Biología fácil, 6 nov 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=dabzehlp4i8>

Tabla 11. Interpretación de magnesio

	Valores (cmol⁽⁺⁾/Kg⁻¹)	Apreciación
	< 0,5	Muy bajo
Magnesio (cmol ⁽⁺⁾ /Kg ⁻¹)	0,5 - 1,3	Bajo
	1,3 - 3,0	Medio
	> 3,0	Alto

Modificado, Fuente: Biología fácil, 6 nov 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=dabzehlp4i8>

2.1.1.4. Propiedades biológicas

Los atributos biológicos que componen y dependen de una gran variedad de factores, para su buen desarrollo en la calidad de suelos dependen de la abundancia y cuando disminuyen los macro y microorganismos son afectados (SQI, 1996; Karlen et al., 1997). También los atributos biológicos están vinculados con atributos físicos como los residuos, y los atributos químicos como la capacidad de intercambio iónico y la disposición de agregados nutricionales. Por lo tanto, los estratos del suelo se definen desde el contexto integral como aquel que custodia los atributos fisicoquímicos y biológicos el cual por un buen manejo suministra agua, nutriente y sostén mecánico para la vegetación (Astier-Calderón et al., 2002).

De manera general los indicadores se entienden como la cualidad o atributos fisicoquímicos y biológicos del medio edáfico. Las biológicas son los indicadores ecológicos que tienen más dinamismo, sin embargo, es señal de alarma temprana de deterioro. Finalmente existen indicadores que sus cambios son notables en varios años (10 años) (Astier-Calderón et al., 2002).

Los atributos biológicos tienen un poco vínculo con los atributos físicos (agregación), atributos químicos (capacidad de intercambio iónico, disposición de nutrientes) y biológicas (transformación nutricional de residuos), sin embargo, los tres atributos determinan el medio edáfico fértil siempre en cuando se suministra apropiadamente los recursos (agua y nutriente) para el sostén mecánico de la vegetación (Etchevers, 1999).

2.1.1.5. Índice de R y Rho

Tabla 12. Índice de R y Rho

índice R y Rho	Interpretación
0,00 - 0,20	Ínfima correlación
0,20 - 0,40	Escasa correlación
0,40 - 0,60	Moderada correlación
0,60 - 0,80	Buena correlación
0,80 - 1,00	Muy buena correlación

2.1.2. Sistemas integrales

Los sistemas integrales como ganadería, agricultura, forestal y otros son programas planificadas (estrategia) para seguir produciendo alimento con las mismas labores de una misma área también como estrategia se busca (rotación, parcelas, asociación y otros), llevando un adecuado ambiente en la valoración hombre-viabilidad-economía (Balbino et al., 2011; Kichel et al. 2012). Los fines de implementar los sistemas integrales es mejorar el uso del suelo sin perjudicar el incremento de la producción, la calidad (producto y ambiental) y la competitividad sin talar más bosques primarios (Anghinoni et al., 2012).

2.1.2.1. Sistema bosque primario

El bosque primario o virgen, según la FAO como concepto son bosques por generación natural, donde habitan arboles nativas en donde las actividades antrópicas son inexistentes y los procesos de regeneración son naturales. Los bosques se encuentran de especies (tamaños inmensos, variedad de especies) variedad en almacenamiento de carbono, fauna y flora.

En los últimos tiempos los bosques muestran inmensas extensiones de vegetación en las zonas tropicales, una alternativa para la conservación de la biodiversidad sería prever en el marco mundial 2020 del convenio sobre la diversidad biológica (CDB), al final fundamentar con una sólida idea de la condición actual y prolongar el pronóstico (PNUMA y FAO, 2020).

2.1.2.2. Sistema cacao

Luego de una etapa de agresividad relacionado al narcotráfico en los años de 1970 a 1980, la provincia de Leoncio Prado (Tingo María) se ha articulado el

desarrollo de la plantación de cacao formándose cooperativas para la exportación de los granos, luego llegaron las inconveniencias (uso exceso de los insecticidas para el cultivo de coca) que trajo grandes pérdidas económicos, luego en los años 2000 a 2010 se toparon con otro problema de degradación de suelos (producción intensiva) agotando suelos agrícolas con elementos contaminantes de cadmio (granos de cacao, que causa carcinógeno).

En los últimos tiempos la ciudad de Tingo María, se ve un cambio en su clima, desfasando las épocas o estaciones bien marcados, eso podría ser una de las dificultades a una baja en la producción, sensibilidad a las enfermedades, desabastecimiento de agua, exceso (inundaciones) y otros. En particular la producción de cacao en la zona Huallaga articula a la sociedad de Tingo María, acompañando con el cultivo de café, la exportación de las diferentes variedades de plátano, finalmente por la ubicación geográfica de la zona la población se beneficia del turismo (envol-vert, s/f).

2.1.2.3. Sistema cítrico

Según el Diagnóstico provincial (2007) la producción de cítrico en la provincia de Leoncio Prado, el 77,00% destinado al mercado y el 20,33% destinado al autoconsumo, los datos son corroborados en base al censo nacional agropecuario en los distritos Luyando, Mariano Dámaso Beraún, Daniel Alomía Robles y Hermilio Valdizán. De la producción destinado al mercado se destina que el 40,00% a la ciudad de Lima, el 30,00% a las regiones del país y finalmente el 30,00% se consume localmente (ciudad de Tingo María).

El área en cultivo asciende a 3561,761 ha., según FAO, el país contribuye con 0,6% de área mundial que equivale a 22800 ha., en plantación con variedades de Valencia, Washington Novel las más producidas en el Perú (ADUNAS – Perú, 2003 citado por Santivañez, 2012).

La producción de cítricos en el país, fijamente ubicado en la provincia de Leoncio Prado, es una alternativa con demanda en el mercado nacional con producción exorbitante, pero en los últimos tiempos ha experimentado variaciones en la producción (rendimiento), que ha generado un declive económico y social. Otro de los inconvenientes es la mala calidad (frutos con gusano) los clientes quedaron insatisfechos malogrando el mercado a nivel de la provincia de los agricultores productores de cítricos que, buscar estrategias para controlar a nivel general de las plagas en los cultivos está en las manos de todos (autoridades, agricultores y consumidores) que otros asuntos escapan de las manos de los agricultores, dependen de las autoridades nacionales, regionales y locales (Santivañez, 2012).

2.1.2.4. Sistema coca

La producción de hoja de coca en el país se somete a dos grandes factores, primero acciones de gobiernos incompetentes y segundo los costos muy elevados en remuneración por la hoja de coca al comprador primario y secundario no existe el control gubernamental. El 10,00% del producto final se utiliza en consumos tradicionales como infusiones y chacchado, el aumento en la producción de la hoja de coca manifiesta alimentar la corrupción, adicción y financiar grupos de terrorismo. Al final la comunidad de la zona rural es la que tolera los escenarios negativos entre ellos existen grupos criminales, autoridades entrometidos en corrupción, grandes grupos criminales abriendo mercado internacional en Europa, Norte América y otros continentes (DEVIDA, 2005).

Otra de las consecuencias más grandes que golpea a la población tinguales es no saber cuidar el suelo agrícola con explotación en realizar en masiva la hoja de coca, agricultura y ganadería sobreexplotado (Ríos, 1979 citado por Urrelo, 1997). Sin embargo, a los cocaleros de la actualidad le califica con el apelativo de "Atilas del agro tropical", que significa crueles del agro de la amazonia, al mismo tiempo el área afectada por la erosión insidiosa según la estimación es de 300,00 ton/ha al año, a ello se suma la degradación de los fenómenos naturales (Urrelo, 1997).

2.1.3. Suelos en Tingo María

El estudio se llevó a cabo con el propósito de evaluar la calidad y el uso sostenible del suelo en un sistema agroforestal (SAF) y en un área previamente utilizada para el cultivo de coca (suelo abandonado y altamente ácido). Para analizar el impacto de ambos sistemas de uso en la calidad del suelo en el Valle del Monzón (Huánuco, Perú), se calcularon indicadores físicos y químicos, como la textura, densidad aparente, conductividad eléctrica, pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, calcio y magnesio intercambiable, así como la capacidad de intercambio catiónico. Se observó que el suelo en el sistema agroforestal presentó una calidad clasificada como "buena", mientras que el suelo en la antigua área de cultivo de coca mostró una calidad considerada como "marginal" (Panaifo et al., 2021).

La ciudad de Tingo María y sus áreas circundantes presentan condiciones edafoclimáticas favorables para la actividad agrícola. La mayoría de las plantaciones de cacao se establecen en zonas aluviales, terrenos planos o ligeramente inclinados, caracterizados por suelos profundos, relativamente fértiles y un contenido de materia orgánica superior al 3%. En las áreas de laderas con pendientes de entre 15 y 20%, también se practica el cultivo de cacao, aunque con restricciones debido a la menor profundidad del suelo, una fertilidad reducida y la

presencia de pedregosidad, factores que limitan su potencial productivo (Luis Fernando, (2009).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Antecedentes internacionales

Gallegos et al., (2023) titulado “Ciencia del suelo. Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo División IV: El papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad”, en México la alta competitividad y la extracción de hidrocarburos (HC), trae consecuencias al suelo como la alteración, motivos como el derrame que afecta al suelo y los alrededores. El estudio utilizó métodos de geoelectrónicos más prácticos y económicos para detectar una gama de contaminantes orgánicos. La presente investigación evaluó la eficiencia de la resistividad eléctrica (RE), cubriendo un resistivímetro y realizar un seguimiento de remediación. Los resultados comparados entre análisis en laboratorio y el método empleado llegamos a la conclusión de que la demostración realizada es positiva con un alto coeficiente en fitoremediación.

En su tesis de Salas (2019) titulado “Estudio de la diversidad de nematodos asociados al sustrato como indicadores de la calidad del suelo en agroecosistemas” con el objetivo de evaluar la capacidad y sensibilidad de los nematodos edáficos como bioindicadores de la calidad del medio edáfico a través del cálculo de índices ecológicos para determinar, cuáles de ellos son indicadores que describan de manera apropiada las modificaciones de la estructura de la población de nematodos edáficos ocasionados por diferentes tipos de prácticas llevadas a cabo en suelos hortícolas del partido de la plata. Para lograrlo se realizó la colección de ejemplares en suelos de horticultura, específicamente a los cultivos de *Solanum lycopersicum*, bajo estos tipos de manejo, 1: Cultivo agropecuario, 2: Cultivo empleando enmienda agrícola orgánica, 3: Cultivo tradicional aplicando fertilizantes y abonos orgánicos, también bromuro de metilo (BrMe) como nematicida, 4: Bosque virgen no intervenido. Se concluyó que, las especies numéricamente mayor en los ecosistemas son *Rhabditis*, *Helicotylenchus* y *Filenchus* indicando su sensibilidad y respuesta frente al agregado de nutrientes. Así también el mayor valor de abundancia en la importancia económica fue *Nacobbus* del género nematodos fitófagos.

En el estudio de Cerón y Melgarejo (2005) titulado “Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad” menciona que, ante la inminente progreso de petición de alimento, fibra y cuidado de medioambiental de una comunidad poblada en desarrollo acelerado, la degradación de los recursos naturales no renovables y los cambios que ha tenido sobre la calidad medioambiental general, se propone concepciones de salud y calidad del

medio edáfico en virtud como un conglomerado de material de trabajo para aclarar, precisar el sustento, sobre la conservación de la dinámica y funciones del ecosistema dentro de los umbrales en consideración. Los indicadores de salud o calidad son un conglomerado de atributos (físicoquímicas y biológicas), que buscan encontrar un valor con rango estandarizado denominado umbral “calidad”, finalmente las variables en consideración deberán estar relacionados con las modificaciones del uso del suelo.

2.2.2. Antecedentes nacionales

En el estudio de Ruiz (2016) titulado “Estudio fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Caca, provincia de Yauyos, Lima” con el objetivo de evaluar la fertilidad de los suelos agrícolas en el sistema de andenería del centro poblado de Caca, provincia de Yauyos, Lima. Con la finalidad de aportar el crecimiento económico-social de la sociedad rural. Para lograrlo se evaluó las variables físicas y químicas de la fertilidad edáfica, se utilizó la metodología descriptiva, analítica y cartográfica, así como también todo el paso de recolección de datos en campo y análisis de muestras en laboratorio. Se concluyó que los medios edáficos del centro poblado Caca evidencian con atributos físicos en rangos medios y altos. Estas características muestran, con suelos de textura media, por tener aireación cerca al umbral, baja densidad y una buena retención de agua. Con macro-nutrientes disponibles (Fe, Cu y Zn) encontrándose en cantidades y los macro-nutrientes (Ca, Mg, y K) encontrándose en menores cantidades, esto es debidamente al pH ligero y moderadamente ácido. Los nutrientes de P y S están en los rangos medios y altos liberados por la materia orgánica, el nutriente que presenta en menor cantidad es el nitrógeno.

En el estudio de Arévalo (2014) titulado “Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao”. Para lograrlo se desarrolló con un ensayo en la estación experimental “El Choclino”, del ICT (instituto de cultivos tropicales), región San Martín, Perú. El diseño consistió en dos sistemas de producción de cacao, primero: condición tradicional (ITAS) y el segundo: agroforestal (INAS), en los dos sistemas realizaron la plantación de 10 (diez) genotipos del mismo y el testigo fue un híbrido local. Para el análisis de suelos se consideró las tres propiedades (físicoquímicas y biológicas (profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm)), durante los periodos 2004, 2006, 2008 y 2010). La evaluación de las variaciones fisicoquímicas y las comunidades microbianas (hongos y nematodos) en cada variable (sistema, genotipo, profundidad y año). En conclusión, la variación medio-ambiental origina modificaciones en los tres atributos del suelo, al mismo tiempo influyen la calidad del suelo en evaluación para una mejor agricultura aprovechable y sustentable.

2.2.3. Antecedentes locales

En el estudio de Azañero, et al., (2020) titulado “calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú” con el objetivo de evaluar los principales indicadores fisicoquímicos y comparar la calidad del suelo, a través del Subíndice de Uso Sustentable de Suelo (SUSS). Para lograrlo se desarrolló la recolección de muestras de suelos compuesto según el diseño de la parcela (25 x 20 m) en un recorrido de zigzag, se evaluaron, los siguientes sistemas: agroforestales (SAF), cocal (CO) y bosque secundario (BS). Se concluyó que, según el procedimiento usado del SUSS, el SAF se obtuvo buen índice de calidad y sus variables (indicador) casualmente se distancian del valor óptimo y el sistema CO muestra inferior sus índices, respecto a sus indicadores los valores varían. El método SUSS fácil y sencillo de usarlo, muestra la efectividad para determinar y concluir las modificaciones que ocurren en el suelo respecto a la calidad.

En el estudio de Huamán (2021) titulado “Influencia de los sistemas de uso en la calidad de suelo sector Cora Cora distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado”. Para lograrlo el desarrollo consistió en obtener muestras de suelo, el cual permitió determinar la calidad mediante índices y utilizando la metodología SUSS. En conclusión, el sistema agroforestal muestra calidad del suelo sensible y el sistema bosque primario y coca muestran calidad de suelo pobre.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características de la zona de estudio

El desarrollo de la investigación se realizó en la propiedad de la Sra. Atita Jaimes Remigio, identificado con DNI 22434882, ubicado en el caserío Peregrino perteneciente al distrito de Daniel Alomía Robles (Pumahuasi), provincia de Leoncio Prado – Huánuco. La parcela en general consta de sistemas de cultivos como cacao, cítricos, plátanos, coca, agroforestales, purmas y bosque primario con aproximación de 7 ha, en la totalidad del área perteneciente a la dicha propietaria, en el terreno existen parcelas de cacao con algunos árboles forestales y guaba, la parcela cítricos consta con una nueva instalación, la parcela de plátanos es monocultivo que está en la parte baja de la parcela (playa), la parcela de coca consta con una edad de 9 años aproximadamente en abandono.

3.1.1. Ubicación geográfica

El estudio se desarrolló en los siguientes puntos de ubicación con coordenadas UTM y altitudes que se muestran en la tabla 13 y Figura 1.



Figura 1. Panorama del área de estudio

Tabla 13. Ubicación de las parcelas del estudio.

Sistemas integrales	Altitud (msnm)	Coordenadas UTM	
Bosque primario	681	394344	8986388
Cacao	677	394325	8986358
Cítrico	684	394297	8986388
Cultivo de coca	685	394335	8986424

3.1.2. Características del clima

El clima característico del dicho lugar en estudio es tropical, con precipitaciones medias históricas que oscilan entre 3380 a 3400 mm/año, con periodos o temporadas más lluviosos que se presentan en los meses de octubre a marzo. Sin embargo, las temperaturas medias históricas que presentan oscilan entre 24,77 a 25,09 °C, con temporadas de sequías que se muestran en los meses de abril a setiembre (Manrique, 2022).

3.1.3. Fisiografía

Escobedo (2010) las zonas ubicadas entre ambas márgenes del río Huallaga y Monzón presentan pendientes que varían de 15 a 25%, por lo tanto, la fisiografía de la zona de estudio pertenece a montañas bajas de laderas moderadamente empinadas.

3.1.4. Zona de vida

La zona de vida desarrollado de la lectura del Mapa Ecológico del Perú, Tingo María pertenece al denominado Bosque muy Húmedo Premontano Tropical (bmh – PT), transicional Bosque húmedo tropical (bh - T) (Holdridge, 1997).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron son: Machete, lima (herramienta), estacas de madera, wincha de 30 m., wincha de 5 m., cilindros de densidad, cuaderno de apuntes, tablero, ficha de campo, bolsas plásticas (Para muestras de suelo), etiquetas de codificación, marcador, pala, cavadora, costales de polietileno para recolectar macroorganismos del suelo.

3.2.2. Equipos

Los equipos que se utilizó son: Sistema localizador GPS, Termómetro de mercurio, Penetrómetro del suelo, Estufa desecación por aire forzado, Cámara fotográfica.

3.3. Generalidades de la investigación

3.3.1. Tipo de estudio

El estudio que se desarrolló corresponde al tipo prospectivo, utilizó datos que provenían de mediciones con control de los sesgos de mediciones, también a este tipo se le suele llamar datos primarios. Hay que recordar que todos los estudios necesitan recolectar datos, pero solamente los estudios prospectivos realizan mediciones, en este estudio se midió las variables consideradas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en cuatros sistemas integrales en consideración (Supo y Zacarías, 2020).

3.3.2. Nivel de estudio

Según Supo y Zacarías (2020) el estudio pertenece al nivel descriptivo encargada de la descripción de fenómenos, hechos o acontecimientos considerando siempre una circunstancia temporal y geográfica, determinada, que delimite su alcance. Se describirá y se determinará por cada sistema un índice de calidad de suelo. Por lo que sus resultados solamente se pueden extrapolar a la población descrita, lo cual el estudio tendrá una validez interna.

3.3.3. Diseño de estudio

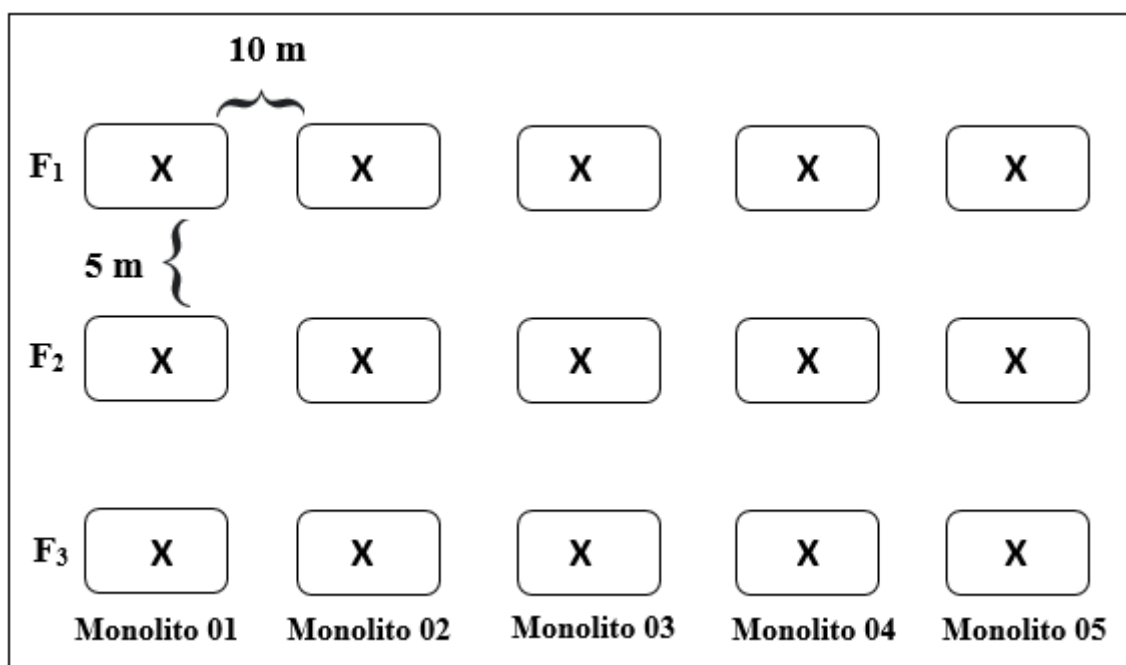


Figura 2. Diseño de los puntos de muestreo.

Diseño de tipos descriptivos porque indagan la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población, son estudios puramente descriptivos (Hernández et al., 2014).

En cada sistema se instaló el siguiente diseño en tres filas y cada fila tendrá cinco puntos de muestreo (monolitos), la distancia entre puntos de muestreo de una fila es de 10 metros y la distancia entre filas es de 5 metros (Figura 2).

La dimensión del monolito consistió ancho 25 cm, largo 25 cm y profundidad de 30 cm, para recolección de datos se desarrolló cada 10 cm de profundidad en las propiedades físicas y biológicas, pero en las propiedades químicas bastará con una muestra del suelo por monolito (Figura 3 y 4).

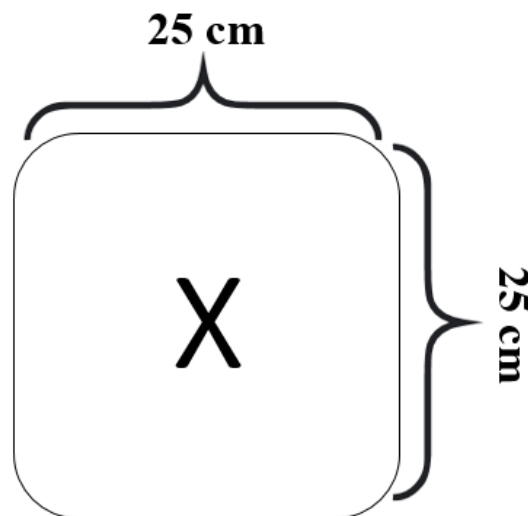


Figura 3. Dimensiones del monolito a muestrear.

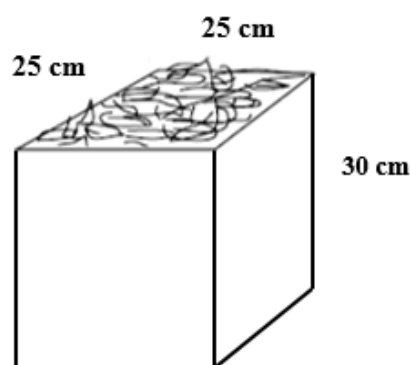


Figura 4. Tridimensional del monolito.

3.3.4. Características del sistema del sistema bosque primario

En la parcela de estudio encontramos un bosque primario con entornos de cultivos cacao por los cuatro lados, un bosque con impacto ambiental antrópico.

3.3.5. Características del sistema del sistema cacao

En la parcela de cacao encontramos con una edad de cultivo de cacao de 8 a 11 años en producción, con bajo rendimiento por falta de abonamiento y otros factores.

3.3.6. Características del sistema del sistema cítrico

La parcela de cítrico encontramos con una edad de 01 año, el propietario realizó la quema para su instalación, cítrico de variedad valencia.

3.3.7. Características del sistema del sistema cocal

La parcela de coca encontramos abandonado por varios años (05 años), la mayoría se secaron por falta de mantenimiento en la limpieza.

3.4. Metodología

Las actividades que se realizó son los siguientes:

3.4.1. Se caracterizó las propiedades físicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles

Para lograr este objetivo se desarrolló los procedimientos y se ha medido las siguientes variables considerados en el estudio.

– Planificación

Se coordinó con la propietaria del fundo para el reconocimiento del área de todos los sistemas anteriormente mencionados, para las actividades en desarrollo del estudio se fijó días para la verificación e instalación adecuada de la parcela y recolección de datos de cada variable, finalmente se regresó la tierra extraída al mismo lugar.

– Instalación de la parcela del estudio

Para la instalación de la parcela en estudio se ha tomado en cuenta la experiencia del propietario (con conocimiento en los antecedentes de la parcela), tesista (el que guiará el proyecto) y el tutor o asesor (con experiencia en estudios en temas de suelo).

Para la instalación de la parcela en estudio se ha contado con los siguientes requisitos: suelo uniforme, áreas sin quema, uniformidad de plantas (un indicador de suelo uniforme), suelos pendientes menor a 15% y otros aspectos que se tomará en el campo.

Se enmarcó o delimitó un área, dentro de ella se alineó cada 10 metros hasta el punto número 5 (cinco) con jalones de 1,2 metros de longitud. Las dos siguientes filas se realizó con los mismos procedimientos con distancias de fila a fila de 5 metros.

Finalmente se procedió a realizar la actividad del muestreo con el corte de cada punto con dimensiones de 25*25*10 cm de profundidad, los siguientes procedimientos se realizó en cada sistema integral.

– **Temperatura del suelo**

Para la temperatura del suelo se ha medido en cada punto de muestreo, empezando a una profundidad de 10 cm, a 20 cm y 30 cm por el método directo de medición.

Las mediciones de temperatura fueron directamente medidas en campo con un termómetro, procedimiento: se insertó el termómetro dentro del suelo a una distancia de profundidad de 2,54 cm, luego esperar de 2 a 5 minutos y realizar la lectura (USDA, 1999).

Este procedimiento se realizó cada 10 cm de profundidad por cada punto de muestreo en cada uno de los sistemas integrales correspondientes.

– **Resistencia al suelo**

Resistencia a la penetración, se empleó el equipo denominado penetrómetro, la medición se realizó en cada punto de muestreo.

Esta variable se ha medido con un instrumento llamado penetrómetro, se ha introducido la punta de penetración del instrumento al suelo mediante la fuerza mecánica, la unidad que se ha medido fue en kg/m^3 (Bradford, 1986).

Tabla 14. Interpretación de resistencia al suelo agrícola

Apreciación	Valores
Muy resistente	4 - 4,5
Resistente	2,6 - 4
Moderadamente resistente	0,5 - 2,6
Sin resistencia	0 - 0,5

Modificado, Fuente: Pérez, 2010.

– **Densidad aparente**

La densidad aparente, se desarrolló por el método gravimétrico que consta de realizar muestras de suelo con un cilindro muestreador, luego en el laboratorio se pesó antes y después de colocar en estufa.

La humedad del suelo se desarrolló por el método del cilindro, este método consistió en tomar la muestra del suelo, luego se pesó antes y después del secado finalmente se ha calculado la densidad aparente de suelo. Para esta variable se utilizó los cilindros de muestreo del suelo, con varias repeticiones, la unidad de la densidad aparente del suelo se expresó en g/cc.

Tabla 15. Interpretación de densidad aparente del suelo

	Valores	Interpretación
Densidad aparente - da (g/cc)	$\leq 0,7$	Bajo
	0,7 - 0,8	Ideal
	0,9 - 1,2	Alto
	$\geq 1,2$	Muy alto

Modificado, Fuente: Pérez, 2010.

– Textura del suelo

Textura del suelo, se muestreo el suelo en todos los puntos designados, luego se encargó al laboratorio de análisis de suelos UNAS. Para su respectivo análisis.

Para esta variable se han recolectado muestras de suelo y la cantidad de muestra recomendada por Hildenbrand y Thurian (1996) para las características físicas fueron de 500 g. Finalmente la muestra se analizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tabla 16. Interpretación de la textura del suelo

	Valores	Apreciación
Textura (% de arena, limo y arcilla)	Franca	Ideal
	Franco arenosa	Buena
	Aproximándose o dentro de Franco limosa, Franco arcillosa o Arenosa franca	Aceptable
	Aproximándose o dentro de limosa, arcillosa o Arenosa	Regular

Modificado, Fuente: Abi-Saab, 2012.

3.4.2. Descripción de propiedades químicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María

Para describir este objetivo, se realizó la siguiente actividad, se ha recogido las muestras de suelo de cada punto establecido, la cantidad de 500 g por Hildenbrand y Thurian, (1996). Se analizó las siguientes propiedades químicas pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC, calcio, magnesio y sodio en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.4.3. Descripción de las propiedades biológicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos, coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María

La cuantificación de microorganismos es de vital importancia cuando se trata de los efectos y los procesos para un estudio detallado, para una simple caracterización de macrofauna de las densidades de población y la estructura de la comunidad es suficiente su cuantificación (Anderson e Ingram, 1993).

– Muestreo

Anderson e Ingram, (1993) recomienda un mínimo de 5 pero prefiere 10 monolitos de muestreo de medidas 25*25*30 cm de ancho, largo y profundidad. Estas actividades se deben realizar al final de estaciones lluviosas (longitud del cuerpo < 2 mm).

– Procedimiento

El diseño de los puntos de muestreo y las dimensiones en detalle se encuentran en la Figura 2, 3 y 4.

1. Se retiró la hojarasca del interior de un cuadrado de 25 X 25 cm y conservarla para su clasificación.
2. Para aislar el monolito, se cortó con una pala unos centímetros fuera del cuadrante y se excavó una zanja, haciendo quedar al centro un cuadrante de 25 X 25 cm de ancho y largo, una profundidad de 30 cm. Porque escavar fuera del cuadrante facilitó el corte de la muestra en estratos horizontales y la recogida de microorganismos que escapan del bloque.
3. Se dividió el bloque delimitado en tres capas, de 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm, que luego se clasifican a mano.
4. Una vez retirada el bloque delimitado, con mucho cuidado se clasificó los termitas, lombrices y hormigas (Anderson e Ingram, 1993).

Una vez terminado de recoger los datos de todo los variables de estudio, se comenzó a tabular, luego se procedió a ingresar los datos a los programas estadísticos, finalmente se presentó, analizó y se interpretó, se culminó con la redacción del informe de la tesis.

3.4.4. Correlacionar las propiedades fisicoquímicas con las propiedades biológicas

Se desarrolló en gabinete con el programa estadístico SPSS v. 24.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos y coca en el caserío Peregrino distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María

4.1.1. Textura

En la finca Siriaco ubicado en el caserío Peregrino, con pendiente aproximado de 35 a 40%, con manejo de sistemas de cacao, cítrico, coca y bosque primario, la textura del suelo de los cuatro sistemas es franco arcilloso de condición de suelo aceptable por su retención de agua y nutrientes, así como también por la porosidad definido (Tabla, 17).

Tabla 17. Textura del suelo en cuatro sistemas

Sistemas	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura	Interpretación
Cacao	39,33	33,00	27,67	Franco arcilloso	Aceptable
Cítricos	42,67	34,33	23,00	Franco arcilloso	Aceptable
Cocal	41,33	37,00	21,67	Franco arcilloso	Aceptable
Bosque primario	43,33	37,00	19,67	Franco arcilloso	Aceptable

Sin embargo, en un informe elaborado por UPV (Universidad Politécnica de Valencia) (2007), menciona que, la textura del suelo cambia en forma vertical por horizontes y horizontalmente la variación ocurre a grandes distancias. Las características propias de cada horizonte son fundamental para realizar el análisis estructural del suelo que presenta cada estrato.

Otro de los beneficios de la textura arcillosa son suelos que presentan mejores condiciones en retención de agua, retención de nutrientes porque presenta la microporosidad, también presenta elevado CIC, a pesar de retener agua en gran cantidad su permeabilidad del suelo es baja, otra de las condiciones de drenar rápido sería cuando presentaría con estructuras con grietas (UPV, 2007).

4.1.2. Densidad aparente y temperatura

La densidad aparente del suelo en cuatro sistemas (Cacao, Cítricos, Cocal y Bosque primario), en el caserío Peregrino, se encuentran con diferentes grados de índice de densidad aparente del suelo, con índices altos en densidad aparente están los sistemas de cacao y bosque primario; suelos con cobertura vegetal (0,98 y 1,02 g/cc) y los sistemas con bajo índices de densidad aparente (0,65 y 0,67 g/cc) son los sistemas de cocal y cítricos; suelos con poca cobertura. Así mismo la temperatura del suelo en los cuatro sistemas,

se encuentran entre 23,62 y 25,44 °C en sistemas de bosque primario y cacao; suelos con cobertura y en sistemas de cítricos y cocal se encuentran entre 27,04 y 27,14 °C en suelos sin cobertura, la información en la Tabla 18, de la temperatura del suelo se realizó la medición a una profundidad de 30 cm, en los cuatro sistemas desarrollados del estudio.

Tabla 18. Densidad aparente y temperatura del suelo en cuatro sistemas

Sistemas	Densidad aparente (g/cc)	Interpretación	Temperatura del suelo (°C)
Cacao	0,98	Alto	25,44
Cítricos	0,67	Bajo	27,04
Cocal	0,65	Bajo	27,14
Bosque primario	1,02	Alto	23,62

Hossne (2008) menciona que, el área establecida de medición de la parcela (producto), sufra cambios de estructura con factores de expansión o contracción originaran variación en el volumen. Una de las alteraciones producto es el volumen de agua, así como el volumen de aire. Estas condiciones alteran parámetros físicos del suelo condicionando cambios en propiedades químicas. Sin embargo, en el estudio desarrollado por Bravo (2023) en sistemas de cacao de diferentes edades oscilan de 0,98 a 1,14 g/cc con textura de suelo franco arcilloso limoso. Algo similar encontramos en el presente estudio (cacao 0,98; cítricos 0,67; cocal 0,65; bosque primario 1,02 g/cc) con textura franco arcilloso.

La temperatura del suelo no es un valor universal y depende de una serie de características, como el color, la pendiente, la cubierta vegetal, la compactación, la humedad y la luz solar disponible. La cantidad de radiación solar es la principal fuente de calor del suelo, por ello la temperatura del suelo a diferentes profundidades varía, y las capas superiores suelen ser más cálidas que las más profundas. Sin embargo, la cobertura del suelo desnuda se calienta más rápido, mientras que cualquier capa adicional sobre la tierra que impida la evaporación. Los suelos con cobertura o residuos reducen su temperatura. La materia orgánica incrementa la retención de agua y oscurece la tierra, por estas dos razones, el contenido de MO también aumenta la temperatura del suelo. Otro factor determinante es la inclinación de la colina y las horas sol (EOS DATA ANALYTICS, 2021).

4.1.3. Resistencia del suelo

La resistencia al suelo a la penetrabilidad de las raíces de cada cultivo en la finca Siriaco, los sistemas con cobertura vegetal como cacao (2,50 kg/cm²) y bosque primario (1,67 kg/cm²) son moderadamente resistentes, y los suelos sin cobertura vegetal del

sistema de cítrico (3,26 kg/cm²) y cocal (3,63 kg/cm²) en modo interpretativo son resistentes a la penetrabilidad de raíces (Tabla 19).

Tabla 19. Resistencia a la penetración del suelo en cuatro sistemas

Sistemas	Resistencia al suelo (kg/cm²)	Interpretación
Cacao	2,50	Moderadamente resistente
Cítricos	3,26	Resistente
Cocal	3,63	Resistente
Bosque primario	1,67	Moderadamente resistente

Hossne (2008) indica que la textura del suelo juega un papel importante en la compactación del suelo, por ejemplo, si existe los cambios estructurales con factores expansión/contracción originado cambios en el volumen como variación de agua y aire. Esto puede causar compactación si hay disminución del volumen de aire (Va) y consolidación si se genera disminución de los poros de agua (Vw). EOS DATA ANALYTICS (2021), la cobertura del suelo desnuda se calienta más rápido y produce evaporación y no hay nadie que impida, por lo tanto, el suelo es propenso a ser compactado.

4.2. Propiedades químicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos y coca

4.2.1. Propiedades químicas de elementos frecuentes

Las propiedades químicas juegan un papel fundamental en el rendimiento y desarrollo de la planta, el interés de conocer las características de los elementos químicos del suelo en cada sistema de bosque primario, cacao, cítricos y coca del fundo Siriaco ubicado en el caserío Peregrino, permitirá al propietario tomar decisiones para la mejora en diferentes acciones como: manejo y conservación de suelos, dosis de abonamiento y otras decisiones que toma el agricultor.

Las características que presenta el fundo Siriaco en propiedades químicas son: en los cuatro sistemas de cultivo desarrollados en el estudio, el pH es fuertemente ácido y la conductividad eléctrica presenta no salino, la materia orgánica del suelo presenta baja en el sistema cacao con 1,31 % y los sistemas de cítricos, cocal y bosque primario se encuentran en rangos de 2 a 4 % denominados medio (Tabla 20).

El nitrógeno y carbono en el sistema cacao se encuentran en condiciones bajas, sistemas de cítricos, cocal y bosque primario presentan rango medio. En los elementos de fosforo y potasio en los cuatro sistemas presentan baja de ppm, solo el fosforo en el sistema bosque primario presenta buena condición esta entre los rangos medios (Tabla 20).

Tabla 20. Propiedades químicas de elementos relevantes en diferentes sistemas

Indicadores	Sistemas	Valores	Interpretación
pH (1:1)	Cacao	4,36	Fuertemente ácido
	Cítricos	4,57	Fuertemente ácido
	Cocal	4,85	Fuertemente ácido
	Bosque primario	4,16	Fuertemente ácido
CE (ds/cm)	Cacao	0,07	No salino
	Cítricos	0,08	No salino
	Cocal	0,04	No salino
	Bosque primario	0,13	No salino
MO (%)	Cacao	1,31	Bajo
	Cítricos	3,26	Medio
	Cocal	2,69	Medio
	Bosque primario	3,56	Medio
N (%)	Cacao	0,07	Bajo
	Cítricos	0,16	Medio
	Cocal	0,13	Medio
	Bosque primario	0,18	Medio
C (%)	Cacao	0,76	Bajo
	Cítricos	1,89	Medio
	Cocal	1,56	Medio
	Bosque primario	2,06	Medio
P (ppm)	Cacao	5,20	Bajo
	Cítricos	6,21	Bajo
	Cocal	4,30	Bajo
	Bosque primario	8,20	Medio
K (ppm)	Cacao	74,13	Bajo
	Cítricos	91,96	Bajo
	Cocal	79,13	Bajo
	Bosque primario	89,46	Bajo

Según SAGARPA (2012) el pH tiene predominio sobre la fauna y flora del medio edáfico, a los valores o resultados de pH menores a 5,5 respecto a fauna la

actividad biológica como bacterias y actinomicetos, beneficioso para la planta, pero ellos desarrollan mejor bajo condiciones neutras y los hongos poseen a la adaptación de la variación de pH, pero su condición adecuado es mayores a 5,5 en cambio respecto a la flora cada especie tiene su especificidad de pH, pero como regla general menores a cuatro de pH conducen a trastorno de sistema radicular por impacto directo de H^+ . La conductividad eléctrica es un parámetro que incrementa con el contenido de las sales, su efecto nutritivo de alta concentración de sales modifica los niveles de absorción de algunos nutrientes, por ejemplo, la poca absorción de agua por las raíces de las plantas provoca altas concentraciones de Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} o SO_4^{2-} en medios salinos.

Cuando el equilibrio natural del ecosistema no es perturbado, la sucesión continua con un ritmo natural, pero si es perturbada hay un desequilibrio, por ejemplo, la materia orgánica del suelo y en especial el carbono orgánico del suelo juega un papel fundamental en el mantenimiento y mejora de las propiedades físicas, químicos y biológicos por ser dinámico e interactivo en el sistema suelo. La MOS es el componente fundamental que determina la calidad y productividad del suelo, por la fertilidad, disponibilidad de agua, como la susceptibilidad a la erosión, compactación, resistencia de enfermedades a las plantas (Docampo, 2013).

Ningún fertilizante orgánico es capaz, por sí solo de proporcionar todos los nutrientes necesarios para las plantas, en cantidades adecuadas, solo se logra por la combinación apropiada, el nitrógeno aporta en la intervención de la división celular y así como también en los procesos de producción de clorofila, sin ella la fotosíntesis no es posible, otro componente básico que aporta son las proteínas y aminoácidos (Castellanos, 2013). El fósforo aporta a la planta en crecimiento vegetativo, expansión de las hojas, órgano productivo, inicio floral, formación de semillas y germinación, y su deficiencia manifiesta en las hojas de color purpura (INTAGRI, 2017a). El potasio es el principal soluto requerido en las vacuolas para la elongación de las células debido a que incrementa el potencial osmótico favoreciendo la entrada de agua. Por lo tanto, el potasio es un nutriente fundamental para la elongación celular, principalmente para el crecimiento de las raíces y su deficiencia afecta el crecimiento de raíces y la entrada de agua (INTAGRI, 2017b).

4.2.2. Propiedades químicas de bases intercambiables

La importancia de bases intercambiables del suelo permite conocer el estado nutricional en el momento de su estudio del suelo, porque el suelo y los elementos son dinámicos, que varían por el tiempo, actividad, cultivo, lugar, manejo, geografía, tipo de suelo, grado de pendiente y otras.

Tabla 21. Propiedades químicas de elementos cambiables en diferentes sistemas

Indicadores	Sistemas	Valores	Interpretación
Ca (Cmol ⁽⁺⁾ /kg ⁻¹)	Cacao	0,263	Muy baja
	Cítricos	0,381	Muy baja
	Cocal	0,234	Muy baja
	Bosque primario	0,379	Muy baja
Mg (Cmol ⁽⁺⁾ /kg ⁻¹)	Cacao	0,098	Muy baja
	Cítricos	0,196	Muy baja
	Cocal	0,090	Muy baja
	Bosque primario	0,205	Muy baja
K (Cmol ⁽⁺⁾ /kg ⁻¹)	Cacao	0,127	Muy baja
	Cítricos	0,256	Baja
	Cocal	0,190	Muy baja
	Bosque primario	0,225	Baja
Na (Cmol ⁽⁺⁾ /kg ⁻¹)	Cacao	0,061	Muy bajo
	Cítricos	0,073	Muy bajo
	Cocal	0,083	Muy bajo
	Bosque primario	0,068	Muy bajo
Al (Cmol ⁽⁺⁾ /kg ⁻¹)	Cacao	3,258	-----
	Cítricos	3,284	-----
	Cocal	3,060	-----
	Bosque primario	3,675	-----
H (Cmol ⁽⁺⁾ /kg ⁻¹)	Cacao	1,217	-----
	Cítricos	0,237	-----
	Cocal	0,100	-----
	Bosque primario	0,343	-----
CICE	Cacao	5,024	-----
	Cítricos	4,427	-----
	Cocal	3,757	-----
	Bosque primario	4,895	-----

Las bases intercambiables de suelos son de relevancia entre ellas tenemos Ca⁺², Mg⁺², K⁺ y Na⁺, que son indispensables para la agricultura (Ca, Mg y K) son

elementos macronutrientes, son cationes esenciales que requiere el cultivo para su desarrollo eficiente en mayor cantidad, sin embargo, la planta requiere aún más para su desarrollo de crecimiento es el potasio (K), otros elementos que se consideran están relacionados directamente con el pH (CNAGRO, s/f).

4.2.3. Bases y ácidos cambiabes, saturación de aluminio

Las bases cambiabes son la suma de cationes básicos como por ejemplo Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , y Na^+ , presentes en los lugares de intercambio en función al CIC. Los ácidos cambiabes son la diferencia de bases expresado en porcentaje. La concentración de aluminio en el suelo afecta negativamente a las plantas en su calidad y rendimiento (Tabla, 22).

Tabla 22. Propiedades químicas de bases cambiabes en diferentes sistemas

Indicadores	Sistemas	Valores	Interpretación
Bases cambiabes (%)	Cacao	11,279	-----
	Cítricos	21,734	-----
	Cocal	16,025	-----
	Bosque primario	19,984	-----
Ácidos cambiabes (%)	Cacao	88,721	-----
	Cítricos	78,266	-----
	Cocal	83,975	-----
	Bosque primario	80,016	-----
Saturación de aluminio (%)	Cacao	64,578	-----
	Cítricos	72,645	-----
	Cocal	81,074	-----
	Bosque primario	73,161	-----

En fertilidad de suelos, cuando expresamos las bases de intercambio, se relaciona directamente con el pH, ya que en suelos neutros con condición de pHs 6,2 a 7, la suma de bases de intercambio (SB) Ca^+ , Mg^+ , K^+ Na es el 100% de la CICE (Capacidad de intercambio efectiva de un suelo), es decir, el suelo presenta una dominancia de presencia de cationes sobre el complejo de intercambio, por sobre las cargas negativas de los coloides del suelo (arcillas y materia orgánica). A medida que el pH se hace más ácido, comienza a aparecer otros componentes de intercambio como es el aluminio intercambiable, de bajo pH 5 es dominante, bajo esta condición, la presencia del Al^{+3} genera intoxicación en las raíces de

los cultivos, deformando y atrofiando los pelos radicales, impidiendo poder absorber nutrientes. En este caso, el porcentaje de saturación de aluminio del suelo aumenta, debido al incremento de aluminio en desmedro de una baja presencia de bases de intercambio (CNAGRO, s/f).

4.3. Propiedades biológicas en los sistemas de bosque primario, cacao, cítricos y coca

En la finca Siriaco perteneciente al caserío Peregrino, las propiedades biológicas del suelo presentan las siguientes características en los cuatro sistemas de cacao, cítricos, cocal y bosque primario, la recolección de datos de la macrofauna (termita, hormiga y lombriz) se realizó en profundidades de 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, y 20 – 30 cm. En los cuatros sistemas la cantidad de macrofauna fue superior en los primeros estratos de 0 a 10 cm de profundidad y la cantidad de macrofauna disminuye según la profundidad de estratos (Tabla, 23).

Tabla 23. Indicadores biológicos de macrofauna (termita, hormiga y lombriz)

Sistemas	Profundidad (cm)	Isóptera (Termita) (Und/0,0625 m ²)	Himenópteros	Haplotaxida (Lombriz)
			(Hormiga) (Und/0,0625 m ²)	(Und/0,0625 m ²)
Cacao	0 - 10	19	14,2	5
	10 - 20	28	18,6	1,2
	20 - 30	0	0	0
Cítricos	0 - 10	77	5,2	3
	10 - 20	58	0,8	1,2
	20 - 30	10	0	0
Cocal	0 - 10	52,2	30,6	2,4
	10 - 20	9,6	11,4	1,6
	20 - 30	0	0	0
Bosque primario	0 - 10	55,4	69,2	0
	10 - 20	18,8	10,6	0,4
	20 - 30	0	0	0

El suelo es un cuerpo natural de gran importancia que proporciona servicios ambientales, así como también permite el crecimiento de las plantas, otras funciones como almacenamiento de agua y retiene nutrientes, además es un reservorio de organismos como

bacterias, hongos, nematodos, etc. Para lograr que el suelo funcione de forma viceversa, es importante el uso de prácticas de manejo encaminados a mejorar la salud del suelo y con ello lograr beneficios agronómicos (aumentar productividad y la rentabilidad de los cultivos) y ambientales, inmediatos y en el futuro. Desde el punto de vista agrícola y ambiental, la salud del suelo está directamente relacionada con propiedades físicas, químicas y biológicas favorables que promuevan el desarrollo de las plantas y coadyuven con la calidad ambiental (INTAGRI, 2018).

4.4. Propiedades fisicoquímicas con las propiedades biológicas

La correlación entre las propiedades fisicoquímicas y biológicas en la finca Siriaco del caserío Peregrino, se describen que la variable arena y densidad aparente muestran un coeficiente de muy buena correlación, y las variables de limo, resistencia a la penetración y pH muestran un coeficiente de buena correlación.

La propiedad de arcilla muestra un coeficiente (0,532) moderado de correlación y las propiedades de MOS y fosforo (P) muestran un coeficiente escaso de correlación y los de más propiedades muestran coeficientes ínfima o baja correlación (Tabla, 24).

Tabla 24. Correlación de las propiedades fisicoquímicas con las propiedades biológicas

Propiedades fisicoquímicas	N	r	p-valor
Arena	3	0,982	0,078 ^{ns}
Arcilla	3	0,532	0,420 ^{ns}
Limo	3	0,734	0,452 ^{ns}
Resistencia a la penetración	3	0,754	0,469 ^{ns}
Densidad aparente	3	0,876	0,601 ^{ns}
pH	3	0,636	0,538 ^{ns}
MOS	3	0,233	0,897 ^{ns}
N	3	0,139	0,888 ^{ns}
P	3	0,358	0,956 ^{ns}
K	3	0,158	0,835 ^{ns}
Ca	3	0,156	0,653 ^{ns}
Mg	3	0,132	0,876 ^{ns}

N: Número de muestras; r: coeficiente de correlación; ns: no existe diferencias estadísticas.

La relación entre las propiedades del suelo es mutua, las propiedades químicas se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua como nutrientes de la vegetación, entre

los elementos tenemos: pH, materia orgánica, CE, fósforo, nitrógeno y, potasio son extractables. Y las características físicas reflejan como almacén y provee agua a las plantas que permite el desarrollo de la raíz de las plantas, entre ellas tenemos: estructura, DA, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad, conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento (Bautista et al., 2004).

Sin embargo, la propiedad biológica del suelo es compleja y dinámica, la meso y macrobiota edáfica desempeñan un papel muy importante en la fragmentación, transformación y translocación de materiales orgánicos, para aportar considerables cantidades de biomasa al suelo y mejorar las propiedades físicas y el muestreo de mesofauna se considera parte importante del inventario de biodiversidad del suelo (Arango, 1998).

4.5. Índices de calidad del suelo en sistemas integrales

El estudio de la finca “Siriaco” contempla cuatro sistemas (cacao, cítrico, coca y bosque primario) con el fin de determinar los índices de calidad de suelos en los sistemas ya mencionados, la ubicación de las parcelas de estudio está ubicada en el caserío Peregrino.

De los cuatro sistemas en estudio desarrollado, la mejor presentación en calidad de suelos es el sistema bosque primario con textura de condición “aceptable”, resistencia a la penetración “moderadamente resistente”, Densidad aparente de suelo “alto”, pH “fuertemente ácido”, MOS, N, P e Indicador biológico con índice “medio”, potasio “bajo”, finalmente los elementos de calcio y magnesio presentaron con condiciones “muy bajas”.

Los tres sistemas cacao, cítrico y coca cuyas condiciones de calidad de suelo no están muy distantes en variación entre sí. A continuación, se describe las características que presenta cada sistema: los tres sistemas (cacao, cítrico y coca) en condición “aceptable” en textura del suelo, en sistemas de cítrico y coca suelos desnudos sin cobertura vegetal presentan una condición de “resistente” sin embargo el sistema cacao presenta condición “moderadamente resistente” uno de los factores sería por presentar cobertura vegetal, así como su densidad aparente es “alto” y en los otros dos sistemas sin cobertura presentan “bajo”.

En las propiedades químicas los cuatro sistemas en pH presentan “fuertemente ácido” y en los elementos de materia orgánica del suelo, nitrógeno, fósforo y potasio están entre las condiciones de índice como “bajo y medio”, finalmente estos dos elementos de calcio y magnesio en los cuatro sistemas (cacao, cítrico, coca y bosque primario) presentan condiciones “muy bajas”

Las propiedades biológicas en los cuatro sistemas desarrollados en estudio a una profundidad de 30 cm, con dimensiones de 25 X 25 cm, realizados según el diseño (Figura 3),

muestran que por el número de individuos en área de 0,0625 m², la calidad de sistemas de cítrico y bosque primario de interpretación “medio” y “baja” en sistemas de cacao y coca (Tabla 25).

Tabla 25. Índices de calidad del suelo en sistemas integrales

Variables de estudio	Sistemas			
	Cacao	Cítrico	Coca	Bosque primario
Propiedades físicoquímicas y biológicas				
Textura	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Resistencia a la penetración	Moderadamente resistente	Resistente	Resistente	Moderadamente resistente
Densidad aparente	Alto	Bajo	Bajo	Alto
pH	Fuertemente ácido	Fuertement e ácido	Fuertement e ácido	Fuertemente ácido
Materia Orgánica del Suelo	Bajo	Medio	Medio	Medio
Nitrógeno	Bajo	Medio	Medio	Medio
Fósforo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Potasio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Calcio	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
Magnesio	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
Indicador biológico	Bajo	Medio	Bajo	Medio

Tabla 26. Índice de calidad de suelos del sistema cacao

Indicadores	Valor del indicador
Densidad aparente	0,37
Resistencia a la penetración	0,33
pH	0,76
Materia orgánica	0,18
Nitrógeno	0,13
Fósforo	0,63
Potasio	0,99
Calcio	0,05
Magnesio	0,31
Indicador biológico	0,42
Índice de calidad de suelos	0,42

Tabla 27. Índice de calidad de suelos del sistema cítricos

Indicadores	Valor del indicador
Densidad aparente	0,02
Resistencia a la penetración	0,59
pH	0,62
Materia orgánica	0,61
Nitrógeno	0,73
Fósforo	0,75
Potasio	0,96
Calcio	0,06
Magnesio	0,51
Indicador biológico	0,52
Índice de calidad de suelos	0,54

Tabla 28. Índice de calidad de suelos del sistema cocal

Indicadores	Valor del indicador
Densidad aparente	0,01
Resistencia a la penetración	0,71
pH	0,43
Materia orgánica	0,49
Nitrógeno	0,53
Fósforo	0,52
Potasio	0,98
Calcio	0,05
Magnesio	0,31
Indicador biológico	0,44
Índice de calidad de suelos	0,45

Tabla 29. Índice de calidad de suelos del sistema bosque primario

Indicadores	Valor del indicador
Densidad aparente	0,42
Resistencia a la penetración	0,06
pH	0,89
Materia orgánica	0,68
Nitrógeno	0,87
Fósforo	0,99
Potasio	0,94
Calcio	0,09
Magnesio	0,27
Indicador biológico	0,59
Índice de calidad de suelos	0,58

Los índices de calidad de suelo se desarrollan en dos etapas “estudio exploratorio” y “estudio detallado”, esta investigación es la primera fase, que consiste en describir las características y poner estimaciones rápidas al suelo y determinar el índice de cada variable y sistema como (cacao, cítrico, coca y bosque primario) para tener en consideración aspectos de la dinámica, respecto al suelo-planta.

En la asamblea general de las Naciones Unidas sobre el ambiente para transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, marcó un hito muy especial al establecer la necesidad de desarrollar unas de sus objetivos de aplicar diferentes metodologías para determinar el estado del ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel local, que cada estado organizara de acuerdo con su política (Naciones Unidas, 2015).

La calidad de los suelos podría tener cambios (propiedades fisicoquímicos y biológicos) y estas modificaciones ayudará a recolectar datos en diferentes situaciones que presentan y seguir ampliando los variables de calidad de suelos. En los estudios de suelos se utilizan una amplia gama de metodologías de acuerdo con la situación que presenta la actividad agropecuaria, el cambio de uso de los suelos, el manejo que realiza el agricultor (Archer, et al. 2002, Cantú, et al. 2009).

En las propiedades físicas, la calidad de suelos se ve perjudicado por razones como el incremento de la densidad aparente, el suelo compacto y el deslizamiento de erosión que reduce la productividad los sistemas en uso, así como también la ganadería, monocultivos

y suelos desnudos afectan y se ven asociada a la compactación (degradación) del suelo por los impactos causados, bajo la presión directo al suelo y que no exista ninguna amortiguación (bosque primario) (Calderón-Medina et al., 2018).

Las propiedades químicas del suelo tienen una relación con la calidad del suelo, la disposición de agua y el nutriente como alimento para las plantas, entre ellas tenemos pH, Materia Orgánica del Suelo, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio. Las propiedades físicas del suelo tienen relación con la capacidad de almacenamiento y disponer agua a las plantas que ellos permitirá el desarrollo de las raíces, entre ellas tenemos, estructura del suelo, DA, infiltración, profundidad, conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento (Bautista et al., 2004).

V. CONCLUSIONES

1. Las características de las propiedades físicas en los sistemas en estudio son: cacao textura franco arcilloso, DA alto, temperatura del suelo 25,44 °C, Resistencia al suelo moderadamente resistente. Sistema cítrico con textura franco arcilloso, DA bajo, temperatura del suelo 27,04 °C, Resistencia al suelo “resistente”. Sistema cocal con textura franco arcilloso, DA bajo, temperatura del suelo 27,14 °C, Resistencia al suelo “resistente”. Sistema bosque primario con textura franco arcilloso, DA alto, temperatura del suelo 23,62 °C, Resistencia al suelo “moderadamente resistente”.
2. Las características de las propiedades químicas en los sistemas en estudio son: cacao con pH fuertemente ácido; CE no salino, MO, N, C, P y K bajo. Sistema cítrico con pH fuertemente ácido; CE no salino, MO, N y C “medio”, P y K “bajo”. Sistema cocal con pH fuertemente ácido; CE no salino, MO, N y C “medio”; P y K “bajo”. Sistema bosque primario con pH fuertemente ácido; CE no salino, MO, N, P “medio”, K “bajo”.
3. Las características de las propiedades biológicas en área de 0,0625 m² en profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm, en sistemas de cacao, cítricos, cocal y bosque primario, se encontraron en mayor cantidad los indicadores biológicos de Isóptera (termita), Himenópteros (hormiga) y Haplotaxida (lombriz) en profundidades de 0 a 20 cm
4. La correlación entre las propiedades fisicoquímicas con biológicas, la variable con mayor coeficiente de correlación es arena con el valor 0,982 y la baja correlación es la variable N con el valor de 0,139 y Mg con el valor de 0,132.
5. Los índices de calidad de suelos en los sistemas de cacao, cítrico, coca y bosque primario en las variables de textura “aceptable”, resistencia a la penetración “moderadamente resistente y resistente”, DA “alto y bajo”, pH “fuertemente ácido”, MOS “bajo y medio”, N “medio y bajo”, P “medio y bajo”, K “bajo”, Ca “muy bajo”, Mg “muy baja”, Indicador biológico “medio y bajo”.

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. Una de las condiciones para mantener la buena estructura del suelo “calidad” y la dinámica del sistema es mantener arboles a distancia lejanas para no estar lejanos de la dinámica del bosque primario que conserva muy bien el suelo ya sea por las raíces y también como cobertura del suelo.
2. Las metodologías aplicadas en los estudios de calidad de suelos, los más conocidos son: ICS, SUCS, seguir el procedimiento, pero adecuar de acuerdo con la condición de que requiere cada lugar del estudio.
3. El estudio se realizó en la época de verano, sin embargo, sería realizar estudio en épocas de invierno para ver el comportamiento de las propiedades como base de información.
4. Las propiedades biológicas cumplen un rol fundamental en el suelo y requieren un estudio especial (laboratorio específico), por lo tanto, los egresados y estudiantes de pregrado de la casa de estudios UNAS, requieren investigar, podría ser una salida en la degradación de suelos.

VII. REFERENCIAS

- Anghinoni, I., Moraes, A., Carvalho, P. C. F. (2012). *Benefícios da integração lavourapecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto*. Ponta Grossa, PR: AEACG/Inpag.
- Anderson, J. M., Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility a handbook of methods*. (2nd ed.) C·A·B International.
- Arango, J. C. (1998). *Relación suelo- agua- planta*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Archer, N., Hess, T., Quinton, J. (2002). The water balance of two semiarid shrubs on abandoned land in SouthEastern Spain after cold season rainfall. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(5), 913-926.
- Arévalo, E. (2014). *Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina]: Repositorio UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1758>
- 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(5), 605-620.
- Azañero, L., Ñique, M., Florida, N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Rev. Tayacaja*, 3(1), 112-125. https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_ba4d89faf067fb4c8277644396803580
- Balbino, L. C., Barcellos, A. O., Stone, L. F. (2011). *Marco referencial: integração lavoura pecuária floresta*. Brasília, DF: Embrapa. 132p.
- Bautista, A., Etchevers, J., Castillo, R. F., Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 13(2), 90-97. <http://hdl.handle.net/10045/8708>
- Bradford, J. M. (1986). *Penetrability, Methods of soil analysis*. Part 1 Physical and mineralogical methods. Agronomy. No.9. Am. Soc. Agron., Madison, WI. 463-478 pp.
- Bravo, V. G. (2023). *Calidad de suelo en tres sistemas con (Theobroma cacao L.) cacao de diferentes edades, distrito Daniel Alomía Robles – Leoncio Prado*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional, UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2439>

- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Rev. ORINOQUIA*, 22(2), 141-157. <https://www.redalyc.org/journal/896/89660465002/html/>
- Cantú, M. P., Becker, A. R., Bedano, J. C., Schiviano, H. F., Parra, B. J. (2009). Evaluation of the impact of land use and management change by means of soil quality indicators, Cordoba, Argentina. *Cadernos Lab. Xeoloxico de Laxe*, 34, 203-214.
- Castellanos, J. (2013). Los abonos orgánicos en la productividad agrícola. Diplomado Internacional de Nutrición Vegetal. INTAGRI, México. <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/nitrogeno-aspectos-fundamentales-enla-nutricion-organica>
- Cerón, L. E., Melgarejo, L. M. (2005). Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. *Acta Biológica Calombiana*, 10(1), 5-18. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/39020>
- CNAGRO (Comisión Nacional de Acreditación - Chile). (s/f). *Importancia de las bases de intercambio de suelos*. <https://cnagro.cl/sin-categoria/importancia-de-las-bases-de-intercambio-de-suelos/#:~:text=La%20importancia%20de%20las%20bases%20de%20intercambio%20de%20suelo&text=De%20esta%20manera%2C%20se%20podr%C3%A1,intercambio%20que%20el%20suelo%20presenta>.
- Cufre G., Rodriguez C., Pagliaricci, H. (2002). Sustentabilidad. FAV UNRC. www.produccionanimal.com.ar
- Curry, J. P. (1998). *Factors affecting earthworm abundance in soils*. In: C.A. Edwards (ed.) *Earthworm ecology*. CRC press, Boca Raton. P.37-64.
- DEVIDA (Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas). (2005). *Monitoreo de Cultivos de Coca, Perú*. Informe de la implementación del monitoreo de cultivos de coca en el Perú 2004. https://www.unodc.org/pdf/andean/Part4_Peru_es.pdf
- Diagnostico provincial. (2007). Informe de diagnóstico provincial de Leoncio Prado. http://www.proviasdes.gob.pe/planes/huanuco/pvpp/PVPP_Leoncio_Prado.pdf
- Docampo, R. (2013). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. INIA Las Brujas – Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate”. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>

- Doran, J. W. (2002). Soil health and global sustainability translating science into practice. *Agriculture ecosystems environment*. 88, 119-127.
- Doran, J. W., Safley, M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford. 1-28 p.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. (1998). Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.
- Envol-vert, s/f. Tingo María, Huánuco-Perú. <https://envol-vert.org/es/sit/tingo-maria/>
- EOS DATA ANALYTICS. (2021). Temperatura del suelo para la siembra y el cultivo. <https://eos.com/es/blog/temperatura-del-suelo/>
- Escobedo, R. (2010). *Fisiografía, informe temático. Proyecto mesozonificación ecológica y económica para el desarrollo sostenible de la selva de Huánuco*. Convenio entre el IIAP, DEVIDA. Iquitos – Perú. 44 p. http://terra.iiap.gob.pe/assets/files/meso/09_zee_huanuco/04_Fisiografia.pdf
- Etchevers, B. (1999). *Indicadores de calidad de suelos. En: Conservación y restauración de suelos*. Universidad Nacional Autónoma de México y Programa Universitario del Medio Ambiente. México, D.F. 239 p.
- Fenton, T. E., Brown, J. R., Mausbach, M. J. (1999). *Effects of long-term cropping on organic matter content of soils: Implications for Soil Quality*. En Rattan Lat. Soil Quality and Soil Erosion. CRC Press, Florida.
- Gallegos, A., Mahecha, J. D., Ramos, S. (2023). *Ciencia del suelo. Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo. División IV: El papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad*. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. Texcoco, Estado de México. 252 pp. https://www.smcsmx.org/files/2023/LIBRO_4_2023.pdf
- Greacen, E. L. (1981). *Soil Water Assessment by the Neutron Method CSIRO*. Special publication, Melbourne.
- Herrick, J. E. (1998). *Manual for monitoring and assessing rangeland health*. USDA-ARS.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. (Sexta edición). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hildenbrand, E., Thurian, G. (1996). *Bodenprobenahme und Bewertung von Bodenkontaminationen*. Expert Verlag, Malmsheim, Germany. Kontakt y Studium, Band 507.
- Holdridge, Leslie. (1997). *Estudio socioeconómico de la sub región de Huánuco*.

- Huamán, J. H. (2021). *Influencia de los sistemas de uso en la calidad de suelo sector Cora Cora distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]: Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2034>
- Hossne, A. J. (2008). La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 195-202. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313050001>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2017a). *Uso eficiente del fósforo en la agricultura*. Serie nutrición vegetal Núm. 105. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 5 p. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2017a). *Las funciones del potasio en la nutrición vegetal*. Serie nutrición vegetal Núm. 100. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 4 p. [https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El%20potasio%20es%20el%20principal,las%20ra%C3%ADces%20\(Figura%203\).](https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El%20potasio%20es%20el%20principal,las%20ra%C3%ADces%20(Figura%203).)
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2018). La Salud del Suelo. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-salud-del-suelo#:~:text=La%20aplicaci%C3%B3n%20de%20material%20org%C3%A1nico,Figura%202.>
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America*, 61, 4-10.
- Kichel, A. N., Almeida, R. G., Costa, J. A. A. (2012). *Integração lavoura-pecuária-floresta e sustentabilidade na produção de soja*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, Cuiabá, MT. Anais. Cuiabá, MT: Embrapa; Aprosoja. 1-3 p.
- Luis Fernando, (2009). Informe final de la región de Huánuco. 11 p. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/organizaciones/dgpa/documentos/estudio_cacao/4_4_1tingomaria_informefinal.pdf
- Masciandaro, G., Ceccanti, B. (1999). Assessing soil quality in different agroecosystems through biochemical and chemico-structural properties of humic substances. *Soil and Tillage Research*, 51, 129-137.

- Manrique de Lara, L. D. (2022). *Comportamiento meteorológico y determinación de los índices climáticos durante el periodo 1990 - 2020 en Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]: Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2137>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Septuagésimo período de sesiones. Temas 15 y 116 del programa. 40 p. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- Oke, D. O. (2008). Changes in soil properties following conversion of humid tropical rainforest of Nigeria into Cocoa Agroforests. *Jour. of Applied Biological Sciences*, 2(3), 9-13.
- Panaifo, C., Ñique, M., Lévano, J. (2021). Calidad y uso sustentable del suelo en el Valle del Monzón, Huánuco –Perú. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 3(5), 9-24. DOI: <https://doi.org/10.38186/difcie.35.02>
- Pieri, C. (1989). *Fertilité des terres de savanes*. Ministère de la Coopération CIRAD-IRAT. Paris, France.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Ruiz, G. P. (2016). *Estudio fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Cakra, provincia de Yauyos, Lima*. [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]: Repositorio PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7010>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo*. FAO y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México. 51 p.
- Santivañez, J. E. (2012). Impacto de la rentabilidad de la naranja en el bienestar de la población del distrito de Padre Felipe Luyando. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]: Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/602/T.EC-56.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salas, A. (2019). *Estudio de la diversidad de nematodos asociados al sustrato como indicadores de la calidad del suelo en agroecosistemas*. [Tesis de doctorado,

- Universidad Nacional de La Plata]: Repositorio UNLP.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/74184>
- Shukla, M. K., Lal, R., Ebinger, M. (2005). Soil quality indicators for reclaimed mine soils in southeastern Ohio. *Soil Sci.*, 169, 133-142.
- 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.
- Supo, J., Zacarías, H. (2020). *Metodología de la investigación científica* (3ra ed.). Bioestadístico EEDU EIRL.
- Urrelo, R. (1997). *El cultivo de la coca en el Perú*. Presentado en el IX Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos en Trujillo el 11 de octubre de 1997.
<https://www4.congreso.gob.pe/congresista/1995/rurrelo/coca.htm>
- USDA (United States Department of Agriculture). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Servicio de investigación agrícola. Servicio de conservación de recursos naturales. Instituto de calidad de suelos. 82 p.
- UPV (Universidad Politécnica de Valencia) (2007). La textura del suelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 1-8 p.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>
- Vallejo, V. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83-99. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a06>

ANEXOS

Tabla 30. Operacionalización de variables.

Variables independientes (X)	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Sistemas integrales (X)	Sistema bosque primario	Sistema bosque primario	Categórica nominal
	Sistema cacao	Sistema cacao	Categórica nominal
	Sistema cítrico	Sistema cítrico	Categórica nominal
	Sistema coca	Sistema de cultivo ilícito de hoja de coca	Categórica nominal
Variable dependiente (Y)	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Calidad del suelo: propiedad físico, químico y biológico (Y)	Temperatura del suelo	°C	Numérica continua
	Resistencia a la penetración	kg/cm ²	Numérica continua
	Densidad aparente	mm/cm ³	Numérica continua
	Textura del suelo	Clases texturales	Categórica nominal
	pH	1-14	Numérica continua
	Materia orgánica	%	Numérica continua
	Nitrógeno	%	Numérica continua
	Fósforo	ppm	Numérica continua
	Potasio	ppm	Numérica continua
	CIC	Cmol(+)/kg	Numérica continua
	Calcio	Cmol(+)/kg	Numérica continua
	Magnesio	Cmol(+)/kg	Numérica continua
	Sodio	Cmol(+)/kg	Numérica continua
Densidad de lombrices	Densidad/0,0625 m ²	Numérica discreta	

Tabla 31. Características físicas de la textura del suelo

Sistemas	Arena	Arcilla	Limo	Textura
Cacao	40	35	25	Franco arcilloso
	42	33	25	Franco arcilloso
	36	31	33	Franco arcilloso
Cítricos	44	31	25	Franco arcilloso
	40	35	25	Franco arcilloso

	44	37	19	Franco arcilloso
	40	35	25	Franco arcilloso
Cocal	44	37	19	Franco arcilloso
	40	39	21	Franco arcilloso
	44	35	21	Franco arcilloso
Bosque primario	42	37	21	Franco arcilloso
	44	39	17	Franco arcilloso

Tabla 32. Características físicas de la densidad del suelo

Sistema	Peso Húmedo (gr.)	Peso Seco (gr.)
	354,58	196,38
	321,97	176,81
Cacao	303,34	162,12
	322,01	171,82
	339,51	188,49
	268,87	164,6
	279,51	169,72
Cítricos	267,95	165,32
	259,32	154,95
	247,06	154,17
	287,04	180,13
	282,14	178,16
Cocal	282,83	189,81
	283,81	180,86
	273,81	180,92
	347,95	182,5
	314,03	157,04
Bosque primario	308,68	155,09
	316,79	166,3
	312,05	158,94

Tabla 33. Características físicas de la temperatura y la resistencia del suelo.

Sistema	Temperatura del suelo (°C)	Resistencia al suelo (kg/cm ²)
Cacao	25,8	2,50
	26,2	2,30
	24,8	2,75
	25,6	2,75
	24,8	2,20
Cítricos	27,4	3,50
	26,6	3,20
	26,9	3,60
	27,1	3,20
	27,2	2,80
Cocal	27,3	3,75
	27,2	4,00
	26,9	3,20
	27,1	3,50
	27,2	3,70
Bosque primario	23,8	1,75
	24,2	1,80
	22,6	1,50
	23,6	1,50
	23,9	1,80

Tabla 34. Características químicas de pH, CE, MO, N y C del suelo.

Sistemas	pH	CE	MO (%)	N (%)	C (%)
Cacao	4,07	0,106	1,439	0,072	0,835
	4,37	0,060	1,056	0,053	0,612
	4,64	0,046	1,420	0,071	0,824
Cítricos	5,03	0,049	2,783	0,139	1,614
	3,84	0,147	3,310	0,166	1,920
	4,84	0,052	3,694	0,185	2,143
Cocal	4,91	0,043	2,831	0,142	1,642
	4,65	0,055	2,543	0,127	1,475
	4,99	0,035	2,687	0,134	1,558
Bosque primario	3,76	0,122	3,416	0,171	1,981
	5,08	0,062	3,454	0,173	2,004
	3,64	0,220	3,800	0,190	2,204

Tabla 35. Características químicas de P, K, Ca y Mg del suelo.

Sistemas	P (ppm)	K (ppm)	K (cmol/kg ⁻¹)	Ca (Cmol(+)/kg)	Mg (Cmol(+)/kg)
Cacao	5,171	74,467	0,191	0,201	0,092
	5,335	69,969	0,179	0,265	0,092
	5,090	77,966	0,200	0,323	0,109
Cítricos	6,071	90,960	0,233	0,326	0,165
	6,562	83,963	0,215	0,314	0,154
	5,990	100,956	0,259	0,504	0,268
Cocal	4,844	76,466	0,196	0,219	0,088
	4,026	85,962	0,220	0,229	0,093
	4,026	74,967	0,192	0,255	0,090
Bosque primario	8,035	82,964	0,213	0,368	0,155
	8,444	96,957	0,249	0,465	0,265
	8,117	88,461	0,227	0,303	0,195

Tabla 36. Características químicas de K, Na, Al, H y CICE del suelo.

Sistemas	K (Cmol(+)/kg)	Na (Cmol(+)/kg)	Al (Cmol(+)/kg)	H (Cmol(+)/kg)	CICE
Cacao	0,111	0,038	3,995	1,390	5,827
	0,123	0,074	2,975	1,330	4,859
	0,148	0,072	2,805	0,930	4,386
Cítricos	0,283	0,083	2,865	0,230	3,951
	0,175	0,055	4,675	0,200	5,573
	0,311	0,082	2,312	0,280	3,756
Cocal	0,178	0,082	3,230	0,060	3,857
	0,228	0,083	3,485	0,030	4,147
	0,163	0,084	2,465	0,210	3,267
Bosque primario	0,175	0,054	4,063	0,620	5,435
	0,292	0,074	2,066	0,170	3,331
	0,209	0,075	4,896	0,240	5,918

Tabla 37. Características químicas de bases cambiables, ácidos cambiables y saturación de aluminio.

Sistemas	Bases cambiables (%)	Ácidos cambiables (%)	Saturación de aluminio (%)
	7,587	92,413	68,559
Cacao	11,402	88,598	61,226
	14,849	85,151	63,949
	21,676	78,324	72,503
Cítricos	12,530	87,470	83,881
	30,995	69,005	61,551
	14,705	85,295	83,740
Cocal	15,237	84,763	84,040
	18,132	81,868	75,441
	13,841	86,159	74,752
Bosque primario	32,897	67,103	62,000
	13,214	86,786	82,730

Tabla 38. Características biológicas de termita, hormiga y lombriz del sistema cacao.

Sistemas	Punto de muestreo	Profundidad (cm)	Termita	Hormiga	Lombriz
Cacao	Primero	(0 - 10)	10	50	0
		(10 - 20)	5	70	0
		(20 - 30)	0	0	0
Cacao	Segundo	(0 - 10)	0	5	0
		(10 - 20)	0	2	0
		(20 - 30)	0	0	0
Cacao	Tercero	(0 - 10)	0	3	10
		(10 - 20)	0	7	6
		(20 - 30)	0	0	0
Cacao	Cuarto	(0 - 10)	85	5	8
		(10 - 20)	120	2	0
		(20 - 30)	0	0	0
Cacao	Quinto	(0 - 10)	0	8	7
		(10 - 20)	15	12	0
		(20 - 30)	0	0	0

Tabla 39. Características biológicas de termita, hormiga y lombriz del sistema cítrico.

Sistemas	Punto de muestreo	Profundidad (cm)	Termita	Hormiga	Lombriz
Cítricos	Primero	(0 - 10)	300	10	0
		(10 - 20)	130	4	0
		(20 - 30)	50	0	0
Cítricos	Segundo	(0 - 10)	20	5	5
		(10 - 20)	0	0	0
		(20 - 30)	0	0	0
Cítricos	Tercero	(0 - 10)	50	3	4
		(10 - 20)	100	0	6
		(20 - 30)	0	0	0
Cítricos	Cuarto	(0 - 10)	10	8	4
		(10 - 20)	60	0	0
		(20 - 30)	0	0	0
Cítricos	Quinto	(0 - 10)	5	0	2
		(10 - 20)	0	0	0
		(20 - 30)	0	0	0

Tabla 40. Características biológicas de termita, hormiga y lombriz del sistema cocal.

Sistemas	Punto de muestreo	Profundidad (cm)	Termita	Hormiga	Lombriz
Cocal	Primero	(0 - 10)	0	12	3
		(10 - 20)	0	0	1
		(20 - 30)	0	0	0
Cocal	Segundo	(0 - 10)	153	7	6
		(10 - 20)	48	12	0
		(20 - 30)	0	0	0
Cocal	Tercero	(0 - 10)	13	9	0
		(10 - 20)	0	17	5
		(20 - 30)	0	0	0
Cocal	Cuarto	(0 - 10)	60	125	3
		(10 - 20)	0	20	2
		(20 - 30)	0	0	0
Cocal	Quinto	(0 - 10)	35	0	0
		(10 - 20)	0	8	0
		(20 - 30)	0	0	0

Tabla 41. Características biológicas de termita, hormiga y lombriz del sistema bosque primario.

Sistemas	Punto de muestreo	Profundidad (cm)	Termita	Hormiga	Lombriz
Bosque primario	Primero	(0 - 10)	17	30	0
		(10 - 20)	0	0	2
		(20 - 30)	0	0	0

Bosque primario	Segundo	(0 - 10)	180	276	0
		(10 - 20)	0	30	0
		(20 - 30)	0	0	0

Bosque primario	Tercero	(0 - 10)	35	20	0
		(10 - 20)	10	15	0
		(20 - 30)	0	0	0

Bosque primario	Cuarto	(0 - 10)	15	8	0
		(10 - 20)	0	3	0
		(20 - 30)	0	0	0

Bosque primario	Quinto	(0 - 10)	30	12	0
		(10 - 20)	84	5	0
		(20 - 30)	0	0	0

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 5. Parcela de cítricos en el fundo “Siriaco”



Figura 6. Materiales y equipos para la ejecución de la tesis.



Figura 7. Recolección de muestras de suelo.



Figura 8. Dimensiones del monolito del suelo



Figura 9. Muestra de 0 a 10 cm de profundidad.



Figura 10. Cuantificación de los organismos del suelo Isóptera (termita), Himenópteros (hormiga) y Haplotaxida (lombriz).



Figura 11. Medición de temperatura, resistencia de penetración al suelo y densidad aparente.



Figura 12. Medición de la resistencia del suelo con el instrumento denominado penetrómetro.



Figura 13. Análisis de suelos.