

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



**INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN LA CALIDAD DEL**  
**SUELO CASERÍO DE SAN PABLO DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES**  
**PROVINCIA LEONCIO PRADO – HUÁNUCO 2024.**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**YUSY PONCE VALENTÍN**

**Tingo María – Perú**

**2025**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 058-2025-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 24 de abril de 2025, a horas 11:00 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:

**“INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN LA CALIDAD DEL SUELO CASERÍO DE SAN PABLO DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES PROVINCIA LEONCIO PRADO- HUÁNUCO 2024”**

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

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

Tingo María, 14 de mayo de 2025

**Dr. WILFREDO VALDIVIEZO ALVA**  
**PRESIDENTE**

**Dr. SANDRO JUNIOR RUIZ CASTRE**  
**MIEMBRO**



**Ing. JAIME TORRES GARCIA**  
**MIEMBRO**

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



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 392 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico 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% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

### Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

### Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN LA CALIDAD DEL SUELO CASERÍO DE SAN PABLO DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES PROVINCIA LEONCIO PRADO – HUÁNUCO 2024	YUSY PONCE VALENTIN	14 % Catorce	Menor a 20 %

Tingo María, 24 de noviembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO  
  
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES  
JEFE

C.C. Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

VICERECTOR DE INVESTIGACIÓN UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la calidad de la investigación”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO (FIF)

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

## I. Datos generales de Pregrado

<b>Universidad</b>	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
<b>Facultad</b>	:	Recursos Naturales Renovables
<b>Escuela profesional</b>	:	Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua.
<b>Título de tesis</b>	:	Influencia de los diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo caserío de San Pablo distrito de Daniel Alomía Robles provincia Leoncio Prado – Huánuco 2024.
<b>Objetivo general</b>	:	Determinar la influencia de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo caserío San Pablo distrito de Daniel Alomía Robles – Huánuco 2024.
<b>Autor</b>	:	Ponce Valentín, Yusy.
<b>DNI:</b>	:	46513948.
<b>Correo electrónico</b>	:	yusyponce1990@gmail.com
<b>Asesor de tesis</b>	:	Ing. MSc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo.
<b>Área de investigación</b>	:	Ciencias Básicas.
<b>Grupo de investigación</b>	:	Física y química de suelo.
<b>Línea(s) de investigación</b>	:	Indicadores de la calidad del suelo.
<b>Lugar de ejecución</b>	:	Caserío San Pablo, distrito Daniel Alomía Robles.
<b>Duración</b>	:	<b>Inicio</b> : 01 – 08– 2023 <b>Término</b> : 31 – 01 – 2024
<b>Financiamiento</b>	:	<b>FEDU</b> : 0 soles <b>Propio</b> : 3150,40 soles <b>Otros</b> : 0 soles

Tingo María - Perú, abril 2025

## DEDICATORIA

A **Dios**, por haberme permitido llegar hasta este punto y seguir adelante, que aun habiendo dificultades en la vida siempre se vio una salida para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Esta tesis la dedico a mis **padres** Reynaldo y Eustaquia quienes me inculcaron valores y consejos para seguir adelante y no rendirme a pesar de las carencias que pueda haber. Y a mis dos **hijos** Danna Arleth y Bastián Adriel quienes son mi motivación para seguir adelante, ser un ejemplo para ellos. Que no hay obstáculos en el camino que todo se puede cuando hay voluntad.

A mis **hermanos** Antonio, Fernando, Edver y Gerly que siempre me dieron un apoyo incondicional. A mi **compañero de vida** Royer, que a pesar de todo siempre estaré agradecida, por las palabras de aliento a no rendirme jamás y sin la ayuda de cada uno de ustedes no sería posible de llegar a la meta.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a **Dios** por la salud, la vida, de poder haber logrado mis objetivos en este largo camino que no acaba aquí más bien que falta aún por recorrer y por ser la guía en cada paso que doy.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron en mi formación profesional.

Al Ing. M.Sc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo., por su apoyo en calidad de asesor durante la realización y culminación de la investigación.

A mis jurados Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo, Dr. Sandro Ruiz Castre y al Ing. Jaime Torres García por su aporte en este estudio.

Al sr Royer mi compañero de vida, agradecida por su motivación para seguir escalando un lugar más en etapa profesional, por su apoyo en la ejecución de mi tesis.

A mis señores padres Reynaldo y Eustaquia fuente de mi vida e inspiración a seguir adelante y ser un orgullo para ellos.

A un amigo muy especial que sin la ayuda de él no estaría logrando realizar mi tesis, agradecida por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico .....	3
2.1.1. Suelo.....	3
2.1.2. Medición de la calidad del suelo.....	3
2.1.3. Calidad del suelo .....	3
2.1.4. Indicadores de la calidad del suelo .....	5
2.1.5. Propiedades físicas .....	5
2.1.6. Propiedades químicas.....	7
2.1.7. Efecto de los diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo.....	12
2.1.8. Subíndice de uso sustentable del suelo .....	12
2.1.9. Sistemas de uso .....	12
2.1.10. Suelos del capital Pumahuasi.....	14
2.2. Estado del arte .....	14
2.2.1. Internacionales .....	14
2.2.2. Nacionales .....	15
2.2.3. Locales .....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
3.1. Lugar de ejecución .....	19
3.1.1. Ubicación política .....	20
3.1.2. Ubicación geográfica .....	20
3.1.3. Clima.....	20
3.1.4. Zona de vida.....	20
3.1.5. Suelos .....	20
3.1.6. Fisiografía .....	21
3.1.7. Hidrografía .....	21
3.1.8. Accesibilidad.....	21
3.2. Características generales del estudio.....	21
3.2.1. Tipo del estudio.....	21
3.2.2. Nivel y diseño de estudio .....	21
3.2.3. Variables en estudio de la investigación .....	21

3.3.	Materiales y equipos.....	22
3.3.1.	Materiales.....	22
3.3.2.	Equipos.....	22
3.4.	Metodología .....	22
3.4.1.	Caracterizar las propiedades físicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo .....	22
3.4.2.	Caracterizar las propiedades químicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestales y bosque secundario en el caserío San Pablo distrito Daniel Alomía Robles .....	25
3.4.3.	Determinar la calidad del suelo en los sistemas de uso mediante el SUSS (subíndice de Uso Sustentable del Suelo).....	26
3.4.4.	Análisis de datos .....	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1.	Propiedades físicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo distrito Daniel Alomía Robles .....	29
4.1.1.	Textura .....	29
4.1.2.	Densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura del suelo .....	30
4.2.	Propiedades químicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo distrito Daniel Alomía Robles .....	32
4.2.1.	Propiedades químicas de pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno, carbono y fósforo .....	32
4.2.2.	Propiedades químicas de potasio, sodio, magnesio, calcio y capacidad de intercambio catiónico .....	33
4.2.3.	Correlación de las propiedades del suelo en estudio.....	35
4.3.	Calidad del suelo en los sistemas de uso mediante el SUSS (subíndice de Uso Sustentable del Suelo).....	35
V.	CONCLUSIONES .....	39
VI.	PROPUESTA A FUTURO .....	40
VII.	REFERENCIAS.....	41
	ANEXOS .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Características para la interpretación de la textura edáfica .....	6
2. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.....	6
3. Interpretación de resistencia al suelo agrícola.....	7
4. Interpretación de pH.....	8
5. Rangos interpretativos para el contenido de materia orgánica.....	8
6. Rangos interpretativos para el nitrógeno total.....	9
7. Rangos interpretativos para el fósforo disponible .....	9
8. Rangos interpretativos para potasio.....	9
9. Rangos interpretativos para la CIC.....	10
10. Clases interpretativos para calcio .....	10
11. Clases interpretativos para magnesio .....	11
12. Clases interpretativos para sodio .....	11
13. Clases interpretativos para la conductividad eléctrica.....	11
14. Características de los sistemas de cultivo.....	22
15. Propiedades físicas del suelo .....	24
16. Propiedades químicas del suelo.....	25
17. Parámetros del suelo para evaluar el estado actual de los suelos .....	27
18. Rangos interpretativos del SUSS.....	27
19. Propiedades físicas del suelo en los sistemas cacao, ex cocal, agroforestales/cítrico y bosque secundario.....	29
20. Propiedades físicas del suelo en los sistemas cacao, ex cocal, agroforestales/cítrico y bosque secundario.....	31
21. Propiedades químicas del suelo en los sistemas cacao, ex cocal, agroforestales/cítrico y bosque secundario.....	32
22. Propiedades químicas del suelo en los sistemas cacao, ex cocal, agroforestales/cítrico y bosque secundario.....	34
23. Correlación de las propiedades fisicoquímicas con la textura del suelo .....	35
24. Valores normalizados de los cuatro sistemas en estudio.....	36
25. Índice de calidad mediante el SUSS (subíndice de uso sustentable del Suelo).....	36
26. Operacionalización de las variables .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Mapa de Ubicación.....	19
2. Diseño de la parcela en estudio .....	23
3. Índices de calidad del suelo en los cuatro sistemas.....	37
4. Ubicación, medición de la parcela de estudio en el sistema cacao. ....	49
5. Equipos e instrumentos de medición del estudio. ....	49
6. Recolección de muestras de suelo en el sistema SAF/cítricos. ....	50
7. Georeferenciación de la parcela de estudio del sistema bosque secundario. ....	50
8. Recopilando datos de las parcelas de estudio, sistema ex cocal.....	51
9. Secado de muestras de suelo. ....	51
10. Pesado de muestras de densidad en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. ....	52

## RESUMEN

El suelo es un componente fundamental de la biosfera y la calidad del suelo mediante su indicador permite simplificar su información de interés y comunicar de forma comprensible las características de cada área determinada en estudio con fines de interés de uso sostenible del suelo, motivo por el cual se realizó el estudio con el objetivo de determinar la influencia de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo caserío San Pablo distrito de Daniel Alomía Robles – Huánuco 2024. Dicho estudio descriptivo se ejecutó en cuatro sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario; el área de levantamiento de información de 400 m<sup>2</sup> por sistema de estudio; el método de muestreo de suelo de tipo sistemático en “X”, considerando indicadores de textura, densidad aparente, resistencia a la penetración, temperatura del suelo, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, magnesio, calcio y capacidad de intercambio catiónico. Como resultado se ha obtenido una calidad de suelo marginal en la finca de “Santa Eliza”.

**Palabras clave:** Calidad del suelo, indicador, sistemas de uso, propiedades físicas y químicas.

## ABSTRACT

The soil is a fundamental component of the biosphere and the quality of the soil through its indicator allows to simplify its information of interest and to communicate in an understandable way the characteristics of each determined area under study with purposes of interest of sustainable use of the soil, reason for which the study was carried out with the objective of determining the influence of different systems of use in the quality of the soil in the hamlet of San Pablo district of Daniel Alomía Robles - Huánuco 2024. This descriptive study was carried out in four systems of cacao, ex-cocal, agroforestry/citrus and secondary forest; the area of data collection was 400 m<sup>2</sup> per study system; the soil sampling method was systematic in "X" type, considering indicators of texture, bulk density, penetration resistance, soil temperature, pH, organic matter, electrical conductivity, nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, magnesium, calcium and cation exchange capacity. As a result, a marginal soil quality has been obtained in the "Santa Eliza" farm.

**Keywords:** Soil quality, indicator, systems of use, physical and chemical properties.

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente fundamental de la biosfera ya que refleja una combinación de propiedades del suelo. Las propiedades del suelo se constituyen en aquellas que son inherentes y relativamente inmutables, como la textura, y aquellas que pueden ser modificadas a través del manejo, como el contenido de materia orgánica. Esta distinción es fundamental para evaluar la calidad del suelo y su potencial productivo, pues mientras las propiedades inherentes determinan las características básicas del suelo, las cambiables reflejan su estado actual y su capacidad de respuesta a prácticas de manejo.

En el caserío de San Pablo, los colonizadores y la agricultura convencional iniciaron con el proceso degenerativo reduciendo la capacidad productiva, hasta que la sobrepoblación interviene a la agricultura, en pequeñas áreas, por necesidad empieza a cultivar a máxima intensidad, sin manejo alguna provocando en el suelo rupturas de los agregados por la desnudez del suelo. En la actualidad la baja productividad obliga a tocar puertas de las instituciones para buscar alternativas para el proceso del desarrollo.

Mediante esta situación complicada de la baja productividad en la agricultura, obliga a pensar como equilibrar en la recuperación de los suelos, estamos hablando de la primera necesidad básica. Entonces en primera instancia se iniciará describiendo las características de las propiedades básicas del suelo, en condiciones actuales del caserío San Pablo. Luego interpretar e indicar los valores que presentan cada elemento.

Sin embargo, en el caserío de San Pablo algunas áreas de cultivo constan de asociación de los cultivos con diferentes arbustos, sean maderables, sombras u otros usos, que las interacciones de estos sistemas podrían sumar a mejorar el suelo a largo plazo, por lo tanto, se genera un interrogante ¿Existirá la influencia de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo en el caserío de San Pablo distrito Daniel Alomía Robles – Huánuco 2024?

La reforestación se sitúa como una estrategia clave en la mitigación de la degradación del suelo, su impacto en la recuperación de especies vegetales adaptadas a las condiciones ambientales locales. No solo contribuye a la restauración de la biodiversidad, sino a la mejora, la estabilidad del suelo al incrementar la cobertura vegetal, fortalece interacciones ecológicas, promueve ciclos biogeoquímicos. Por lo tanto, la reforestación no debe entenderse únicamente como una acción de restauración, sino una estrategia integral de la sostenibilidad del suelo, conservación de los servicios ecosistémicos esenciales. Por lo tanto, Afirma la hipótesis: Existe la influencia de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo en el caserío San Pablo provincia Leoncio Prado – Huánuco 2024.

### **1.1. Objetivo general**

- Determinar la influencia de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo caserío San Pablo distrito de Daniel Alomía Robles – Huánuco 2024.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar las propiedades físicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo distrito Daniel Alomía Robles.
- Caracterizar las propiedades químicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo distrito Daniel Alomía Robles.
- Determinar la calidad del suelo en los sistemas de uso mediante el SUSS (subíndice de Uso Sustentable del Suelo).

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Marco teórico**

#### **2.1.1. Suelo**

La Soil Survey Staff (1994) describe el suelo como una estructura tridimensional que contiene sólidos (orgánicos e inorgánicos), líquidos, gases y elementos bióticos. Harold y Hocker (1984) señalan que estos componentes facilitan el flujo de materia y energía dentro y fuera del suelo, y que la intervención humana puede modificar sus propiedades. En este contexto, se considera que el suelo es un recurso crucial en el sistema ambiental debido a su papel en los ciclos biogeoquímicos y su interacción con otros recursos naturales. El suelo participa en el intercambio continuo de materia y energía, y proporciona importantes servicios ambientales; captación y purificación del agua, y la captura de Carbono.

El suelo interactúa tanto directa como indirectamente con otros recursos, incluyendo los hidrológicos y biológicos, debido a su naturaleza como sistema dinámico y abierto que se equilibra a través de intercambios de energía (Doran, 1994). Socialmente, es fundamental por ser una fuente de recursos y parte del patrimonio cultural. Ecológicamente, desempeña funciones esenciales como la producción de alimentos, la filtración y retención de contaminantes, y es un hábitat biológico y reserva genética (Blum y Santelises, 1994).

#### **2.1.2. Medición de la calidad del suelo**

Las organizaciones como: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y finalmente Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos [FAO/UNESCO/ISRIC], establecen un sistema de clasificación para determinar la capacidad productiva de los suelos, establecido en 1988, define 28,00 unidades y 153,00 subunidades del medio edáfico. En el Estado de México, se han registrado 25,00 de estas unidades, clasificando en grupos los medios edáficos según su morfología y composición, con especial atención a características observables como la horizontes, color, textura, estructura y composición química. Del mismo modo se consideran los horizontes del suelo y sus capas en términos de grosor, número y naturaleza. La medición y clasificación del suelo se ajustan al propósito específico que se persigue (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2012).

#### **2.1.3. Calidad del suelo**

La ausencia de criterios universales para medir la calidad del suelo resalta la necesidad de desarrollar indicadores efectivos que permitan evaluar su estado y

evolución (Arshad y Coen, 1992). Estos indicadores, propuestos por diversos autores, deben integrar atributos fisicoquímicas y biológicas del medio edáfico, lo cual proporcionar un diagnóstico preciso y funcional (Dumanski et al., 1998). Su utilidad radica en la capacidad de simplificar fenómenos complejos y generar información accesible para conducir decisiones firmes en las actividades sostenible del medio edáfico (Adriaanse, 1993). Además, la implementación de estos indicadores debe orientarse no solo a evaluar la situación actual del suelo, sino también a anticipar impactos negativos derivados de actividades humanas y monitorear la efectividad de prácticas de conservación (Soil Quality Institute [SQI], 1996). En este contexto, el desarrollo de sistemas de monitoreo basados en indicadores confiables es esencial para garantizar la sostenibilidad del uso del suelo y prevenir procesos de degradación que comprometan su productividad y los servicios ecosistémicos que ofrece: (a) evaluar la situación actual y señalar áreas críticas para el desarrollo sostenible; (b) prever los posibles impactos antes de intervenir; (c) monitorear los efectos de las actividades humanas; y (d) determinar la sostenibilidad del uso del suelo (Hünneimyer et al., 1997).

La salud del medio edáfico se define a través de tres principios fundamentales: a) La productividad, que es la capacidad del suelo para sustentar la rentabilidad del ecosistema o agroecosistema, conservando sus atributos fisicoquímicas y biológicas; b) Salud ambiental, que abarca la disposición del medio edáfico para reducir la polución y enfermedades infecciosos, además del servicio ecosistémico que brinda, como el almacenamiento de carbono, la conservación de la diversidad biológica y la cosecha de agua; y c) La calidad del medio edáfico, que se refiere a su capacidad para producir alimentos saludables y nutritivos para humanos y otros organismos (Astier et al., 2002).

Para determinar la salud del medio edáfico de manera efectiva, es imprescindible integrar indicadores químicos, físicos y biológicos. Estos indicadores permiten entender cómo se relacionan los diferentes datos y proporcionan una visión completa de lo que ocurre en el suelo, explicando cómo cada variable influye en otros aspectos de sus propiedades. Según la Natural Resources Conservation Service [NRCS], los índices del medio edáfico se atribuyen en 04 sub índices: visuales, físicos, químicos y biológicos. En esta investigación, se presta especial atención a los indicadores visuales, como el color y las características geográficas, considerando los indicadores físicos y químicos, cuya función en las propiedades del suelo se describe más adelante (Doran et al., 1994; Arzuaga et al., 2005).

La estabilidad del suelo está estrechamente relacionada con su contenido de MO, la actividad biológica y el ciclo de nutrientes. Los agregados del suelo proporcionan información valiosa sobre la presencia y tamaño de poros, esenciales para el movimiento de

agua y aire, la penetración de las raíces, la disponibilidad de nutrientes y la movilidad de los organismos. El tamaño de los agregados en condiciones húmedas indica la capacidad del suelo para resistir el impacto de la lluvia y la erosión hídrica. Además, la asignación de las dimensiones de los agregados en condiciones secas se utiliza para prever la resistencia del suelo a la erosión eólica (United States Department of Agriculture [USDA], 2008).

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

Los indicadores de la salud del medio edáfico son herramientas esenciales que atribuyen simplificar y cuantificar las complejas interacciones entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Su correcta selección y aplicación facilitan el monitoreo, la planificación y la evaluación de prácticas de manejo sostenible, asegurando la conservación y mejora de este recurso vital (Astier et al., 2002; Taylor, 2010). En cuanto a la salud edáfica, los indicadores deberán estar asociados con atributos del suelo que son susceptibles a las modificaciones en el cambio del medio edáfico, abarcando aspectos físicos, químicos y biológicos (SAGARPA, 2012). Estos indicadores deben cumplir con tres atributos principales: ser susceptibles a las modificaciones bajo diferentes prácticas labores culturales, ser fáciles de medir e interpretar, y ser accesibles para los usuarios (Doran y Parkin, 1994; Arzuaga et al., 2005).

#### **2.1.5. Propiedades físicas**

Los atributos físicos del medio edáfico son fundamentales en el desarrollo de su salud, porque son difíciles de su mejoría (Singer y Ewing, 2000). Los atributos físicos es clave que actúan como indicadores de la salud del medio edáfico incluyen la textura, profundidad, DA, resistencia a la penetración, temperatura y capacidad de retención de agua. Estas propiedades reflejan cómo el suelo maneja el agua desde su aceptación y retención hasta su transmisión a la vegetación y muestran las posibles barreras de desarrollo de las bases radicales, la emergencia de la vegetación, la infiltración y el movimiento del agua en el perfil del medio edáfico. Estas características están vinculadas con la organización de las partículas y los poros del suelo. Entre los indicadores específicos propuestos están la estructura, densidad aparente, estabilidad de los agregados, infiltración, estratos del suelo subsuperficial, capacidad de almacenamiento de agua y conductividad hidráulica saturada (Singer y Ewing, 2000).

##### **2.1.5.1. Textura**

Afecta la facilidad de manejo, capacidad de retención de agua y aire, así como la velocidad de infiltración y drenaje del agua. El análisis granulométrico es crucial para interpretar la formación y las propiedades edáfica (SAGARPA, 2012).

**Tabla 1.** Características para la interpretación de la textura edáfica

<b>Partículas</b>	<b>Diámetros (mm)</b>
Arena	0.05-2.0
Arena muy Gruesa	1.00-2.0
Arena Gruesa	0.5-1.0
Arena mediana	0.25-0.5
Arena Fina	0.10-0.25
Arena Muy fina	0.05-0.10
Limo	0.002-0.05
Arcila	Menor que 0.002

Fuente: Métodos de análisis de suelo (Lévano, 2014).

### 2.1.5.2. Densidad aparente

Es importante destacar que la densidad aparente es un indicador fundamental de la salud del medio edáfico, ya que afecta directamente la porosidad, la aireación y la capacidad de retención de agua, influyendo en el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana. Por lo tanto, el monitoreo y la gestión adecuados de la densidad DA son esenciales para mantener la salud y la productividad del suelo (SAGARPA, 2012).

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

<b>Textura</b>	<b>Ideal (g/cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Aceptable (g/cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Puede afectar el crecimiento radicular (g/cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Restringe el crecimiento radicular (g/cm<sup>-3</sup>)</b>
Arena, areno-franco-	Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.69	1.69 ≤ Dap < 1.8	Dap > 1.80
Franco-arenosa, franco	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.63	1.63 ≤ Dap < 1.8	Dap > 1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco-arcillosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.75	Dap > 1.75
Limosa	Dap < 1.3	1.3 ≤ Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.75	Dap > 1.75
Franco-limosa, franco- arcillo-limosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.55	1.55 ≤ Dap < 1.65	Dap > 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo- limosa	Dap < 1.1	1.1 ≤ Dap < 1.39	1.39 ≤ Dap < 1.58	Dap > 1.58
Arcillosa (>45% arcilla)	Dap < 1.1	1.1 ≤ Dap < 1.39	1.39 ≤ Dap < 1.47	Dap > 1.47

Fuente: SAGARPA (2012).

### 2.1.5.3. Resistencia a la penetración

La capacidad del medio edáfico para resistir la desintegración de sus partículas bajo fuerzas externas, como la labranza en zonas de agricultura y los sucesos de meteorología como las lluvias y el viento, está vinculados con el contenido de materia orgánica, el manejo biológico y la etapa de los nutrientes en el suelo (USDA, 2008; Nichols y Toro, 2011).

**Tabla 3.** Interpretación de resistencia al suelo agrícola

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

Modificado, Fuente: Pérez (2010).

### 2.1.5.4. Temperatura

El suelo afecta su propia temperatura, lo que influye en la actividad microbiana y en los procesos de descomposición de la materia orgánica (Llorente, 2002). La actividad microbiana está significativamente influenciada por la temperatura y la humedad; en temperaturas bajas, la actividad es limitada, mientras que aumenta con temperaturas más altas, acelerando así la descomposición de la materia orgánica. Además, según Perdomo (1998), se ha observado que los suelos desarrollados bajo praderas tienen un mayor contenido de nitrógeno total en comparación con los suelos cubiertos por bosques.

### 2.1.6. Propiedades químicas

Los indicadores químicos del suelo, como el pH, MO, CE, N, P, los cationes intercambiables (K, Na, Mg y Ca), la relación de adsorción de sodio (RAS) y la CIC, son fundamentales para evaluar la salud y fertilidad del suelo. Estos parámetros condicionan en la relación suelo y planta, la salud de H<sub>2</sub>O, la capacidad amortiguadora y la disponibilidad del agua y contenido de nutrientes para la planta y los organismos edáficos. El contenido de MO incrementa la estructura del medio edáfico, mejora retención de humedad y proporciona nutrientes vitales. La conductividad eléctrica indica la salinidad del suelo, la cual, en niveles elevados, puede ser perjudicial. CIC refleja la capacidad del suelo para retener y suministrar cationes. Una comprensión profunda permite implementar prácticas de manejo que optimicen la productividad agrícola y promuevan la sostenibilidad del ecosistema edáfico (SQI, 1996).

### 2.1.6.1. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es crucial porque afecta en la solubilidad de los inorgánicos (mineral), los cuales se encuentran a disposición para los vegetales siempre y cuando están disueltos en solución edáfica (SAGARPA, 2012).

**Tabla 4.** Interpretación de pH

Según Scheffer y Schachtschabel	pH en KCl	UNALM	pH en agua
Extremadamente ácido	< 4,00	Fuertemente ácido	< 5,5
Fuertemente ácido	4,00 – 4,90	Moderadamente ácido	5,5 – 6,0
Medianamente ácido	5,00 – 5,90	Ligeramente ácido	6,1 – 6,5
Ligeramente ácido	6,00 – 6,90	Neutro	7,0
Neutro	7,00	Ligeramente alcalino	7,2 – 7,8
Ligeramente alcalino	7,10 – 8,00	Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4
Medianamente alcalino	8,10 – 9,00	Fuertemente alcalino	> 8,5
Fuertemente alcalino	9,10 – 10,00		
Extremadamente alcalino	>10,00		

Fuente: Según Scheffer y Schachtschabel, UNALM (s/f).

### 2.1.6.2. Materia orgánica

El elemento denominado materia orgánica relevantemente es crucial para la aplicación de fertilización en el medio edáfico, y se considera que un suelo tiene buena calidad cuando proporción de MO están dentro de los rangos óptimos (SAGARPA, 2012).

**Tabla 5.** Rangos interpretativos para el contenido de materia orgánica

Interpretación de materia orgánica	Rangos (%)
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS (s/f).

### 2.1.6.3. Nitrógeno

Esencial para las plantas que esencialmente atribuye en las proteínas, el nitrógeno es retenido y aprovechado por las bases radicales en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (SAGARPA, 2012).

**Tabla 6.** Rangos interpretativos para el nitrógeno total

<b>Interpretación de nitrógeno total</b>	<b>Rangos (%)</b>
Bajo	< 0.1
Medio	0.1 - 0.2
Alto	> 0.2

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS (s/f).

#### 2.1.6.4. Fósforo

El fósforo se encuentra en pequeñas proporciones en suelo y una buena proporción no está disponible en formas utilizables para los vegetales. Su disposición asimilable depende: Primero, Tipo del suelo y segundo grado de solubilidad (SAGARPA, 2012).

**Tabla 7.** Rangos interpretativos para el fósforo disponible

<b>Interpretación de fosforo disponible</b>	<b>Rangos (ppm)</b>
Bajo	< 7,0
Medio	7,0 – 14,0
Alto	> 14,0

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS (s/f).

#### 2.1.6.5. Potasio

Entre los elementos de nitrógeno y fósforo, el potasio es uno de los nutrientes minerales más requeridos por las plantas. Este elemento es absorbido de manera catiónica  $K^+$  desde la solución edáfica. La proporción de K en la solución depende de liberar el potasio intercambiable, principalmente presente compuesto de las arcillas (SAGARPA, 2012).

**Tabla 8.** Rangos interpretativos para potasio

<b>Interpretación de potasio disponible</b>	<b>Rango (kg <math>K_2O</math>/ha)</b>	<b>Rango (ppm)</b>
Bajo	< 300	< 100
Medio	300 – 600	100 – 240
Alto	> 600	> 240

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS (s/f).

### 2.1.6.6. Capacidad de intercambio catiónico

Es la capacidad de contener y su liberación de catión, denominada capacidad de intercambio catiónico (CIC). Sin embargo, los medios edáficos con alta capacidad de intercambio catiónico y elevado contenido de MO son llamados suelos fértiles y son muy buenos reteniendo nutrientes (SAGARPA, 2012).

**Tabla 9.** Rangos interpretativos para la CIC

<b>-Clase-</b>	<b>CIC (Cmol<sup>(+)</sup>/kg<sup>-1</sup>)</b>
Muy alta	$CIC \geq 40$
Alta	$25 \leq CIC < 40$
Media	$15 \leq CIC < 25$
Baja	$5 \leq CIC < 15$
Muy baja	$CIC < 5$

Fuente: SAGARPA (2012).

### 2.1.6.7. Calcio

Es un elemento que está directamente vinculado con degradación del suelo por salinización, el calcio es mencionado específicamente. Este elemento es regularmente numeroso en suelos de regiones costeras o semiáridas. Sin embargo, cuando se concentran en forma solido (forma química de baja solubilidad) no afecta al suelo reduce su disposición soluble en el suelo (SAGARPA, 2012).

**Tabla 10.** Clases interpretativos para calcio

<b>-Clase</b>	<b>Ca (Cmol<sup>(+)</sup>/kg<sup>-1</sup>)</b>
Muy baja	$Ca < 2$
Baja	$2 \leq Ca < 5$
Media	$5 \leq Ca < 10$
Alta	$Ca \geq 10$

Fuente: SAGARPA (2012).

### 2.1.6.8. Magnesio

Es frecuentemente hallar carencia de magnesio en medios edáficos arenosos con poca capacidad de intercambio catiónico (CIC) (SAGARPA, 2012).

**Tabla 11.** Clases interpretativos para magnesio

Clase	Mg (Cmol <sup>(+)</sup> /kg <sup>-1</sup> )
Muy baja	Mg < 0,5
Baja	0,5 ≤ Mg < 1,3
Media	1,3 ≤ Mg < 3,0
Alta	Mg ≥ 3,0

Fuente: SAGARPA (2012).

**2.1.6.9. Sodio**

La excedencia del elemento en el suelo puede causar defecto en deficiencia con otros cationes fundamentales como K, Ca, y el Mg (SAGARPA, 2012).

**Tabla 12.** Clases interpretativos para sodio

Clase	Na (Cmol <sup>(+)</sup> /kg <sup>-1</sup> )
Muy bajo	0, 0 ≤ Na < 0,3
Bajo	0,3 ≤ Na < 0,6
Normal	0,6 ≤ Na < 1,0
Alto	1,0 ≤ Na < 1,5
Muy Alto	Na ≥ 1,5

Fuente: SAGARPA (2012).

**2.1.6.10. Conductividad eléctrica**

La propiedad de la conductividad eléctrica (CE) calcula exclusivamente la acumulación total de sales en la solución edáfica, sin especificar los tipos de sales presentes (SAGARPA, 2012).

**Tabla 13.** Clases interpretativos para la conductividad eléctrica

CE (dS/m <sup>-1</sup> ) a 25°C	Efectos sobre el suelo
CE < 1,0	Efectos despreciables de la salinidad
1,0 ≤ CE < 2,0	Suelo muy ligeramente salino
2,0 ≤ CE < 4,0	Suelo moderadamente salino
4,0 ≤ CE < 8,0	Suelo salino
8,0 ≤ CE < 16	Suelo fuertemente salino
CE ≥ 16	Suelo muy fuertemente salino

Fuente: SAGARPA (2012).

### **2.1.7. Efecto de los diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo**

El sistema de cultivo de *T. cacao* es una gran fuente de producción de hojarasca y materia orgánica del suelo (MOS), manteniendo una tasa constante de caída de hojarasca durante todo el año. Los sistemas agroforestales (AFS) de *T. cacao* demuestran claramente un ciclo de nutrientes más efectivo, mostrando provisionalmente una mayor cantidad de nutrientes en el suelo y en la hojarasca en comparación con los sistemas no agroforestales. El AFS de CAF (sistema agroforestal que combina *T. cacao* y *Acacia*) es una opción prometedora para mantener la fertilidad del suelo en regiones tropicales durante las épocas de sequía (SD). Las diferencias estacionales en los nutrientes del suelo y la hojarasca, especialmente en micronutrientes, calcio y magnesio, son significativas (Rangel-Mendoza y Silva-Parra, 2020).

En los sistemas convencionales de manejo de coca y cacao, los indicadores físicos como la densidad aparente en la capa superficial a 10 cm de profundidad ( $DA_{10}$ ) y a 20 cm de profundidad ( $DA_{20}$ ) muestran que, a 10 cm, el suelo se clasifica como ideal y aceptable, mientras que, a 20 cm, aunque en el rango de suelos ideales, puede afectar el crecimiento de las raíces. La resistencia a la penetración a 10 cm ( $RP_{10}$ ), medida con un penetrómetro de cono, indica que el suelo es duro a extremadamente duro, y a 20 cm ( $RP_{20}$ ), que es muy duro. Estas mediciones muestran diferencias altamente significativas en la DA y la resistencia a la penetración en ambas profundidades. Los suelos gestionados convencionalmente para la coca presentan peores condiciones, con valores más altos de densidad aparente y resistencia a la penetración (Celis-Tarazona et al., 2020).

Los suelos bajo manejo convencional de coca tienen valores significativamente más bajos de pH, MO, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, pero niveles más altos de aluminio intercambiable y acidez, comparados con el bosque secundario. El uso excesivo de agroquímicos ha llevado a una rápida degradación del suelo en 12 años de cultivo de coca en contraste con el bosque secundario (Celis-Tarazona et al., 2020).

### **2.1.8. Subíndice de uso sustentable del suelo**

El subíndice SUSS evalúa la salud del medio edáfico mediante la integración de sus propiedades fisicoquímicas, promediando los valores normalizados de cada indicador (SAGARPA, 2012).

### **2.1.9. Sistemas de uso**

La diversidad y la rotación de cultivos son claves para la economía agraria, ya que promueven suelos nutritivos y minimizan la necesidad de fertilizantes. La monitorización de campos, ya sea manualmente, por satélite o mediante software como

EOSDA Crop Monitoring, es valiosa. Especialmente, el análisis retrospectivo identifica cultivos eficientes históricamente en una región, optimizando uso de fertilizantes y apoyando la rotación y zonificación de campos para economizar (EOS DATA ANALYTICS, 2020).

#### **2.1.9.1. Sistema cacao**

Para mejorar rápidamente la producción y productividad del cacao, es esencial implementar tecnología adaptada a las necesidades de los cacaoteros. Esto incluye reemplazar las plantaciones tradicionales y el material genético no garantizado con clones de alto rendimiento, cuidadosamente seleccionados de semilleros o centros especializados. La selva peruana, rica en diversidad genética, alberga el cacao, un cultivo con gran potencial y valiosas características de sabor y aroma. Para aprovecharlo al máximo, es esencial identificar y seleccionar los mejores clones utilizando técnicas sencillas (Paredes, 2003).

#### **2.1.9.2. Sistema ex cocal**

El cultivo de coca en Perú está regulado por la Ley General de Drogas de 1978, que prohíbe la expansión de nuevas áreas de cultivo y establece normas para las resiembras y renovaciones en cultivos existentes. Además, la Empresa Nacional de la Coca (ENACO) muestra el monopolio para mercantilizar e industrializar de la hoja de coca, haciendo ilegales los comercios fuera de esta entidad. El aumento del precio de la hoja seca de coca a partir del año 2000, con promedios superiores a US\$ 2,0 por kilogramo y alcanzando US\$ 2,8 por kilogramo en 2004, ha sido un factor clave que podría motivar una mayor expansión del cultivo de coca (Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas [DEVIDA], 2005).

#### **2.1.9.3. Sistemas agroforestales**

En muchas regiones del mundo, se han implementado técnicas ancestrales de manejo del suelo que combinan la producción forestal con cultivos agrícolas o ganaderos. Estos sistemas, conocidos como sistemas agroforestales, han sido efectivos para satisfacer necesidades de seguridad alimentaria y generación de ingresos.

El enfoque hacia los sistemas agroforestales busca promover un desarrollo sostenible mediante la implementación de modelos forestales alternativos para pequeños productores. Este enfoque integra la conservación de recursos naturales y la permanencia de las familias agrícolas en el campo, evitando así la migración urbana. Introducir árboles en las fincas bajo el sistema de producción agroforestal sustentable es fundamental para este proceso (López, 2010).

#### **2.1.9.4. Sistemas de bosque secundario**

La información actual muestra que la devastación de la vegetación primaria ha sido llevada por la gran área que tiene que, la vegetación secundaria, también pueden ofrecer servicios económicos y ecológicos importantes. Esto ha impulsado una estrategia para valorizar los bosques secundarios entre agricultores y ganaderos, fomentando su conservación a largo plazo o retardando su conversión a otros usos mediante intervenciones tecnológicas y políticas.

La vegetación purma o secundaria son diversos en sus atributos ecológicas y en los objetivos y recursos de sus propietarios, lo que requiere intervenciones variadas. Un análisis de su dinámica puede orientar las acciones hacia áreas con mayor potencial de impacto, considerando aspectos socioeconómicos y los cambios en las áreas de frontera agrícola. Se identifican dos trayectorias principales: los que colonizaron y los grupos etnias, además de circunstancias accidentales como conflictos y litigios que también pueden influir en la formación de vegetación secundaria.

#### **2.1.10. Suelos del capital Pumahuasi**

La construcción de la carretera Federico Basadre entre 1943 y 1970 permitió conectar Pucallpa con ciudades importantes como Tingo María, Huánuco, Cerro de Paseo y Lima, desencadenando un proceso socioeconómico dinámico de colonización y desarrollo territorial. Los colonizadores comenzaron a aplicar prácticas agrícolas modernas que agotan rápidamente los suelos, como la instalación inadecuada de cultivos, la progresiva sustitución de sistemas agrícolas policultivos por monocultivos y el uso intensivo de pesticidas. Estas prácticas han provocado la disminución de la fertilidad del suelo y han contribuido al avance alarmante de la deforestación en la provincia de Leoncio Prado (Hosokay, 2012).

### **2.2. Estado del arte**

#### **2.2.1. Internacionales**

Noellemeyer y otros autores (2021) desarrollaron una guía para la evaluación visual de la calidad del suelo, destinada a asesores técnicos, productores y estudiantes. Esta herramienta permite observar y evaluar variables clave del suelo y el rendimiento de los cultivos mediante indicadores dinámicos, excepto la textura del suelo, que pueden cambiar según los diferentes usos y prácticas de manejo. Estos indicadores son sensibles a las prácticas de manejo y actúan como alertas tempranas de cambios en la condición del suelo.

Bautista et al. (2004) en su estudio titulado "La calidad del suelo y sus indicadores" analizan la importancia y la falta de atención social hacia el suelo, a pesar de su crucial papel para la vida. La degradación del suelo representa una grave amenaza para la humanidad, planteando a los científicos el desafío de intensificar, preservar e incrementar su calidad. Para lograr esto, es crucial tener una clara comprensión del concepto de salud del medio edáfico y desarrollar indicadores que permitan evaluar su salud y manejo sostenible, de manera análoga a cómo se monitorean componentes sociales y económicas. El estudio revisa los conceptos clave relacionados con estos indicadores, enfatizando su importancia para la sostenibilidad agrícola y la formulación de políticas de uso del suelo. Es fundamental que los indicadores de calidad del suelo estén vinculados a su uso y a las indicaciones específicas que se desarrollan, mostrando atributos del suelo que puedan cambiar en períodos relativamente cortos de tiempo.

Pinos (2022) realizó un estudio titulado "Calidad del suelo a partir de indicadores físicos y químicos. Con el objetivo de evaluar la calidad del suelo, enfocándose en áreas impactadas por labores culturales humanas en el bosque de Sunsun Yanasacha. La metodología incluyó la extracción de muestras de suelo en tres zonas: páramo (A1), zona ganadera (A2) y zona de cultivos (A3). Los resultados mostraron texturas predominantemente franco limosas en el páramo, franco en las zonas de cultivo y ganadería, y variaciones en densidad aparente y pH según el uso del suelo. A pesar de las intervenciones antrópicas como el uso de productos químicos, erosión y mala gestión, se observó una relativa estabilidad en la textura del suelo, aunque los cambios en el pH indicaron una tendencia hacia la acidez moderada en todas las zonas estudiadas.

### **2.2.2. Nacionales**

Huisa (2020) investigó la salud del medio edáfico en tres áreas de cultivo intensiva de café (*Coffea arabica* var. catimor) en el anexo Alto Pitocuna, distrito de Río Negro-Satipo. Se evaluaron ocho propiedades físico-químicas del medio edáfico con estratos (0-30cm y 30-60cm) en los fundos El Solitario (con 10 años de productividad), Virgen de las Nieves (con 18 años de productividad) y San Martín (con 14 años de productividad). Los resultados indicaron niveles bajos de fósforo, potasio y materia orgánica, pH moderadamente y extremadamente ácido, textura fina a moderadamente fina, CIC baja a moderadamente baja, alta saturación de bases y baja acidez intercambiable. El índice de la salud del suelo se determinó como moderado.

Schwartzmann (2019) investigó la modificación de la salud del medio edáfico al establecer un sistema forestal asociado (SAF) en comparación con un pastizal en

Madre de Dios. El estudio midió atributos fisicoquímicas y biológicas en ambos usos de tierra, utilizando parcelas de 90x30 metros con 12 puntos de muestreo cada uno. Los resultados indicaron que el SAF progresó significativamente en los atributos químicos del medio edáfico, mostrando un pH menos ácido en comparación con el pastizal, que sufrió degradación a causa de una nula cobertura y el sobrepastoreo. Esto resultó en una mayor estabilidad de agregados en el SAF, indicativo de una mejor estructura del suelo y menor impacto por uso intensivo. Las diferencias en DA y resistencia mecánica entre ambos sistemas no existieron significancia, posiblemente debido a la variabilidad natural y cambios en la humedad por lluvias intensas. Además, el SAF promovió una mayor diversidad y cantidad de macrofauna del suelo, reflejando su gestión sostenible con una cobertura forestal diversa y un efectivo reciclaje de materia orgánica.

Arévalo (2014) llevó a cabo un estudio titulado "Dinámica de los indicadores de la salud del medio edáfico el manejo de SAF con cacao", realizado en un área experimental "El Choclino" del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) en Tarapoto. Se desarrollaron dos usos de productividad en cacao: uno tradicional (ITAS) y otro agroforestal (INAS), se realizaron diez genotipos de cacao y se compararon con un híbrido local. También se desarrolló muestreos de suelo para su respectivo análisis fisicoquímico y biológico en ambos sistemas, considerando tres profundidades (0-20cm, 20-40cm, 40-60cm) en los periodos 2004, 2006, 2008 y 2010. Desarrollando modificaciones en los atributos fisicoquímicos del medio edáfico y en la variabilidad de la comunidad biológica (hongos y nematodos) según uso de tierra, genotipo, horizonte y periodo. Se desarrollo el Índice de salud del suelo (ICS) como medida de comparación entre usos de tierra evaluados. Los atributos físicos como la DA y porosidad mostraron diferencias significativas entre evaluaciones, al igual que indicadores químicos como pH, materia orgánica, NPK y microelementos. La abundancia total y diversidad de hongos y nematodos también fueron influenciadas por los sistemas a lo largo del tiempo. En conclusión, la alteración del entorno natural provocó modificaciones fisicoquímicas y biológicos en el medio edáfico, afectando directamente su calidad para prácticas agrícolas sostenibles.

### **2.2.3. Locales**

En su estudio "Distribución espacial de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo en el fundo 'Cárdenas', en Nuevo Progreso Padre Abad 2022", Inocencio (2022) desarrollo la distribución y variabilidad espacial de indicadores fisicoquímicos del medio edáfico. La productividad de cacao en el país trópico nacional es baja en rendimiento, promoviendo la búsqueda de alternativas como la fertilización. Falta

criterios técnicos en los planes de fertilización genera impactos ambientales y económicos, siendo los estudios geoespaciales clave para diagnosticar y aplicar eficientemente estos planes. Se empleó el interpolador Kriging para el análisis geoestadístico de indicadores físicos y químicos y salud del medio edáfico, mostrando coeficientes bajos en arcilla, pH y K, y coeficientes medios para arena, limo, materia orgánica, N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, CIC, %SB, %AC y %SAI. La salud del medio edáfico fue evaluada como baja a muy baja, distribuida espacialmente en 52,24 y 47,76%. El análisis de componentes principales (ACP) demostró relevancia estadística para varios indicadores, con modelos de ajuste como el exponencial y lineal, destacando variaciones espaciales influenciadas por factores locales y el historial de manejo del cacao.

Encarnación (2022) investigó el "Efecto del manejo convencional de *Erythroxylum coca* en indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo, en Padre Abad - Ucayali", evaluando el impacto de diferentes manejos de *E. coca* en indicadores fisicoquímicos del suelo. Las combinaciones incluyeron labores convencionales de ex cocal durante 2 años (CO2) y 15 años (CO15), ex cocal con regeneración natural de 9 años (EC9), y bosque secundario (BS). Se analizaron las variables fisicoquímicas mediante índices de salud del suelo (ICS). Los resultados mostraron diferencia significativa en arena, arcilla, limo y resistencia a la penetrabilidad (Rp), que mostró un aumento continuo. Las variables químicas también variaron, en excepción el potasio. Inicialmente, el manejo CO2 demostró impacto verdadero en pH, materia orgánica, N, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, con reducción de Al<sup>3+</sup>, %AC y %SAI, pero con el periodo, se observaron efectos negativos en macronutrientes y aumentos en Al<sup>3+</sup>, %AC y %SAI. Concluyendo se evidenciaron modificaciones adversas en las variables fisicoquímicas y la salud del suelo, deteriorándose de niveles bajos a muy bajos después de 15 años de labores convencional de *E. coca*, con una leve restauración observada en áreas de ex coca con 9 años de regeneración natural.

Hosokay (2015) llevó a cabo el estudio "Calidad de suelo en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge" para evaluar la salud del medio edáfico en varios usos de tierra. El estudio se realizó en la parte baja de la microcuenca rio-Supte, en fundo agrícola. Se empleó un DCA con tres repeticiones por combinación o tratamiento. Analizando 07 usos de tierra, como bosque, cacao, plátano, pasto, maíz, coca y suelo degradado, cada uno con características específicas de textura y propiedades fisico-químicas. Se encontró que el suelo degradado presentó la mayor resistencia a la penetración (4,50 kg/cm<sup>2</sup>) y la inestabilidad estructural más alta (66,36%). El cultivo de maíz mostró el mayor contenido de fósforo (11,18 ppm), mientras que el sistema de cacao destacó por su alta materia orgánica (4,38%). La

respiración microbiana fue más baja en el cultivo de coca (0,045 mg CO<sub>2</sub>/100 g suelo), y el cultivo de plátano exhibió la mayor densidad de macroorganismos (2,416 individuos/m<sup>2</sup>). En conclusión, la respiración microbiana se destacó como el indicador más sensible para evaluar la calidad del suelo en las condiciones estudiadas.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El estudio investigativo se realizó en la finca denominada “Santa Eliza” de propiedad Sr. Reynaldo Ponce Fermín. La extensión del área total de la propiedad consta de 60 ha aproximadamente, que consta de los cultivos de cacao (04 ha), área con sistemas agroforestales (1,50 ha) en la parte alta con cultivos de ex cocal (01 ha), bosque secundario (35 ha), bosque primario (10 ha) y otros (9,50 ha). Propiedad donde se realizó el estudio se encuentra en el caserío San Pablo, distrito Daniel Alomía Robles, provincia Leoncio Prado.

Sin embargo, el propietario comentó que, en los años de 1970, fue como peón a dicho caserío, y en los años 70 necesitaban pobladores constantes con visión de formar un caserío, mediante el posicionamiento de tierras adquiridas dimensiones de terreno. En ese año se ha posicionado con dictamen escrito por las autoridades mediante un acta, encontrando el terreno cultivado aproximadamente 02 ha, esa limpieza lo realizó el posicionado anterior y finalmente abandonó por motivos de terrorismo que constantemente realizan intimidación, así como la fuerza armada, al final el posicionado anterior nunca volvió.



Figura 1. Mapa de Ubicación

### **3.1.1. Ubicación política**

La investigación o el estudio se realizó en la localidad de San Pablo; distrito de Daniel Alomía Robles (Pumahuasi), Provincia de Leoncio Prado región Huánuco.

### **3.1.2. Ubicación geográfica**

El caserío San Pablo se encuentra con límites:

- por el norte : caserío Huayhuantillo, Micaela Bastidas y Simón Bolívar.
- por el sur : caserío Julio Cesar Tello, Once de Octubre y José Carlos Mariátegui.
- por el este : caserío Juan Velasco.
- Por el oeste : caserío Topa.

Con coordenadas UTM 408515E y 8974915N con una altitud de 815 msnm, el punto de referencia sistema de cacao de la parcela en estudio.

### **3.1.3. Clima**

Distrito de Daniel Alomía Robles, su clima característico es tropical, con temperaturas máximas de 32 °C y mínimas con 18 °C, con precipitaciones anuales que alcanzan 3467,72 mm/año, Humedad relativa histórica que oscila entre 82,20 a 84,29% (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2020).

### **3.1.4. Zona de vida**

De acuerdo a la lectura del Mapa Ecológico del Perú, el distrito Daniel Alomía Robles “Pumahuasi” pertenece a la zona de vida denominada Bosque muy premontano tropical (bmh – PT), transicional Bosque húmedo tropical (bh - T) (Holdridge, 1997).

### **3.1.5. Suelos**

Las terrazas fluviales son formaciones geológicas que se presentan como plataformas planas y elevadas a lo largo de los valles fluviales, originadas por procesos de erosión y sedimentación del río. Con pendientes moderadas que oscilan entre el 0% y el 10%, ubicándose a los márgenes de los ríos y suelen contener suelos fértiles, ideales para cultivos limpios. La topografía de estas terrazas facilita el desarrollo agrícola, ya que las pendientes suaves permiten un adecuado drenaje y minimizan la erosión del suelo. Además, la proximidad al río asegura una fuente constante de humedad, favoreciendo el crecimiento de diversas especies vegetales. Sin embargo, es crucial implementar prácticas de manejo sostenible para preservar estos suelos y garantizar su productividad a largo plazo.

Paisaje Montañoso: con características y relieves accidentados, con disecciones y afloramientos rocosos. Presentan pendientes de entre 50% y 70%, excesivamente erosionable (Municipalidad Provincial de Leoncio Prado [MPLP], 2008-2015).

### **3.1.6. Fisiografía**

La fisiografía de la región se caracteriza por montañas altas y escarpadas, con valles estrechos utilizados para la agricultura. Al margen derecho aguas abajo del río Huallaga, se extiende una zona de aproximadamente 6,039 hectáreas, conformada por montañas bajas con laderas moderadamente empinadas y pendientes entre 15% y 25%. Estas áreas presentan suelos aptos para diversas actividades agrícolas, pero requieren prácticas de manejo sostenible para prevenir la erosión y mantener su productividad (Escobedo, 2010).

### **3.1.7. Hidrografía**

La red hidrográfica de la provincia de Leoncio Prado está compuesta por la cuenca del río Huallaga, que fluye de sur a norte. En su recorrido, forma la subcuenca del Alto Huallaga, desde su nacimiento en las elevaciones al sur de la cordillera Raura hasta su encuentro con el río Marañón, en la región de Loreto. Sus principales afluentes del distrito de Daniel Alomía Robles son río Topa y Maronilla que ambos afluentes desembocan al río Tulumayo y este desemboca al río Huallaga (MPLP, 2008-2015).

### **3.1.8. Accesibilidad**

El acceso hasta el caserío San Pablo se llega en camionetas de transporte rural, saliendo desde la ciudad de Tingo María por la carretera Fernando Belaunde Terry con condiciones de carretera asfaltado con pavimento flexible hasta el desvío al caserío Las vegas – Lourdes, prosiguiendo la ruta de carretera vecinal con condiciones de la vía sin afirmada hasta el caserío San Pablo.

## **3.2. Características generales del estudio**

### **3.2.1. Tipo del estudio**

El estudio se ajusta a tipo prospectivo, ya que cuenta con datos primarios, porque provienen de mediciones realizadas del propio investigador, sin embargo, los datos provenientes de mediciones con control de los sesgos de medición. Se recolectó datos de propiedades fisicoquímicas mediante muestreos de suelo (Supo y Zacarías, 2020).

### **3.2.2. Nivel y diseño de estudio**

Según Hernández et al. (2014), el estudio pertenece al alcance o nivel descriptivo, puesto que, se desarrolló el estudio describiendo las características de las variables de propiedades fisicoquímicos del suelo y las características de los cultivos. El diseño del estudio corresponde al no experimental transeccional o transversales de tipo descriptivo, solo existe la intervención del investigador.

### **3.2.3. Variables en estudio de la investigación**

Son entre los atributos físicas y químicas.

- Textura.
- Arcilla.
- Arena.
- Limo.
- Densidad aparente.
- Resistencia a la penetración.
- Temperatura del suelo.
- pH.
- Materia orgánica.
- Conductividad eléctrica.
- Nitrógeno total.
- Fósforo total.
- Potasio intercambiable.
- Sodio intercambiable.
- Magnesio intercambiable.
- Calcio intercambiable.
- CIC

### 3.3. Materiales y equipos

#### 3.3.1. Materiales

Rafia de color rojo, jalones de tamaños de 1,5 m de longitud, machete y su respectiva lima, tablero de apuntes, formato de campo, etiquetas de codificación, bolígrafo codificador, muestreador de suelo, bolsas para muestras de suelo, cilindro para densidad aparente y bolsas, costales para el traslado.

#### 3.3.2. Equipos

Cámara fotográfica, GPS (Sistema de Posicionamiento Global), termómetro del suelo, Penetrómetro.

### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. Caracterizar las propiedades físicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo

##### – Descripción de las características de las parcelas en estudio

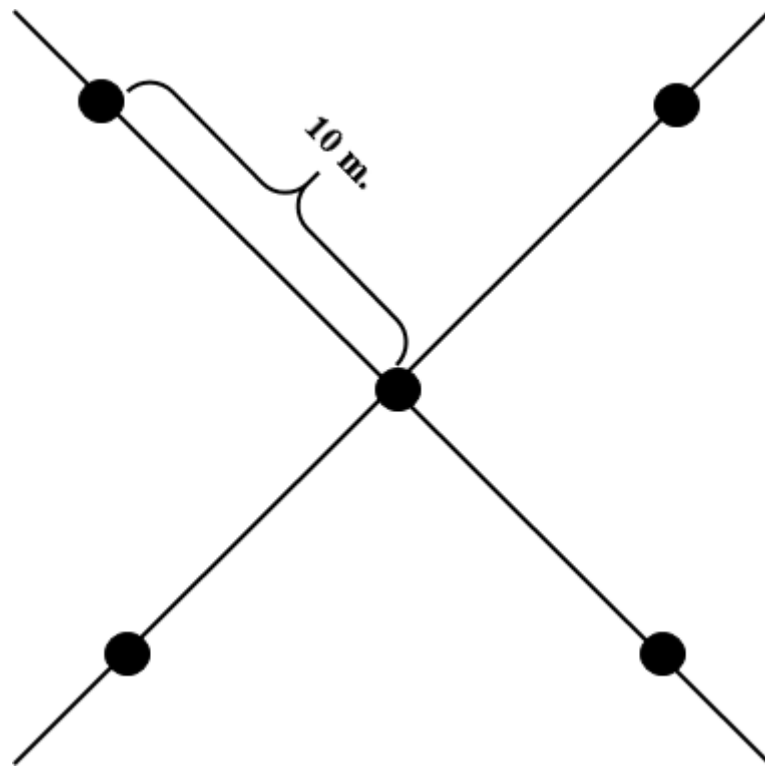
Se estableció en un sistema de estudio 03 puntos de muestreo.

**Tabla 14.** Características de los sistemas de cultivo

Sistemas	Área de estudio (m <sup>2</sup> )	Características
Cacao	Aprox. 400	Variedad: CCN-51, edad: 18 años, producción por ha: 600 a 700 kg/ha, distanciamiento de la plantación: método de tres bolillos, manejo de sombra: guaba y algunos árboles frutales, suelo: 30 a 40% de pendiente aprox.

Ex cocal	Aprox. 400	Edad del cultivo: 22 años, distanciamiento de la plantación: 0,2X0,2X0,5 m, manejo: en abandono por 6 o 7 años o periodos, suelo: suelo degradado, en recuperación con 30 a 40% de pendiente aproximadamente.
SAF/cítrico	Aprox. 400	Asociación con variedad de cítricos: naranjas valencia, huando, tangelo y clementinas. manejo de sombra: bolaina y guaba, distanciamiento de bolaina: 10X10 m, distanciamiento de guaba al intermedio de bolaina, suelo: con pendiente de 30 a 40% aprox.
Bosque secundario	Aprox. 400	Edad: 20 años de restablecimiento aproximadamente, pendiente del suelo: 30 a 40% aprox.

El método de muestreo que se desarrolló durante el estudio es de tipo sistemático (método sistemático en "X") recomendado por Anderson y Ingram (1993).



**Figura 2.** Diseño de la parcela en estudio

– **Planificación**

El estudio en su ejecución, se coordinó con el propietario del terreno, luego se reconoció el área en general para que no suceda inconvenientes al momento de ejecutar, finalmente se estableció 01 parcela por sistema de evaluación, también se coordinó el acceso al almacén de herramientas del propietario por la falta de algunas herramientas básicas de la agricultura.

– **Recolección de los datos**

La recolección de datos consistió en la recolección de muestras de suelo de cada sistema en estudio con la finalidad de obtener datos de los atributos físicoquímicas del suelo y algunas variables con instrumentos como temperatura y la compactación del suelo. finalmente, los resultados se obtendrán del laboratorio de suelos.

Cada propiedad del suelo es un indicador de la calidad del suelo indicado en este estudio, que se consideró lo siguiente:

**Tabla 15.** Propiedades físicas del suelo

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Método de determinación</b>
Textura del suelo	Método del hidrómetro Bouyoucos
Densidad aparente	Método del cilindro
Resistencia a la penetración	Método directo del penetrómetro
Temperatura del suelo	Método directo del termómetro

– **Textura del suelo**

Para determinar la textura del medio edáfico, se recolectó la muestra del medio edáfico de cada punto de muestreo, la cantidad de 01 kg recomendado por Anderson y Ingram (1993). Para su análisis se envió al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

– **Densidad aparente**

Se realizó las siguientes actividades, primero se introdujo el cilindro bajo el suelo sin compactar la muestra, sin embargo, la recolección se hizo donde no haya raíces de las plantas (Flores y Alcalá, 2010). Finalmente, después de su recolección se codificó cada muestra seleccionada para su envío al laboratorio del suelo.

$$V_t = \frac{D^2 \pi}{4} h$$

$$\rho_b = \frac{P_{ss}}{V_t}$$

Dónde:

$V_t$  = es el volumen de la muestra.

D = es el diámetro del cilindro.

h = es la altura del cilindro.

Donde:

$\rho_b$  = es la densidad aparente del suelo.

Pss = es el peso del suelo seco.

$V_t$  = es el volumen de la muestra.

#### – Resistencia a la penetración

La variable de este indicador se realizó de manera directa midiendo con el instrumento del penetrómetro, introduciendo la punta de penetración al suelo sin realizar la carga o presión del cuerpo. Su unidad de medida  $\text{kg/m}^3$  (Flores y Alcalá, 2010).

#### – Temperatura del suelo

La temperatura del suelo se midió directamente con el instrumento del termómetro introduciendo al suelo una profundidad de 1 pulgada, luego esperar unos minutos para la estandarización de la temperatura del suelo y realizar la lectura (USDA, 1999).

### 3.4.2. Caracterizar las propiedades químicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestales y bosque secundario en el caserío San Pablo distrito Daniel Alomía Robles

Para determinar los atributos químicos del medio edáfico sobre la salud del medio edáfico. Primero se recolectó las muestras del suelo según el diseño recomendado del proyecto, para ello se recolectó una cantidad de 500 gr. Recomendado por Hildenbrand et al. (1996) para fines de caracterización, los resultados de análisis de suelo, se llevó al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la selva.

**Tabla 16.** Propiedades químicas del suelo

<b>-Propiedades químicas-</b>	<b>Método de determinación</b>
pH	Método del potenciómetro
Materia orgánica	Método de Walkley y Blakc
Conductividad eléctrica	Extracto de saturación
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo total	Método de Olsen
Potasio intercambiable	Método del ácido sulfúrico
Sodio intercambiable	Ac. Amonio pH 7.0 Flamometría o Absorción atómica
Magnesio intercambiable	Ac. Amonio pH 7.0 Absorción atómica o Flamometría

Calcio intercambiable	Ac. Amonio pH 7.0 Absorción atómica o Flamometría
Relación adsorción de sodio (RAS)	Determinación de las concentraciones de calcio, magnesio y sodio
CIC	Acetato de amonio AS-12

### 3.4.3. Determinar la calidad del suelo en los sistemas de uso mediante el SUSS (subíndice de Uso Sustentable del Suelo)

El método para alcanzar la salud del medio edáfico desarrollado por SAGARPA, conocido como el método de SUSS (subíndice de uso sustentable del suelo), con su objetivo de evaluar los impactos causado por el desarrollo de la agricultura. Se desarrolló con este método por la facilidad de su aplicabilidad. Pero para el desarrollo SAGARPA (2012) menciona que los datos contrafactuales sirvan de herramienta para su mejoramiento.

#### – Procedimientos de la aplicabilidad de método SUSS

Desarrollaremos con la siguiente ecuación, los cálculos de normalización de los indicadores.

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

Donde:

Rn : es el valor resultante del parámetro normalizado.

m : es el número de muestras de suelo analizado.

j : es cada muestra de suelo.

#### – Ecuación para promediar cada indicador

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

Donde:

Rn : es el valor resultante del parámetro normalizado.

m : es el número de muestras de suelo analizado.

j : es cada muestra de suelo.

#### – Ecuación del cálculo de SUSS

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n Pi}{n}$$

Donde:

$P$  : es el promedio del valor de los parámetros normalizados.

$i$  : es cada indicador o parámetro analizado.

$n$  : es el número total de parámetros analizado.

**Tabla 17.** Parámetros del suelo para evaluar el estado actual de los suelos

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor deseable (d)	Valor de corte (c)
Materia orgánica-(MO)	%	Mo>5	0,5
Densidad aparent-(DA)	g/cm <sup>3</sup>	Dap<1,1	1,47
CE	ds/m <sup>-1</sup>	CE<1	4,1
pH	pH	6>pH<7	5<pH>8,5
Fósforo (P)	mg/kg <sup>-1</sup>	P>5,5	0
Sodio (Na)	Cmol <sup>(+)</sup> /kg <sup>-1</sup>	Na<1	1,5
Magnesio (Mg)	Cmol <sup>(+)</sup> /kg <sup>-1</sup>	Mg>0,3	0
Calcio (Ca)	Cmol <sup>(+)</sup> /kg <sup>-1</sup>	Ca>5	0
RAS	RAS	<2,5	4
CIC	Cmol <sup>(+)</sup> /kg <sup>-1</sup>	CIC>15	5
Nitrógeno (N) total	%	N>0,2	0,05

Fuente: SAGARPA (2012).

**Tabla 18.** Rangos interpretativos del SUSS

Calidad del suelo	Descripción
Bueno (0,95 < SUSS ≤ 1,0)	Las condiciones de calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola
Aceptable (0,80 < SUSS ≤ 0,95)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados
Sensible (0,65 < SUSS ≤ 0,78)	Los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos
Marginal (0,45 < SUSS ≤ 0,65)	Los indicadores de calidad a son distantes de los valores deseables
Pobre (0 < SUSS ≤ 0,45)	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables

Fuente: SAGARPA (2012).

#### **3.4.4. Análisis de datos**

Se tabularon los datos de análisis de suelos en MS-Excel 2016, luego se desarrolló los cálculos mediante el método de SUSS, se presentó en tablas y figuras y finalmente se interpretó los resultados, realizando el informe final de la investigación.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo distrito Daniel Alomía Robles

#### 4.1.1. Textura

En la finca denominado “Santa Eliza” ubicado en el caserío San Pablo correspondiente al distrito Daniel Alomía Robles “Pumahuasi”. La parcela de estudio de los cuatro sistemas cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario. La textura atribuye como formación a las características como: material parental, clima (tropical entre 18 a 32 °C), topografía (con pendiente entre 30 a 40%), biota (organismos) y tiempo según Hans Jenny (1941). Las características en la cabecera de la cuenca del río Topa se observan con topografía de formaciones montañosas.

El sistema de cacao con mantenimiento vigente en limpieza, poda y abonamiento orgánico en condiciones de clase textural franco arenoso y los tres sistemas ex cocal (en abandono aproximadamente de 6 a 7 años), bosque secundario (en restablecimiento aproximadamente 20 años) y agroforestal/cítrico (asociación con cítricos como: naranjas valencia, huando, tangelo y clementinas) de condiciones de clase textural franco (Tabla 19).

**Tabla 19.** Propiedades físicas del suelo en los sistemas cacao, ex cocal, agroforestales/cítrico y bosque secundario

Sistemas	Muestras	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural
Ex cocal	M <sub>1</sub>	41,15	18,06	40,78	
Ex cocal	M <sub>2</sub>	33,15	26,06	40,78	Franco
Ex cocal	M <sub>3</sub>	51,15	16,06	32,78	
Bosque secundario	M <sub>1</sub>	45,15	26,06	28,78	
Bosque secundario	M <sub>2</sub>	47,15	22,06	30,78	Franco
Bosque secundario	M <sub>3</sub>	41,15	26,06	32,78	
Cacao	M <sub>1</sub>	53,15	16,06	30,78	
Cacao	M <sub>2</sub>	57,15	18,06	24,78	Franco arenoso
Cacao	M <sub>3</sub>	55,15	16,06	28,78	
SAF/cítrico	M <sub>1</sub>	31,15	26,06	42,78	
SAF/cítrico	M <sub>2</sub>	45,15	18,06	36,78	Franco
SAF/cítrico	M <sub>3</sub>	37,15	22,06	40,78	

DA: Densidad aparente; SAF: Sistema agroforestal.

En los cuatro sistemas en estudio se muestra textura en condiciones o rangos de calidad con clase textural “franco y franco arenoso” indica que la proporción de sus elementos atribuyen la posibilidad a la raíz de la planta un buen soporte y la facilidad de fijar su sistema radicular, la textura cumple la relación con el suelo reteniendo, transportando agua y compuestos químicos, erosión del suelo (SAGARPA, 2012).

La condición de establecimiento del suelo (material parental, clima, topografía, biota y tiempo) del suelo se encuentra evidenciada en la textura, el medio edáfico sea recientemente joven (al inicio el medio edáfico percibe la textura de material parental original), también se interpretaría que los suelos en restauración de poco tiempo mantienen su textura de material original, sin embargo mencionaremos otras acciones intervinientes como la situación ambiental que tiende a fijar su naturaleza de la textura, la topografía está directamente relacionada con el desplazamiento de los materiales, finalmente el ciclo del tiempo muestra con condiciones de modificación e incremento del fragmento de arcilla (Hans Jenny, 1941 citado por [INTAGRI], 2017).

#### **4.1.2. Densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura del suelo**

El área en estudio de los cultivos en estudio como cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario que la propiedad física de densidad aparente ( $D_a$ ) atribuye en la compactación y esponjamiento sobre el sistema radical, en el sistema ex cocal podemos considerar en calidad “entre afecta y restringe el crecimiento radicular” el sistema de bosque secundario como “aceptable”, el sistema cacao como “entre afecta y restringe el crecimiento radicular” y finalmente en el sistema SAF/cítrico como “entre afecta y restringe el crecimiento radicular”.

Los cuatro sistemas en estudio de la finca “Santa Eliza” como: cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario que, la propiedad física (compactación) atribuye al prosperar las raíces, el área de ex cocal podemos dar una apreciación en calidad como “resistente” el sistema de bosque secundario “está entre resistente y moderadamente resistente”, el sistema cacao “moderadamente resistente” finalmente SAF/cítrico “resistente”.

Finalmente la temperatura del suelo en los considerados sistemas cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en la propiedad física de temperatura del suelo atribuye en el mejor desarrollo de los microbiotas y el proceso de descomposición de materia orgánica que también está ligada a la interacción con la densidad de la cobertura vegetal del suelo, sin embargo también se menciona que las temperaturas muy bajas y altas desequilibran el proceso de la dinámica microbiana edáfica, la importancia de cada indicador cumple funciones relevantes en el sistema suelo (Tabla 20).

**Tabla 20.** Propiedades físicas del suelo en los sistemas cacao, ex cocal, agroforestales/cítrico y bosque secundario

<b>Sistemas</b>	<b>Muestras</b>	<b>Da (gr/cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Resistencia a la penetración (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Ex cocal	M <sub>1</sub>	1,83	2,70	24,30
Ex cocal	M <sub>2</sub>	1,69	2,00	23,90
Ex cocal	M <sub>3</sub>	1,90	2,80	25,00
Bosque secundario	M <sup>1</sup>	1,53	2,50	21,50
Bosque secundario	M <sub>2</sub>	1,60	2,70	21,10
Bosque secundario	M <sub>3</sub>	1,54	2,60	20,90
Cacao	M <sub>1</sub>	1,70	2,00	25,30
Cacao	M <sub>2</sub>	1,87	1,80	24,20
Cacao	M <sub>3</sub>	1,83	2,25	26,50
SAF/cítrico	M <sub>1</sub>	1,98	2,20	24,40
SAF/cítrico	M <sub>2</sub>	1,79	1,90	25,20
SAF/cítrico	M <sub>3</sub>	1,96	2,50	24,80

DA: Densidad aparente; SAF: Sistema agroforestal.

La densidad relativa edáfica dispone la resistencia y la porosidad sobre el sistema radicular, también cumple la función como indicador de la estructura (porque influye en el incremento de la planta de acuerdo al impacto de la porosidad del suelo), resistencia mecánica (con el incremento de Da y la compactación deliberada empieza a incrementar y la permeabilidad reduce alterando el libre desarrollo del sistema radical), la estimación crítica de DA del suelo para el desarrollo del sistema radical varían según la especie que desee desarrollar y la textura (SAGARPA, 2012).

La compactación a la impregnación del medio edáfico influye en el desarrollo del sistema radicular principalmente, sin embargo, los poros del suelo son reducidos cuando existe impregnación; sin embargo, no se llega a suprimir en totalidad, también la compactación influye en el incremento del peso por unidad de volumen cuando existe la actividad del pisoteo (Villalobos-Barquero y Meza-Montoya, 2019).

Aportes de temperatura en el medio edáfico incide en mejorar actividad de los microorganismos y el proceso de rápida descomposición de materia orgánica que en la mayoría de los casos tendrá que ver con la densidad de la cobertura vegetal; sin embargo, las temperaturas extremas desequilibran el desarrollo adecuado (Perdomo et al., 1998).

## 4.2. Propiedades químicas del suelo en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo distrito Daniel Alomía Robles

### 4.2.1. Propiedades químicas de pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno, carbono y fósforo

En la finca denominado “Santa Eliza” ubicado en el caserío San Pablo correspondiente al distrito Daniel Alomía Robles “Pumahuasi”. Los cuatro sistemas en estudio cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario. En las propiedades químicas constituyen de manera crucial los siguientes elementos: el pH está entre los rangos moderadamente y ligeramente ácido en los cuatro sistemas en estudio; no existe alta variabilidad entre ellos por la distante entre parcelas de estudio.

La materia orgánica en los tres sistemas en estudio se encuentra de clase media; excepto el sistema de cacao posee alta materia orgánica, la conductividad eléctrica no muestra efectos cuestionables; los efectos son despreciables de salinidad porque este parámetro tiene relevancia en los suelos de costa. Los indicadores de nitrógeno muestran de clase medio, carbono de clase muy baja; excepto el sistema de cacao de clase baja y el fósforo de clase bajo con excepción el sistema de cacao de clase alto en contenido (Tabla 21).

**Tabla 21.** Propiedades químicas del suelo en los sistemas cacao, ex cocal, agroforestales/cítrico y bosque secundario

Sistemas	Muestra	pH	MO (%)	CE (dS/m)	N (%)	C (%)	P (ppm)
Ex cocal	M <sub>1</sub>	6,23	2,51	0,26	0,1260	1,4580	4,1590
Ex cocal	M <sub>2</sub>	5,96	3,58	0,38	0,1788	2,0742	3,9725
Ex cocal	M <sub>3</sub>	6,27	3,19	0,50	0,1595	1,8499	4,0659
Bosque secundario	M <sub>1</sub>	5,97	2,95	0,31	0,1474	1,7098	4,3462
Bosque secundario	M <sub>2</sub>	6,28	4,11	0,46	0,2054	2,3825	5,0935
Bosque secundario	M <sub>3</sub>	6,18	3,24	0,43	0,1619	1,8780	5,5606
Cacao	M <sub>1</sub>	6,11	3,00	0,31	0,1498	1,7378	15,0890
Cacao	M <sub>2</sub>	6,38	4,64	0,54	0,2319	2,6908	18,9190
Cacao	M <sub>3</sub>	6,45	5,22	0,45	0,2609	3,0272	16,3968
SAF/cítrico	M <sub>1</sub>	6,36	2,27	0,27	0,1136	1,3174	7,8960
SAF/cítrico	M <sub>2</sub>	6,47	2,32	0,35	0,1160	1,3454	6,9618
SAF/cítrico	M <sub>3</sub>	6,02	2,22	0,27	0,1111	1,2894	6,9618

SAF: Sistema agroforestal; MO: Materia orgánica; CE: Conductividad eléctrica; N. Nitrógeno; C: Carbono; P: Fósforo.

El pH del suelo en los cuatro sistemas de estudio se encuentra moderadamente y ligeramente ácido (5,96 a 6,47), por su condición afecta definitivamente la solubilidad, disponibilidad y la absorción del contenido nutrimental que posee el suelo para las plantas entre los indicadores afectados tenemos P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu (SAGARPA, 2012). Como en nuestras zonas con precipitaciones altas se origina el arrastre de partículas finas a implicancia el medio edáfico se acidula, efecto de ello altas concentraciones de Al y Mn provocando intoxicación, así mismo los valores por debajo de 5,5 de pH tiene influencia en la fauna y flora edáfica disminuyendo su actividad, las bacterias es oportuno en condición neutras por lo tanto el proceso biológico es influenciado por pH (Soriano, 2018).

La materia orgánica es formada por distintos procesos como desintegración mecánica, oxidación, hidrolisis y otros (precipitación, reacción básica o ácida edáfica, viento, temperatura) (SAGARPA, 2012). Una vez descompuesto llega a formar un elemento de polímeros en condición coloidal como contenidos de minerales entre ellas proteína, azúcares ácidos orgánicos y otros para ser absorbidos por el sistema radical de las plantas, función relevante de biomasa promover el progreso de la planta justificado por sus efectos (Arévalo et al., 2023).

La conductividad eléctrica es el indicador que su valor indica el contenido de las sales minerales que en exceso causa efectos osmóticos a las plantas, sin embargo, el nitrógeno permite el crecimiento vegetativo, hojas, ramificaciones el desarrollo óptimo de los frutos, calcio ayuda primordialmente en el desarrollo de la raíz y frutos y el fósforo es un indicador muy reactivo edáfico y ligeramente pasa a formas más complejas y luego son complicados en absorber por la vegetación (SAGARPA, 2012).

#### **4.2.2. Propiedades químicas de potasio, sodio, magnesio, calcio y capacidad de intercambio catiónico**

En la finca “Santa Eliza” del caserío San Pablo, se describe las características químicas de los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario, que los indicadores como: potasio que ayuda en desarrollo y calidad de los frutos; los sistemas en estudio muestran una clase media (100 – 240 ppm), sodio es uno de los elementos considerados benéficos, porque también estimulan el crecimiento de la planta; en los sistemas en desarrollo presentan de clase muy bajo, magnesio interviene en el proceso de la fotosíntesis, porque es uno de los componentes básicos de la clorofila; y se encuentra en muy baja cantidad en los sistemas en estudio, calcio relacionada con el crecimiento del sistema radicular y la calidad de los frutos; que en este estudio se encontró en cantidades bajas y finalmente el CIC de clase muy baja (Tabla 22).

**Tabla 22.** Propiedades químicas del suelo en los sistemas cacao, ex cocal, agroforestales/cítrico y bosque secundario

<b>Sistemas</b>	<b>Muestra</b>	<b>K (ppm)</b>	<b>Na (Cmol<sup>(+)</sup>/kg)</b>	<b>Mg (Cmol<sup>(+)</sup>/kg)</b>	<b>Ca (Cmol<sup>(+)</sup>/kg)</b>	<b>CIC</b>
Ex cocal	M <sub>1</sub>	156,3650	0,227	0,398	3,340	4,288
Ex cocal	M <sub>2</sub>	178,8892	0,313	0,399	3,450	4,634
Ex cocal	M <sub>3</sub>	167,2055	0,325	0,418	3,480	4,710
Bosque secundario	M <sub>1</sub>	158,7214	0,339	0,428	3,430	4,668
Bosque secundario	M <sub>2</sub>	160,7942	0,271	0,437	3,540	4,712
Bosque secundario	M <sub>3</sub>	151,2436	0,236	0,439	3,590	4,645
Cacao	M <sub>1</sub>	160,4327	0,275	0,401	3,180	4,247
Cacao	M <sub>2</sub>	167,9406	0,265	0,420	3,320	4,445
Cacao	M <sub>3</sub>	172,7491	0,334	0,408	3,250	4,474
SAF/cítrico	M <sub>1</sub>	154,2624	0,266	0,400	3,180	4,275
SAF/cítrico	M <sub>2</sub>	158,2213	0,314	0,396	3,170	4,336
SAF/cítrico	M <sub>3</sub>	167,6333	0,288	0,396	3,150	4,316

SAF: Sistema agroforestal; K: Potasio; Na: Sodio; Mg: Magnesio; Ca: Calcio; CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

En la finca “Santa Eliza” el elemento potasio muestra una clase media, su contenido junto con otros elementos como nitrógeno y fósforo repercute en el incremento y expansión de los arbustos, del mismo modo el elemento sodio no se considera un nutrimento primordial porque hay otros elementos que podían remplazar como el potasio, sin embargo, la excedencia perjudica a la planta bloqueando cationes de otros elementos como K, Ca y Mg, finalmente estos dos elementos tiene una relación es decir para que haya una apropiada sustento nutricional en las plantas, se ha mencionado que la buena correspondencia Ca/Mg es de 1:1 a 15:1, por lo tanto los elementos deben estar en equilibrio para el mejor expansión del sistema radical y que las plantas puedan tener buena capacidad de absorber agua y nutriente con la finalidad de robustez y resistencia a las enfermedades de la planta (SAGARPA (2012); INTAGRI (2017b); INTAGRI (2016) y COMPO EXPERT (2020).

La capacidad de retener y liberar cationes llamado también CIC, por lo tanto, los corpúsculos de arcilla y partículas orgánicas del suelo manifiestan cargas negativas y los cationes atraen estas cargas por fuerza de electrostática, sin embargo, los suelos con elevado CIC y MO son considerados suelos de alta fertilidad por su retención de nutrientes (SAGARPA, 2012).

### 4.2.3. Correlación de las propiedades del suelo en estudio

En los cultivos de estudio cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario en el caserío San Pablo, la propiedad de textura del suelo muestra correlación con otros atributos fisicoquímicas del medio edáfico (Tabla 23).

**Tabla 23.** Correlación de las propiedades fisicoquímicas con la textura del suelo

<b>Propiedades fisicoquímicas</b>	<b>N</b>	<b>r</b>	<b>p-valor</b>
Densidad aparente	3	0,896	0,079 <sup>ns</sup>
Resistencia a la penetración	3	0,878	0,103 <sup>ns</sup>
Temperatura del suelo	3	0,663	0,643 <sup>ns</sup>
pH	3	0,745	0,532 <sup>ns</sup>
MOS	3	0,831	0,251 <sup>ns</sup>
N	3	0,115	0,943 <sup>ns</sup>
P	3	0,286	0,853 <sup>ns</sup>
K	3	0,178	0,937 <sup>ns</sup>

ns: no existe diferencias estadísticas.

En consistencia la correlación es una medida de correspondencia recíproca entre dos variables categóricas, sin embargo, las variables en estudio muestran que la densidad aparente, resistencia a la penetración y materia orgánica muestran una correlación alta con textura del suelo. Mientras tanto las variables temperatura del medio edáfico, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio muestran correlación baja y muy baja. Finalmente, no existe diferencias entre variables en evaluación.

### 4.3. Calidad del suelo en los sistemas de uso mediante el SUSS (subíndice de Uso Sustentable del Suelo)

En la finca denominado “Santa Eliza” de propiedad el Sr. Reynaldo Ponce, situado en la localidad San Pablo correspondiente al distrito Daniel Alomía Robles “Pumahuasi”. Las parcelas de estudio de los cuatro sistemas en consideración son: cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario. En los cuatro cultivos los indicadores de calidad del medio edáfico tienen las siguientes condiciones: Conductividad eléctrica y pH del suelo de condición “aceptable” en sus contenidos, densidad aparente, fósforo, calcio y nitrógeno son de condición “sensible” debajo de los valores óptimos, materia orgánica es de condición “marginal” distante al valor deseable y finalmente los indicadores sodio, magnesio y CIC en condiciones de “Pobre” completamente alejados de los niveles deseables (Tabla 24).

La determinación de los sistemas de estudio con índice de calidad del medio edáfico a través del SUSS son los siguientes: en el mejor orden se ubica el sistema de bosque secundario y cacao con un valor de 0,67 de calidad de suelo “sensible” indica que los parámetros en consideración son muy alejados de los óptimos, debajo se ubican los sistemas ex cocal y SAF/cítrico con valores 0,62 y 0,60 de calidad de suelo “marginal” indica que son distantes de los valores deseables (Tabla 25 y Figura 3).

**Tabla 24.** Valores normalizados de los cuatro sistemas en estudio

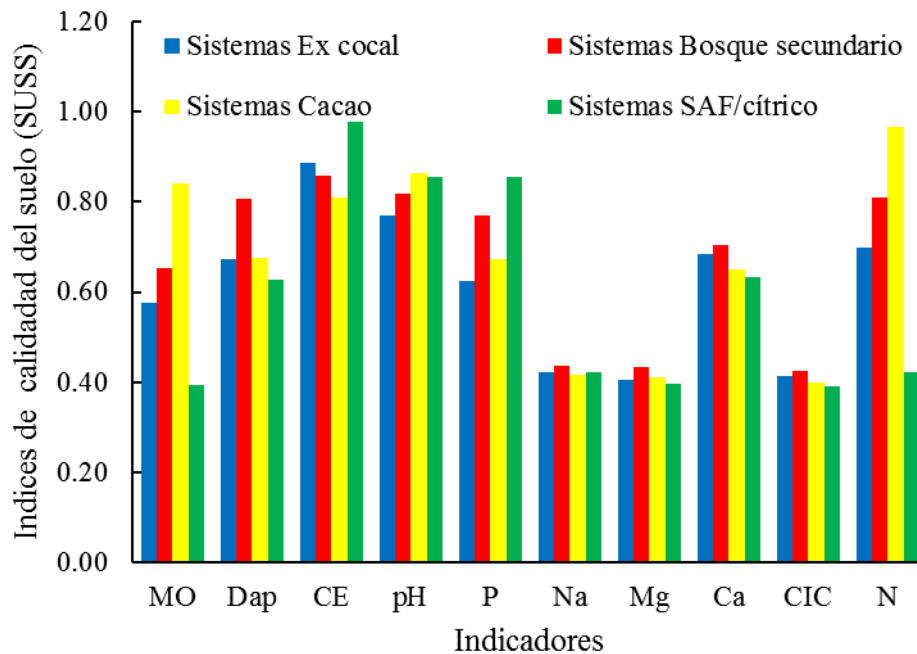
Indicador	Unidad de medida	Sistemas				SUS S	Calidad del indicador
		Ex cocal	Bosque secundario	Cacao	SAF / cítrico		
MO	%	0,58	0,65	0,84	0,39	0,62	Marginal
Dap	gr/cm <sup>3</sup>	0,67	0,81	0,68	0,63	0,70	Sensible
CE	dS/m-1	0,89	0,86	0,81	0,98	0,88	Aceptable
pH	pH	0,77	0,82	0,86	0,86	0,83	Aceptable
P	ppm	0,63	0,77	0,67	0,86	0,73	Sensible
Na	Cmol(+)/kg-1	0,42	0,44	0,42	0,42	0,42	Pobre
Mg	Cmol(+)/kg-1	0,41	0,43	0,41	0,40	0,41	Pobre
Ca	Cmol(+)/kg-1	0,68	0,70	0,65	0,63	0,67	Sensible
CIC	Cmol(+)/kg-1	0,41	0,43	0,40	0,39	0,41	Pobre
N	%	0,70	0,81	0,97	0,42	0,72	Sensible

SAF: Sistema agroforestal; SUSS: Subíndice de uso sustentable del suelo.

**Tabla 25.** Índice de calidad mediante el SUSS (subíndice de uso sustentable del Suelo)

Sistemas	Indicadores										SUSS	CS
	MO	Dap	CE	pH	P	Na	Mg	Ca	CIC	N		
Ex cocal	0,58	0,67	0,89	0,77	0,63	0,42	0,41	0,68	0,41	0,70	0,62	Marginal
Bosque secundario	0,65	0,81	0,86	0,82	0,77	0,44	0,43	0,70	0,43	0,81	0,67	Sensible
Cacao	0,84	0,68	0,81	0,86	0,67	0,42	0,41	0,65	0,40	0,97	0,67	Sensible
SAF/cítrico	0,39	0,63	0,98	0,86	0,86	0,42	0,40	0,63	0,39	0,42	0,60	Marginal
Promedio de la finca	0,62	0,70	0,88	0,83	0,73	0,42	0,41	0,67	0,41	0,72	0,64	Marginal

MO: Materia orgánica; Dap: Densidad aparente; CE: Conductividad eléctrica; P: Fósforo; Na: Sodio; Mg: Magnesio; Ca: Calcio; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; N: Nitrógeno; SUSS: Subíndice de uso sustentable del suelo; CS: Calidad del suelo.



**Figura 3.** Índices de calidad del suelo en los cuatro sistemas.

La salud del medio edáfica hace mención como una medida de la capacidad para desarrollar oportunamente con relación a uno en especificidad, también se podría denominar la calidad del suelo como medida a la calidad de la salud del medio edáfico en específico (SAGARPA, 2012). Sin embargo, la salud del medio edáfico repercute en el buen funcionamiento de los atributos físicas del suelo y estas muestran o expresan en los indicadores edáficas sensibles (textura, profundidad del suelo, infiltración, densidad aparente y capacidad de retención de agua) a las modificaciones en el uso del suelo (Sánchez, 2024 y SAGARPA, 2012).

Las características físicas del medio edáfico repercuten en la salud edáfica como la estructura y sus agregados permitiendo transitar favorablemente el agua y oxígeno y tener disponible entre las raíces de los arbustos para la absorción, también el sistema edáfico en óptimas circunstancias muestra entre 40 a 60% de su volumen en macro y microporos que estas permiten el mejor desarrollo (agua y oxígeno) al sistema radical (Sánchez, 2024; SAGARPA, 2012 y Bautista et al., 2004).

Los atributos químicas del medio edáfico influyen de manera relevante como por ejemplo el pH es un atributo química que incide de manera fundamental en el sistema flora y fauna de manera que los valores de  $\text{pH} < 5,5$  el mecanismo de trabajabilidad de las bacterias y actinomicetos es menor y su desarrollo de actividad es mejor bajo condiciones

neutras, sin embargo, la tabla anterior del estudio muestra condiciones aceptables para el desarrollo de los microorganismos (SAGARPA, 2012 y Sánchez, 2024). Los atributos químicos del medio edáfico atribuyen en la particularidad edáfica de manera recíproco, porque se contemplan las situaciones que influyen la relación suelo-planta y también un contenido adecuado en cada uno de los elementos químicos para un funcionamiento óptimo de los microorganismos (Cedeño-Coll et al., 2024 y Bautista et al., 2004).

Un indicador es una característica, atributo que sintetiza y facilita la comprensión de información importante, permitiendo que una naturaleza o situación de interés sea perceptible. Además, tiene la función de cuantificar, medir y transmitir dicha información de manera clara y accesible (Cantú et al., 2007). Por lo cual, los atributos físicoquímicos comunican información relevante en una parcela en estudio, los sistemas ex cocal y SAF/cítricos en el momento específico se encuentran en condiciones “Marginales” significa que están muy distantes de los valores deseables, bajos en contenidos de componentes nutricionales, en consecuencia, muestra damnificada como por ejemplo la compactación, erosión al final sucede el bajo dinamismo del suelo (Calderón-Medina et al., 2018).

## V. CONCLUSIONES

1. La caracterización de las propiedades físicas en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario. Presenta evidenciando con textura franco y franco arenoso, densidad aparente con clases de aceptable y afecta; restringe el crecimiento radicular, resistencia a la penetración entre resistente y moderadamente resistente, la temperatura del suelo esta entre los rangos de 20 a 26 °C.
2. La caracterización de las propiedades químicas en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario. Presenta evidenciando con pH moderadamente y ligeramente ácido, materia orgánica de clase media, conductividad eléctrica no muestra efectos cuestionables, nitrógeno con clase media, fósforo con clase bajo, potasio con clase media, sodio con clase muy bajo, magnesio con una clase muy baja, calcio con una clase baja y CIC con una clase muy baja.
3. En el fundo “Santa Eliza” en los sistemas de cacao, ex cocal, agroforestal/cítrico y bosque secundario ubicado en el caserío San Pablo con calidad de suelo “Marginal”

## **VI. PROPUESTA A FUTURO**

1. El estudio se realizó en la finca “Santa Eliza”, el cual caracterizamos una finca hasta conocer su calidad, la propuesta sería conocer la calidad del suelo de todo el caserío San Pablo con la organización y esfuerzo de las autoridades y población en general tocar puertas a las organizaciones privadas y públicas para concretar el propósito con la finalidad del uso sostenible (sostener el equilibrio fértil del suelo por un largo periodo) del suelo que es un recurso relevante para el desarrollo de la población (sustento comestible).
2. Las propiedades físicas y químicas sensibles, que su contenido altere, significativo con mayor interacción son considerados indicadores para conocer la calidad del suelo, pero estamos obviando al indicador biológico que mantiene vivo al suelo como: organismos de macro y micro, bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos, artrópodos, tasa de respiración, tasa de descomposición y biomasa microbiana.
3. Evaluar los indicadores en periodos en avenidas de invierno.

## VII. REFERENCIAS

- Adriaanse, A. (1993). *Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands*. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Anderson, J. M., Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility a handbook of methods*. (2nd ed.) C·A·B International.
- Arevalo, E. (2014). *Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional, UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1758>
- Arévalo, G. E., Sánchez-Amaya, J. M. y Guillen-Marquina, I. (2023). Estudio del contenido materia orgánica por dos métodos analíticos en suelos de Honduras. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1), 1-13. <https://doi.org/10.15359/rca.57-1.11>
- Arshad, M. A., Coen, G. M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture*, 7, 25-31.
- Arzuaga, S. A., Fernández-López, C., Dalurzo, H. C., Vázquez, S. (2005). Fósforo total, fósforo orgánico y fosfatasa ácida, en entisoles, alfisoles y vertisoles de Corrientes con diferentes usos agrícolas. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 66, 1-4.
- Astier, M., Mass-Moreno, M., Etchevers, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605- 620.
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R. F., Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista: Ecosistemas*, 13(2), 90-97. <http://hdl.handle.net/10045/8708>
- Blum, E. H. W., Santelises, A. A. (1994). *A concept of sustainability and resilience based on soil functions*. Soil Resilience and Sustainable Land use CAB Int., Wallingford and Oxon. UK. 535-542 p.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo*, 25(2), 173-178.
- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P. y 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. *Orinoquia*, 22(2), 141-157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Cedeño-Coll, E. P., Dilas-Jiménez, J. O. y Carrillo-Zenteno, M. D. (2024). Cambios de algunas propiedades químicas en tres suelos salinos, tratados con cinco enmiendas cálcicas. *Agromía Costarricense*, 48(1), 111-123.

- Celis-Tarazona, R., Florida-Rofner, N., Rengifo-Rojas, A. (2020). Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. *Revista Ciencia UNEMI*, 13(33), 01-09.
- COMPO EXPERT. (2020). *Nutrición mineral, importancia del magnesio en la producción de cultivos*. Nutriente esencial en la producción de cultivos. <https://www.compo-expert.com/sites/default/files/2020-07/Journal%20Nutrici%C3%B3n%20Mineral.pdf>
- DEVIDA (Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas). (2005). *Monitoreo de Cultivos de Coca*. Informe de monitoreo de cultivos de Coca en el Perú. 80 p. [https://www.unodc.org/pdf/andean/Part4\\_Peru\\_es.pdf](https://www.unodc.org/pdf/andean/Part4_Peru_es.pdf)
- Dumanski, J., Gameda, S., Pieri, C. (1998). *Indicators of land quality and sustainable land management*. The World Bank, Washington DC, USA.
- Doran, J. W., Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Defining and Assessing Soil Quality for sustainable Environment. *Soil Science society of America*, 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Encarnación, E. (2022). *Efecto del manejo convencional de Erythroxylum coca en indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo, en Padre Abad – Ucayali*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional, UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2196>
- EOS DATA ANALITICS. (2020). *Tipos De Cultivos Agrícolas: Maximizando Su Rendimiento*. <https://eos.com/es/blog/tipos-de-cultivos-agricolas/>
- 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. [http://www.iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/Publicacion\\_1526.pdf](http://www.iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/Publicacion_1526.pdf)
- Flores, L., Alcalá, J. R. (2010). *Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de Suelos*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Harold, W., Hocker, J. (1984). *Introducción a la Biología Forestal*. AGT Editor, S.A. México. 446 p.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6 ed. México. 600 p. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hildenbrand, E., Thurian, G. (1996). *Bodenprobenahme und bewertung von bodenkontaminationen*. Malsheim, Germany. Kontakt y Studium, Band 507.

- Holdridge, L. (1997). *Estudio socioeconómico de la sub región de Huánuco*.
- Hosokay, M. O. (2015). *Calidad de suelo en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge - Tingo María*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional, UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/453>
- Huisa, D. (2020). *La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (Coffea arabica) var. catimor en el anexo Alto Pitocuna del distrito de Río Negro-Satipo, 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional, Continental. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8447/4/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Huisa\\_Altamirano\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8447/4/IV_FIN_107_TE_Huisa_Altamirano_2020.pdf)
- Hünemeyer, J. A., De Camino, R., Müller, S. (1997). *Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Inocencio, E. T. (2022). *Distribución espacial de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo en el fundo "Cárdenas", en Nuevo Progreso Padre Abad 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional, UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2210>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2016). *Los elementos benéficos para las plantas*. Artículos técnicos. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/los-elementos-beneficos-para-las-plantas>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2017a). *Los factores de formación del suelo*. Serie suelos. Núm. 27. Artículos técnicos de INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/los-factores-de-formacion-del-suelo>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2017b). *Las funciones del potasio en la nutrición vegetal*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El%20potasio%20se%20ha%20asociado,calidad%20de%20frutas%20y%20hortalizas>.
- López, J. (2010). *Manual de sistemas agroforestales para el desarrollo rural sostenible. Proyecto JIRCAS*. Informe de estudio de validación de medidas contra el calentamiento global” basado en la Forestación y Reforestación – MDL. 63 p. [https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/manual\\_guideline/manual\\_guideline- - 42.pdf](https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/manual_guideline/manual_guideline- - 42.pdf)

- Llorente-Isidro, M. (2002). *Formaciones Superficiales*. Resumen del Manual de Edafología – P. H. Douchafour, 1987.
- MPLP (Municipalidad Provincial de Leoncio Prado). (2008-2015). *Plan de desarrollo concertado de la Provincia de Leoncio Prado*. Gerencia de planeamiento y presupuesto. <https://www.munitingomaria.gob.pe/mplp/sites/default/files/mplp/documentosdegestion/PDC2008-2015.pdf>
- Nichols, K. A., Toro, M. (2011). Whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil & tillage research*, 111(2), 99-104.
- Noellemeyer, E. J., Álvarez, M. L., Leizica, J. E., Gómez, F., Quiroga, A., Fernández, R., Frasier, I., Álvarez, C. (2021). Guía para la evaluación visual de la calidad de suelo. *Revista: Nuestro Suelo*, 6, 5-6. <http://hdl.handle.net/11336/157764>
- Paredes, M. (2003). *Manual de cultivo del cacao*. Ministerio de Agricultura. Programa para el desarrollo de la amazonia proamazonia. <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>
- Perdomo, C. H., Casanova, O. N., Ciganda, V. (1998). *4° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. Relevamiento de Contaminación de aguas con NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en distintas zonas del Uruguay. ALHSUD, Montevideo – Uruguay.
- Pinos, D. S. (2022). *Calidad del suelo a partir de indicadores físicos y químicos aplicado a tres usos de suelo para la generación de propuestas de gestión por impactos en el suelo por acciones antrópicas en el bosque y vegetación protectores de Sunsun – Yanasacha*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio Institucional, UPSC. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21860/1/UPS-CT009562.pdf>
- Rangel-Mendoza, J. A., Silva-Parra, A. (2020). Agroforestry systems of *Theobroma cacao* L. affects soil and leaf litter quality. *Rev. Colombia Forestal*, 23(2), 75-88. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392020000200075&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392020000200075&script=sci_abstract&tlng=es)
- Sánchez, M. C. (2024). *Índices de calidad del suelo en sistemas integrales de producción en el caserío Peregrino, distrito Daniel Alomía Robles – Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional, UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2687>

- 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.
- Schwartzmann, T. M. (2019). *Cambios en la calidad del suelo en un sistema agroforestal comparado con un pastizal en Madre De Dios*. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur]. Repositorio institucional, Científica. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/807>
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). (2020). *Pronóstico del tiempo para Tingo María (Huánuco)*. [senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=10&localidad=0025#:~:text=Viernes%2023%3A-,30%C%20%2F%2020%C,nublado%20al%20atardecer%20%2C%20lluvia%20frecuent e.](https://senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=10&localidad=0025#:~:text=Viernes%2023%3A-,30%C%20%2F%2020%C,nublado%20al%20atardecer%20%2C%20lluvia%20frecuent e.)
- Singer, M. J., Ewing, S. (2000). *Soil Quality*. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Smith, J., Wil de Jong, C. S., Kaimowitz, D. (1997). *Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina*. Ponencia presentada al taller internacional sobre el estado actual y potencial de manejo y desarrollo del bosque secundario tropical en América Latina, celebrado en Pucallpa, Perú. [https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/OccPapers/OP-13.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-13.pdf)
- Soriano, M. D. (2018). *pH del suelo*. Universitat Politècnica de Valencia, 1-10. <https://riunet.upv.es/bitstream/10251/102382/1/Soriano%20-%20pHdel%20suelo.pdf>
- SQI (Soil Quality Institute). (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- SSS (Soil Survey Staff) U.S. National Cooperative. (1994). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*.
- Supo, J., Zacarías, H. (2020). *Metodología de la investigación científica* (3ra ed.). Bioestadístico EEDU EIRL.
- Taylor, M. D. (2010). A review of soil quality indicators and five key issues after 12 yr soil quality monitoring in the Waikato region. *Soil Use and Management*, 26, 212–224.
- USDA (United States Department of Agriculture). (2008). *Soil Quality Indicators*. Soil Structure & Macropores.

- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). (1999). *Soil quality test kit guide*. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Services, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. Washington, DC, USA.
- Villalobos-Barquero, V. y Meza-Montoya, A. (2019). Impacto en la densidad aparente del suelo provocado por el tránsito de búfalos (*Bubalus bubalis*) en arrastre de madera. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 147-155. <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.8>

## **ANEXOS**

**Tabla 26.** Operacionalización de las variables

<b>Variables de caracterización</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valor final</b>	<b>Tipo de variable</b>
Textura del suelo	Clases texturales	Clases texturales	Categórica nominal
Arcilla	Proporción de porcentaje	%	Numérica continua
Arena	Proporción de porcentaje	%	Numérica continua
Limo	Proporción de porcentaje	%	Numérica continua
Densidad aparente	Proporción volumen	g/cm <sup>3</sup>	Numérica continua
Resistencia a la penetración	Fuerza	kg/m <sup>3</sup>	Numérica continua
Temperatura del suelo	Grados Celsius	°C	Numérica continua
pH	Grado de acidez o alcalinidad	0-14	Numérica continua
Materia orgánica	Carbono orgánico total	%	Numérica continua
Conductividad eléctrica	Cantidad de conductancia	ds/m <sup>-1</sup>	Numérica continua
Nitrógeno total	Concentración de nitrato y nitrito	%	Numérica continua
Fósforo total	Cantidad de fosfatos	ppm	Numérica continua
Potasio intercambiable	Cloruro de potasio	ppm	Numérica continua
Sodio intercambiable	Concentración de sodicidad o sales	Cmol <sup>(+)</sup> /kg	Numérica continua
Magnesio intercambiable	Concentración de magnesio	Cmol <sup>(+)</sup> /kg	Numérica continua
Calcio intercambiable	Concentración de calcio	Cmol <sup>(+)</sup> /kg	Numérica continua
Relación adsorción de sodio (RAS)	Concentración de RAS	RAS	Numérica continua
CIC	Cantidad de cargas minerales	Cmol <sup>(+)</sup> /kg	Numérica continua
<b>Variable de interés</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valor final</b>	<b>Tipo de variable</b>
Propiedades fisicoquímicas	Calidad de suelo	Bueno, aceptable, sensible, marginal y pobre.	Categórica ordinal

## Anexo 2. Panel fotográfico



**Figura 4.** Ubicación, medición de la parcela de estudio en el sistema cacao.



**Figura 5.** Equipos e instrumentos de medición del estudio.



**Figura 6.** Recolección de muestras de suelo en el sistema SAF/cítricos.



**Figura 7.** Georeferenciación de la parcela de estudio del sistema bosque secundario.



**Figura 8.** Recopilando datos de las parcelas de estudio, sistema ex cocal.



**Figura 9.** Secado de muestras de suelo.



**Figura 10.** Pesado de muestras de densidad en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.



# ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: PONCE VALENTIN YUSY  
 PROCEDENCIA: SAN PABLO - DANIEL ALOMIA ROBLES - LEONCIO PRADO - HUANUCO  
 RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

FECHA DE REPORTE: 21/02/2024  
 RECIBO N° 34881

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO					ANÁLISIS QUÍMICO					ANÁLISIS QUÍMICO										
	LAB.	LAB.	Arma	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICa	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
			Ao	Arc	Lo	%	0-14 dSm	M.O.	total	Orgánico	ppm	ppm	Calcio	Magnasio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrogeno		%	%	%	%
1	S0124	COCA P1	41.15	18.06	40.78	Franco	6.23	0.26	2.51	0.126	1.458	4.159	156.365	4.288	3.340	0.398	0.322	0.227	0.000	---	100.000	0.000	0.000
2	S0125	COCA P2	33.15	26.06	40.78	Franco	5.96	0.38	3.58	0.1788	2.0742	3.9725	178.8692	4.634	3.450	0.399	0.472	0.313	0.000	---	100.000	0.000	0.000
3	S0126	COCA P3	51.15	16.06	32.78	Franco	6.27	0.50	3.19	0.1895	1.8499	4.0659	167.2055	4.710	3.480	0.418	0.487	0.325	0.000	---	100.000	0.000	0.000
4	S0127	PURMA P1	45.15	26.06	28.78	Franco	5.97	0.31	2.95	0.1474	1.7098	4.3462	166.7214	4.668	3.430	0.428	0.470	0.339	0.000	---	100.000	0.000	0.000
5	S0128	PURMA P2	47.15	22.06	30.78	Franco	6.28	0.46	4.11	0.2054	2.3825	5.0935	160.7942	4.712	3.540	0.437	0.464	0.271	0.000	---	100.000	0.000	0.000
6	S0129	PURMA P3	41.15	26.06	32.78	Franco	6.18	0.43	3.24	0.1619	1.8780	5.5606	151.2436	4.645	3.590	0.439	0.380	0.236	0.000	---	100.000	0.000	0.000
7	S0130	CACAO P1	53.15	16.06	30.78	Franco Arenoso	6.11	0.31	3.00	0.1498	1.7378	15.0890	160.4327	4.247	3.180	0.401	0.391	0.275	0.000	---	100.000	0.000	0.000
8	S0131	CACAO P2	57.15	16.06	24.78	Franco Arenoso	6.38	0.54	4.64	0.2319	2.6908	18.9190	167.9406	4.445	3.320	0.420	0.440	0.285	0.000	---	100.000	0.000	0.000
9	S0132	CACAO P3	55.15	16.06	28.78	Franco Arenoso	6.45	0.45	5.22	0.2609	3.0272	16.3968	172.7491	4.474	3.250	0.408	0.481	0.334	0.000	---	100.000	0.000	0.000
1	S0133	SAF CON CITRICO P1	31.15	26.06	42.78	Franco	6.36	0.27	2.27	0.1136	1.3174	7.8960	154.2624	4.275	3.180	0.400	0.429	0.266	0.000	---	100.000	0.000	0.000
2	S0134	SAF CON CITRICO P2	45.15	16.06	36.78	Franco	6.47	0.35	2.32	0.1160	1.3464	6.9618	168.2213	4.336	3.170	0.396	0.466	0.314	0.000	---	100.000	0.000	0.000
3	S0135	SAF CON CITRICO P3	37.15	22.06	40.78	Franco	6.02	0.27	2.22	0.1111	1.2894	6.9618	167.6333	4.316	3.150	0.396	0.482	0.288	0.000	---	100.000	0.000	0.000

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Tingo Maria  
 Dr. HUACALUPA HUAMANI YUPANQUI  
 Jefe del Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 Tingo Maria  
 Ing. GILMER HUAYAN NEIRA TRUJILLO  
 Profesional del Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología