

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA  
SELVA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**



**CALIDAD DE SUELO EN PARCELA EN *Theobroma cacao* (CACAO) DE  
DIFERENTES EDADES EN EL FUNDO FORTALEZA DE TINGO MARÍA –  
HUÁNUCO, 2023**

**Tesis**

**Para optar el Grado Académico de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,  
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**JORGE LUIS HUAMAN AYALA**

**Asesor**

**Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE**

**Tingo María – Perú**

**2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**UNIDAD DE POSGRADO**  
**DIRECCIÓN**



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

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS**  
**Nro. 002-2025-UPG-FRNR-UNAS**

En la ciudad universitaria, siendo las 03:00 p.m. del martes 18 de febrero del 2025, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“CALIDAD DE SUELO EN PARCELA EN *Theobroma cacao* (CACAO) DE DIFERENTES EDADES EN EL FUNDO FORTALEZA DE TINGO MARÍA – HUÁNUCO, 2023”**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **HUAMAN AYALA, JORGE LUIS**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** Acto seguido, a horas **04:15 p.m.** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....  
Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ  
**Presidente del Jurado**

.....  
Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO  
**Miembro del Jurado**



.....  
ING. M.Sc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS  
**Miembro del Jurado**

.....  
Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE  
**Asesor**



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 295 - 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% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

### Programa de Estudio:

Maestría en Ciencias en Agroecología Mención: Gestión Ambiental

### Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
CALIDAD DE SUELO EN PARCELA EN <i>Theobroma cacao</i> (CACAO) DE DIFERENTES EDADES EN EL FUNDO FORTALEZA DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO, 2023	JORGE LUIS HUAMAN AYALA	10 % Diez	Menor a 20 %

Tingo María, 08 de setiembre de 2025.

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

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## ESCUELA DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

#### MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL



#### CALIDAD DE SUELO EN PARCELA EN *Theobroma cacao* (CACAO) DE DIFERENTES EDADES EN EL FUNDO FORTALEZA DE TINGO MARÍA – HUÁNUCO, 2023

<b>Autor</b>	: HUAMAN AYALA, Jorge Luis
<b>Asesor</b>	: Dr. Casiano Aguirre Escalante
<b>Programa de investigación</b>	: Gestión Ambiental
<b>Línea(s) de investigación</b>	: Desarrollo Sostenible
<b>Eje temático de investigación</b>	: Sistema de producción
<b>Lugar de ejecución</b>	: Tingo María
<b>Duración</b>	: Inicio: 26 de diciembre del 2023 : Termino: 18 de noviembre del 2024
<b>Financiamiento</b>	: Propio.
<b>Monto</b>	: S/.6,449.2

Tingo María – Perú

2023

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACION DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”

### REGISTRO DE PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO, INVESTIGACION DOCENTE

<b>Universidad</b>	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
<b>Escuela de posgrado</b>	: EPG-UNAS
<b>Posgrado</b>	: Maestría en: Ciencias en Agroecología
<b>Mención Objetivo General</b>	: Gestión Ambiental : Determinar la calidad de suelo en diferentes años del cultivo cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María – Huánuco – 2023
<b>Autor de la Tesis</b>	: Ing. Jorge Luis, Huaman Ayala
<b>DNI</b>	: 45757629
<b>Correo Electrónico</b>	: Jorge.huaman@unas.edu.pe
<b>Asesores de Tesis</b>	: Dr. Casiano Aguirre Escalante
<b>Área de Investigación</b>	: Gestión Ambiental
<b>Grupo de Investigación</b>	: Sistema de producción
<b>Línea de Investigación</b>	: Desarrollo sostenible
<b>Lugar de Ejecución</b>	: Fundo Fortaleza Tingo María
<b>Fecha de inicio</b>	: 26/12/2023
<b>Fecha de termino</b>	: 18/11/2024
<b>Presupuesto</b>	: S/.6,449.2
<b>Financiamiento</b>	: Propio (X )    FEDU (    )    Externo (    )

Según: Resolución: N° 461-2023-R-UNAS y Resolución: N° 295-2023-R-UNAS

Ing. Jorge Luis Huaman Ayala  
Tesisista

Dr. Casiano Aguirre Escalante  
Asesor

## DEDICATORIA

A Dios, por iluminar mi camino en cada en cada paso de esta aventura. Su fuerza y sabiduría me han brindado la determinación para superar los desafíos y alcanzar esta meta.

A mis padres: Victor y Marlene, por su apoyo constante y su confianza puesta en mí. Este logro es un testimonio del valor de sus enseñanzas.

A mis queridos hermanos: Victor, Adrian y Carlos , por ser mi fuente de alegría y fortaleza. Su apoyo y comprensión han hecho que esto sea más llevadero y significativo.

A mí : Gracias por no rendirme, incluso en los días en que todo parecía más difícil. Gracias por levantarme cada vez que caí, por mantener la esperanza y por seguir adelante cuando las dudas y el cansancio me querían detener.

Les dedico a cada uno de ustedes por ser parte fundamental de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible este logro con su apoyo y compromiso.

Primero y ante todo a mi familia por su constante apoyo y aliento durante mi vida profesional.

A Damaris Lizbeth por brindarme su comprensión, apoyo, tiempo y experiencia para la ejecución de mi proyecto.

Expreso mi profundo agradecimiento a la institución educativa que me brindó una formación de calidad, la cual fue determinante para mi desarrollo profesional. Esta casa de estudios constituyó el pilar de mi crecimiento y aprendizaje, proporcionándome las herramientas necesarias para afrontar los retos que surgieron a lo largo de esta investigación.

A mi asesor, el Dr. Casiano Aguirre Escalante, por su valiosa guía y paciencia. Su acompañamiento académico y profesional fue fundamental para el desarrollo y la culminación de esta investigación.

A los miembros de jurado de mi tesis por sus exhaustivas revisiones y sugerencias que han sido fundamentales para mejorar la calidad de esta investigación.

## ÍNDICE

	Página
RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	12
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general .....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.2. Estado del arte .....	12
2.2.1. Antecedentes nacionales.....	12
2.2.2. Antecedentes internacionales .....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Lugar de ejecución.....	16
3.1.1. Ubicación política .....	17
3.1.2. Ubicación geográfica.....	17
3.2. Características ambientales de la zona de estudio .....	18
3.2.1. Suelo.....	18
3.2.2. Clima .....	18
3.2.3. Vegetación.....	18
3.3. Materiales y Métodos .....	18
3.3.1. Materiales y Equipos de campo .....	19
3.4. Tipo de investigación .....	19
3.4.1. Tipo y nivel de investigación .....	19
3.4.2. Diseño de investigación .....	20
3.4.3. Variables.....	20
3.5. Metodología.....	21

3.5.1. Determinación de indicadores de calidad físicas del suelo .....	21
3.5.2. Determinación las características químicas del suelo: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, H <sup>+</sup> , Al, %AC, %SB y CIC). .....	21
3.5.3. Determinación de la calidad del suelo (ICS) a través del método Cantú.....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4.1. Características físicas del suelo del cultivo de cacao en el fundo fortaleza.....	25
4.2. Características químicas del suelo en el cultivo de cacao del fundo fortaleza: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, H <sup>+</sup> , Al, %AC, %SB y CIC).....	26
4.3. Calidad del suelo a través del índice de calidad (ICS) de Cantú, en el manejo tradicional de cacao.....	28
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	33
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
ANEXOS .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Rango de interpretación del método SUSS.....	6
2. Clases de calidad de estrada.....	7
3. Clase de calidad de Cantú.....	7
4. Valores de corte y deseables de indicadores de calidad del suelo. ....	24
5. Rangos interpretativos del ICS. ....	24
6. Clases de calidad de suelos.....	24
7. Características físicas del suelo del cultivo de cacao en el fundo fortaleza Resistencia a la penetración (Da y Porosidad) y textura.....	25
8. Características químicas del suelo en el cultivo de cacao del fundo fortaleza. .	26
9. Análisis de Correlación de Pearson las características fisicoquímicas del suelo de los cultivos de diferentes edades de cacao. ....	27
10. Calidad del suelo a través del índice de calidad de suelo (ICS) de Cantú, en el manejo cacao.....	29
11. Análisis de Normalidad – Shapiro-Wilks. ....	41
12. Análisis de homogeneidad – Levene. ....	41
13. Potencial de hidrogeno.....	42
14. Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.....	42
15. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.25284 del pH. ....	42
16. Kruskal Wallis de C.E. ....	42
17. Análisis de la Varianza (SC tipo III) del C.E. ....	42
18. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07418 del C.E.....	43
19. Kruskal Wallis Materia orgánica. ....	43
20. Análisis de la Varianza (SC tipo III) de materia orgánica.....	43
21. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37889 de materia orgánica. ....	43
22. Kruskal Wallis del Nitrógeno. ....	44
23. Kruskal Wallis de Carbono.....	44
24. Análisis de la Varianza (SC tipo III) del Carbono.....	44
25. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28688 del Carbono. ....	44
26. Kruskal Wallis de Fosforo. ....	45
27. Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fosforo. ....	45
28. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.29278 del fosforo. ....	45

29. Kruskal Wallis del K20.....	45
30. Análisis de la Varianza (SC tipo III) del K20.....	46
31. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=25.40861 del K20. ....	46
32. Kruskal Wallis del CIC.....	46
33. Análisis de la Varianza (SC tipo III) del CIC. ....	46
34. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37020 del CIC. ....	47
35. Kruskal Wallis del calcio.....	47
36. Análisis de la Varianza (SC tipo III) del calcio. ....	47
37. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.14122 del calcio. ....	47
38. Kruskal Wallis del magnesio. ....	48
39. Kruskal Wallis del magnesio. ....	48
40. Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio. ....	48
41. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.17991 del potasio. ....	48
42. Kruskal Wallis del sodio.....	49
43. Análisis de la Varianza (SC tipo III) de sodio. ....	49
44. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01018 del sodio. ....	49
45. Kruskal Wallis de la densidad aparente.....	49
46. Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la densidad aparente.....	50
47. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.17710 de la densidad aparente. ....	50
48. Kruskal Wallis de la porosidad.....	50
49. Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la porosidad. ....	50
50. Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.68315 de la porosidad. ....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Triángulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto sostenibilidad. (Hünemeyer et al. 1997).....	8
2. Triángulo para determinar las clases de texturas FAO (2015).....	10
3. Clasificación de la densidad aparente FAO (2015).....	10
4. Diseño de investigación .....	20
5. Fuente de iones de impacto electrónico. ....	22
6. Procesos primarios de la fotometría. ....	23
7. Imagen del sistema de manejo de plantación de cacao de 6 años. ....	53
8. Distanciamiento de 5 metros para la colecta de la muestra compuesta en el sistema de cacao. ....	53
9. Toma de muestra a 15cm de profundidad del suelo en el sistema de cacao. ....	54
10. Apertura del hoyo para la toma de muestra y el costal para su recepción de la muestra. ....	54
11. Colección de la muestra dentro de un costal y verificando la profundidad de 15 cm. ....	55
12. Hominización de las submuestras colectadas para tomar una única muestra representativa de las 9 submuestras en campo. ....	55
13. Toma de muestra después del mezclado de las submuestras. ....	56
14. Plantación del sistema de cacao de 4 años. ....	56
15. Mortero y pilón de hierro fundido para triturar las muestras del sistema de cacao. .....	57
16. Muestra triturada para determinar los parámetros del suelo. ....	57
17. Muestras de suelos pulverizada para determinar los parámetros del suelo. ....	58
18. Determinación de los parámetros del sistema de cacao. ....	58
19. Vasos precitados con papel filtro. ....	59
20. Determinación de los parámetros. ....	59
21. Muestras disgregadas para la medición de diferentes parámetros del suelo. ....	60
22. Medición de parámetro pH en el laboratorio de agronomía. ....	60
23. Tubos de ensayos de 20 ml para determinar fosforo.....	61
24. Determinación de materia orgánica. ....	61
25. Determinación de fosforo por el instrumento espectrofotómetro UV. ....	62

26. Identificación de las muestras con el instrumento espectrofotómetro de absorción atómica. ....	62
--	----

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la calidad de suelo en diferentes años del cultivo de cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María, Huánuco. Se realizó una investigación aplicada, no experimental mixta, descriptiva comparativa, y un “Diseño de Bloques Completos al Azar”, donde se evaluó tres tratamientos, cacao de 8 años, cacao de 4 años y cacao de 2 años. Se determinó las características físicas y químicas del suelo, y luego se determinó los indicadores de calidad de los suelos a través del método Cantú. De los resultados se encontró influencia de la edad en la densidad aparente y porosidad, en el cultivo de 8 años de edad presentó menor densidad aparente (0.98 Pss/Vs) y mayor porosidad (63%). Los tres suelos presentaban una textura manejable. Los tres cultivos presentaron un pH básico (8.42 a 8.07), la conductividad eléctrica se encontró desde los valores de 0.47 a 0.54 dS/m. El contenido de materia orgánica fue mayor en los suelos de 8 años (2.63%) y la CIC en el cultivo de 6 años. A medida que la edad era mayor del cultivo, aumentaban sus valores de N, C y se reducía el P y K. Sobre las variables de Ca, Mg y Na, no se encontró diferencia significativa. No hubo aluminio en ninguno de los tres tipos de suelos. En la calificación general de calidad de suelo los cultivos de 4 años de edad presentaron moderada calidad de suelo (0.45 de valor de ICS), pero para los cultivos de 6 (0.60 de valor de ICS), y 8 años de edad (0.63 de valor de ICS) fue alta calidad.

Palabras claves: Indicadores de calidad de suelo, cacao, edad.

## ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the quality of the soil from different ages of the cacao crop on the Fortaleza farm in Tingo Maria, Huánuco, [Peru]. An applied, mixed non-experimental, comparative descriptive, and of a completely randomized block design research was done, where three treatments were evaluated, eight year old cacao, four year old cacao and two year old cacao. The physical and chemical characteristics of the soil were determined, and later the indicators of the soil quality using the Cantu method. Of the results, it was found that the age influenced the apparent density and porosity, in the eight year old crop a lower apparent density was presented (0.98 Pss/Vs) and a greater porosity (63%). The three soils presented a manageable texture. The three crops presented a basic pH (8.42 to 8.07), [and] the electrical conductivity was found to be from values of 0.47 to 0.54 dS/m. The organic matter content was greater in the soil with eight year old [plants] (2.63%) and the CEC (CIC in Spanish) for the six year old crop. At the measure in which the age was greater for the crop, the N [and] C values increased and the P and K [values] decreased. Regarding the Ca, Mg and Na variables, no significant differences were found. There was no aluminum in any of the three types of soil. For the general classification of soil quality, the four year old crops presented a moderate soil quality (0.45 SCI value (ICS in Spanish)), but for the six (0.60 SCI value) and eight year old crops (0.63 SCI value), the quality was high.

Keywords: soil quality indicators, cacao, age.

## I. INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego MINAGRI (2022), menciona que el cultivo de cacao reporta 137 633 T ha<sup>-1</sup> para el Perú 2022 siendo el producto de primer orden en la selva, no solo porque forma parte de la dieta alimenticia de las familias rurales y urbanas, sino también porque varias maneras de generar ingresos económicos para cubrir las necesidades básicas de los productores.

El manejo orgánico del cacao no afecta ninguna de las características de la calidad suelo; de esta manera, este sistema agrícola innovador integra prácticas tradicionales con tecnologías modernas, constituyéndose en una alternativa prometedora para el desarrollo de sistemas sostenibles. Su implementación no solo facilita la producción de alimentos, sino que también contribuye a la conservación de los ecosistemas. Asimismo, mejora las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. En este sentido, la incorporación de insumos orgánicos favorece una mejor absorción de nutrientes en las plantas. Como resultado, se observa un incremento en los niveles de carbono orgánico, mayor aireación y capacidad de retención de humedad. Además, se reduce la acidez, la pérdida de nutrientes y la erosión, lo que se traduce en una calidad superior del suelo. Por el contrario, el manejo agrícola tradicional, basado en conocimientos y tecnologías limitadas, muestra una menor productividad y sostenibilidad en comparación con estos sistemas modernos.

En este contexto, se plantea como problema a través de la interrogante ¿Cuál es la calidad del suelo en los cultivos de cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María? La investigación se fundamenta en la ausencia de información de data física, químicas y biológica científica local que muestren la variabilidad de la calidad del manejo tradicional del cacao sobre los indicadores físicos, químicos y biológico de la calidad de suelo en el fundo Fortaleza de Tingo María, para una adecuada información de los cultivos; así mismo conocer las características físicas, químicas y biológicas de las áreas de trabajo. Por lo que la investigación se plantea la siguiente hipótesis la calidad del suelo en los cultivos de cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María ha variado en los últimos años, presentando cambios en los niveles de nutrientes y características físicas que afectan el crecimiento del cacao.

### **1.1. Objetivo general**

- Determinar la calidad de suelo en diferentes años del cultivo cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María – Huánuco – 2023

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas del suelo en diferentes años del cultivo de cacao en el fundo fortaleza
- Determinar las características químicas del suelo en diferentes años del cultivo de cacao del fundo fortaleza.
- Determinar la calidad del suelo a través del índice de calidad (ICS) de Cantú, en diferentes años del cultivo de cacao del fundo fortaleza.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Manejo tradicional del cacao

El árbol del cacao, *Theobroma cacao* L., produce frutos esenciales para la producción de chocolate y azúcar, entre otros productos. Productos con propiedades nutricionales y organolépticas, considerados entre los más nutritivos y organolépticos por los habitantes del mundo. La industria hortícola en diferentes regiones tiene sus métodos de producción óptimos, lo que conduce a diferentes formas de desarrollo económico y se ha convertido en una fuerza que tiene la capacidad de acrecentar la calidad de vida de los individuos. Según estas especies, pertenecen a los bosques tropicales (Suramérica) y son nativas de las áreas contempladas del río Amazonas (López et al., 2020).

Se considera que el cultivo del cacao tuvo su origen en la cuenca del Amazonas y, en la actualidad, se produce en diversas de los trópicos húmedos. Cabe destacar que alrededor del 90 % de la fabricación mundial de cacao procede de pequeños cultivadores. Por otra parte, dentro del género *Theobroma* L., se han identificado más de 20 especies, aunque *T. cacao* es el único linaje que se cultiva de forma extensiva (Romero et al., 2017).

#### 2.1.2. Calidad del suelo

Este concepto enmarca a la habilidad del suelo a ser utilizado o explotado sin comprometer sus funciones esenciales ni sufrir degradación (Meza et al., 2017; García et al., 2012). En consecuencia, desde la década de 1990, la comunidad científica ha mostrado un creciente interés por la calidad de la tierra y la sostenibilidad agrícola, fundamentándose en principios clave como la fertilidad, la seguridad alimentaria, la conservación ambiental, la viabilidad económica y la accesibilidad.

La calidad y la sanidad de la tierra son concepciones semejantes y no siempre se consideran equivalentes (Doran y Parkin, 1994). La calidad debe comprenderse de manera amplia como el provecho de un suelo para un propósito determinado (Carter et al., 1997). El estado dinámico de las propiedades del suelo en momentos específicos, como el contenido en el recurso orgánica, la biodiversidad o consecuencia de microorganismos, da forma a la sanidad del suelo (Romig et al., 1995).

Las preocupaciones relacionadas con la calidad del suelo no son recientes (Lowdermilk, 1953; Doran et al., 1996; Karlen et al., 1997; Singer y Ewing, 2000). Históricamente, esta concepción se asociaba principalmente con la fertilidad agrícola, ya que las diferencias entre tierra y suelo eran menos evidentes. Se consideraba que los suelos de alta calidad eran aquellos capaces de maximizar los rendimientos y minimizar la erosión, lo que dio lugar a sistemas de clasificación fundamentados en estas premisas (Doran y Parkin, 1994), los cuales acotan enfoques como "tierra agrícola básica".

Actualmente, la concepción de calidad del suelo se vincula estrechamente con la sostenibilidad, aunque este último término admite diversas interpretaciones. Por ejemplo, Budd (1992) lo define como la capacidad de una superficie para sostener a un determinado número de individuos, mientras que Buol (1995) enfatiza que el uso de la tierra debe alinearse con su capacidad para suministrar elementos fundamentales, dado que estos son finitos y, en consecuencia, restringen la productividad.

A partir de su popularización en la última década (Carlin et al., 1997), el concepto de calidad del suelo ha sido analizado desde distintas perspectivas. Este incorpora componentes como la productividad, el potencial productivo, la sostenibilidad y la calidad ambiental. Asimismo, se considera un instrumento clave para evaluar la utilidad y la sanidad de este recurso. Sin embargo, a pesar de su relevancia, el conocimiento del suelo aún enfrenta desafíos significativos para establecer una definición clara y consensuada sobre lo que implica el término "calidad del suelo".

### **2.1.3. Índice de la calidad de suelo**

Se basa en estandarizar las magnitudes de diversos indicadores de calidad de la tierra y tiene dos formulaciones muy consolidadas, SAGARPA (2012) y Cantú et al. (2009), este estudio empleará una adecuación de estas dos proposiciones, las cuales se definen como:

El método Subíndice de Uso Sostenible del Suelo (SUSS) propuesto por SAGARPA (2012) propone un método para determinar el índice de calidad del suelo con los fundamentos de otros métodos sin embargo basado en criterios de cálculo incrementados. Indicadores, incluso conocidos como indicadores relativos. Este método es útil para monitorear los cambios a lo largo del tiempo debido al uso de técnicas específicas de manejo del suelo y para valorar de forma completa los impactos. El SUSS

combina indicadores de calidad fisicoquímicos estandarizando cada indicador del suelo (SAGARPA, 2012).

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

*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 analizados*

Donde:

#### **2.1.4. Índice de calidad de Cantú**

El ICS incluye variables lo cual permiten valorar las condiciones del suelo por intermedio de indicadores. Es un instrumento para valorar, crear investigación periférica sobre propiedades, características y procesos. Los indicadores son propiedades medibles del suelo que exhiben contestaciones a la fertilidad o función del suelo y describen el impacto del manejo en la calidad y degradación de las prácticas agrícolas (Estrada et al., 2017). Ningún SCI es adecuado en los enfoques y circunstancias (Cantú et al., 2007).

ICS es una variable numérica derivada de indicadores biológicos, químicos y físicos de la tierra y es un análisis integral de las condiciones del suelo mediante la aplicación de fundamentos estadísticos tales como aglomerado mínima data (MDS) y el análisis de componentes principales (PCA) para lograr una evaluación precisa y confiable. ) (Sarmiento et al., 2018). Adicionalmente, una computara esencial es la elección de las métricas de evaluación, conforme a Sarmiento et al. (2018), Estrada et al. (2017), Prieto et al. (2013) y Cantú et al. (2007) A la fecha no existe asentimiento entre la generalidad científica, por lo que existe poca estandarización del método considerando la diversidad de superficies existentes, lo que imposibilita la aplicación de estos indicadores de manera estandarizada. A pesar de ello, los mismos autores recomiendan la aplicación de los siguientes criterios para determinar los indicadores de evaluación: concepto teórico, tipo y condiciones ideales de suelo, disponibilidad de nutrientes,

disposición de carbonatos, rendimiento máximo, contextos climatológicos y experiencia de los investigadores locales.

### 2.1.5. Método SUSS

Uno de los métodos más sencillos y facticos de utilizar es Subíndice de Uso Sostenible del Suelo (SUSS), que se basa en normalizar diferentes valores del índice de calidad del suelo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentación y Desarrollo Rural (SAGARPA, 2012), cuya sugerencia contempla Línea Base del Plan de Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales y tiene como objetivo valorar el impacto sobre los recursos suelo. SUSS desarrolla sus propios estándares para la interpretación de la calidad del suelo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Rango de interpretación del método SUSS

Calidad de suelo	Descripción
Buena (0,95 – 1,00)	La calidad es la deseable para llevar a cabo la actividad agrícola.
Aceptable (0,80 – 0,95)	La calidad está cercana a las condiciones deseables. Las variables se alejan un poco de los valores adecuados.
Sensible (0,65 – 0,78)	Los parámetros medios ocasionales se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0,45 – 0,65)	Los indicadores son distantes de los valores deseables.
Pobre (0,00- 0,45)	La calidad para fines agrícolas se encuentra amenazada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

### 2.1.6. Método ICS de estrada, Sarmiento y Cantú

Estos investigadores basaron su análisis en una combinación de criterios teóricos, el tipo de suelo, las condiciones ideales de este, el recurso de nutrientes y la existencia de compuestos de carbono. Además, consideraron factores como los rendimientos máximos, las condiciones climáticas y el conocimiento práctico aportado por expertos locales para desarrollar indicadores y criterios aplicables de manera similar. Finalmente, para determinar la calidad mediante este método, los valores de ICS se interpretan según las Tablas 2 y 3.

**Tabla 2.** Clases de calidad de estrada

<b>Clase</b>	<b>Escala</b>
<b>Exceso</b>	<b>1.00 - 1.30</b>
<b>Muy alta calidad</b>	<b>0,80 - 1,00</b>
<b>Alta calidad</b>	<b>0,60 - 0,79</b>
<b>Moderada calidad</b>	<b>0,40-0,59</b>
<b>Baja Calidad</b>	<b>0,20 - 0,39</b>
<b>Muy baja calidad</b>	<b>0,00 - 0,19</b>
<b>Déficit</b>	<b>-1,00 - 0,00</b>

**Tabla 3.**Clase de calidad de Cantú

<b>Índice de calidad de suelos</b>	<b>Escala</b>	<b>Clase</b>
<b>Muy alta calidad</b>	<b>0,80 - 1,00</b>	<b>1</b>
<b>Alta calidad</b>	<b>0,60 - 0,79</b>	<b>2</b>
<b>Moderada calidad</b>	<b>0,40 - 0,59</b>	<b>3</b>
<b>Baja Calidad</b>	<b>0,20 - 0,39</b>	<b>4</b>
<b>Muy baja calidad</b>	<b>0,00 - 0,19</b>	<b>5</b>

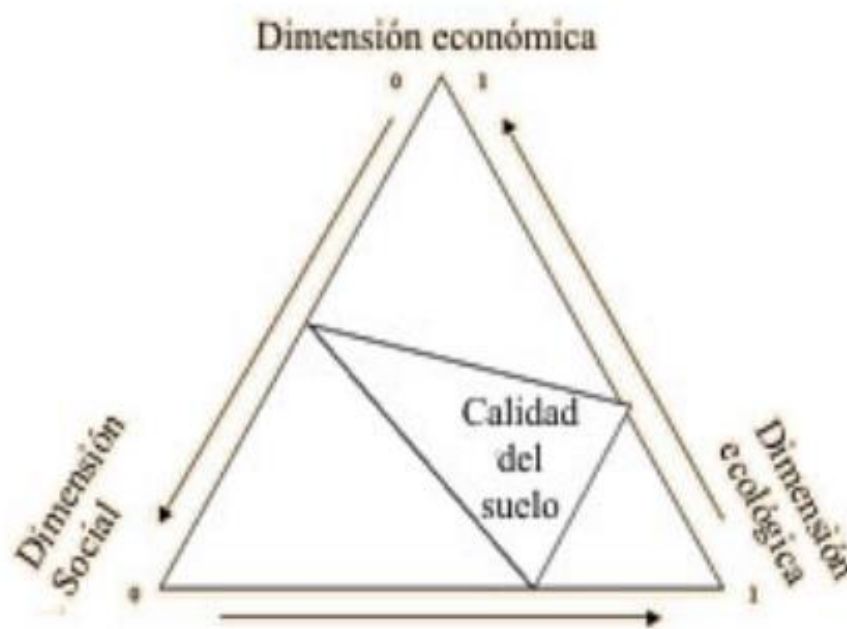
### **2.1.7. Indicadores de la calidad del suelo**

Aun cuando la creciente inquietud por el deterioro de la superficie de la tierra y su impacto tanto en el bienestar humano como en el medio ambiente, aún no se han establecido estándares globales con la finalidad de buscar en la calidad del suelo. Con la finalidad de mantener vigente este concepto, es necesario identificar variables que permitan estimar las circunstancias del suelo. Estas variables, conocidas como indicadores, reflejan un estado específico y proporcionan información sobre las variantes o tendencias que ocurren en dicho estado (Dumanski et al., 1998).

De acuerdo con Adriaanse (1993), un indicador es una herramienta analítica diseñada para cuantificar, simplificar y comunicar fenómenos complejos. Además, estos indicadores son ampliamente pertinentes en diversas disciplinas, como la economía, la salud y la gestión de recursos naturales, entre otras.

Los indicadores de calidad del suelo abarcan características biológicas, químicas y físicas, al igual que los procesos que se desarrollan dentro de ellos (SQI, 1996). Para Dumansky et al. (1998) señalaron que las señales no pueden ser un

aglomerado de señales elegidas específicamente para cada situación particular, sino que deben ser las mismas en todas las situaciones. La intención es posibilitar comparaciones válidas a nivel nacional e internacional. Los autores de este trabajo no coinciden con esta postura, argumentando que los indicadores utilizados reflejan las limitaciones esenciales del suelo según las funciones básicas evaluadas, tal como lo sugieren Astier et al. (2002). Hannemeyer et al. (1997) La identificación de indicadores debería posibilitar: (a) Examinar el contexto actual y determinar los puntos clave para el desarrollo sostenible. (b) Examinar los impactos potenciales antes de la intervención; (c) Monitorear los cambios de las intervenciones realizadas por el hombre; (d) Cooperar a determinar si el uso de los recursos es sustentable.



**Figura 1.** Triángulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto de sostenibilidad. (Hünemeyer et al. 1997).

### 2.1.8. Indicadores físicos de la calidad del suelo

Existen muchos indicadores concretos, sin embargo, algunos de ellos manifiestan raudamente a las modificaciones provocados por el manejo de la tierra y serán considerados en este estudio, entre ellos:

**La textura** hace referencia a las diferentes partes de arena, arcilla y limo, al igual que a los diferentes diámetros de los minerales, que definen la composición y sirven como estándar en función de las proporciones de cada parte.

El estándar es una interpolación tridimensional sobre una superficie plana dividida en 13 categorías o categorías de textura (Figura 1), establecida como sistema de clasificación por el Departamento de Agricultura de los Estados americanos (USDA) (FAO, 2021). Esta clase permite la inferencia directa de otras métricas físicas.

**La densidad aparente (Da)** es producto del manejo del suelo y es un buen indicador de cambio, mostrando la vinculación volumétrica del suelo y directamente una correlación con la magnitud de compactación y concentración de materia orgánica en el perfil. Valores mayores indican compactación o mayor porcentaje de arena, no obstante, menor Da ( $<1.30 \text{ kg m}^3$ ) indica circunstancias de porosidad adecuadas (FAO, 2015).

**La textura** de la tierra y la Densidad aparente, manifiestan una limitada relación, la modificación de uno de expresa mediante cambios en el otro, por ello, la Secretaría de Agricultura, Alimentación, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca - SAGARPA (2012) definió variaciones entre ambas variables, considerando su impacto en el crecimiento de las plantas (Tabla 1) estos parámetros son fundamentales al analizar los indicadores químicos relacionados con la calidad de suelo.

La textura y la densidad aparente presentan una estrecha relación, y los cambios en uno provocan modificaciones en el otro, por ello, la Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca, Ganadería y Alimentación - SAGARPA (2012) afirma que la densidad y la textura en función del acrecentamiento de las plantas (Tabla 1). Indicadores químicos de la calidad del suelo.

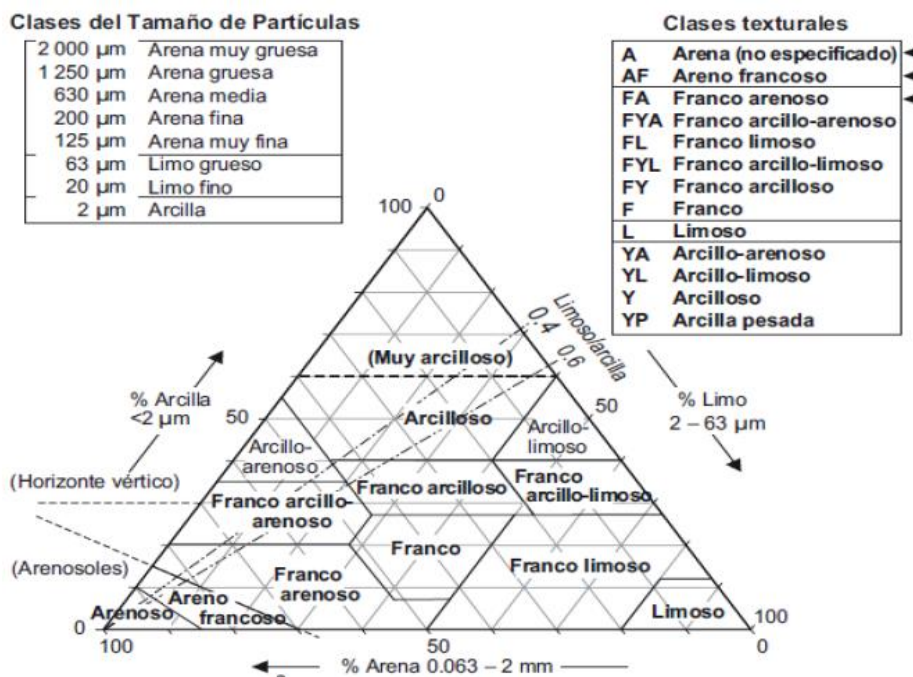
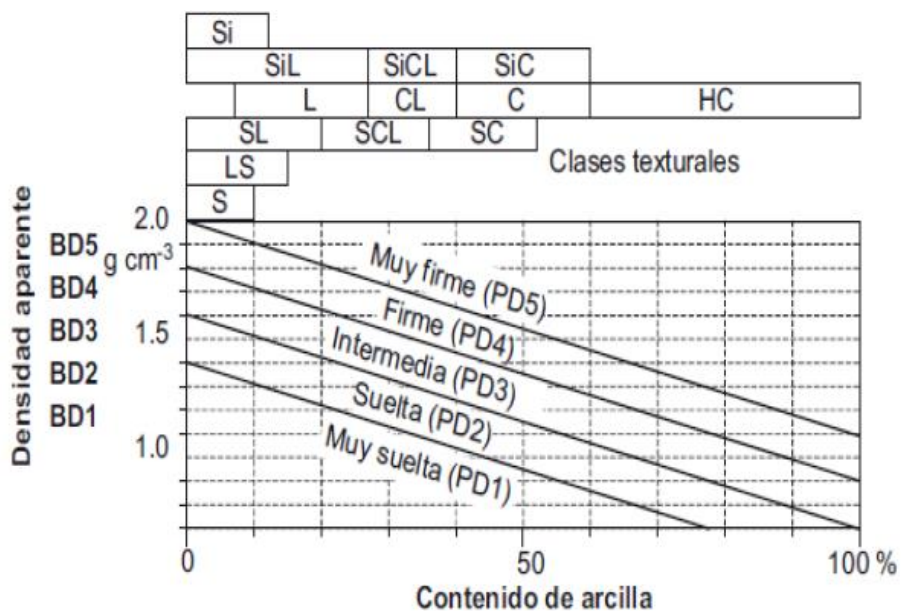


Figura 2. Triángulo para determinar las clases de texturas FAO (2015).



BD1 (0,9-1,2), BD2 (1,2 -1,4), BD3 (1,4-1,6), BD4 (1,6-1,8), BD5 >1,8 g/cm<sup>3</sup>

Figura 3. Clasificación de la densidad aparente FAO (2015).

### 2.1.9. Indicadores químicos de la calidad del suelo.

Los indicadores químicos mencionados (Tabla 4) hacen referencia a condiciones que influyen significativamente en las interacciones entre el suelo y las plantas, la capacidad amortiguadora del suelo y la calidad del agua, así como en la

disponibilidad de agua y nutrientes esenciales tanto para las plantas como para el microbiota (SQI, 1996). Los principales indicadores químicos del suelo incluyen la disponibilidad de nutrientes, el contenido de carbono orgánico (total y lábil), el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de adsorber fosfatos, el intercambio de cationes, y los niveles de materia orgánica, nitrógeno total y mineralizable.

**El potasio ( $K^+$ )**, un macro constituyente ampliamente empleado por las plantas en forma de ion  $K^+$ , tiene horizontes en el suelo que dependen de la liberación del potasio presente en la estructura de los filosilicatos (SAGARPA, 2012). Por otra parte, este elemento desempeña un papel crucial en la constitución vegetal, no solo al formar parte de los tejidos como un componente no estructural esencial, sino también al neutralizar los ácidos orgánicos generados durante la degradación o síntesis (Navarro y Navarro, 2003).

**El calcio ( $Ca^{2+}$ )**, es el catión de reacción básica más abundante en las plantas después del  $K^+$ , aunque presenta una baja capacidad de translocación dentro de los tejidos vegetales. Debido a esta característica, los tejidos jóvenes son particularmente susceptibles a manifestar deficiencias cuando los niveles de calcio en el suelo son insuficientes. Asimismo, este elemento desempeña un papel clave en la regulación del pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y en las interacciones sinérgicas con otros cationes (Navarro y Navarro, 2003).

**El magnesio ( $Mg^{2+}$ )**, componente esencial más diversos minerales, se encuentra en el recurso del suelo en forma de ion intercambiable. Los rangos de  $Mg^{2+}$  en el suelo dependen de múltiples factores, entre los que se incluyen el material parental, el tipo de minerales presentes, la textura de los diversos suelos, la densidad de otros cationes, el pH, las condiciones climáticas, la extracción realizada por las plantas y los aportes provenientes de la fertilización. Por otro lado, las deficiencias de magnesio suelen observarse en suelos ácidos, arenosos, fuertemente lixiviados y con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Havlin et al., 1999).

**Tabla 4.** Indicadores químicos de calidad del suelo.

<b>Químicas</b>		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha <sup>-1</sup>
pH	Define la actividad química y biológica	comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm <sup>-1</sup> ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Kg ha <sup>-1</sup> ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos

## 2.2. Estado del arte

### 2.2.1. Antecedentes nacionales

Soto (2023) llevó a cabo una investigación evaluando indicadores físicos y químicos del suelo, así como en el crecimiento del tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). El análisis estadístico destacó indicadores clave, entre ellos pH, recurso orgánico (MO), magnesio (Mg<sup>2+</sup>), nitrógeno (N), potasio (K<sup>+</sup>), aluminio (Al<sup>3+</sup>), calcio (Ca<sup>2+</sup>), capacidad de intercambio catiónico (CIC), acidez (AC), saturación de aluminio (SAI), arena y arcilla. Asimismo, se identificaron correlaciones significativas: una negativa entre Ca<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, y una positiva entre el pH, Al, SAI y AC con el incremento medio anual en altura (IMAA) y en diámetro (IMAD). Los resultados permitieron concluir que los tipos de horizontes de suelos analizados son predominantemente arcillosos, fuertemente ácidos, con bajos niveles de nutrientes y alta colmatación de aluminio, contextos favorables para esta especie forestal. Sin embargo, las plantaciones no mostraron un crecimiento satisfactorio en términos de altura y diámetro anual, evidenciando una reducción en la robustez de los individuos en localidades como Buenos Aires, Nueva Unión, Vista Alegre y Gervasio Santillana.

Inocencio (2022) llevó a cabo una investigación en la localidad de Nuevo Progreso, en la provincia de Padre Abad. Los resultados obtenidos revelaron coeficientes de variación (CV) bajos para arcilla, pH y potasio (K), mientras que se observaron valores medios para arena, limo, materia orgánica (MO), nitrógeno (N),

fósforo (P),  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de saturación de bases (%SB), porcentaje de acidez (%AC) y porcentaje de saturación de aluminio (%SAI). En general, la calidad del suelo se clasificó como baja o muy baja, con una distribución espacial del 52,24 % y 47,76 %, respectivamente. El análisis de componentes principales (ACP) identificó variables estadísticamente relevantes, como arena, limo, MO, N,  $K^+$ ,  $Al^{3+}$ , CIC, %AC, %SB y %SAI, todas con variaciones espaciales asociadas a su nivel de fertilidad, excepto  $K^+$ . En conclusión, los indicadores geoestadísticos revelan una alta variabilidad espacial, en contraste con los factores de multiplicidad. Estas diferencias se sustentan tanto a los factores inherentes al proceso de formación del suelo como al historial de manejo de la zona estudiada.

Apucusi (2019) llevó a cabo un estudio en Arequipa para evaluar la calidad ambiental a través de análisis fisicoquímicos y ecológicos, utilizando pruebas en un laboratorio acreditado por INACAL. Se calcularon los Índices de Calidad Ambiental (ICA-PE) y se realizó una caracterización hidrogeoquímica con la herramienta Excel INAQUA. El monitoreo se realizó durante las dos temporadas climáticas de la provincia: la húmeda (diciembre a mayo) y la seca (junio a noviembre), en siete estaciones distribuidas por la Mancomunidad Municipal Suroriental de Arequipa.

Los parámetros fisicoquímicos fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua potable y riego. La mayoría de las estaciones cumplieron con los rangos establecidos, excepto la estación ASUB-07, que mostró niveles elevados de coliformes totales debido a la presencia de heces animales cercanas al sitio. Los ICA-PE clasificaron la calidad del agua como "excelente" o "buena" en ambas temporadas. El fitoplancton y fitobentos predominantes fueron de la clase Bacillariophyta, indicando aguas oligotróficas, aunque en algunas estaciones se observaron cianobacterias, señalando condiciones eutróficas en esas zonas. Finalmente, la evaluación hidrogeoquímica reveló que las aguas subterráneas eran mayormente sulfatadas, cloruradas, bicarbonatadas, cálcicas, sódicas y magnésicas, sugiriendo que provienen de un mismo acuífero influenciado por flujos locales y su interacción con el suelo.

Melgarejo (2018) realizó un estudio en el distrito de La Molina, en el departamento de Lima, en el que se aplicaron 12 tratamientos a plantas utilizando agua con diferentes niveles de salinidad: 0,76 (T1), 1,3 (T2), 2,2 (T3), 3,5 (T4), 4,6 (T5), 5,7

(T6), 7,1 (T7), 8,5 (T8), 10 (T9), 12 (T10), 15 (T11) y 20 (T12) dS.m<sup>-1</sup>. Cada tratamiento se repitió 3 veces, aplicando un total de 36 macetas. Al finalizar el experimento, se encontró que las plantas que recibieron el tratamiento T1 (0,76 dS.m<sup>-1</sup>) mostraron el mayor crecimiento, tanto en peso fresco como en altura. Por el contrario, en los tratamientos con mayor salinidad, el rendimiento de las plantas disminuyó. En cuanto a la absorción de nutrientes, los tratamientos con 2,2 dS.m<sup>-1</sup> (T3) mostraron mayores concentraciones de potasio, calcio, magnesio y sulfatos. Además, se observó un aumento en las concentraciones de cloro y sodio conforme aumentaba la salinidad del agua de riego. Aunque el cultivo no presentó daños significativos, se notó una disminución en su rendimiento debido al aumento de la salinidad.

Ruiz (2016) realizó un estudio en la provincia de Yauyos, región Lima, cubriendo 40 hectáreas de cultivo. Se recolectaron muestras de suelo en dos épocas del año: durante la siembra (mayo) y la cosecha (julio) de 2015, utilizando 9 muestras a 0.0-0.30 m de hondura. Se usó fluorescencia de rayos X para analizar los elementos químicos y métodos normalizados para determinar los indicadores fisicoquímicos, como textura, densidad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, azufre, y micronutrientes. Los resultados mostraron suelos bien compactados, con texturas franca arcillo-arenosa y arenosa, baja salinidad, dosis moderadas de fertilizantes y altos contenidos de micronutrientes como hierro, cobre y zinc. No obstante, los suelos son potencialmente ácidos debido a la lixiviación de cationes básicos y la presencia de aluminio y hierro, originados por la geoquímica local. Para finalizar, se utilizaron métodos quimiométricos, como el análisis de componentes principales, para distinguir las diferencias entre las áreas de cultivo.

### **2.2.2. Antecedentes internacionales**

Martínez (2020) realizó un estudio en Argentina para evaluar el impacto de diferentes prácticas de manejo en las propiedades físicas del suelo, enfocándose en secuencias de cultivos con predominio de soja en dos sitios de la Región Pampeana (Arequito y Balcarce). Los resultados mostraron que, en ambos sitios, no hubo diferencias significativas en la Dap (0-5 y 5-10 cm) ni en la EA (0-10 cm) entre los tratamientos. En Balcarce, tampoco se observaron diferencias significativas en la RMP (0-20 cm) y la TI. En resumen, tras cuatro años, las prácticas de fertilización con P y S, la inclusión de cultivos de cobertura y la rotación con alto ISI no afectaron de manera

significativa los indicadores de calidad física del suelo en secuencias con predominio de soja.

Gil (2019) llevó a cabo un estudio en Palmira, Colombia, con el objetivo de evaluar el impacto de la fertilización química en el rendimiento y la calidad del forraje de yuca (variedad Blanca) en un suelo ácido de Cartagena del Chairá, Caquetá. Considerando que las cosechas repetidas de forraje generan un alto nivel de extracción de nutrientes del suelo, se utilizó la fórmula de necesidad de fertilización de Guerrero ( $NF = \frac{RPC-S}{E} * 100$ ) para determinar la cantidad de fertilizante. Se aplicaron tres tratamientos de fertilización (100%, 125% y 75%) y un testigo, con tres cosechas realizadas cada tres meses para evaluar el rendimiento y la calidad bromatológica del forraje.

Bueno (2022) realizó un estudio en Colombia para caracterizar de manera biofísica y social a 103 productores asociados, seleccionando 15 fincas para llevar a cabo un análisis fisicoquímico y microbiológico de sus suelos, junto con la identificación de coberturas y prácticas de manejo y conservación del suelo. Además, se evaluó la calidad del café en relación con los servicios ecosistémicos físicos y sanitarios mediante muestras de grano de café en cereza y se propuso un servicio ecosistémico cultural asociado al suelo. Finalmente, a través del Análisis Discriminante Lineal, se propusieron tres modelos de agroecosistemas cafeteros que reflejan la realidad agrícola de los caficultores de la Asociación Cuchilla de San Juan.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación de señalizar se realizó en el fundo fortaleza, distrito de Daniel Alomía Robles – Leoncio Prado región de Huánuco. El área de estudio cuenta con un bosque secundario y dos sistemas agroforestal uno de plátano y de cacao respectivamente, así mismo dentro de cada sistema agroforestal tienes plantas frutales como anona, aguaje, coco, zapote común, maíz choclo considerando que también se observa la presencia de animales silvestre como: añuje, muca, pájaro carpintero, manacaraco, mishansho, varias especies de serpientes, iguana y otros tipos de aves que cohabitan en área de estudio. Englobando la producción de arroz que también presenta el fundo Fortaleza tiene aproximadamente 60 hectáreas el fundo fortaleza y se encuentra a una distancia de 800 metros del río Huallaga por cual el suelo indica características de suelo aluvial.

El Ing. Saldivar me comentó que en enero de 2020 su trabajador llevó a cabo la basificación de los suelos de producción, aplicando una dosificación de un costal de basificante por hectárea de cultivo. Esta acción tuvo como objetivo mantener un pH óptimo en el suelo, favoreciendo así la disponibilidad de nutrientes esenciales y mejorando la productividad de los cultivos."

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo en campo de los diferentes años de cultivo de Cacao

PLANTACIÓN DE CACAO					
4 AÑOS		6 AÑOS		8 AÑOS	
E	N	E	N	E	N
393880,0	8986909,7	393914,9	8987032,1	393649,7	8987150,6
393893,0	8986836,3	393878,2	8987057,5	393743,0	8987263,6
393924,0	8986916,0	393847,6	8987007,4	393697,2	8987208,3
393906,0	8986917,0	393814,6	8987030,5	393721,3	8987163,3
393911,0	8986860,0	393840,4	8987065,7	393809,9	8987226,1
393927,0	8986834,0	393893,9	8987102,9	393698,4	8987148,3
393904,0	8986761,0	393839,9	8987101,7	393734,5	8987103,9

## PLANTACIÓN DE CACAO

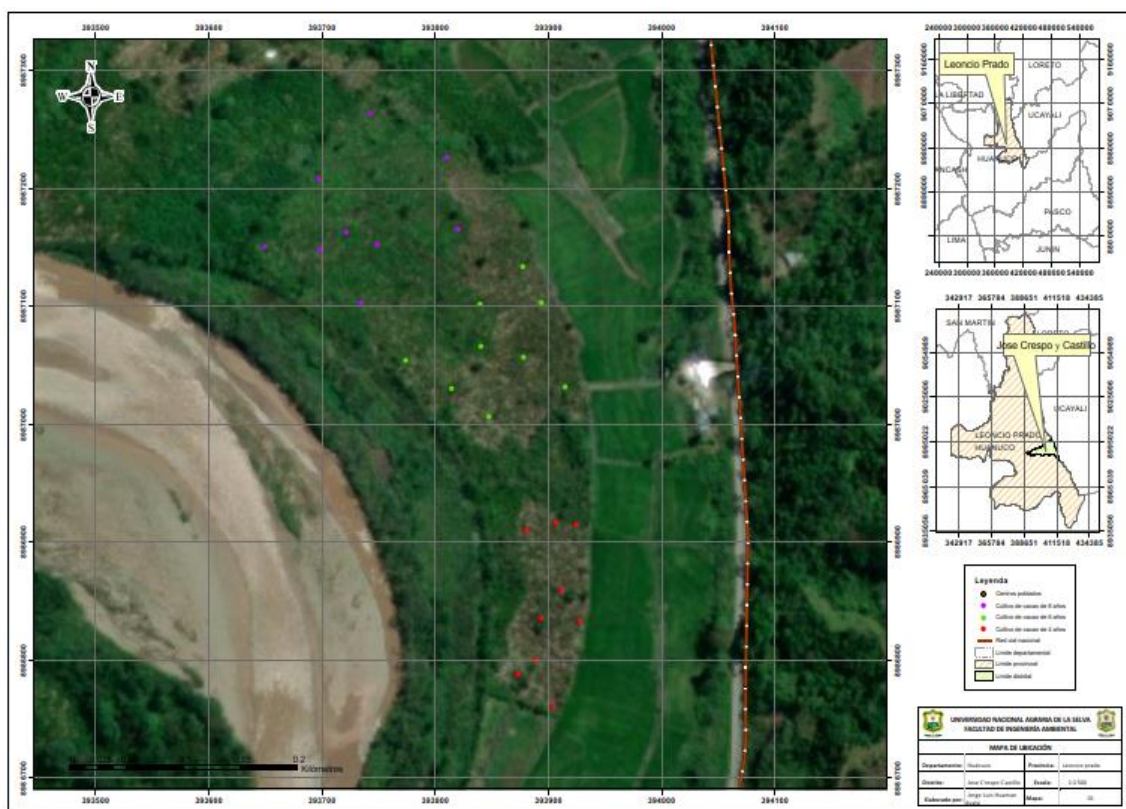
4 AÑOS		6 AÑOS		8 AÑOS	
E	N	E	N	E	N
393888,3	8986800,5	393877,5	8987133,3	393820,3	8987166,3
393872,8	8986787,8	393774,0	8987054,3	393748,5	8987152,7

### 3.1.1. Ubicación política

*Departamento* : Huánuco

*Provincia* : Leoncio Prado

*Distrito* : Luyando



**Figura 4.** Mapa de ubicación de la investigación

### 3.1.2. Ubicación geográfica

El fundo Fortaleza, geográficamente está situada de acuerdo con el sistema de Coordenadas. Proyección: UTM. Datum: WGS-84. Zona: 18 Sur:

*Este* : 390560

*Norte* : 8969756

*Altitud* : 705 m. s. n. m

## **3.2. Características ambientales de la zona de estudio**

### **3.2.1. Suelo**

Los suelos del fundo Fortaleza provienen de rocas sedimentarias, con predominancia de areniscas, y se localizan en terrazas medias. La textura del suelo es franca arenosa, con un drenaje y permeabilidad moderados. Presentan características de baja cantidad de materia orgánica tanto en la superficie como en los horizontes inferiores.

### **3.2.2. Clima**

El fundo Fortaleza se localiza en la región en ceja de selva (Tingo María), a altitudes que oscilan entre los 650 y los 1808 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media mensual en la zona es de 22 °C (SENAMHI, 2021), mientras que la lluvia trimestral entre noviembre de 2019 y 2020 alcanzó los 519.23 mm (UNAS, 2020).

### **3.2.3. Vegetación**

Los suelos de los sistemas agroforestales, que incluyen plátano de la variedad manzano, *Teobroma cacao* L. "cacao" variedad CCN-55 y *Calycophyllum spruceanum* Bent, "capirona", mostraron una mayor cantidad de individuos y una mayor densidad. En cambio, el sistema que incluye *Teobroma cacao* L. "cacao" variedad aromática CPM-15 presentó una densidad inferior. Así mismo se contempla animales locales se distinguen por su alta diversidad, pero su densidad es extremadamente baja. La biomasa por unidad de superficie es limitada. Aunque no se cuentan con registros históricos de caza, durante las visitas de campo se observó que las actividades y perturbaciones en la zona impactan negativamente la calidad del hábitat para la vida silvestre, así como la práctica de la caza de subsistencia por parte de la población. Según Finegan (2005), en un paisaje fragmentado, el hábitat original se reduce entre un 15% y un 60%.

## **3.3. Materiales y Métodos**

### **3.3.1. Materiales y Equipos de campo**

Se emplearon bolsas plásticas, marcadores, botas de protección y wincha para los trabajos de campo. En cuanto a los ensayos de laboratorio, se utilizaron pipetas pasteur, placas de toque, cápsula de porcelana, vidrio de reloj, cristizador, vaso precipitado, embudos de vidrio, frasco lavador embudo, mortero, pistilo, crisol, tubos de laboratorios, micropipetas, papel filtro N° 40, diversas substancias y matraces con volumen de 25, 500 y 1000 cm<sup>3</sup>.

Para la labor de campo se emplearon bolsas plásticas, marcadores, botas de protección y una wincha. En cuanto a los ensayos de laboratorio, se utilizaron probetas, embudos de vidrio, vasos de precipitación, tubos de ensayo, micropipetas, papel filtro N° 40, diversos reactivos y matraces de 25, 500 y 1000 cm<sup>3</sup>.

Para documentar las jornadas de campo, se empleó una cámara fotográfica, mientras que la ubicación se registró mediante un Sistema de Posicionamiento Global "GPS". Además, se empleó una báscula de 5 kg para pesar las muestras. En el laboratorio, se hizo uso de una balanza analítica, una estufa, un pHmetro de mano, una bureta digital, un atomic absorption spectrophotometer "FAAS" ultravioleta-Visible.

## **3.4. Tipo de investigación**

### **3.4.1. Tipo y nivel de investigación**

No experimental, transversal descriptivo porque las observaciones serán en determinado momento se identificarán la diversidad biológica y consistirá en elaborar un mapa de muestreo donde estarán los puntos de muestreo en coordenadas UTM. Se tendrá 27 puntos de muestreo, en cada unidad muestral de 15 cm de ancho por 15 cm de largo y 20 ò 15 cm de profundidad se recolecto muestras de suelo en cultivos de Cacao en suelos con características aluviales del rio Huallaga. (Relpah et al. 1996; bibby et al. 1993)

Sustentado en Hernández Sampieri (2004 p 270) que indica que la investigación transversal recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado." "Los diseños transeccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan una o más variables" (p. 273)

### 3.4.2. Diseño de investigación

El estudio corresponde a una investigación no experimental orientada a evaluar tres cultivos de cacao con diferente antigüedad: 8 años (C-T8), 6 años (C-T6) y 4 años (C-T4), todos con manejo agronómico del *Theobroma cacao*. Se determinaron un total de 27 muestras, distribuidas equitativamente entre los tres cultivos, conformando 9 unidades de muestreo compuesto por parcela; cada unidad, a su vez, estuvo integrada por 9 submuestras. Para la ubicación de los puntos de muestreo se empleó un software que permitió distribuir aleatoriamente los 27 puntos dentro de las parcelas, y la recolección de las muestras de suelo se realizó aplicando el método en zigzag.

C - T4			C - T6			C - T8		
1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M
1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M
1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M

**Figura 4.** Diseño de investigación

$$Y = U + B TC + E$$

Donde:

Y : Características físicas y químicas del suelo

U: Media general “esperanza”

B: Efecto del bloque

Tc: Efecto del tiempo de cultivo

E: Error experimental

### 3.4.3. Variables

**a) Independiente**

Efecto del cultivo del suelo de cacao de 4 años, 6 años y 8 años.

**b) Dependiente**

Edades de cultivos de Calidad de suelo: Física (resistencia a la penetrabilidad, textura y densidad aparente) y Química (MO, pH,  $N^+$ ,  $P^{3-}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  y CIC).

### 3.5. Metodología

#### 3.5.1. Determinación de indicadores de calidad físicas del suelo

La apreciación del suelo se realizará seguidamente con:

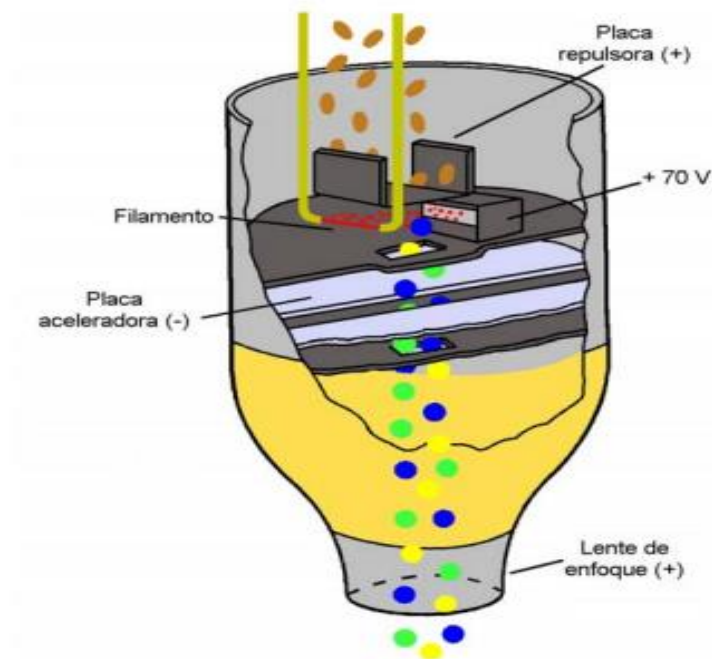
**a). Identificación de áreas a evaluar**, Residió en reconocer los sembradíos de *M. paradisiaca*, de diferentes variedades, y *Theobroma cacao*, con edades de 4, 6 y 8 años, las cuales han sido manejadas y aprovechadas sin procesos de modificación.

**b). Muestreo de suelos**, el procedimiento de muestreo, se definió una subárea de 1,500 m<sup>2</sup> dentro de las plantaciones, considerando su edad, y se realizaron extracciones de muestras no relacionadas (5 muestras por cada superficie), siguiendo los procedimientos establecidos por el Soil Survey Staff (2014).

**c). Análisis de muestras**, el estudio de textura se llevó a cabo utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos. Los rangos de pH en agua destilada (relación 1:2,50) fueron determinados mediante el procedimiento electrométrico. Los cationes  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  y  $Na^+$  fueron extraídos con acetato de amonio a pH 7 y cuantificados por absorción atómica. La presencia de fósforo disponible se comprobó mediante el método de Olsen modificado y análisis colorimétrico. El contenido de materia orgánica se midió por el método de Walkley & Black, mientras que la suficiencia de intercambio catiónico (CIC) se determinó mediante acetato de amonio a pH 7. Las formalidades utilizadas se describen en Bazán (2017).

#### 3.5.2. Determinación las características químicas del suelo: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, H<sup>+</sup>, Al, %AC, %SB y CIC).

El uso de un cromatógrafo de gases se convertido en una técnica ampliamente utilizada para el análisis de mezclas de compuestos mediante espectrometría de masas. Este sistema de introducción de muestras permite que los compuestos sean introducidos directamente en fase gaseosa, facilitando así su separación a través del cromatógrafo, que discrimina los diversos componentes de la mezcla de manera eficaz.



**Figura 5.** Fuente de iones de impacto electrónico.

Mediante la ionización por impacto electrónico, los elementos de la muestra se ionizan al ser bombardeadas por un haz de electrones de elevada energía.

La figura 1 se ve la fuente de iones

1.- Eliminación de un electrón:



2.- Eliminación de dos electrones:



3.- Captación de un electrón:



4.- Disociación de la molécula:



**Figura 6.** Procesos primarios de la fotometría.

El haz de moléculas interacciona en cuatro tipos de procesos primarios, como muestra la figura 2. Así mismo posteriormente se determinará cada uno de los metales del estudio de las características químicas del suelo.

### 3.5.3. Determinación de la calidad del suelo (ICS) a través del método Cantú

Con la data compilada de los diversos indicadores de calidad del suelo fueron transmutados a magnitudes randomizados, evaluados con los valores de deseables y corte (Tabla 2) además de referencias a otros autores (se muestran en el ANEXO 3). La determinación la clase de calidad y su interpretación se realizaron tomando en cuenta las Tabla 3 y 4 para cada tratamiento, según los valores medio por cada característica y promedios finales alcanzados con el ICS, en la Tabla 3 y 4 se muestra los promedios que determinan la calidad y su exégesis correspondientes.

**Tabla 2.** Valores de corte y deseables de indicadores de calidad del suelo.

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor Deseable (d)	Valor de corte (C)
MO	%	MO > 5	0.5
Da	g/cm <sup>3</sup>	Dap < 1.1	1.47
CE	dSm-1	CE < 1	4.1
pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5
P	mg kg-1	P > 5.5	0
Mg	Cmol <sup>(+)</sup> kg-1	Mg > 0.3	0
Ca	Cmol <sup>(+)</sup> kg-1	Ca > 5	0
CIC	Cmol <sup>(+)</sup> kg-1	CIC > 15	5
N	%	N > 0.2	0.05

**Tabla 3.** Rangos interpretativos del ICS.

Calidad de suelo	Descripción
Buena (0,95 a 1,00)	La calidad del suelo son las deseables para la actividad agrícola.
Aceptable (0,80 a 0,94)	La calidad está cercana a las condiciones deseables. Las variables poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible (0,65 a 0,79)	Los parámetros ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0,45 a 0,64)	Los indicadores son distantes de los valores deseables.
Pobre (0,00 a 0,44)	La calidad para fines agrícolas se encuentra amenazada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseable.

**Tabla 4.** Clases de calidad de suelos.

Índice de calidad de suelos	Escala	Clase
Muy alta calidad	0,80 - 1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada calidad	0,40 - 0,59	3
Baja Calidad	0,20 - 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 - 0,19	5

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características físicas del suelo del cultivo de cacao en el fundo fortaleza

De los resultados de densidad y porosidad (Tabla 5), se observó diferencias significativas entre los tratamientos, además, la densidad aparente tomaba menor valor a medida que se incrementaba la edad del cultivo. El cultivo de 8 años presentó menor densidad (0.98 Pss/Vs) y con mayor porosidad (63%); mientras el cultivo de 6 años tuvo valores intermedios (1.08 Pss/Vs y 59.12%), y el de 4 años, mayor densidad (1.16 Pss/Vs) y menor porosidad (56.24%).

**Tabla 5.** Características físicas del suelo del cultivo de cacao en el fundo fortaleza Resistencia a la penetración (Da y Porosidad) y textura.

Edad de suelo	Características físicas		
	Densidad aparente (Pss/Vs)	Porosidad (%)	Clase textura
4	1.16b	56.14a	Franco Arcillo Limoso
6	1.08ab	59.12ab	Franco
8	0.98a	63b	Franco arcilloso

Los suelos de 4 años presentaban una textura franco, arcilloso y limoso; el suelo de 6 años era sólo franco, y el suelo de 8 años era franco y arcilloso. Se podría afirmar que los tres suelos presentaban una textura manejable, favorable para el buen desarrollo de las plantas, porque permite retener agua, aerifica, traslado de minerales, entre otras cosas (FAO 2015).

Los valores de densidad aparente que fueron bajos son considerados mejores y posiblemente se obtuvieron porque el suelo se conservó mayor tiempo sin alterar su estructura. González et al. (2021) obtuvo mayor densidad aparente de suelos (1,33 Mg·m<sup>3</sup>) y sus plantas presentaban bajo vigor por lo que reflejaba cierta condición de compactación. Martínez et al (2019), demostró que un suelo que se conservó por 22 años sin alterar su estructura tuvo mejor porosidad y infiltración, estabilidad de agregados, menor densidad aparente y resistencia mecánica, dicho suelo permitió acrecentar a 51.08% en la productividad de maíz, que un suelo al que se había practicado barbecho con rastra.

Por lo que el cultivo de mayor edad obtuvo mejores características físicas del suelo (mejor densidad y porosidad del suelo) y posiblemente se debe a que presentaba mayor tiempo de conservación sin alterar las propiedades físicas del suelo y su calidad.

#### 4.2. Características químicas del suelo en el cultivo de cacao del fundo fortaleza: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, H+, Al, %AC, %SB y CIC)

Los tres cultivos presentaron un pH básico (Tabla 6), el de mayor valor (8.42) fue el cultivo de 4 años y menor valor (8.07) fue del cultivo de 8 años. Los valores de conductividad eléctrica (CE), se encontraron desde 0.47 a 0.54 dS/m; los suelos de mayor edad presentaron mayor CE, pero estos valores no fueron significativos estadísticamente.

El contenido de materia orgánica se encontró entre un rango de 0.11% a 2.63%, fue menor en los suelos de 6 años, luego seguía el de 4 años y mayor en los suelos de 8 años, es decir no fue proporcional a la edad. El contenido de N se encontraba entre los valores de 0.09 % a 0.24%; y el contenido de C, se encontraba entre 0.99 % a 1.53%. A medida que la edad era mayor del cultivo, aumentaban sus valores de N, C. Lo cual ocurría todo lo contrario con P y K, que presentaba valores entre (9.04 ppm a 12.78 ppm; 0.29 Cmol/kg a 0.47 Cmol/kg; respectivamente), se reducían a medida que aumentaba la edad del cultivo. Sobre las variables de Ca, Mg y Na, no se encontró diferencia significativa. Comparando las medias, el cultivo de 6 años presentó los valores más altos de CIC (8.47 Cmol/kg), Ca (6.82 Cmol/kg), Mg (1.143Cmol/k) y de Na (0.151 Cmol/kg); mientras, el de 8 años presentó menores valores de CIC (7.33 Cmol/kg), Ca (5.88 Cmol/kg), Na (0.146 Cmol/kg) y mediana cantidad de Mg (1.01 Cmol/kg). Además, no se encontró aluminio en ninguno de los tres tipos de suelos.

**Tabla 6.** Características químicas del suelo en el cultivo de cacao del fundo fortaleza.

SUELO	Análisis químico												
	EDAD (Años)	pH	CE	Materia orgánica	N	C	P	Ca	Mg	K	Na	Al	
			dS/m	M.O	total	Orgánico	Disponible	CIC	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio
			1:1	1:1	%	%	%	ppm	CAMBIABLES Cmol(+)/kg				
4	8.42b	0.47	1.7b	0.09a	0.99a	12.78a	7.97b	6.4b	0.94a	0.47a	0.147a	0.00	
6	8.23ab	0.5	0.11a	0.2a	1.31b	10.29a	8.47c	6.82c	1.143a	0.36a	0.151a	0.00	
8	8.07a	0.54	2.63c	0.24a	1.53b	9.04a	7.33a	5.88a	1.01a	0.29 <sup>a</sup>	0.146a	0.00	

Para interpretar mejor los resultados y evaluar las relaciones de las demás características del suelo con la edad, se aplicó el análisis de Correlación de Spearman (Tabla 7). Del cual, se observó una relación inversa entre la edad del cultivo con la densidad (47.5%). También, la edad se relacionaba con las variables, el pH (relación

inversa de 62.6%), con la CE (una relación directa de 41.8%), con la materia orgánica (una relación inversa de 62.3%), nitrógeno (relación directa de 65%), carbono (relación directa de 69.1%), calcio (una relación inversa de 50.4%), potasio (relación inversa de 40.2%). Con este análisis también se observó algunas relaciones entre los elementos químicos y otras físicas del suelo.

**Tabla 7.** Análisis de Correlación de Spearman las características fisicoquímicas del suelo de los cultivos de diferentes edades de cacao.

		EDAD	pH	CE	MO	NITROGENO	CARBONO	K2O	CIC	Ca	K
POROSIDAD	Coefficiente de correlación	0.277	-0.128	-0.053	-0.083	0.216	0.141	-0.131	-0.151	-0.033	-0.294
	Sig. (bilateral)	0.162	0.526	0.794	0.682	0.278	0.482	0.515	0.453	0.870	0.136
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
pH	Coefficiente de correlación	-.626**	1.000	-.658**	.427*	-.821**	-.784**	0.159	0.059	.400*	0.189
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.026	0.000	0.000	0.428	0.770	0.039	0.345
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
CE	Coefficiente de correlación	.418*	-.658**	1.000	-.501**	.686**	.725**	0.142	-0.277	-.465*	-0.050
	Sig. (bilateral)	0.030	0.000		0.008	0.000	0.000	0.481	0.162	0.014	0.806
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
MO	Coefficiente de correlación	-.623**	.427*	-.501**	1.000	-0.370	-.389*	0.231	.683**	.585**	.412*
	Sig. (bilateral)	0.001	0.026	0.008		0.058	0.045	0.247	0.000	0.001	0.033
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
NITROGENO	Coefficiente de correlación	.650**	-.821**	.686**	-0.370	1.000	.962**	-0.119	-0.023	-0.338	-0.175
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.058		0.000	0.553	0.910	0.085	0.382
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
CARBONO	Coefficiente de correlación	.691**	-.784**	.725**	-.389*	.962**	1.000	-0.070	-0.050	-.386*	-0.148
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.045	0.000		0.729	0.805	0.047	0.462
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
FOSFORO	Coefficiente de correlación	-0.079	-0.007	0.172	-0.055	0.204	0.183	.424*	0.117	-0.035	0.310
	Sig. (bilateral)	0.696	0.972	0.391	0.786	0.306	0.362	0.028	0.562	0.861	0.115
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
K2O	Coefficiente de correlación	-0.250	0.159	0.142	0.231	-0.119	-0.070	1.000	0.045	-0.112	.404*
	Sig. (bilateral)	0.208	0.428	0.481	0.247	0.553	0.729		0.823	0.579	0.037
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
CIC	Coefficiente de correlación	-0.250	0.059	-0.277	.683**	-0.023	-0.050	0.045	1.000	.725**	.386*
	Sig. (bilateral)	0.208	0.770	0.162	0.000	0.910	0.805	0.823		0.000	0.047
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Ca	Coefficiente de correlación	-.504**	.400*	-.465*	.585**	-0.338	-.386*	-0.112	.725**	1.000	0.322
	Sig. (bilateral)	0.007	0.039	0.014	0.001	0.085	0.047	0.579	0.000		0.102
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Mg	Coefficiente de correlación	0.230	-0.365	.438*	-0.121	.398*	0.370	-0.016	0.217	0.027	0.131
	Sig. (bilateral)	0.248	0.061	0.022	0.549	0.040	0.057	0.939	0.278	0.892	0.516
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
K	Coefficiente de correlación	-.402*	0.189	-0.050	.412*	-0.175	-0.148	.404*	.386*	0.322	1.000
	Sig. (bilateral)	0.038	0.345	0.806	0.033	0.382	0.462	0.037	0.047	0.102	
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Na	Coefficiente de correlación	0.064	-0.278	0.111	0.046	0.105	0.084	0.150	0.086	0.032	0.060
	Sig. (bilateral)	0.750	0.160	0.581	0.819	0.601	0.676	0.454	0.669	0.874	0.767
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Da	Coefficiente de correlación	-.475**	0.371	-0.028	0.237	-.495**	-.387*	.448*	0.051	0.135	.511**
	Sig. (bilateral)	0.012	0.057	0.891	0.235	0.009	0.046	0.019	0.799	0.502	0.006
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

El pH sólo se relacionaba también con la CE, MO, nitrógeno, carbono y calcio. El K2O presentó una relación directa con el potasio. La conductividad eléctrica (CE) se relacionó con el pH, la materia orgánica, nitrógeno, carbono. La materia orgánica está relacionada positivamente con el pH, CE, carbono, CIC, Ca y K. El nitrógeno estuvo relacionado con el pH, CE, Mo, nitrógeno y calcio. carbono. La CIC está relacionada

positivamente con el calcio y el potasio. El Mg relacionada con el CE y nitrógeno. No se observó relación alguna del sodio con el resto de las características. El K también se relacionó con la materia orgánica (relación directa 43.5%) y fósforo (relación directa de 38.5%). La densidad se relacionó directamente con el nitrógeno, carbono, K<sub>2</sub>O y potasio.

Barrezueta (2020) también encontró más C en suelo de cultivo de mayor edad y afirmó que las altas concentraciones de C en suelos de textura franco-arcillosa, probablemente estarían asociadas a cultivos de cacao de mayor edad, por lo que afirma la relación que hay entre el C con la edad del cultivo. Tapia et al. (2023) explica que las especies leñosas arbóreas, como las especies forestales generan más residuos orgánicos y hojarasca, al pasar el tiempo se acumula y se descomponen, aumenta el contenido de carbono en el suelo; la planta de cacao es considerada como arbóreo perenne, por lo que también es capaz de generar residuos orgánicos, hojarasca, y por tanto el suelo de las plantas de mayor edad presentan mayor contenido de carbono y nitrógeno.

Las bajas concentraciones de N y K en los suelos de cultivos de 6 años, podría deberse a la rápida mineralización de este elemento en suelos tropicales, por efectos de la humedad y temperatura. La rápida mineralización del nitrógeno y materia orgánica en condiciones de climas tropicales se debe a la alta temperatura y humedad que favorece la proliferación de los microorganismos descomponedores (Abad, 2020); Tejada et al. (2002, citado por Abad), reportó que la mineralización de N fue 3,7 veces más rápido a 25°C que a 15°C; y 13 veces más rápido a 15°C que a 5°C.

Ruiz (2016) obtuvo desde 30 a 60% de fósforo disponible, explicó que se debería a la presencia del recurso orgánica en el suelo, también a que los suelos presentaban pH mayores a 5.5, a un pH alcalino la disponibilidad de macro constituyentes (N<sup>1+3+</sup>, P<sup>3+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, y S) y a pH ácido es mayor excedencia (Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>1+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> y B), excluyendo el molibdeno.

Ruiz (2016) encontró una alta correlación entre el recurso orgánica y los elementos Ca y Mg, obtuvo menores concentraciones debido a que se quedaron retenidos a los coloides formados, otra explicación es por el pH que era menor a 6.

#### **4.3. Calidad del suelo a través del índice de calidad (ICS) de Cantú, en el manejo tradicional de cacao.**

En la Tabla 8, se presenta la calificación de calidad según Cantú en base a los indicadores fisicoquímicos del análisis del suelo. De ello se pudo observar que los tres suelos de cultivos de diferentes edades obtuvieron un valor de baja calidad según los valores de pH, debido a que el pH fue básico (de un valor aproximadamente 8).

**Tabla 8.** Calidad del suelo a través del índice de calidad de suelo (ICS) de Cantú, en el manejo cacao.

INDICADOR	CULTIVO DE 4 AÑOS			CULTIVO DE 6 AÑOS			CULTIVO DE 8 AÑOS		
	Valor	ICS	Clasificación	Valor	ICS	Clasificación	Valor	ICS	Clasificación
pH	8.4	0.19	MUY BAJA CALIDAD	8.2	0.17	MUY BAJA CALIDAD	8.0	0.3	BAJA CALIDAD
Materia orgánica (%)	1.7	0.38	BAJA CALIDAD	0.1	0.02	DÉFICIT	2.6	0.5	MODERADA CALIDAD
P (ppm)	12.78	0.13	MUY BAJA CALIDAD	10.29	0.1	MUY BAJA CALIDAD	9.0	0	DÉFICIT
Al (Cmol Kg-1)	0	1	MUY ALTA CALIDAD	0	1	MUY ALTA CALIDAD	0	1	MUY ALTA CALIDAD
Ca (Cmol Kg-1)	6.4	1.28	EXCESO	6.8	1.36	EXCESO	5.8	1.1	EXCESO*
Mg (Cmol Kg-1)	0.9	0.48	MODERADA CALIDAD	1.1	0.59	MODERA CALIDAD	1.0	0.5	MODERA CALIDAD
K (Cmol Kg-1)	0.4	1.23	EXCESO	0.3	0.95	MUY ALTA	0.2	0.7	ALTA
N (%)	7	0.68	ALTA CALIDAD	6	1.52	EXCESO	9	1.8	EXCESO*
Densidad aparente (g/cc)	0.0	4	MODERADA CALIDAD	0.2	*	ALTA CALIDAD	4	2	ALTA CALIDAD
Porosidad (%)	1.1	0.57	EXCESO	1.0	0.61	EXCESO	0.9	0.6	EXCESO
CIC	6	1.12	MUY BAJA CALIDAD	8	1.18	MUY BAJA CALIDAD	8	7	MUY BAJA CALIDAD
Promedio final	56.14	2*	MODERA CALIDAD	59.12	2*	ALTA CALIDAD	52	1.2	ALTA CALIDAD
	7.9	0.16	MODERA CALIDAD	8.4	0.14	MODERA CALIDAD	7.3	0.1	MODERA CALIDAD
	7	5	MODERA CALIDAD	7	5	MODERA CALIDAD	3	52	MODERA CALIDAD
			MODERA CALIDAD			ALTA CALIDAD	0.6		ALTA CALIDAD
		0.45	MODERA CALIDAD		0.60	MODERA CALIDAD	3		MODERA CALIDAD

En cuanto a la materia orgánica, el cultivo de 8 años presentó moderada calidad y el cultivo de 4 años presentó baja calidad y el cultivo de 6 años presentaba déficit de materia orgánica.

Los tres cultivos de diferentes edades presentaron muy baja calidad de fósforo; además hubo ausencia de contenido de aluminio, por lo que se calificó como muy alta calidad.

Por otro lado, se observó un exceso de calcio, potasio, nitrógeno y porosidad. Según el contenido de Magnesio se obtuvo moderada calidad, y según el CIC se obtuvo una clasificación de muy baja calidad, independiente de la edad en ambos casos.

En la calificación general, considerando la calificación según la Tabla 5, sobre la interpretación de los valores obtenidos en los promedios finales, los cultivos de 4 años presentaron moderada calidad de suelo (0.45 de valor de ICS), pero para los cultivos de 6 (0.60 de valor de ICS), y 8 años de edad (0.63 de valor de ICS) fue alta calidad; el cual indicaría que la calidad del suelo de 6 y 8 años de edad estaría cercana a las condiciones óptimas.

La alta calidad de los suelos 6 y 8 años se debió principalmente al contenido de materia orgánica, nitrógeno y la densidad aparente. Mientras los valores de calcio, potasio y porosidad, además de la ausencia de aluminio hicieron elevar los valores de ICS para los cultivos de las tres edades. La abundancia de calcio, nitrógeno y potasio podrían favorecer la fructificación, también la porosidad es buena para que las raíces de las plantas puedan absorber agua y minerales. Por otro lado, la diversa magnitud de poros grandes y baja presencia de arcilla conlleva a su pérdida de agua y nutrientes, en consecuencia, el progreso limitado de los cultivos al no mantener la demanda de macro constituyentes (INTAGRI, 2017).

En comparación con otros trabajos:

Moreno (2021) obtuvo una clasificación de muy alta calidad de un suelo de sistema agroforestal de cacao en el país de Panamá, según su densidad aparente fue de muy alta calidad (ICS = 0.91), con exceso de materia orgánica,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+1}$  y  $\text{N}^{+3}$ ; baja a muy baja calidad según pH, P, Zn, Al.

Inocencio (2022) determinó un suelo del cultivo de cacao en Padre Abad Nuevo entre baja a muy baja calidad. Además, el suelo era de textura franca, pH fuertemente ácido, que va desde 3.8 a 4.5, los cuales no favorecen las condiciones para el cultivo de cacao. Pero encontró niveles medios de MO (1.76 a 4.13%) y N (0.09 a 0.21%). Florida et al. (2019) también reportó niveles medios de estos nutrientes que variaban desde 1.58 a 1.79% en áreas convencionales y bosque.

Bravo (2023), realizó un trabajo en cacao de 4, 8 y 15 años de cultivo. Mostraron diferentes niveles estructurales entre franco arcillo limoso y arenoso, franco y franco arcilloso. Menor densidad aparente con el de 15 años (0.98 a 1.02); el pH es moderado ácido (para cultivos de 4 y 8 años) a moderadamente alcalino (15 años). Bajo en materia orgánica y nitrógeno, y bajo a moderado en fósforo independiente de la edad.

Potasio y disposición de intercambio catiónico en el suelo con niveles bajos. En general presentaron una calidad de marginal (cultivo de 4 años), sensible (cultivos de 7 años) y Bueno (cultivo de 13 años de edad).

Campos (2019) evaluó la calidad del suelo en cultivos de cacao de distintas edades, y los resultados revelaron diferencias significativas entre las parcelas estudiadas. La parcela de 3 años mostró una distribución espacial de calidad pobre y marginal, con variedades texturales de franco arenoso y franco limoso, un pH parcialmente alcalino y equitativo, niveles medios de materia orgánica (M.O.) y nitrógeno (N), y niveles bajos de fósforo (P), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y Nitrógeno. El potasio (K) presentó niveles medios. En cuanto a la parcela de 6 años, la calidad fue únicamente marginal, con texturas de franco arcilloso y franco arcillo arenoso, pH equitativo, y niveles bajos de M.O.,  $N^{+3}$ ,  $P^{+3}$ , CIC, y  $K^{+}$ . Finalmente, la superficie de 10 años se distribuyó entre marginal y calidad pobre, con una textura de franco limoso, pH parcialmente alcalino, y niveles bajos de  $M.O^{-2}$ ,  $N^{+3}$ ,  $P^{+3}$  y CIC, mientras que el K presentó niveles medios.

## V. CONCLUSIONES

1. Se encontró influencia de la edad en la densidad aparente y porosidad, menor densidad aparente a medida que se incrementaba la edad del cultivo. El cultivo de 8 años presentó menor densidad (0.98 Pss/Vs) y con mayor porosidad (63%). Los tres suelos presentaban una textura manejable, entre franco-arcilloso-limoso, franco y franco-arcilloso.
2. Los tres cultivos presentaron un pH básico (8.42 a 8.07), los valores de conductividad eléctrica (CE), se encontraron desde 0.47 a 0.54 dS/m, estos valores no fueron significativos estadísticamente. El contenido de materia orgánica fue mayor en los suelos de 8 años (2.63%) y la CIC en el cultivo de 6 años. A medida que la edad era mayor del cultivo, aumentaban sus valores de N, C y se reducía el P y K. Sobre las variables de Ca, Mg y Na, no se encontró diferencia significativa. No se hubo aluminio en ninguno de los tres tipos de suelos.
3. En la calificación general de calidad de suelo los cultivos de 4 años de edad presentaron moderada calidad de suelo (0.45 de valor de ICS), pero para los cultivos de 6 (0.60 de valor de ICS), y 8 años de edad (0.63 de valor de ICS) fue alta calidad; el cual indicaría que la calidad del suelo de 6 y 8 años de edad estaría cercana a las condiciones anheladas, las variables poco se desvían de los valores adecuados. La alta calidad de los suelos 6 y 8 años se debió principalmente al contenido de materia orgánica, nitrógeno y la densidad aparente.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Los investigadores deberán considerar la influencia de la edad en la porosidad y densidad aparente, menor densidad aparente a medida que se incrementaba la edad del cultivo.
2. Continuar realizando investigaciones en cultivos considerandos los parámetros de potencial de hidrogeno conductividad eléctrica.
3. Considera la proporcionalidad de la cantidad de materia orgánica y la edad del cultivo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, A. 2020. Mineralización de nitrógeno en los suelos de Churubamba, Chinchao y San Pablo de Pillao, provincia de Huánuco. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Fac. Ciencias Agrarias. Pp. 87.
- Apucusi, C. (2019). *Caracterización físico químico, hidrológica y ecológica de las aguas subterráneas de los distritos de Characato, Polobaya, Quequeña, Mollebaya, Pocsi, Yarabamba y Sabandia de la provincia de Arequipa* [Tesis para obtener el título, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8666>
- 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.
- Astier, C., Mass, M. y Etchevers, B. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36, 605-620.
- Barrezueta, S. 2020. Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT* [online]. 2019, 14(1): 155-166 [citado 2024-07-09], Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-78582019000200155&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582019000200155&lng=es&nrm=iso)>. Epub 03-Ago-2020. ISSN 2007-7858. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>.
- Bueno, L. (2019). *Servicios ecosistémicos de los suelos y su relación con la calidad del café en el Distrito de Manejo Integrado "Cuchilla de San Juan", Belén de Umbria, Risaralda* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Pereira]. Universidad Nacional de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/items/c1831680-4197-43cc-b4b1-56062db1ade5>
- Bravo, V. 2023. Calidad de suelo en tres sistemas con (*Theobroma cacao* L.) cacao de diferentes edades, distrito Daniel Alomias Robles – Leoncio Prado. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Fac. Recursos Naturales Renovables. Pp. 78.

- Budd, W.W. 1992. What capacity the land? *J. Soil Water Conservation* 47: 28-31.
- Buol, S. (1995). Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematic* 26:25-44.
- Campos, S. 2019. Calidad de suelo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en diferentes edades sector ventenjebe distrito y provincia Tocache- San Martín. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Fac. Recursos Naturales Renovables. Pp. 102.
- Cantú, M., Becker, A., Bedano, J., & Schiviano, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia Suelo*. 25, 173-178.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Doran, JW y Parkin, TB (1994) Definición y evaluación de la calidad del suelo. En: Doran, JW, Coleman, DC, Bezdicek, DF y Stewart, BA, Eds., Definición de la calidad del suelo para un medio ambiente sostenible. *Soil Science Society of America Journal, Madison*. 3-21. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. (1998). Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.
- Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J., Navarro, H., & Etchevers, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>
- Florida, N.; Paucar, J.; Jacobo, S.; Escobar, F. 2019. Efecto de compost y NPK sobre los niveles de microorganismos y cadmio en suelo y almendra de cacao. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. 21(4): 264-273.
- Gil, J. (2019). *Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento y la calidad de un cultivo de yuca forrajera (Manihot esculenta Crantz)* [Tesis para obtener el título, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional

Universidad Nacional de Colombia.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80397>

González, H.; González, A.; Pineda, M.; Escalante, H.; Rodríguez, G.; Soto, A. 2021. Microbiota edáfica en lotes de plátano con vigor contrastante y su relación con propiedades del suelo. *Bioagro* 33(2): 143-148. doi: <http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.8>

Hünнемeyer, J., De Camino, R. y Müller, S. (1997). Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.

Inocencio, E. (2022). *Distribución espacial de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo en el fundo “Cárdenas”, en Nuevo Progreso Padre Abad 2022* [Tesis para obtener el título, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2210>

Instituto Tecnológico de la Producción (2023). Aprovechamiento de subproductos del cultivo de plátano: fibra y celulosa vegetal (2023). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5304100/4760251-boletin-vei-ec001-2023-aprovechamiento-de-subproductos-del-cultivo-de-platano.pdf>

INTAGRI. 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>.

Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.

Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R. y Schuman, G. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10

López, Y., Cunias, M., & Carrasco, Y. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 344-352.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202020000300344](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000300344)

- Lowdermilk, W. (1953). Conquest of the Land Through Seven Thousand Years. Agriculture Information Bulletin N° 99, USDA, Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- Martínez, M.; Salvador, E.; Espinoza, M. 2019. Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(4): 765-778.
- Martínez, J., Crespo, C., Cuervo, M., Sainz, H., Echevarría, H., Martínez, F., Cordone, G., & Barbieri, P. (2020). Secuencias de cultivos con predominio de soja: efecto sobre indicadores de calidad física del suelo. *Asociación argentina ciencia del suelo*, 38(2), 224-235. [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/Volumen38n2/3-567\\_Secuencias\\_de\\_cultivos\\_W.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/Volumen38n2/3-567_Secuencias_de_cultivos_W.pdf)
- Machado, F. & Mielniczuk, J. (2009). Revisão de literatura uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 33, 743-755. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>
- Melgarejo, C. (2018). *Efecto del nivel de salinidad del agua de riego en el crecimiento del cultivo de espinaca (Spinacia oleracea L.) en suelo arenoso* [Tesis para obtener el título, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3609>
- Ministerio De Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Boletín estadístico mensual el agro en cifras de abril 2022*. [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_estadisticas/mensual/Agro/2022/Agro\\_en\\_cifras\\_04\\_2022.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/Agro/2022/Agro_en_cifras_04_2022.pdf)
- Moreno, E. 2021. Indicadores de la calidad de suelo en tres sistemas de uso de suelo; sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao*), cultivos intercalados y cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*) corregimiento de santo domingo, distrito de Bugaba. Tesis de grado. Universidad de Panamá. Fac. Ciencias Agropecuarias. Pp. 64.

- Navarro, B. & Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 487p.
- Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación y la Agricultura. [FAO]. (2015). *Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo*. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/es/>
- Romero, E., Carcaño, G., Ramos, M., Vázquez, A., Reyes L. & Rodríguez J. (2017). Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal tradicional del norte de Oaxaca, México. *Revista Argentina de Microbiología* 49(4), 356-365 <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.003>
- Romig, D., Garlynd, M., Harris, F. y McSweeney, K. (1995). How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.
- Ruiz, G. (2016). *Estudio fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Caca, provincia de Yauyos, Lima* [Tesis para obtener el grado de Magister, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7010>
- Soto, G. (2023). *Efecto de indicadores fisicoquímicos del suelo en el crecimiento de Cedrelinga cateniformis (tornillo) en Supte San Jorge, Leoncio Prado – 2022* [Tesis para obtener el título, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2357>
- Singer, M.J. y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. 11, 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [SAGARPA]. (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. SMYE. [http://smye.info/rn/ind\\_fin/suelos/Documento metodologico\\_suelos.pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf)

Sarmiento, E., Fandiño, S., & Gómez, L. (2018). Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática. *Ecosistemas*, 27(3), 130-139. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>

SQI-Soil Quality Institute. (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.

Tapia, J., Contreras, J.; Martínez, J., López, L.; Rodríguez, J. 2023. Producción y descomposición de hojarasca de especies forestales en sistemas silvopastoriles, Valle del Sinú, Colombia. Artículo científico de la Universidad de Costa Rica. 34(1):1-15. doi:10.15517/am.v34i1.49781

**ANEXOS**

**ANEXO 1. Predichos de las variables en estudio****Tabla 5.** Análisis de Normalidad – Shapiro-Wilks.

Variable	n	Media	D.E	W	p(Unilateral D)
RDUO pH	27	0.00	0.16	0.97	0.8029
RDUO CE	27	0.00	0.05	0.98	0.9790
RDUO Materia orgánica	27	0.00	0.24	0.93	0.2591
RDUO N	27	0.00	0.19	0.82	<0.0001
RDUO C	27	0.00	0.19	0.92	0.1151
RDUO P	27	0.00	2.77	0.91	0.0902
RDUO K <sub>2</sub> O	27	0.00	16.39	0.98	0.9520
RDUO CIC	27	0.00	0.24	0.97	0.9080
RDUO Ca	27	0.00	0.09	0.95	0.4424
RDUO Mg	27	0.00	221.14	0.80	<0.0001
RDUO K	27	0.00	0.12	0.97	0.8485
RDUO Na	27	0.00	0.01	0.96	0.6115
RDUO Densidad aparente	27	0.00	0.11	0.98	0.9333
RDUO Porosidad	27	0.00	4.31	0.98	0.9333

**Tabla 6.** Análisis de homogeneidad – Levene.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
RABS pH	0.11	2	0.05	4.48	0.0222
RABS CE	0.02	2	0.01	6.95	0.0042
RABS Materia orgánica	0.77	2	0.39	11.24	0.0004
RABS C	0.07	2	0.03	1.51	0.2418
RABS P	42.96	2	21.48	8.61	0.0015
RABS K <sub>2</sub> O	887.92	2	443.96	2.53	0.1006
RABS CIC	0.07	2	0.03	0.98	0.3903
RABS Ca	0.02	2	0.01	1.31	0.2893
RABS K	0.06	2	0.03	3.97	0.0324
RABS Na	4.00E-05	2	2.00E-05	0.73	0.494
RABS Da	0.03	2	0.02	3.15	0.0609
RABS Porosidad	47.79	2	23.9	3.15	0.0609
RABS Mg	877606.66	2	438803.33	17.87	<0.0001
RABS N	0.15	2	0.07	2.13	0.1409

**ANEXO 2. Análisis de varianza - ANOVA****Tabla 7.** Potencial de hidrogeno.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	27	0.57	0.31	2.52

**Tabla 8.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.93	10	0.09	2.15	0.0833
Edad (años)	0.55	2	0.27	6.95	0.0093
Repetición	0.38	8	0.05	1.10	0.4127
Error	0.69	16	0.04	-	-
Total	1.62	26	-	-	-

**Tabla 9.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.25284 del pH.

Edad (años)	Media	n	E.E		
8	8.07	9	0.07	A	-
6	8.23	9	0.07	A	B
4	8.42	9	0.07	-	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0432 gl: 16

**CE****Tabla 10.** Kruskal Wallis de C.E.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
CE	27	0.57	0.31	12.06

**Tabla 11.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) del C.E.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.08	10	0.01	2.14	0.0839
Edad (años)	0.02	2	0.01	3.18	0.0690

Repetición	0.06	8	0.01	1.89	0.1332
Error	0.06	16	3.7E-0.3	-	-
Total	0.14	26	-	-	-

**Tabla 12.** Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07418 del C.E.

Edad (años)	Media	n	E.E	
4	0.47	9	0.02	A
6	0.50	9	0.02	A
8	0.54	9	0.02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0037 gl: 16

### Materia orgánica

**Tabla 13.** Kruskal Wallis Materia orgánica.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Materia orgánica	27	0.95	0.92	21.01

**Tabla 14.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) de materia orgánica.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	30.58	10	3.06	31.52	<0.0001
Edad (años)	29.23	2	14.62	150.64	<0.0001
Repetición	1.35	8	0.17	1.74	0.1643
Error	1.55	16	0.10	-	-
Total	32.14	26	-	-	-

**Tabla 15.** Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37889 de materia orgánica.

Edad (años)	Media	n	E.E			
6	0.11	9	0.10	A	-	-
4	1.70	9	0.10	-	B	-
8	2.63	9	0.10	-	-	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Error: 0.0970 gl: 16

### Nitrógeno

**Tabla 16.** Kruskal Wallis del Nitrógeno.

Edad (años)	Media	n	D.E	Medianas	H	p
4	0.09	9	0.02	0.08	10.99	0.0041
6	0.20	9	0.02	0.11	-	-
8	0.24	9	0.02	0.13	-	-

Trat.	Media	Ranks		
4	0.09	7.22	A	-
6	0.20	15.39	-	B
8	0.24	19.39	-	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Carbono

**Tabla 17.** Kruskal Wallis de Carbono.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Carbono	27	0.69	0.49	18.48

**Tabla 18.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) del Carbono.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.95	10	0.19	3.51	0.0126
Edad (años)	1.31	2	0.65	11.73	0.0007
Repetición	0.64	8	0.08	1.45	0.2508
Error	0.89	16	0.06	-	-
Total	2.84	26	-	-	-

**Tabla 19.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28688 del Carbono.

Edad (años)	Media	n	E.E
-------------	-------	---	-----

4	0.99	9	0.08	A	
6	1.31	9	0.08	-	B
8	1.53	9	0.08	-	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0556 gl: 16

### Fosforo

**Tabla 20.** Kruskal Wallis de Fosforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Fosforo	27	0.39	4.6E-0.3	32.98

**Tabla 21.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fosforo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	126.04	10	12.60	1.01	0.4742
Edad (años)	65.17	2	32.59	2.62	0.1040
Repetición	60.86	8	7.61	0.61	0.7564
Error	199.28	16	12.45	-	-
Total	325.31	26	-	-	-

**Tabla 22.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.29278 del fosforo.

Edad (años)	Media	n	E.E	
8	9.04	9	1.18	A
6	10.29	9	1.18	-
4	12.78	9	1.18	-

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0556 gl: 16

### K20

**Tabla 23.** Kruskal Wallis del K20.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
----------	---	----------------	-------------------	----

K20	27	0.42	0.06	16.16
-----	----	------	------	-------

**Tabla 24.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) del K20

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5058.78	10	505.88	1.16	0.3821
Edad (años)	776.37	2	388.19	0.89	0.4302
Repetición	4282.41	8	535.30	1.23	0.3450
Error	6981.42	16	436.34	-	-
Total	12040.19	26	-	-	-

**Tabla 25.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=25.40861 del K20.

Edad (años)	Media	n	E.E	
8	122.07	9	6.96	A
4	130.93	9	6.96	A
6	134.91	9	6.96	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )  
 Error: 436.3386 gl: 16

## CIC

**Tabla 26.** Kruskal Wallis del CIC.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
CIC	27	0.82	0.70	3.84

**Tabla 27.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) del CIC.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.57	10	0.66	7.10	0.0003
Edad (años)	5.87	2	2.94	31.69	<0.0001
Repetición	0.70	8	0.09	0.95	0.5056
Error	1.48	16	0.09	-	-
Total	8.06	26	-	-	-

**Tabla 28.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37020 del CIC.

Edad (años)	Media	n	E.E		
8	7.33	9	0.10	A	
4	7.97	9	0.10		B
6	8.47	9	0.10		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0926 gl: 16

### Calcio

**Tabla 29.** Kruskal Wallis del calcio.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Calcio	27	0.95	0.92	1.82

**Tabla 30.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) del calcio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.25	10	0.43	31.55	<0.0001
Edad (años)	3.96	2	1.98	146.79	<0.0001
Repetición	0.30	8	0.04	2.74	0.0408
Error	0.22	16	0.01	-	-
Total	4.47	26	-	-	-

**Tabla 31.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.14122 del calcio.

Edad (años)	Media	n	E.E		
8	5.88	9	0.04	A	
4	6.40	9	0.04		B
6	6.82	9	0.04		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0135 gl: 16

## Magnesio

**Tabla 32.** Kruskal Wallis del magnesio.

Edad (años)	Media	n	D.E	Medianas	H	p
4	0.94	9	0.20	1.00	8.51	0.0141
6	247.12	9	488.23	1.22	-	-
8	1.01	9	0.24	0.93	-	-
Trat.	Media	Ranks				
4	0.94	10.39	A	-		
8	1.01	11.33	A	-		
6	247.12	20.28	-	B		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Potasio

**Tabla 33.** Kruskal Wallis del magnesio.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Potasio	27	0.45	0.11	39.41

**Tabla 34.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.29	10	0.03	1.33	0.2933
Edad (años)	0.15	2	0.07	3.42	0.0581
Repetición	0.14	8	0.02	0.81	0.6026
Error	0.35	16	0.02	-	-
Total	0.64	26	-	-	-

**Tabla 35.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.17991 del potasio.

Edad (años)	Media	n	E.E	
8	0.29	9	0.05	A
6	0.36	9	0.05	A

4	0.47	9	0.05	A
---	------	---	------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0219 gl: 16

### Sodio

**Tabla 36.** Kruskal Wallis del sodio.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sodio	27	0.45	0.11	5.64

**Tabla 37.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) de sodio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.2E-04	10	9.2E-05	1.32	0.3002
Edad (años)	9.4E-05	2	4.7E-05	0.67	0.5255
Repetición	8.3E-04	8	1.0E-04	1.48	0.2396
Error	1.1E-03	16	7.0E-05	-	-
Total	2.0E-03	26	-	-	-

**Tabla 38.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01018 del sodio.

Edad (años)	Media	n	E.E	
8	0.15	9	2.8E-03	A
4	0.15	9	2.8E-03	A
6	0.15	9	2.8E-03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0001 gl: 16

### Densidad aparente

**Tabla 39.** Kruskal Wallis de la densidad aparente.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Densidad aparente	27	0.42	0.06	13.54

**Tabla 40.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la densidad aparente.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.25	10	0.02	1.18	0.3722
Edad (años)	0.15	2	0.07	3.52	0.0540
Repetición	0.10	8	0.01	0.59	0.7721
Error	0.34	16	0.02	-	-
Total	0.59	26	-	-	-

**Tabla 41.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.17710 de la densidad aparente.

Edad (años)	Media	n	E.E		
8	0.98	9	0.05	A	-
6	1.08	9	0.05	A	B
4	1.16	9	0.05	-	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 0.0212 gl: 16

### Porosidad

**Tabla 42.** Kruskal Wallis de la porosidad.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Porosidad	27	0.42	0.06	9.25

**Tabla 43.** Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la porosidad.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	355.25	10	35.52	1.18	0.3722
Edad (años)	212.68	2	106.34	3.52	0.0540
Repetición	142.57	8	17.82	0.59	0.7721
Error	483.00	16	30.19	-	-
Total	838.24	26	-	-	-

**Tabla 44.** Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.68315 de la porosidad.

Edad (años)	Media	n	E.E		
4	56.14	9	1.83	A	-

---

6	59.12	9	1.83	A	B
8	63.00	9	1.83	-	B

---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Error: 30.1873 gl: 16

**ANEXO 3. CLASIFICACIÓN DE LA ESCALA DE ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO(ICS) DE CANTÚ, EN FUNCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO**

Características del suelo	Escala de calidad (rangos) ICS					Referencia
	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta	
	0 - 0.19	0.20 - 0.39	0.40 - 0.59	0.60 - 0.79	0.8 - 1	
pH	7.8 - 8.5	7.1 - 7.8	6.4 - 7.1	5.7 - 6.4	5 - 5.7	Segarpa 2012
MO	0.5 - 1.42	1.42 - 2.32	2.32 - 3.24	3.24 - 4.16	4.16 - 5.1	Segarpa 2013
N	0.08 - 0.092	0.092 - 0.104	0.104 - 0.116	0.116 - 0.128	0.128 - 0.14	Moreno 2021
P	10 - 19.2	19.2 - 28.4	28.4 - 37.6	37.6 - 46.8	46.8 - 56	Moreno 2021
K	0.13 - 0.18	0.18 - 0.23	0.23 - 0.28	0.28 - 0.33	0.33 - 0.38	Moreno 2021
Mg	0.6 - 0.78	0.96	1.14	1.32	1.5	Moreno 2022
Ca	2 - 2.6	2.6 - 3.2	3.2 - 3.8	3.8 - 4.4	4.4 - 5	Segarpa 2012
CIC	5.0 - 9.167	9.167 - 13.3	13.3 - 17.4	17.4 - 21.56	21.56 - 25	Cerrón et al 2017
Al	2 - 2.5	1.5 - 2	1 - 1.5	0.5 - 1	0.0 - 0.5	Moreno 2021
Da	1.4 - 1.5	1.3 - 1.4	1.2 - 1.3	1.1 - 1.2	1 - 1.1	Segarpa 2012
Porosidad	35 - 38	38 - 41	41 - 44	44 - 47	47 - 50	Cerrón et al 2017

**ANEXO 4.** Panel fotográfico.



**Figura 7.** Imagen del sistema de manejo de plantación de cacao de 6 años.



**Figura 8.** Distanciamiento de 5 metros para la colecta de la muestra compuesta en el sistema de cacao.



**Figura 9.** Toma de muestra a 15cm de profundidad del suelo en el sistema de cacao.



**Figura 10.** Apertura del hoyo para la toma de muestra y el costal para su recepción de la muestra.



**Figura 11.** Colección de la muestra dentro de un costal y verificando la profundidad de 15 cm.



**Figura 12.** Hominización de las submuestras colectadas para tomar una única muestra representativa de las 9 submuestras en campo.



**Figura 13.** Toma de muestra después del mezclado de las submuestras.



**Figura 14.** Plantación del sistema de cacao de 4 años.



**Figura 15.** Mortero y pilón de hierro fundido para triturar las muestras del sistema de cacao.



**Figura 16.** Muestra triturada para determinar los parámetros del suelo.



**Figura 17.** Muestras de suelos pulverizada para determinas los parámetros del suelo.



**Figura 18.** Determinación de los parámetros del sistema de cacao.



**Figura 19.** Vasos precitados con papel filtro.



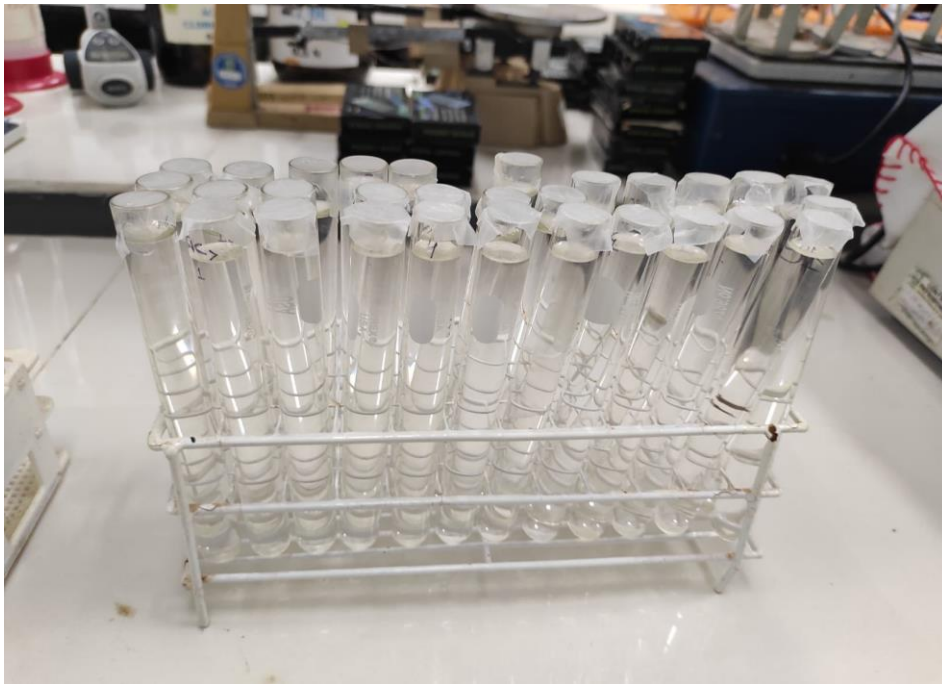
**Figura 20.** Determinación de los parámetros.



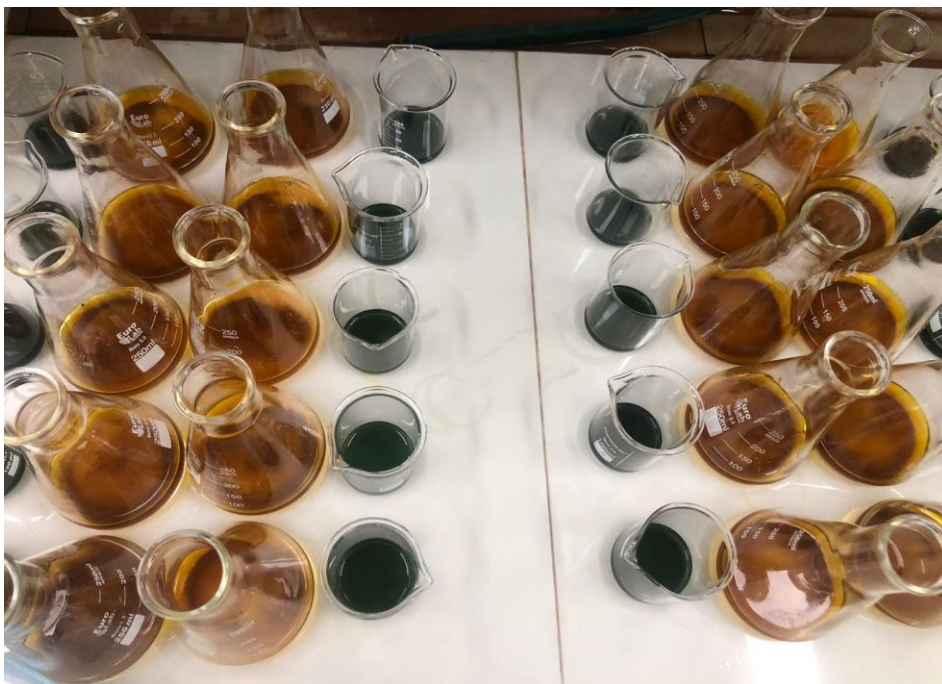
**Figura 21.** Muestras disgregadas para la medición de diferentes parámetros del suelo.



**Figura 22.** Medición de parámetro pH en el laboratorio de agronomía.



**Figura 23.** Tubos de ensayos de 20 ml para determinar fosforo.



**Figura 24.** Determinación de materia orgánica.



**Figura 25.** Determinación de fósforo por el instrumento espectrofotómetro UV.



**Figura 26.** Identificación de las muestras con el instrumento espectrofotómetro de absorción atómica.