

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



INFLUENCIA DE LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO EN TRES
EDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), FUNDO LOS ROSALES – CASTILLO
GRANDE

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

EDGAR JUNIOR AMBICHO SUMARAN

Tingo María - Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 034-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 28 de noviembre de 2025, a horas 04:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“INFLUENCIA DE LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO EN TRES EDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), FUNDO LOS ROSALES-CASTILLO GRANDE.

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

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

Tingo María, 31 de marzo de 2026


Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
PRESIDENTE


Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO


Ing. MSc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO




Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 135 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

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

| TÍTULO | AUTOR | PORCENTAJE | |
|---|------------------------------|---------------|--|
| | | SIMILITUD | CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL |
| NFLUENCIA DE LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO EN TRES EDADES DE CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>), FUNDO LOS ROSALES – CASTILLO GRANDE | EDGAR JUNIOR AMBICHO SUMARAN | 13 % Trece | Menor a 20 % |

Tingo María, 27 de abril de 2026.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

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



INFLUENCIA DE LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO EN TRES
EDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), FUNDO LOS ROSALES – CASTILLO
GRANDE

Autor : **EDGAR JUNIOR AMBICHO SUMARAN**

Asesor : **Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO**
Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO

Programa de Investigación : **Ciencias Básicas**

Línea (s) de Investigación : **Biología y Microbiología del suelo**

Eje temático de Investigación : **Indicadores de la calidad del suelo**

Lugar de Ejecución : **Fundo los Rosales – Castillo Grande**

Duración del trabajo : **Fecha de Inicio** : **19/09/2021**

Financiamiento : **Propio**

Monto : **S/. 4 283,40**

FEDU : **No**

Propio: **Si**

Otros : **No**

Tingo María - Perú

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la fortaleza, la salud y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa importante de mi vida académica.

A mis padres, cuyo amor incondicional, esfuerzo y sacrificio han sido el motor que me impulsó a alcanzar esta meta; a ellos les debo mi formación y mis valores.

A mi familia que, con su apoyo constante, palabras de aliento y comprensión me acompañaron en los momentos de mayor dificultad y me motivaron a seguir adelante.

A mis maestros, quienes con su guía y ejemplo me transmitieron conocimientos y principios que quedarán grabados en mi vida profesional.

Dedico este trabajo también a todos aquellos agricultores cacaoteros de la Amazonía peruana, cuya labor inspira a seguir investigando y generando conocimientos para el desarrollo sostenible de nuestra región.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por brindarme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar esta etapa importante de mi formación profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y perseverancia, y por haberme apoyado en cada paso de este camino académico. Sin su respaldo moral y espiritual, este logro no habría sido posible.

A mis asesores y docentes de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por compartir sus conocimientos y guiarme con responsabilidad, paciencia y sabiduría durante el desarrollo de esta investigación.

Al personal técnico del Fundo Los Rosales, por brindarme el acceso y la colaboración necesaria para la toma de muestras y el desarrollo del trabajo de campo.

A mis compañeros de carrera, por su apoyo constante, su amistad sincera y por haber sido parte fundamental de esta etapa de formación académica y personal.

Y a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al cumplimiento de este proyecto de tesis. ¡Gracias!

ÍNDICE

| | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. Marco teórico..... | 3 |
| 2.1.1. Suelo y calidad edáfica..... | 3 |
| 2.1.2. Indicadores de calidad del suelo | 3 |
| 2.1.3. Indicadores físicos..... | 3 |
| 2.1.4. Indicadores químicos..... | 5 |
| 2.1.5. Nutrientes en el suelo | 6 |
| 2.1.6. Indicadores biológicos..... | 8 |
| 2.1.7. Macrofauna edáfica y calidad del suelo | 9 |
| 2.1.8. Importancia de los organismos del suelo | 12 |
| 2.1.9. Microorganismos viables | 12 |
| 2.1.10. Lombrices de tierra | 13 |
| 2.1.11. Artrópodos | 13 |
| 2.1.12. Relación entre la edad del cultivo de cacao y calidad del suelo..... | 15 |
| 2.1.13. Morfología del cacao | 15 |
| 2.1.14. Tipos de cacao | 16 |
| 2.1.15. Clones de cacao | 17 |
| 2.1.16. Evaluación integrada: Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS)..... | 19 |
| 2.2. Estado del arte..... | 19 |
| 2.2.1. Antecedentes nacionales | 19 |
| 2.2.2. Antecedentes internacionales | 19 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 21 |
| 3.1. Descripción del área de estudio | 21 |
| 3.1.1. Ubicación geográfica..... | 21 |
| 3.1.2. Ubicación en coordenadas UTM de los clones | 21 |
| 3.1.3. Clima..... | 21 |
| 3.1.4. Zona de vida | 21 |
| 3.1.5. Suelos | 21 |
| 3.1.6. Fisiografía..... | 22 |
| 3.1.7. Hidrografía | 22 |
| 3.1.8. Accesibilidad | 22 |

| | |
|--|----|
| 3.2. Materiales y equipos | 22 |
| 3.2.1. Materiales | 22 |
| 3.2.2. Equipos..... | 22 |
| 3.3. Generalidades de la investigación..... | 22 |
| 3.3.1. Tipo de investigación | 22 |
| 3.3.2. Nivel de la investigación | 22 |
| 3.3.3. Método de la investigación..... | 22 |
| 3.3.4. Diseño de la investigación..... | 23 |
| 3.3.5. Análisis de datos..... | 23 |
| 3.4. Cultivo de <i>Theobroma cacao</i> L. de variedades clonales | 23 |
| 3.4.1. Clon Mendis Paredes CPM - 15 | 23 |
| 3.4.2. Clon Mendis Paredes CPM - 91 | 23 |
| 3.4.3. Clon EET - 576 | 23 |
| 3.5. Metodología..... | 24 |
| 3.5.1. Determinar las propiedades físicas (textura, densidad aparente, temperatura del suelo, resistencia a la penetración del suelo) y químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, capacidad de intercambio catiónico) del suelo en tres edades del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao), Clones (CPM – 15, CPM – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande | 24 |
| 3.5.2. Evaluar la cantidad, densidad y diversidad de macrofauna edáfica en tres edades del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao), Clones (CPM – 15, CPM – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande..... | 25 |
| 3.5.3. Analizar la relación entre las propiedades físicas y químicas del suelo con las características biológicas (macrofauna) en tres edades del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao), Clones (CPM – 15, CPM – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande | 28 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 30 |
| 4.1. Determinar las propiedades físicas (textura, densidad aparente, temperatura del suelo, resistencia a la penetración del suelo) y químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, capacidad de intercambio catiónico) del suelo en tres edades del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao), Clones (CPM – 15, CPM – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande..... | 30 |

| | |
|---|----|
| 4.1.1. Propiedades físicas del suelo en tres edades del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao), Clones (CPM – 15, CPM – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande..... | 30 |
| 4.1.2. Características químicas del suelo (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, capacidad de intercambio catiónico) en tres edades del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao), Clones (CPM – 15, CPM – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande | 33 |
| 4.2. Evaluar la cantidad, densidad y diversidad de macrofauna edáfica en tres edades del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao), Clones (CPM – 15, CPM – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande..... | 33 |
| 4.3. Analizar la relación entre las propiedades físicas y químicas del suelo con las características biológicas (macrofauna) en tres edades del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao), Clones (CPM – 15, CPM – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande | 35 |
| V. CONCLUSIONES | 36 |
| VI. PROPUESTAS A FUTURO. | 37 |
| VII. REFERENCIAS... .. | 38 |
| ANEXO..... | 44 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Página |
|--|--------|
| 1. Agrupamiento general de las clases texturales..... | 4 |
| 2. Niveles de pH del suelo... .. | 5 |
| 3. Intervalos de materia orgánica en el suelo... .. | 5 |
| 4. Niveles de capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5)... .. | 6 |
| 5. Niveles de capacidad de intercambio catiónico (pH < 5.5)... .. | 6 |
| 6. Niveles de contenido de nitrógeno... .. | 7 |
| 7. Niveles de contenido de fósforo disponible..... | 8 |
| 8. Niveles de contenido de potasio (K ₂ O)..... | 8 |
| 9. Clasificación de la macrofauna del suelo por grupos... .. | 9 |
| 10. Clasificación de la macrofauna del suelo por subclase..... | 10 |
| 11. Actividades de la fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo... .. | 11 |
| 12. Ubicación en coordenadas UTM de los clones de cacao... .. | 21 |
| 13. Parámetros biológicos del suelo (variable)... .. | 27 |
| 14. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variable)... .. | 27 |
| 15. Textura de los suelos en los tres sistemas con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 30 |
| 16. Densidad aparente de los suelos en los tres sistemas con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 31 |
| 17. Resistencia a la penetración de los suelos en los tres sistemas con <i>Theobroma cacao</i> L...32 | |
| 18. Temperatura del suelo en los tres sistemas con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 32 |
| 19. Características químicas del suelo en los tres sistemas con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 33 |
| 20. Grupos taxonómicos identificados por profundidad en los tres sistemas con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 34 |
| 21. Densidad, biomasa y diversidad de macrofauna del suelo en los tres sistemas con <i>Theobroma cacao</i> L... .. | 35 |
| 22. Correlación de Pearson entre propiedades edáficas y macrofauna en un sistema con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 35 |
| 23. Ficha de evaluación de las propiedades físicas del suelo... .. | 45 |
| 24. Ficha de evaluación de las propiedades químicas del suelo. | 45 |
| 25. Ficha para muestreo de macrofauna edáfica (Monolito)..... | 45 |
| 26. Densidad aparente de los suelos en las tres edades de los clones de cacao. | 45 |
| 27. Número de muestra de los clones de cacao... .. | 46 |
| 28. Grupos taxonómicos de la macrofauna en las tres edades de los clones de cacao. | 47 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|--------|
| 1. La increíble diversidad de vida en el suelo..... | 12 |
| 2. Muestreo de suelo para análisis físico – químico por cada clon..... | 25 |
| 3. Esquema del plan de muestreo..... | 26 |
| 4. Análisis de suelo fundo Los Rosales..... | 48 |
| 5. Muestreo de suelo fundo Los Rosales..... | 49 |
| 6. Medición de la temperatura del suelo..... | 49 |
| 7. Georreferenciación del fundo Los Rosales..... | 50 |
| 8. Medición de la resistencia a la penetración del suelo..... | 50 |
| 9. Identificación de la macrofauna del suelo..... | 51 |
| 10. Recolección de la macrofauna del suelo..... | 51 |
| 11. Recolección de macrofauna del suelo en un sistema con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 52 |
| 12. Muestreo de macrofauna en un sistema con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 52 |
| 13. Lombriz de tierra en un sistema con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 53 |
| 14. Espécimen del orden Isópoda en un sistema con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 53 |
| 15. Espécimen del orden Arácnidos (Araña) en un sistema con <i>Theobroma cacao</i> L..... | 54 |

RESUMEN

Este estudio evaluó la influencia de la edad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L., clones CMP-15, CMP-91 y EET-576) sobre la calidad del suelo en el Fundo Los Rosales, Castillo Grande – Huánuco. Se analizó un diseño completamente aleatorizado de propiedades físicas (densidad aparente, textura, temperatura y resistencia a la penetración), químicas (pH, materia orgánica, N, P, K y CIC) y biológicas (densidad, biomasa y diversidad de macrofauna edáfica, según el protocolo TSBF). El clon CMP-91 presentó condiciones más favorables: menor densidad aparente (1.20 g/cm³), mayor materia orgánica (3.9 %), fósforo disponible (9.5 ppm), potasio (232.9 kg/ha) y mayor diversidad de macrofauna ($H' = 2.31$), mientras que los clones CMP-15 y EET-576 mostraron valores inferiores. El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre clones y correlaciones positivas entre materia orgánica, P y CIC con la diversidad biológica del suelo, así como una correlación negativa con la densidad aparente. En conclusión, la edad del cultivo influye en la calidad del suelo, siendo los sistemas intermedios (CMP-91) los que presentan mayor fertilidad y mejor estructura biológica. Estos resultados concuerdan con estudios previos en San Martín y Huánuco, destacando la importancia de la edad y el manejo agroecológico en la mejora de suelos cacaoteros. La macrofauna edáfica se confirma como un bioindicador confiable del estado funcional del suelo, haciendo esencial la evaluación integrada de indicadores fisicoquímicos y biológicos para diagnosticar la calidad del suelo y planificar prácticas agrícolas sostenibles en agroecosistemas de cacao de la Amazonía peruana.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, calidad del suelo, materia orgánica, macrofauna edáfica, fertilidad, agroecosistemas.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of cacao crop age (*Theobroma cacao* L., clones CMP-15, CMP-91, and EET-576) on soil quality at the Los Rosales farm, Castillo Grande – Huánuco. A completely randomized design was used to analyze physical properties (bulk density, texture, temperature, and penetration resistance), chemical properties (pH, organic matter, N, P, K, and CEC), and biological properties (density, biomass, and diversity of soil macrofauna, according to the TSBF protocol). Clone CMP-91 presented more favorable conditions: lower bulk density (1.20 g/cm³), higher organic matter (3.9%), available phosphorus (9.5 ppm), potassium (232.9 kg/ha), and greater macrofauna diversity ($H' = 2.31$), while clones CMP-15 and EET-576 showed lower values. Statistical analysis revealed significant differences between clones and positive correlations between organic matter, phosphorus (P), and cation exchange capacity (CEC) with soil biodiversity, as well as a negative correlation with bulk density. In conclusion, crop age influences soil quality, with intermediate systems (CMP-91) exhibiting greater fertility and better biological structure. These results are consistent with previous studies in San Martín and Huánuco, highlighting the importance of age and agroecological management in improving cacao soils. Soil macrofauna is confirmed as a reliable bioindicator of soil function, making the integrated evaluation of physicochemical and biological indicators essential for diagnosing soil quality and planning sustainable agricultural practices in cacao agroecosystems of the Peruvian Amazon.

Keywords: *Theobroma cacao*, soil quality, organic matter, soil macrofauna, fertility, agroecosystems.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural fundamental que sustenta la vida vegetal y, por tanto, desempeña un papel clave en la seguridad alimentaria, la productividad agrícola y la conservación de los ecosistemas. La calidad del suelo se refiere a su capacidad para funcionar como un sistema vital que sustenta flora, fauna y seres humanos. Esta calidad puede verse afectada por actividades antropogénicas como el uso intensivo de la tierra, pérdida forestal, y las malas prácticas agrícolas, las cuales pueden conducir a su desgaste físico-químico y biológico.

En este contexto, las características de calidad del suelo son herramientas clave para analizar su salud. Estos incluyen características físicas (textura, D.A, resistencia a la penetración, temperatura), químicas (pH, M.O, nutrientes disponibles, capacidad de intercambio catiónico) y biológicas (macrofauna edáfica). Su análisis permite diagnosticar el estado del suelo (deteriorado o conservado) y planificar prácticas de manejo sostenibles.

El cultivo de *Theobroma cacao* L. (cacao) es de gran importancia socioeconómica en la región amazónica del Perú, no solo por su valor comercial, sino también por su rol en la diversificación productiva y recuperación de áreas degradadas. Sin embargo, aún existe escasa información científica relacionada con la influencia que tienen las distintas edades del cultivo de cacao sobre las propiedades de calidad del suelo, en especial en zonas como el fundo Los Rosales, distrito de Castillo Grande. Esta carencia de datos limita la posibilidad de aplicar métodos efectivos para conservar suelos en sistemas agroforestales con cacao.

El problema central es que, a pesar de la expansión del cultivo de cacao en la región, no se dispone de suficiente información técnica sobre cómo varían los parámetros físico-químicos y biológicos del suelo en función de la edad del cultivo. Esta limitación dificulta el diseño de buenas prácticas agrícolas sostenibles promoviendo la preservación de los recursos edáficos en el tiempo. Planteándose para ello la siguiente interrogante ¿Influyen las edades del cultivo de *Theobroma cacao* L. en las propiedades de calidad del suelo en el fundo Los Rosales – Castillo Grande?

La justificación del presente estudio es aportar evidencia sobre la influencia de la edad del cultivo de cacao en la calidad de la tierra, mediante la medición y análisis de diversos indicadores edáficos. Esta información es crucial para impulsar prácticas agrícolas sostenibles, mejorar la gestión del suelo en sistemas cacaoteros y contribuir al desarrollo rural y ambiental de la región. Asimismo, la investigación se alinea con los objetivos del desarrollo sostenible relacionados con la producción responsable y la conservación de los ecosistemas terrestres.

El estudio se desarrolló en el fundo Los Rosales – Castillo Grande, evaluando clones de *Theobroma cacao* L. de tres diferentes edades (CMP–15, CMP–91, EET–576). Se midieron y analizaron parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo, con el objetivo de definir relaciones significativas entre la edad del cultivo y la calidad del suelo, y generar una base técnica aplicable a contextos agroforestales similares en la Amazonía peruana. Formulándose para ello la hipótesis:

Hipótesis

Al menos una de las tres edades del cultivo de *Theobroma cacao* L. influye significativamente en los indicadores de calidad del suelo en el fundo Los Rosales – Castillo Grande.

Objetivo general

Determinar la influencia de los indicadores de la calidad del suelo en tres edades del cacao *Theobroma cacao* L., (cacao) en el fundo los Rosales – Castillo Grande.

Objetivos específicos

- Determinar los indicadores físicos (textura, densidad aparente, temperatura, resistencia a la penetración) y químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio disponible y CIC) del suelo en tres edades del cultivo de *Theobroma cacao* L. (clones CMP–15, CMP–91, EET–576).
- Evaluar la cantidad, densidad y diversidad de macrofauna edáfica en las tres edades del cultivo.
- Analizar la relación entre los parámetros físicos y químicos del suelo con los parámetros biológicos (macrofauna) en las tres edades del cultivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Suelo y calidad edáfica

Moscatelli et al. (2005) señalan que la calidad de los suelos a nivel global ha disminuido drásticamente debido a la expansión agrícola que ha reemplazado ecosistemas equilibrados. Esta intensificación agrícola, aunada a prácticas de manejo inadecuadas, ha provocado el desgaste de la composición del suelo, la reducción de M.O y, por ende, la disminución de su fertilidad fisicoquímica y biológica.

El suelo es un recurso natural no renovable que cumple funciones ecológicas vitales para la productividad agrícola, el equilibrio ecológico y la sostenibilidad ambiental. La calidad del suelo alude a su aptitud para operar como un ecosistema esencial que nutre la vida vegetal, animal y humana, manteniendo la productividad, la calidad del agua y la biodiversidad (FAO, 2021).

2.1.2. Indicadores de calidad del suelo

Sánchez (2007) explica que los parámetros del suelo, como la textura, composición, color, composición mineralógica y densidad, le confieren identidad, mientras que las propiedades, como la capacidad de retención de humedad, los coeficientes hídricos, la aireación, porosidad y permeabilidad, se refieren a su comportamiento derivado de estas características.

Los indicadores del suelo permiten evaluar su salud y funcionalidad, y se agrupan en físicos, químicos y biológicos. Según Castellano et al. (2021), estos indicadores deben ser sensibles a cambios de manejo, fáciles de medir, representativos del ecosistema y permitir la toma de decisiones agrícolas sostenibles.

2.1.3. Indicadores físicos

Los indicadores físicos reflejan las condiciones estructurales del suelo, tales como la **textura, densidad aparente, resistencia a la penetración, y temperatura.**

La textura regula la retención de humedad y nutrientes. Es clave para determinar la capacidad de cultivo del suelo (Silva et al., 2020). Los suelos se clasifican según su composición: los arenosos predominan en arena, los arcillosos en arcilla y los limosos en limo. Las variaciones en las proporciones de los componentes menos abundantes determinan la clase textural específica y su denominación. (Doran y Lincoln, 1999).

Tabla 1. Agrupamiento general de las clases texturales

| Grupo textural | Denominación empírica | Clases Textural |
|----------------|--------------------------|-----------------|
| Arenosa | Suelos de textura gruesa | Arenas |

| | | |
|-----------|---------------------------------------|--|
| | | Arenas Franca |
| Franca | Suelo de textura moderadamente gruesa | Franca Arenosa Franca Arenosa fina Franca Arenosa muy fina Franca |
| | Suelos de textura media | Franca Limosa Limosa Franca Arcillosa |
| | Suelos de textura moderadamente fina | Franca Arcilla Arenosa Franca Arcilla Limosa |
| Arcillosa | | Arcilla-Arenosa |
| | Suelos de textura fina | Arcilla-Limosa Arcillosa |
| | | |

- La D.A y la RP son parámetros de la compactación de la tierra, que puede restringir el desarrollo radicular (Flores-Rojas et al., 2021). La densidad de partículas minerales varía entre <1.0 y >1.7 g/cm³ en suelos arenosos y arcillosos, de 1.0 a 1.5 g/cm³ en suelos franco-arcillosos, y de 1.5 a 1.7 g/cm³ en suelos francos. Típicamente, la D.A del suelo oscila entre 1.0 y 1.7 g/cm³ y suele aumentar con la profundidad.
- La temperatura de la tierra influye en la actividad microbiana y el metabolismo de nutrientes (Martínez-Cruz et al., 2022). El calentamiento terrestre necesita de la radiación neta que alcanza la superficie, que resulta del balance energético de onda corta y larga, y está influenciada por factores externos al suelo.

2.1.4. Indicadores químicos

Los principales indicadores químicos incluyen el pH, la MO, el nitrógeno total, el fósforo disponible, el potasio y la CIC.

Un pH equilibrado (6.5-7.5) optimiza la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana (Castillo & López, 2020; Sánchez, 2007), mientras que valores fuera de este rango pueden generar toxicidad en las plantas.

Tabla 2. Niveles de pH en el suelo

| interpretación | Rango |
|------------------------|-----------|
| Extremadamente ácida | <4,5 |
| Fuertemente ácida | 4,6 – 5,4 |
| Moderadamente ácida | 5,5 – 6,5 |
| Neutro | 6,6 – 7,3 |
| Moderadamente alcalina | 7,4 – 8,5 |
| Fuertemente alcalina | >8,5 |

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la UNAS.

- La M.O mejora la composición de la tierra, su capacidad de almacenar agua y nutrientes (Zambrano et al., 2023), pero su contenido óptimo varía regionalmente. Por ejemplo, un 2% puede ser alto en un valle aluvial de la costa, bajo en la sierra y medio en la Amazonía baja.

Tabla 3. Intervalos de MOS.

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

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

- La CIC refleja la capacidad del suelo para almacenar y liberar cationes esenciales para las plantas (Alvarado et al., 2019).

La importancia de la CIC:

- El suelo influye en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , entre otros).
- Interviene en la floculación/dispersión de arcilla que afecta la composición y estabilidad de los agregados.
- Define en la capacidad de la tierra para retener contaminantes, actuando como depurador natural.

Tabla 4. Niveles de la CIC (pH > 5.5)

| Nivel | CIC (meq/100 g de suelo) |
|-------|--------------------------|
| Bajo | menos de 12 |
| Medio | 12 – 20 |
| Alto | mayor de 20 |

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

Tabla 5. Niveles de la CIC (pH < 5.5)

| Nivel | CIC (meq/100 g de suelo) |
|-------|--------------------------|
| Bajo | menor de 4 |
| Medio | 10 - 20 |
| Alto | mayor de 30 |

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

2.1.5. Nutrientes en el suelo

Los nutrientes, compuestos químicos disueltos en la tierra, son cruciales para el desarrollo vegetal. Trece elementos minerales son vitales; su ausencia impide el desarrollo de las plantas. Las plantas obtienen estos nutrientes principalmente del suelo a través de las raíces y del aire a través de las hojas. La evolución adecuada de plantaciones depende del contenido nutricional del suelo, influenciado no solo por su estado químico sino también por elementos como el clima, la composición física, los cultivos previos y presentes, y la actividad microbiológica (Zavala, 1999).

2.1.5.1. Nitrógeno en el suelo

En suelos minerales, la mayor parte del N se encuentra en la M.O proveniente del desgaste de microorganismos y plantas, forma no disponible para los cultivos. La proporción de N en el suelo es más variable que la de otros elementos esenciales (Navarro, 2003). El N se incorpora al suelo mediante la M.O y la fijación bacteriana, siendo utilizado por plantas, animales y microorganismos. (Bran et al., 2017).

Sin embargo, la proporción de N en varios suelos es limitada por su dinámica y etapa biogeoquímica (Sánchez, 2007). Este N se repone mediante aportes de M.O (abonos orgánicos y residuos de cosecha) y la fijación bacteriana desde la atmósfera.

Tabla 6. Niveles de contenido de N.

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

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.1.5.2. Fósforo disponible en el suelo

Es el macronutriente que más comúnmente limita el rendimiento de las plantas, siendo esencial para numerosas etapas bioquímicas celulares en las plantas. Su principal fuente es la fertilización fosfatada, mientras que las pérdidas ocurren por la extracción en la cosecha, erosión y escurrimiento, con una lixiviación insignificante (Navarro, 2003).

En el suelo, el fósforo se encuentra en formas inorgánicas (de la meteorización de la roca madre) y orgánicas (en el humus y la M.O). La proporción total de P en la tierra, expresada como P_2O_5 , raramente supera los 7 ppm. La mayor parte es insoluble y, por lo tanto, no aprovechable por las plantas, requiriendo la forma $H_2PO_4^-$ o H_2PO_4 en la solución de la tierra para su asimilación. La absorción es óptima a pH bajos, donde predomina la forma $H_2PO_4^-$. (Lok, 2005). El contenido de fósforo está ligado a la M.O y la textura del suelo, con un promedio de 180 mg/kg (Wild, 1992).

Tabla 7. Niveles de contenido de P.

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

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.1.5.3. Potasio disponible del suelo

El potasio, también esencial, es requerido en cantidades similares al nitrógeno. El dióxido de potasio activa numerosas enzimas (más de 60 conocidas) que intervienen en etapas metabólicas como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y carbohidratos. Además, influye en el balance hídrico y el desarrollo meristemático, favoreciendo el desarrollo vegetativo, la fructificación, la maduración y calidad de los frutos (Navarro, 2003).

El potasio es abundante en el suelo, con un contenido de K₂O que depende de la textura. Al igual que con el fósforo, los vegetales requieren proporciones elevadas de este nutriente, y su participación en procesos metabólicos favorece el desarrollo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos (Lok, 2005).

Tabla 8. Niveles de contenido de K disponible (K₂O).

| Nivel | Rango (Kg/ha) |
|-------|---------------|
| Bajo | Menor de 300 |
| Medio | 300 – 600 |
| Alto | Mayor de 600 |

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.1.6. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos evalúan la biodiversidad y actividad de organismos del suelo. La macrofauna edáfica (lombrices, artrópodos, etc.) es un bioindicador clave por su influencia en la descomposición de M.O, formación de poros y ciclado de nutrientes (Jiménez et al., 2020).

2.1.7. Macrofauna edáfica y calidad del suelo

En suelos tropicales, la macrofauna (animales del suelo >2 mm) juega un papel clave. Este grupo incluye termitas, lombrices, escarabajos, arañas, larvas de moscas y mariposas, caracoles, milpiés, ciempiés y hormigas. Los escarabajos suelen ser el grupo más diverso, mientras que las termitas y hormigas son las más abundantes, y las lombrices dominan la biomasa (Lavelle et al., 1994). La cantidad de la macrofauna alcanzaría millones de individuos por hectárea, con una biomasa de muchas ton/ha.

La diversidad y abundancia de macrofauna edáfica reflejan el estado de salud del suelo. Estudios recientes demuestran que prácticas agroecológicas, como el uso de coberturas vegetales y fertilización orgánica, incrementan significativamente la biomasa y diversidad de estos organismos (Rojas et al., 2021).

En cultivos perennes como el cacao, se ha comprobado que la edad del cultivo y el manejo agronómico tienen efectos importantes sobre la contextura de las poblaciones de macroinvertebrados de la tierra (Vásquez & Cueva, 2022).

Tabla 9. Clasificación de la macrofauna del suelo por grupos.

| Grupos |
|-----------------------------------|
| Diámetro > 2 mm, longitud > 10 mm |
| Artrópodos |
| Arácnidos |
| Ácaros |
| Isóptera |
| Miriópodos |
| Quilópodos |
| Colémbolos |
| Himenópteros |
| Coleópteros |
| Gasterópodos |

Fuente: PORTA (1999).

Tabla 10. Clasificación de la macrofauna del suelo por Subclase.

| Subclase |
|-------------------------------------|
| Diámetro > 2 mm, longitud > 10.4 mm |
| Lumbricidae |
| Chilópoda |
| Diplópoda |
| Isópoda |
| Insecta |
| Enchvtreidae |

Fuente: BURGÉS (1996).

2.1.7.1. Importancia de la macrofauna del suelo

Un estudio de 127 poblaciones de macrofauna en 37 localidades y 9 tipos de ecosistemas de la Amazonía peruana identificó más de 14 500 especies de 18 grupos. Las lombrices terrestres dominaron la biomasa, las hormigas la cantidad y las termitas ocuparon el tercer lugar en cantidad. Las perturbaciones afectaron significativamente a casi todos los grupos. Las larvas de escarabajos también son un componente primordial de la macrofauna del suelo. (Brown *et al.*, 2001).

2.1.7.2. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo

Los indicadores fisicoquímicos de la tierra influyen directamente en la fauna edáfica mediante la proporción de M.O y humedad, el pH, la estructura de la tierra y la aireación. Indirectamente, estas propiedades afectan a la fauna mediante su impacto en la vegetación (Dubs *et al.*, 2004; Swift *et al.*, 1976, citado por Doran, 1999).

La densidad de coleópteros y oligoquetos se correlaciona positivamente con el contenido de C orgánico y N total (Acevedo *et al.*, 2005; Acevedo y Martínez, 2003). Los suelos bien drenados y ricos en bases, donde la M.O es distribuida a lo largo del perfil («mull»), favorecen altas densidades de lombrices de tierra. Por el contrario, los suelos con un contenido discreto de M.O («mor») están habitados por pequeños artrópodos y enquitreidos que viven en la superficie (García *et al.*, 2012).

La mayor parte de organismos evaden los suelos ácidos, característica influenciada por el material parental, la vegetación y la descomposición (Karlen *et al.*, 1997). En estados de déficit hídrico, se trasladan a zonas más profundas del perfil y distribuyéndose de forma agregada. (Ferrerías *et al.*, 2009). La humedad de la tierra influye significativamente en la macrofauna, superando incluso la disponibilidad de nutrientes. Por ejemplo, suelos con baja concentración de nutrientes, pero buena humedad presenta mayor densidad de macrofauna que tierras ricas en nutrientes pero secos (Lavelle *et al.*, 1994).

Los artrópodos, especialmente los colémbolos que habitan los primeros 5 cm de la tierra son la macrofauna más abundante. Los colémbolos fragmentan la materia orgánica, incrementando su superficie. Las lombrices, por su parte, mezclan la M.O con los compuestos minerales del suelo. Estimamos una biomasa de 10 ton de lombrices por 0.4 ha/año, que en 50 años trasladan a la superficie el volumen de suelo de los primeros 22 cm.

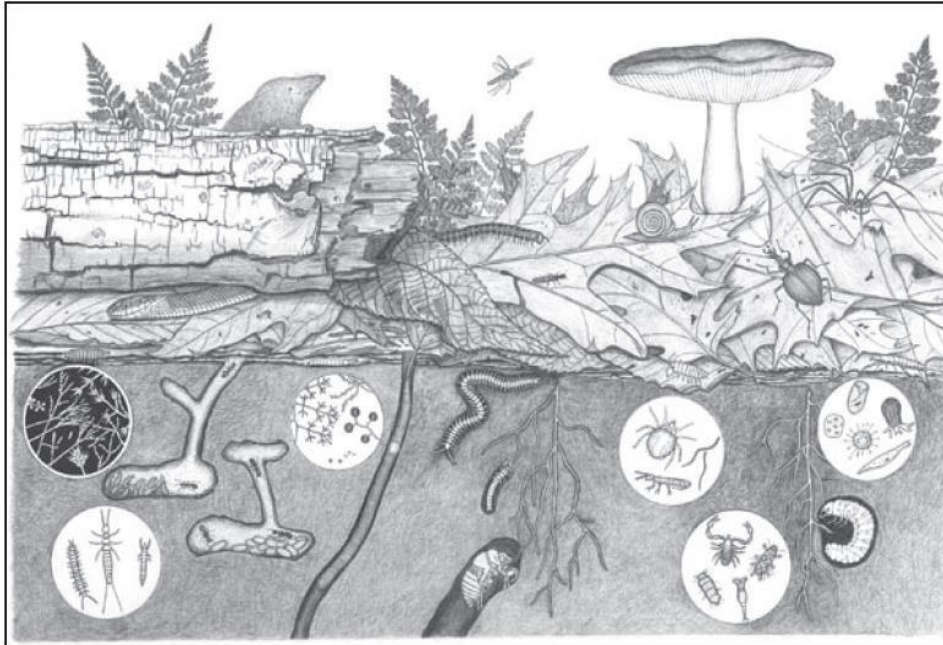
Tabla 11. Actividades de la fauna del suelo en las etapas de desgaste y la composición del suelo.

| Categoría | Ciclaje de nutrientes | Estructura del suelo |
|--|--|---|
| Microfauna (4 μm – 100 μm) | Regulan poblaciones de bacterias, hongos y microfauna. Influyen en el ciclaje de nutrientes | A través de interacciones con la microflora, pueden afectar la estructura del suelo. |
| Mesofauna (100 μm – 2 mm) | Regulan las poblaciones de hongos y de la microfauna. Alteran el ciclaje de nutrientes. Fragmentan detritos vegetales. | Producción de pelotas fecales. Forman bioporos. Promueve humificación. |
| Macrofauna (2 mm – 20 mm) | Regulan los hongos y la microfauna. Estimula actividad microbiana | Descomposición de partículas orgánicas y minerales. Redistribución de M.O y microorganismos. Promueve humificación. Producción de pelotas fecales. |

2.1.8. Importancia de los organismos del suelo

Los microorganismos son esenciales para la dinámica y el desarrollo del suelo. Un gramo de tierra fértil contiene millones de microorganismos beneficiosos, como bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos. Un suelo fértil mantiene una reserva adecuada de nutrientes disponibles o posee una población microbiana que los libera, favoreciendo el desarrollo vegetal (Pla, 2006).

Un acre de suelo superficial fértil alberga una biomasa significativa de lombrices, hongos, bacterias, protozoos, artrópodos, algas e incluso pequeños mamíferos. Por lo tanto, el suelo debe considerarse una comunidad viviente, no un cuerpo inerte (Sandoval, 2006).



La increíble diversidad de vida en el suelo. Dibujo por James Nardi, UIUC.

Figura 1. La increíble diversidad de vida en el suelo

2.1.9. Microorganismos viables

La vida microbiana exhibe una notable diversidad, prosperando en ambientes que varían de temperaturas de congelación a ebullición, tanto en agua salada como dulce, y en presencia o ausencia de aire. Muchos microorganismos desarrollaron ciclos de vida que incluyen la latencia en respuesta a la escasez de nutrientes. Su versatilidad metabólica les permite adaptarse a una amplia gama de condiciones (Claudia, 2003).

Los microorganismos abarcan hongos (incluidas las levaduras), bacterias, arqueas, actinomicetos, protozoos, algas y virus. El suelo está repleto de complejas comunidades microbianas que compiten por nutrientes y energía. Sus subproductos metabólicos alteran la estructura química del suelo, y los propios microorganismos evolucionan en respuesta a las presiones ambientales (Ferrerías et al., 2007).

2.1.10. Lombrices de tierra

Las madrigueras de las lombrices de tierra mejoran la infiltración de agua y la aireación de la tierra. Los campos con túneles de lombrices pueden absorber de 4 a 10 veces más agua que aquellos sin ellos, lo que reduce la escorrentía, repone las aguas subterráneas y conserva el agua durante los períodos secos (Zerbino y Morón, 2003). Las madrigueras verticales de lombrices transportan aire a las profundidades de la tierra, impulsando el ciclo de nutrientes microbianos a esas profundidades (Pashanasi, 2001). En grandes cantidades, las madrigueras de lombrices pueden reemplazar parcialmente la costosa labranza mecánica. Las lombrices consumen material vegetal muerto (detritos) en la superficie del suelo,

redistribuyendo la M.O y los nutrientes por toda la capa superficial. Componentes ricos en nutrientes recubren sus túneles. Durante las sequías, estos túneles permiten que las raíces penetren más profundamente en las regiones del subsuelo ricas en humedad. A medida que se desplazan por el suelo, las lombrices también ingieren suelo y microbios de la tierra. Sus excrementos, conocidos como tierra negra o humus de lombriz, son altamente fértiles (Sandoval, 2006).

2.1.11. Artrópodos

Los detritívoros de mayor tamaño, visibles a simple vista, como las cochinillas de la humedad (Oniscoidea), los milpiés, los ciempiés, las babosas, los caracoles y los colémbolos (Collembola), también contribuyen a la descomposición (Morón, 2007). Algunos entierran los residuos, lo que facilita el contacto con otros organismos del suelo que participan en la descomposición. Los colémbolos consumen principalmente hongos, y sus desechos, ricos en nutrientes, son descompuestos por otros hongos y bacterias. Los escarabajos peloteros desempeñan un rol valioso en el reciclaje de excrementos y la disminución de parásitos intestinales y moscas en el ganado (Ferrerías et al., 2007).

2.1.11.1. Diversidad de especies

La macrofauna terrestre, que comprende los invertebrados visibles a simple vista que habitan dentro o sobre el suelo (lombrices, termites, hormigas, milpiés, ciempiés, arañas, escarabajos, gallinas ciegas, grillos, chicharras, caracoles, escorpiones, chinches, larvas de moscas y mariposas), puede superar las mil variedades en un ecosistema. Su densidad y biomasa alcanzarían más de un millón de individuos y una ton/ha, respectivamente. Estos organismos desempeñan muchas funciones ecosistémicas y se clasifican funcionalmente de diversas maneras (Sandoval, 2006).

2.1.11.2. Prácticas de manejo

La conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas induce cambios significativos en los componentes de la tierra y en la cantidad, biomasa y variedad de la biota edáfica. Las poblaciones resultantes dependen de la intensidad de la alteración y de la capacidad de adaptación de los organismos. (Brown et al., 2001).

La macrofauna responde a las prácticas de manejo (rotación de plantaciones, preparación de tierra, adición de M.O fresca) a través de perturbaciones físicas, la repartición de residuos y la comunidad de cultivos (Lavelle y Spain, 1992; Wardle y Bargett, 2004). La preparación del suelo tiene el mayor impacto en la distribución y abundancia de artrópodos, en comparación con otras prácticas (rotación, fertilización, uso de agroquímicos) (Brown et al., 2001; Ferrerías et al., 2007).

La M.O incrementa, la composición, capacidad de almacenamiento de agua se incrementa y las oscilaciones de temperatura de la tierra reduce (Álvarez, 2008). Los residuos superficiales benefician a los invertebrados al proporcionar alimento, hábitat y estabilidad microclimática (FAO, 2001), favoreciendo a organismos cavadores (especialmente lombrices), depredadores y saprófagos (Brown et al., 2001). La respuesta de los herbívoros es variable: algunas poblaciones prosperan, mientras que otras no se ven afectadas (Brown et al., 2001; Zerbino y Morón, 2003). Estos suelos son biológicamente más activos y diversos que los sometidos a laboreo convencional, y ofrecen mayor disponibilidad de nutrientes (Bautista et al., 2004).

En sistemas de cultivos anuales intensivos, el desgaste de M.O y la composición del suelo, sumado al incremento de la compactación, disminuye la complejidad y estabilidad de la población biológica de la tierra (Decaens et al., 1994). Esto conduce a la pérdida de la fauna original, la simplificación de las comunidades, la reducción de depredadores y un mayor riesgo de plagas, como se ha observado en ambientes templados y cultivos como arroz, maíz y soja. (Vargas - Machuca, 2010).

2.1.12. Relación entre la edad del cultivo de cacao y calidad del suelo

Investigaciones en sistemas agroforestales de cacao han demostrado que la edad de la planta influye en la calidad de la tierra, especialmente en variables como materia orgánica, contenido de nutrientes y diversidad biológica edáfica (Mendoza et al., 2020). Los sistemas más antiguos presentan mayor estabilización ecológica y mejor estructura del suelo.

2.1.13. Morfología del cacao

León (1968) indica que el género *Theobroma* comprende alrededor de 30 especies y clasifica el cacao según la siguiente sistemática:

| | | |
|----------|---|---------------------------|
| Reino | : | Vegetal |
| División | : | Fanerógamas |
| Clase | : | Angiospermas |
| Subclase | : | Dicotiledónea |
| Orden | : | Malvales |
| Familia | : | Sterculiácea |
| Tribu | : | Bitneriana |
| Género | : | Theobroma |
| Sección | : | Eutheobroma |
| Especie | : | <i>Theobroma cacao L.</i> |

El cacao es originario de los suelos bajos y bosques densos de Centroamérica y el norte de Sudamérica, regiones caracterizadas por un clima cálido y húmedo en todo el año (Hardy, 1960).

La temperatura su óptimo crecimiento oscila entre 24 y 26 °C, con límites inferior y superior de 23 °C y 32 °C respectivamente; fuera de este rango, la producción disminuye significativamente (Paredes, 2004). El cacao criollo, la especie más importante económicamente, es apreciado por producir el cacao fino (García, 1988).

La planta de cacao es permanente, con una vida útil productiva promedio de 20 años (Paredes, 2004). Desarrolla una raíz pivotante central que puede alcanzar los 2 metros de profundidad en suelos bien drenados (Benito, 1992). Las raíces secundarias, más abundantes en la parte superior de la raíz principal, se extienden hasta 6-5 metros y se concentran en las capas superiores del suelo. En plantas de propagación clonal, no se desarrolla una raíz pivotante, sino muchas raíces principales (Crespo, s/p).

El tallo tiene dimorfismo en sus órganos vegetativos. Inicialmente, el brote ortotrópico muestra hojas pecioladas con filotaxis 3/8. Después de varios años y al alcanzar 1.50 metros, el crecimiento apical cesa, generando cinco yemas laterales que forman ramas plagiotrópicas dorsiventrales (horquetas), las cuales se distinguen por hojas pecioladas más cortas y filotaxis ½ (Benito, 1992).

2.1.14. Tipos de cacao

Existen tres tipos principales de cacao: criollo, forastero y trinitario, definidos por sus características cualitativas y cuantitativas (García, 1988).

2.1.14.1. Los criollos o dulces

Los criollos, originarios de Centroamérica, Colombia y Venezuela, se caracterizan por sus mazorcas cilíndricas con diez surcos simples o cinco pares, cáscara verrugosa delgada o gruesa con una ligera capa lignificada, cuello con o sin depresión, puntas agudas y semillas con cotiledones blancos o ligeramente pigmentados. Esta diversidad produce el cacao fino, aunque el cacao criollo puro es raro debido a hibridaciones. (García, 1988).

2.1.14.2. Los forasteros o cacao amargo

Originario de Sudamérica, el cacao Forastero se cultiva ampliamente en las regiones cacaoteras de África y Brasil. Estos árboles son vigorosos y más resistentes a las enfermedades que las variedades Criollo, caracterizados por un follaje robusto. Los frutos tienen cáscaras duras y relativamente lisas. Las semillas aplanadas son moradas y de sabor amargo. Las vainas son ovoides, con diez surcos superficiales y profundos, cáscaras lisas o ligeramente verrugosas, delgadas o muy gruesas, con capas lignificadas en el centro del

pericarpio y extremas redondeadas. Mayormente sus vainas son verdes con tonos blanquecinos o rosados, y contienen semillas moradas, triangulares, aplanadas y pequeñas (García, 1988).

2.1.14.3. Los cacaos trinitarios

El cacao Trinitario es un híbrido de las variedades Criollo y Forastero, con semillas más grandes que ambas. Sus mazorcas varían en forma y color, y las plantas son más robustas, con troncos más gruesos. Hoy en día, la mayoría de los árboles de cacao a nivel mundial son Trinitario, probablemente originado por un cruce natural entre un Criollo y un Amelonado de Brasil. (García, 1988).

2.1.15. Clones de cacao

Los clones de cacao son plantas con un compuesto genético idéntico, derivados de una planta madre elegida por la propagación asexual mediante esquejes, acodo o injerto (García, 1988). Representan material genéticamente uniforme, originado de un solo individuo y propagado exclusivamente por vía vegetativa (Flores, 2005). Los indicadores primordiales de los clones usados en el presente trabajo son:

2.1.15.1. Clon ICS – 39 (Imperial collage selection)

Este cacao híbrido de Trinidad presenta un dulzor bajo, una acidez fuerte, una astringencia media y un amargor almendrado, y notas florales y frutales suaves. Tiene una arquitectura erecta y es autocompatible. Las vainas tienen forma de angoleta, son verdes, con semillas moradas y cilíndricas. Con aproximadamente 39 almendras por vaina y un peso de 1,5 g, se recomienda para altitudes de hasta 450 msnm. Presenta resistencia a *Moniliophthora roreri* (moniliasis), pero es susceptible a *Crinipellis perniciosus* (escoba de bruja), *Phytophthora* y *Rosellinia* (MINAG, 2004).

2.1.15.2. Clon TSH-565 (Híbrido Seleccionado en Trinidad)

Este híbrido complejo de Trinidad y Tobago produce un promedio de 52 óvulos por ovario, exhibiendo frutos rojos oblongos con una ligera constricción basal en estado inmaduro. Tiene un grosor de cáscara y profundidad de surco intermedios, con 46 semillas por fruto, un peso seco de semilla de 1,4 g, un índice de vainas de 15,5 y un rendimiento de 2500 kg/ha. Muestra resistencia moderada a la podredumbre parda, tolerancia a la escoba de bruja y susceptibilidad moderada a la moniliasis (Paredes, 2015). Sus semillas son elípticas longitudinalmente e intermedias transversalmente. El fruto es grande y de rugosidad moderada. (García, 1988).

2.1.15.3. Clon CCN-51 (Colección Castro Naranjal)

Este híbrido Forastero ecuatoriano produce un promedio de 44 semillas por fruto (1,4 g en seco). Los frutos oblongos rojos, con ligera constricción basal,

cáscara de grosor intermedio y surcos profundos, presentan un índice de vainas de 16 y un rendimiento de 2760 kg/ha, con un contenido de grasa del 54 %. Susceptible a la podredumbre parda, muestra resistencia moderada a la escoba de bruja y susceptibilidad moderada a la moniliasis (García, 1988). Destaca por su tolerancia a enfermedades de raíz y tallo, buena capacidad combinatoria y amplia adaptación (Aranzuzu, 2009), presentando semilla elíptica y fruto grande muy rugoso (García, 1988).

2.1.15.4. Clon CMP-99 (Colección Mendis Paredes)

Este prometedor clon de Forastero, adaptado a suelos de bosque seco, presenta vainas verdes en estado inmaduro y amarillas en la madurez. Sus vainas pequeñas y redondas contienen semillas pequeñas (0,9 g) de forma elíptica longitudinalmente e intermedia transversalmente. Fruto grande, ligeramente rugoso y tolerante a escoba de bruja, moniliasis y podredumbre parda. En plantaciones de alta densidad con buenas prácticas técnicas, este clon puede alcanzar un rendimiento de 3000 kg/ha, aunque su aroma es moderado. (Paredes, 2015).

2.1.15.5. Clon CMP – 91 (Colección Mendis Paredes)

Es un clon forastero promisorio adaptado a suelos secos de la selva, con mazorcas rojizas en estado inmaduro que se tornan anaranjado rojizas al madurar. Su semilla pequeña (0,8 g) es elíptica longitudinalmente e intermedia transversalmente. El fruto es grande y ligeramente rugoso. Este clon, tolerante a escoba de bruja, moniliasis y pudrición parda, puede rendir 3000 kg/ha con alta densidad de siembra y buen manejo técnico, aunque su aroma es medio (Paredes, 2008).

2.1.15.6. Clon CMP-15 (Colección Mendis Paredes)

Es un clon forastero promisorio adaptable a selvas húmedas y de producción continua. Sus mazorcas cambian de rojo a rojo-naranja al madurar. La semilla es mediana (1,3 g), elíptica longitudinalmente y aplanada transversalmente. El fruto es grande, ligeramente rugoso y resistente a moniliasis, escoba de bruja y pudrición parda. En Tingo María, con siembra de alta densidad, rinde hasta 3000 kg/ha y posee un alto aroma (Paredes, 2015).

2.1.16. Evaluación integrada: Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS)

El SUSS es una herramienta reciente que permite integrar los distintos indicadores del suelo (físico, químico y biológico) en un índice de sostenibilidad, facilitando comparaciones entre sistemas de uso del suelo. Su aplicación en agroecosistemas tropicales ha sido efectiva para identificar niveles de degradación y proponer estrategias de manejo (Cruz-Hernández et al., 2021).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Antecedentes nacionales

Mendoza et al. (2020) en un estudio realizado en sistemas agroforestales de cacao en la región San Martín encontró que la edad del cultivo (> 10 años) influye positivamente en las características fisicoquímicas de la tierra, con mayores niveles de materia orgánica, nitrógeno y estabilidad estructural. Además, reportaron que los sistemas más antiguos presentan mayor capacidad de retención de nutrientes y mejor respuesta en la macrofauna edáfica.

Vásquez y Cueva (2022) investigaron la biodiversidad de macroinvertebrados del suelo en cacaotales de diferentes edades en Huánuco - Perú, concluyendo que la cobertura del suelo y el manejo orgánico son factores determinantes en la riqueza y biomasa de macrofauna edáfica. Encontraron que los cacaotales intermedios presentan mayor densidad de macrofauna, debido al aporte constante de hojarasca y al microclima más estable.

Asimismo, en la región Ucayali - Perú, Zambrano et al. (2023) evaluaron la relación entre indicadores químicos de la tierra y macrofauna edáfica en sistemas cacaoteros, encontrando una correlación positiva entre materia orgánica, porosidad y diversidad de macrofauna. Además, concluyeron que los sistemas con mayor aporte de residuos orgánicos conservan mejor la estructura del suelo y aumentan la resiliencia ecológica.

Otros estudios como el de Rojas et al. (2021) en Loreto resaltan que los sistemas agroforestales con cacao conservan mejor la fauna edáfica que los sistemas monoestratificados, validando el uso de la macrofauna como bioindicador de la calidad edáfica en contextos amazónicos.

2.2.2. Antecedentes internacionales

A nivel internacional, Jiménez et al. (2020) y Lavelle et al. (2021) indicaron que los organismos del suelo, en especial la macrofauna, son sensibles al cambiar su empleo agrícola y permiten evaluar el impacto de las prácticas sostenibles sobre la salud edáfica. En estudios realizados en Brasil y Colombia se observó que la abundancia de lombrices, isópodos y coleópteros está estrechamente ligada al contenido de M.O y a la estructura del suelo (Martínez-Cruz et al., 2022).

En Ecuador, Barrezueta-Unda et al. (2021) trabajaron con tierras cultivadas con cacao en la provincia de El Oro, demostrando que indicadores como la materia orgánica, pH y densidad aparente se ven fuertemente influenciados por el sistema de manejo y la edad del cultivo.

Además, Cruz-Hernández et al. (2021) aplicaron el subíndice de uso SUSS en agroecosistemas tropicales, encontrando que la inclusión de indicadores biológicos mejora la

precisión del estudio de la calidad de la tierra y permite orientar mejor las prácticas de conservación.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del área de estudio

Se desarrolló en el distrito de Castillo Grande, políticamente pertenece al sector Papayal, distrito Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, Huánuco, en tres edades del *Theobroma cacao* L. (cacao), de los clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) ubicado en el predio del ingeniero Ronald Paredes Rosales, en una extensión de 3 ha de terreno aproximadamente, a 11 km de Tingo María.

3.1.1. Ubicación geográfica

Se localiza entre las coordenadas geográficas 9°17'18" S y 76°00'47" O, con una altitud promedio de 650 m s.n.m.

La localización del predio en coordenadas UTM del Datum WSG84 de la zona 18 L: Este 389038, Norte 8976853 y una altitud de 665 msnm.

3.1.2. Ubicación en coordenadas UTM de los clones

Se encuentran dentro del terreno del fundo los Rosales.

Tabla 12. Ubicación en coordenadas UTM de los clones de cacao

| Parcelas de cacao | Coordenadas UTM | | Altitud (m.s.n.m.) |
|------------------------|-----------------|---------|--------------------|
| | E | N | |
| Cacao Clon (CMP - 15) | 389029 | 8976873 | 664 |
| Cacao Clon (CMP – 91) | 389038 | 8976853 | 665 |
| Cacao Clon (EET – 576) | 388970 | 8976742 | 646 |

3.1.3. Clima

El clima de la zona corresponde al tipo tropical húmedo, con una temperatura media anual de 24 °C y una precipitación pluvial promedio de 2,500 mm anuales. La humedad relativa cambia entre 80 % y 90 %.

3.1.4. Zona de vida

De acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge, la zona de vida corresponde al Bosque muy Húmedo Premontano Tropical (bmh-PMT).

3.1.5. Suelo

Paredes (2003) manifiesta que los suelos presentan una textura franco-arcillosa, con moderado contenido de M.O y buen drenaje. Se clasifican como suelos aluviales jóvenes con presencia de agregados estructurales estables.

3.1.6. Fisiografía

El relieve de la zona es ligeramente ondulado, con pendientes suaves que oscilan entre 5 % y 12 %.

3.1.7. Hidrografía

El fundo se encuentra próximo a pequeñas quebradas estacionales que descargan sus aguas en el río Huallaga.

3.1.8. Accesibilidad

Es accesible mediante vía terrestre desde la ciudad de Tingo María, por la carretera Fernando Belaunde Terry, en un trayecto aproximado de 30 minutos.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Wincha métrica de 50 m, libreta de campo, formularios, bolsas plásticas (1 y 2 kg), cuadrado y cilindro muestreador, machete, pala, lupa, papel secante, agua destilada, alcohol al 70% y formol.

3.2.2. Equipos

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

3.3. Generalidades de la investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Es de tipo aplicada, porque busca generar conocimiento útil para el manejo sostenible del suelo en sistemas cacaoteros con tres Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande con distanciamiento de (3 m x 2 m).

3.3.2. Nivel de la investigación

Es descriptivo-correlacional, ya que se describen variables del suelo y se analizan correlaciones entre ellas según la edad del cultivo.

3.3.3. Método de la investigación

Este estudio adopta un enfoque descriptivo, comparativo y explicativo. Es descriptivo-comparativo porque detalla y contrasta los diferentes sistemas de uso del suelo. A su vez, es explicativo, ya que analiza la relación causa-efecto entre las variables independiente y dependiente.

a. Variable Dependiente (Y) = Propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo.

b. Variable Independiente (X) = edad del cultivo de cacao (factor con 3 niveles: Clones CMP – 15, CMP – 91 y EET – 756).

Indicadores de la variable X: macrofauna

- Densidad de macrofauna
- Biomasa de macrofauna
- Diversidad de macrofauna (índice de Shannon-Wiener).

3.3.4. Diseño de la investigación

Fue no experimental, transversal, descriptivo – correlacional, ya que no se manipularon variables, sino que se observó y midió en un único momento en el tiempo. (Hernández et al., 2014). La evaluación de la compactación, D.A, macrofauna, y otras actividades fueron realizadas por seis meses.

3.3.5. Análisis de datos

Fueron procesados por el análisis estadístico descriptivo (medias, desviaciones estándar) y ANOVA. Se evaluaron las relaciones entre características fisicoquímicas y biológicas por el coeficiente de correlación de Pearson.

3.4. Cultivo de *Theobroma cacao* L. de variedades clonales

3.4.1. Clon Mendis Paredes CMP - 15

El cacao de la variedad CPM - 15 es aromático de 12 años con producción orgánica y un distanciamiento de 3 m x 2 m, mientras que la bolaina blanca (*Guazuma crinita*) tiene un aproximado de 10 años de establecido con un distanciamiento en sus inicios de 6 m x 3 m y en la actualidad se encuentra raleada con un distanciamiento de 24 m x 3 m, distribuidos en un zona de 5,000 m².

3.4.2. Clon Mendis Paredes CMP - 91

El cacao de la variedad CPM - 91 es aromático y policlonal, con diferentes variedades de 12 años con producción orgánica y un distanciamiento de 3 m x 2 m, mientras que la bolaina blanca (*Guazuma crinita*) tiene un aproximado de 10 años de establecido con un distanciamiento en sus inicios de 6 m x 3 m y en la actualidad se encuentra raleada con un distanciamiento de 24 m x 3 m, distribuidos en una extensión de 5,000 m².

3.4.3. Clon EET - 576

El campo experimental cuenta un sistema de siembra de cacao del clon EET - 576 con una densidad de siembra de 3 m x 2 m, entre planta e hilera respectivamente, la distribución de la capirona está a una distancia de 8 m x 8 m, con abonamiento orgánico desde su inicio de establecimiento. El área total establecida es de 1000 m², el área de evaluación está constituida por 38 m de largo y 24 m de ancho, haciendo un total de 912 m².

3.5. Metodología

3.5.1. Determinar los parámetros físicos (textura, densidad aparente, temperatura del suelo, resistencia a la penetración del suelo) y químicas (pH, materia

orgánica, nitrógeno, fósforo, capacidad de intercambio catiónico) del suelo en tres edades del *Theobroma cacao* L. (cacao), Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande

- Reconocimiento del lugar

Se visitó el fundo Los Rosales para obtener la autorización necesaria para iniciar la investigación. Posteriormente, se realizó una segunda visita junto al propietario para reconocer el terreno e identificar la zona específica en la que se realizó el estudio.

- Ubicación de los puntos para muestreo

Se seleccionaron tres parcelas de cacao correspondientes a diferentes edades: CMP–15, CMP–91 y EET–576. En cada parcela se establecieron cinco puntos de muestreo, de forma sistemática, considerando una profundidad de 0–20 cm del suelo. En estos puntos se tomaron muestras compuestas para el estudio de indicadores fisicoquímicos del suelo.

- **Textura:** determinada por el método del hidrómetro (Bouyoucos modificado).
- **Densidad aparente:** se utilizó el método del cilindro de volumen conocido (100 cm³).
- **Temperatura del suelo:** medida *in situ* con un termómetro digital a 10 cm de profundidad.
- **Resistencia a la penetración:** evaluada con un penetrómetro manual.

Para el análisis químico:

- **pH: determinado** en una suspensión suelo:agua (1:2.5) con potenciómetro.
- **Materia orgánica:** método de oxidación húmeda (Walkley & Black).
- **Nitrógeno total:** método Kjeldahl.
- **Fósforo disponible:** método Bray II.
- **Potasio disponible:** método de extracción con acetato de amonio.
- **CIC:** extracción con acetato de amonio 1N, pH 7.

Las muestras se llevaron al laboratorio de suelos de la UNAS, donde se realizaron todos los estudios bajo protocolos estandarizados

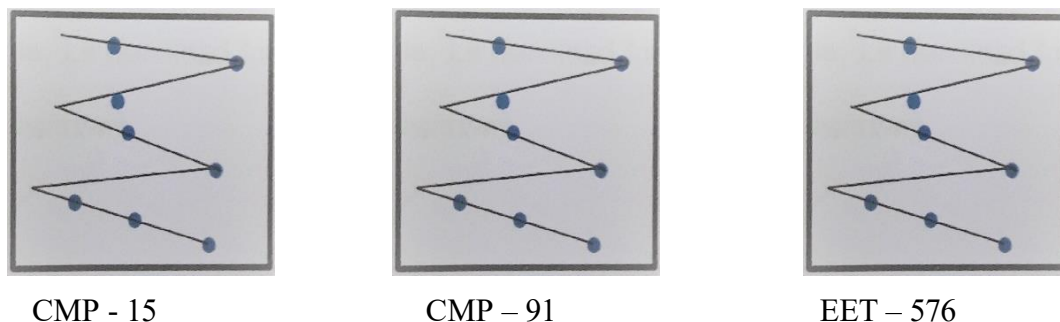


Figura 2. Muestreo de suelo para análisis físico – químico por cada clon.

3.5.2. Evaluar la cantidad, densidad y diversidad de macrofauna edáfica en las tres edades del *Theobroma cacao* L. (cacao), Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande

- Muestreo de la macrofauna edáfica del suelo

La toma de muestras de la macrofauna del suelo se realizará siguiendo una metodología parecida a la de Vargas-Machuca (2010), quien determinó los puntos de muestreo por un plan sistemático. Se establecerá un transecto lineal de 40 m, extrayendo monolitos cada 10 m, resultando en un total de cinco monolitos por parcela (Figura 2).

Para la recopilación de la macrofauna existente en cada parcela clonal, se empleó el protocolo TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), recomendado por la FAO. En cada parcela (por edad del cultivo) se extrajeron cinco bloques de suelo de 25 cm × 25 cm × 30 cm.

- Recolección de especies de macrofauna del suelo

Se realizó manualmente, separando cuidadosamente los organismos visibles en campo.

- Cuantificación de la macrofauna del suelo

Cada organismo fue identificado a nivel de orden taxonómico, contado, y almacenado en frascos con alcohol al 70 %.

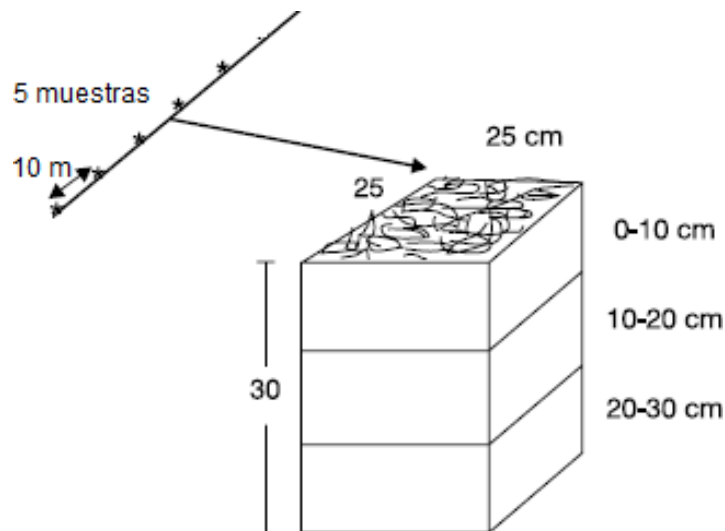


Figura 3. Esquema del plan de muestreo

- Biomasa de macrofauna

La fauna de la tierra fue evaluada in situ, y los especímenes se conservaron en alcohol al 80% (insectos de cutícula dura) o en formol al 4-10% (larvas e insectos de cutícula blanda). Fue cuantificada la biomasa (g/m²) y la densidad (individuos/m²) de los macroinvertebrados con un estereoscopio, y se determinó su peso con una balanza digital de

precisión. Para compensar la pérdida de peso inducida por la fijación en alcohol y formol, los datos de biomasa se ajustaron con factores de corrección específicos para lombrices (19%), hormigas (9%), escarabajos (11%), arañas (6%) y el resto de macroinvertebrados (13%) (Decaens et al., 2001).

- **Densidad de macrofauna**

Mediante la clave de identificación, se determinó la taxonomía, se calculó la densidad de ejemplares por metro cuadrado, se registró la cantidad de especímenes por taxón y monolito, se sumó el total de integrantes por taxón y se estimó el porcentaje medio de profusión o concentración relativa por taxón y sistema agroforestal.

Se realizó un gráfico de porcentajes de abundancia.

Se pesó la macrofauna de los sistemas agroforestales para determinar su biomasa.

$$\text{DRM} = \text{Densidad relativa por monolito} = \frac{\text{Sumatoria de los monolitos}}{\text{Total de Monolitos}}$$

$$\% \text{ Frecuencia} = \frac{\text{Sumatoria de densidades}}{\text{Número de unidades taxonómicas}}$$

- **Variables biológicas para evaluar**

Para estudiar la macrofauna como indicador biológico de la tierra en las tres parcelas clonales, se definieron los siguientes compuestos biológicos Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros biológicos del suelo (variables).

| Parámetros biológicos | Método de su determinación |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Densidad de la macrofauna | Método directo por conteo |
| Biomasa de la macrofauna | Método directo por conteo |

- **Diversidad de especies**

Se aplicó el índice de Shannon-Wiener (H') para estimar la diversidad de macroinvertebrados por parcela.

- **Riqueza de la diversidad biológica alfa**

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

Índice de Diversidad de Shannon - Wiener (H')

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

Dónde:

n_i = Abundancia de género

$N = \text{Abundancia total de los géneros} = \sum ni$

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

- **VARIABLES PARA EVALUAR**

Para analizar la macrofauna como parámetro biológico en las diferentes parcelas clonales, se tomaron en consideración los siguientes compuestos fisicoquímicos y biológicos de la tierra.

Tabla 14. Características físicas, químicas y biológicas del suelo (variables)

| Parámetros físicos | Método de su determinación |
|------------------------------|------------------------------------|
| Textura del suelo | Método del hidrómetro de bouyoucos |
| DA | Por volumen, peso húmedo y seco |
| Porosidad | Por volumen, peso húmedo y seco |
| RP | Método directo (penetrómetro) |
| Parámetros químicos | |
| MO | Método de Walkley y Blakc |
| Reacción del suelo | Método del potenciómetro |
| N | Método de Kjeldahl |
| P | Método de Olsen |
| K | Método del ácido sulfúrico |
| Parámetros biológicos | |
| Densidad de la macrofauna | Método directo por conteo |
| Diversidad de especies | Método Shannon – Winner |

Los resultados obtenidos permitieron establecer patrones de abundancia y riqueza entre las diferentes edades del cultivo.

3.5.3. Analizar la relación entre las características físicas y químicas del suelo con las características biológicas (macrofauna) en las tres edades del (*Theobroma cacao* L.) cacao, Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande

Se utilizó análisis de correlación de Pearson para definir la relación entre las variables del suelo (como materia orgánica, pH, textura, densidad, etc.) y las variables biológicas (como densidad, biomasa y diversidad de macrofauna).

Además, se realizó un ANOVA para detectar diferencias significativas entre las tres edades del cultivo respecto a los indicadores evaluados.

En caso de diferencias significativas, se empleó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para comparar medias.

Los estudios fueron realizados con el software estadístico SPSS v25 y Excel, y se representaron los resultados en gráficos de barras y tablas comparativas.

3.6. Análisis de datos

Se emplearon modelos matemáticos de regresión y correlación simple para analizar la conexión entre las propiedades del suelo y las variables climáticas (Calzada, 1996).

Ecuación de regresión

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i$$

Coefficiente de correlación

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

De manera similar, se empleó la prueba estadística r para examinar la relación entre dos variables cuantitativas (Hernández *et al.*, 2014).

El coeficiente de Pearson oscila entre -1.00 y +1.00, donde:

-1.00 = correlación negativa perfecta (una relación inversamente proporcional; un aumento constante en X implica una disminución constante en Y, y viceversa”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0.75 = Correlación negativa considerable.

-0.50 = Correlación negativa media.

-0.25 = Correlación negativa débil.

0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0.10 = Correlación positiva muy débil

+0.25 = Correlación positiva débil.

+0.50 = Correlación positiva media.

+0.75 = Correlación positiva considerable.

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1.00 = Correlación positiva perfecta

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar los parámetros (Textura, densidad aparente, Temperatura del suelo, RPS) y químicas (pH, Materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio disponible y CIC) del suelo en tres edades del (*Theobroma cacao* L.) cacao Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales – Castillo Grande.

4.1.1. Parámetros físicos del suelo en tres edades del (*Theobroma cacao* L.) cacao Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales

Se observaron diferencias notables entre las edades del cultivo en cuanto a textura, D.A, temperatura de la tierra y resistencia a la penetración. Los resultados coinciden con lo reportado por Mendoza et al. (2020), quienes encontraron que las plantaciones de cacao de mayor edad tienden a mejorar la estructura del suelo por una mayor acumulación de M.O y menor disturbio.

4.1.1.1. Textura del suelo

Los clones presentaron una clase textural predominante franco-limosa, con ligeras variaciones. CMP-91 presentó un mayor contenido de limo (62.4 %), mientras que EET-576 mostró mayor proporción de arena (23.2 %), lo que influyó en una textura franco-arenosa Tabla 15. Donahue et al. (1999), los suelos con alta proporción de arena clasificadas como arenosos, los de alta proporción de arcilla como arcillosos y los de alto contenido de limo como limosos. La clase de textura varía si las proporciones de los componentes menos predominantes difieren significativamente, reflejando el nombre la nueva composición.

Tabla 15. Textura de los suelos en los tres sistemas con *Theobroma cacao* L.

| Clones | % de Partículas | | | Textura |
|---|-----------------|---------|------|-------------------|
| | Arena | Arcilla | Limo | |
| Teobroma cacao L. “cacao” variedad CMP - 15 | 19.2 | 24.4 | 56.4 | Franco Limoso |
| Teobroma cacao L. “cacao” variedad aromático CMP - 91 | 15.2 | 22.4 | 62.4 | Franco Limoso |
| Teobroma cacao L. “cacao” variedad aromática EET - 576 | 23.2 | 16.4 | 60.4 | Franco Arenoso |

4.1.1.2. Densidad aparente

La Tabla 16 muestra que la D.A fue significativamente menor en CMP-91 (1,20 g/cm³) y EET-576 (1,32 g/cm³), lo que indica una mejor estructura del suelo. Por el contrario, CMP-15 presentó valores más altos (>1,45 g/cm³), lo que sugiere una mayor

compactación. Según Arskead et al. (1996), citado por el USDA (1999), la D.A es susceptible a alteraciones derivadas de las prácticas de cultivo y de las precipitaciones al impactar. Acebedo et al. (2005) indica que la compactación del suelo puede reducir su espesor y restringir el desarrollo radicular. Las densidades aparentes típicas de la tierra oscilan entre 1,0 y 1,7 g/cm³, generalmente aumentando con la profundidad y variando con el contenido de agua. El USDA, 1999, reporta densidades de partículas minerales entre <1,0 y >1,7 g/cm³ en suelos arcillo-arenosos, entre 1,0 y 1,5 g/cm³ en la capa superficial del suelo y entre 1,5 y 1,7 g/cm³ en suelos arcillosos. Los resultados obtenidos están entre los rangos esperados para la arcilla arenosa y la capa superficial del suelo, según la definición de estos autores.

Tabla 16. DA de los suelos en los tres sistemas con *Theobroma cacao* L.

| Clones | D.A. g/cm ³ |
|---|------------------------|
| Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad CMP - 15 | 1.45 |
| <i>Teobroma cacao</i> L. “cacao” variedad aromática CMP - 91 | 1.20 |
| <i>Teobroma cacao</i> L. “cacao” variedad aromática EET - 576 | 1.32 |

4.1.1.3. Resistencia a la penetración

Fue también menor en CMP-91, asociada a un mayor contenido de M.O y a un menor disturbio de la tierra, lo que facilita el desarrollo radicular y la actividad biológica. Tabla 17. Sánchez (2007) señala que el espesor observable está condicionado por el grado de desprendimiento o porosidad del suelo, la naturaleza de la superficie, la estructura, la composición de la M.O y las propiedades que favorecen el crecimiento radicular en los tres contextos de aprovechamiento de la tierra. La protección de entrada con espesores de 1,6 g/cm² (CPM - 91), 1,8 kg/cm² (CPM - 15) y 1,8 kg/cm² (EET - 576) es adecuada para suelos delicados. Según el USDA (1999), un mayor espesor generalmente incrementa la obstrucción mecánica y reduce la porosidad del suelo, lo que limita el desarrollo radicular (Tabla 17).

Tabla 17. RPS en los tres sistemas con *Theobroma cacao* L.

| Clones | RP kg/cm ² promedio |
|---|--------------------------------|
| <i>Teobroma cacao</i> L. “cacao” variedad CMP - 15 | 2.1 |
| <i>Teobroma cacao</i> L. “cacao” variedad aromático CMP - 91 | 1.6 |
| <i>Teobroma cacao</i> L. “cacao” variedad aromática EET - 576 | 1.8 |

4.1.1.4. Temperatura del suelo

La temperatura se mantuvo constante en 25,23 °C. Según el USDA, 1999, el calentamiento global se ve influenciado por la radiación neta, la cual se ve afectada

por factores como la cobertura vegetal, que reduce la radiación mediante el sombreado y la modificación del albedo (Tabla 18).

Tabla 18. Temperatura del suelo en los tres sistemas con *Theobroma cacao* L.

| Clones | Temperatura °C |
|--|----------------|
| <i>Theobroma cacao</i> L. “cacao” variedad CMP - 15 | 25,4 |
| <i>Theobroma cacao</i> L. “cacao” variedad aromática CPM - 91 | 24,1 |
| <i>Theobroma cacao</i> L. “cacao” variedad aromática EET - 576 | 26,2 |

4.1.2. Características químicas del suelo (pH, MO, nitrógeno, fósforo, potasio disponible, CIC) en tres edades del (*Theobroma cacao* L.) cacao Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales

Los resultados del análisis químico muestran que el clon CMP–91 presentó mejores condiciones edáficas (menor densidad aparente, mayor MO, fósforo y CIC), lo que concuerda con Mendoza et al. (2020), quienes reportaron que los cacaotales con más de 10 años presentan mayor acumulación de M.O y mejor estructura del suelo. Asimismo, los valores de CIC observados son comparables a los reportados por Zambrano et al. (2023) en sistemas agroforestales de Ucayali, indicando que el manejo orgánico favorece la retención de nutrientes y mejoran la composición de la tierra en sistemas agroforestales. Estos resultados confirman que la edad del cultivo influye significativamente en la fertilidad del suelo, favoreciendo la mejora de propiedades fisicoquímicas en cacaotales intermedios. (Tabla 19).

Tabla 19. Características químicas del suelo en los tres sistemas con *Theobroma cacao* L.

| Clones | pH | M.O | N | P | K | CIC |
|-----------|--------------|--------------|---------------|-------------|---------------|--------------|
| | 1:1 | % | % | ppm | Kg/ha | (cmol/kg) |
| CMP - 15 | 5,7 ± 0,1 ab | 2,8 ± 0,2 b | 0,16 ± 0,01 b | 6.2 ± 0.5 b | 250.1 ± 15 ab | 14.2 ± 0.6 b |
| CPM - 91 | 6,0 ± 0,1 a | 3,9 ± 0,3 a | 0,21 ± 0,02 a | 9.5 ± 0.7 a | 232.9 ± 12 a | 18.7 ± 0.7 a |
| EET - 576 | 5,6 ± 0,2 b | 3,1 ± 0,2 ab | 0,17 ± 0,01 b | 7.1 ± 0.4 b | 202.7 ± 14 b | 15.1 ± 0.5 b |

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$, ANOVA + Tukey).

4.2. Evaluar la cantidad, densidad y diversidad de macrofauna edáfica en las tres edades del *Theobroma cacao* L. (cacao) Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales

4.2.1. Identificación de macrofauna

Fueron identificados 14 órdenes taxonómicos de macrofauna, en el *Theobroma cacao* L. “cacao” variedad CMP – 15, 10 órdenes en el sistema agroforestal *Theobroma cacao*

L. “cacao” variedad aromática CMP-91 y 10 órdenes en el sistema agroforestal *Theobroma cacao* L. “cacao” variedad aromática EET - 576. Los grupos más representativos fueron **Isoptera** (termitas), **Haplotaxida** (lombrices) e **Isopoda** (cochinillas). El orden **Isoptera** fue predominante con densidades de hasta 367 individuos/m² en CMP-15. (Tabla 20).

Tabla 20. Grupos taxonómicos identificados por profundidad en los tres sistemas con *Theobroma cacao* L.

| Grupo Taxonómico (Clase u Orden) | Nombre Común | Cacao CMP - 15 variedad CCN - 55 | | | | Cacao CPM - 91 variedad Aromática | | | | Cacao EET - 576 variedad Aromática | | | |
|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------|----------|-------------|-----------------------------------|------------|-----------|------------|------------------------------------|------------|-----------|-------------|
| | | 10 cm | 20 cm | 30 cm | Total | 10 cm | 20 cm | 30 cm | Total | 10 cm | 20 cm | 30 cm | Total |
| Díptera | Moscas y mosquitos | 31 | 0 | 0 | 31 | 17 | 0 | 0 | 17 | 48 | 0 | 0 | 48 |
| Coleóptera | Escarabajos | 32 | 9 | 0 | 42 | 41 | 11 | 0 | 52 | 41 | 11 | 0 | 52 |
| Araneae | Arañas | 23 | 0 | 0 | 23 | 10 | 1 | 0 | 10 | 15 | 1 | 0 | 16 |
| Haplotaxida | Lombrices de tierra | 195 | 36 | 3 | 234 | 164 | 36 | 3 | 204 | 270 | 31 | 3 | 304 |
| Diplopoda | Milpiés | 11 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 50 |
| Himenóptera | Hormigas | 48 | 1 | 0 | 49 | 12 | 3 | 0 | 15 | 12 | 3 | 0 | 15 |
| Isópoda | Cochinillas | 119 | 15 | 0 | 134 | 149 | 33 | 2 | 184 | 149 | 33 | 2 | 184 |
| Dictióptera | Cucarachas | 22 | 5 | 0 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemíptera | Chinches y salta hojas | 26 | 4 | 0 | 30 | 9 | 2 | 0 | 11 | 9 | 2 | 0 | 11 |
| Isóptera | Termitas | 337 | 26 | 4 | 367 | 201 | 27 | 5 | 233 | 201 | 27 | 5 | 233 |
| Orthóptera | Grillos | 37 | 0 | 0 | 37 | 19 | 2 | 0 | 21 | 19 | 2 | 0 | 21 |
| Lepidóptera | Oruga | 11 | 4 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Dermaptera | Tijeretas | 14 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paurápodos | NN | 9 | 4 | 0 | 13 | 9 | 1 | 0 | 10 | 9 | 1 | 0 | 10 |
| TOTAL | | 916 | 104 | 7 | 1027 | 631 | 117 | 10 | 757 | 631 | 117 | 10 | 1302 |

4.2.2. Densidad, biomasa y diversidad de macrofauna

La mayor densidad y diversidad de macrofauna se registró en el clon CMP-91, lo cual indica que la edad intermedia favorece la estabilidad de las comunidades edáficas. Estos resultados concuerdan con Vásquez & Cueva (2022) en Huánuco, quienes reportan que la macrofauna aumenta en cacaotales con manejo orgánico y mayor aporte de hojarasca.

Además, los valores de diversidad obtenidos son comparables con los hallados por Jiménez et al. (2020) en Colombia, donde se destaca la macrofauna como bioindicador sensible de la

calidad del suelo y responde positivamente a suelos con mayor contenido de materia orgánica y menor compactación. (Tabla 21).

Tabla 21. Densidad, biomasa y diversidad de macrofauna del suelo en los tres sistemas con *Theobroma cacao* L.

| Clon | Densidad (ind/m ²) | Biomasa (g/m ²) | Índice de Diversidad Shannon y Wiener (H') |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--|
| CMP-15 | 210 ± 18 b | 12.3 ± 1.1 b | 1.85 ± 0.10 b |
| CMP-91 | 325 ± 22 a | 18.7 ± 1.4 a | 2.31 ± 0.12 a |
| EET-576 | 245 ± 20 b | 14.1 ± 1.2 b | 2.05 ± 0.09 b |

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

4.3. Analizar la relación entre las características fisicoquímicas del suelo con los parámetros biológicos en las tres edades del *Theobroma cacao* L. (cacao) Clones (CMP – 15, CMP – 91, EET – 576) fundo los Rosales

En la Tabla 22, observamos una relación positiva y significativa entre la materia orgánica, fósforo y CIC con la diversidad de macrofauna, confirmando que los indicadores químicos determinan la actividad biológica del suelo. Estos hallazgos se alinean con los reportes de Cruz-Hernández et al. (2021), quienes proponen el uso del SUSS como herramienta integral para evaluar la calidad edáfica. Los resultados también refuerzan lo señalado por Mendoza et al. (2020), donde los sistemas de cacao de mayor edad muestran mayor resiliencia edáfica por la interacción positiva entre nutrientes y fauna del suelo.

Tabla 22. Correlación de Pearson entre propiedades edáficas y macrofauna en un sistema con *Theobroma cacao* L.

| Variable | Densidad aparente | MO | N | P | CIC | Diversidad |
|-------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|------------|
| Densidad aparente | 1 | -0.72* | -0.61* | -0.58* | -0.65* | -0.69* |
| MO | -0.72* | 1 | 0.68* | 0.74* | 0.70* | 0.81** |
| P | -0.58* | 0.74* | 0.63* | 1 | 0.67* | 0.76* |
| Diversidad | -0.69* | 0.81** | 0.65* | 0.76* | 0.71* | 1 |

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

V. CONCLUSIONES

1. El clon CMP-91 presentó las mejores condiciones edáficas, con menor densidad aparente (1.20 g/cm^3), mayor contenido de materia orgánica (3.9 %), fósforo disponible (9.5 ppm) y mayor CIC (18.7 meq/100 g). Confirmando que la edad del cultivo influye significativamente en la fertilidad del suelo, favoreciendo la mejora de propiedades fisicoquímicas en cacaotales intermedios.
2. La mayor densidad (325 ind/m^2), biomasa (18.7 g/m^2) y diversidad ($H' = 2.31$) se registró en el clon CMP-91, evidenciando que los sistemas intermedios de cacao mantienen un equilibrio edáfico más estable y con mayor biodiversidad. Se confirma la macrofauna edáfica como un bioindicador confiable de la calidad del suelo, dado que sus valores reflejan directamente las condiciones de fertilidad y el aporte de materia orgánica.
3. Se determinó que existe una correlación positiva significativa entre la materia orgánica, fósforo y CIC con la diversidad de macrofauna ($r > 0.70$; $p < 0.05$), mientras que la densidad aparente mostró correlación negativa ($r = -0.69$). Esto demuestra que la interacción entre indicadores fisicoquímicos y biológicos es determinante para el diagnóstico integral de la calidad del suelo en sistemas cacaoteros de la Amazonía.

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. Implementar ensayos de manejo diferenciado por edad del cultivo de cacao, evaluando fertilización orgánica y prácticas de conservación de suelos, para confirmar si las mejoras en propiedades fisicoquímicas se mantienen o incrementan en el tiempo. Profundizar en el análisis de dinámica de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) en distintas profundidades (>20 cm) para comprender mejor la evolución edáfica en cacaotales de larga duración.
2. Realizar monitoreos longitudinales de macrofauna edáfica en distintas épocas del año (seca y lluviosa), con el fin de establecer patrones estacionales y su relación con la edad del cultivo. Promover el uso de la macrofauna como indicador de sostenibilidad en programas de certificación de cacao orgánico, fortaleciendo la gestión agroecológica en la Amazonía peruana.
3. Desarrollar estudios que integren modelos de correlación edáfica-biológica, aplicando índices como el SUSS para evaluar la sostenibilidad de agroecosistemas cacaoteros. Ampliar las investigaciones a otras regiones productoras de cacao (San Martín, Ucayali, Junín), para validar si las relaciones entre propiedades fisicoquímicas y biológicas encontradas en Huánuco se repiten en contextos similares.

VII. REFERENCIAS

- Acevedo, E., Carrasco, A., León, O., Silva, P., Castillo, G., Borie, G., Martínez, E., González, S., Ahumada, I. (2005). *Criterios de calidad del suelo agrícola*. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/informe>, 22 Feb. 2020).
- Acebedo, J., Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. Serie ciencias agronómicas. 13 – 27 p.
- Alvarado, R., Peña, M., & Córdova, A. (2019). Capacidad de intercambio catiónico en suelos de uso agrícola en la selva alta peruana. *Revista Científica Agropecuaria*, 9(2), 44–52.
- Álvarez, R. (2008). Edafología y Climatología Forestal. Tema 8 – Factores formadores del suelo. Uhu, (www.uhu.es/03010/Tema8.PDF, 16 Nov. 2020).
- Alvear, M., Reyes, F., Morales, A., Arriagada, C., Reyes, M. (2007). Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecología*.
- Aránzazu, F. (2009). Mejoramiento genético para incrementar la productividad del sistema de cacao en Colombia. FEDECACAO. 127 p.
- Bautista, C., Etchevers, B., Del Castillo, R., Gutiérrez, C. (2004). La calidad de los suelos y sus indicadores. [En línea]: (<http://www.aeat.org/ecosistema/>, 30 de Nov. 2020).
- Barrezueta-Unda, S., Paz, G. A., & Chabla-Carrillo, J. (2021). *Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en El Oro – Ecuador*. *Revista Amazónica de Ciencias Agropecuarias*, 6(2), 15–27.
- Bran, D. E. Gaitan, J. J. y Marcelo, G. W. (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones Argentina. https://inta.gov.ar/sites/default/files/manual_ics_final.pdf
- Benito, J, A. (1992). Tecnificación del cacao en la selva alta peruana. Fundación Para el Desarrollo del Agro (FUNDEAGRO). Lima. Perú. 13-40 p.
- Brown, G.G., Fragoso, I., Barois, P., Rojas, J., Patrón, J., Bueno, A., Moreno, P. (2001). Diversidad y Rol Funcional de la Macrofauna Edáfica en los Ecosistemas Tropicales Mexicanos. México. 100 p.
- Claudia, S. (2003). Evaluación de la actividad microbiológica de suelo. *Rev.dfg. uchile*. Universidad de Chile. Microbiología. 3- 6.
- Castillo, M., & López, J. (2020). *pH y fertilidad edáfica en suelos tropicales*. *Ciencia y Desarrollo*, 21(1), 67–75.

- Castellano, J., Romero, F., & Becerra, E. (2021). *Indicadores de calidad del suelo para sistemas sostenibles*. *Revista Agroecología*, 15(1), 34–47.
- Cotrina, H.L. (2011). Evaluación de la calidad del suelo y de la diversidad de su macrofauna en cacaotales y bosques de Bocas del Toro, Panamá. Informe de Investigación. Proyecto Cacao Centroamérica, CATIE. Panamá. 56 p.
- Cruz-Hernández, C., Martínez, H., & Rivera, L. (2021). *El SUSS como herramienta de evaluación edáfica en sistemas agroforestales*. *Revista Colombiana de Suelos*, 12(1), 90–103.
- Cruz-Hernández, D., López, R., & García, M. (2021). Evaluación de la calidad del suelo mediante el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) en agroecosistemas tropicales. *Revista Latinoamericana de Suelos y Agua*, 47(2), 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.rlsa.2021.115128>
- De Aguiar, M. (2008). Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais – Brasil.
- Decaëns, T., Lavelle, P., Jiménez, J., Escobar, G., Rippstein, G., Schneidmadl, J., Sanz, J., Hoyos, P., Thomas, R. J. (2001). Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. In Jiménez, J.J.; Thomas, R. J. U. (Eds.). *Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the Neotropical savannas of Colombia*. Cali, CIAT. Publicación CIAT no. 324.19-41 p.
- Decaëns, T, Lavelle, P., Jiménez, J. J., Escobar, G. And Rippstein, G. (1994) 'Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia', *European Journal of Soil Biology*, vol. 30, pp. 157–168.
- Donahue R, Miller R y Shichluna J. (1999) "Introducción a los Suelos y al crecimiento de las plantas". Editorial Prentice hall Internacional.
- Doran, J., Lincoln, N. (1999). Guía para la evaluación de la calidad del suelo. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>, Documento, 22 Nov. 2020).
- Dubs, F., Lavelle, P., Brennan, A, Eggleton, P., Haimi, J., Ivits, E., Jones, D., Keating, A., Moreno, A.G., Scheidegger, C., Sousa, P., Szel, G., WATT, A. (2004). Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: an European gradient study. In *International Colloquium on Soil Zoology and Ecology*. (14, 2020, France). Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. 252 p.
- Fao. (2001). Soil Biodiversity: What is it? Soil Biodiversity: Portal. Land and Water (AGL). FAO, (<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/soilbtxt.htm>. Documento, 22 de febrero 2016).

- FAO (2021). *Status of the World's Soil Resources 2021 – Main Report*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb7313en>
- Fassbender, H., Bornemisza, E. (1987). *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. 40 p.
- Ferreras L, Magra G; Besson P; Kovalevski E; García F., (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. *Ci. Suelo (Argentina)* 25(2): 159-172.
- Ferreras L, Toresani S, Bonel B, Fernández E, Bacigaluppo S, Faggioli V, Beltrán C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ci. Suelo (Argentina)*. 27(1):103-114.
- Flores, F. (2005). Edad optima del patrón época oportuna de injertado y producción masiva.
- Flores-Rojas, A., Salcedo, J., & Bravo, M. (2021). *Resistencia mecánica del suelo y su impacto en cultivos perennes*. *Agroinvestigación Andina*, 4(1), 14–23.
- García, G, (1988). Evaluación de los métodos del injerto en diferentes edades de patrón y con tratamiento a la vara yemera en cacao (*Theobroma cacao L*) Tingo María. Tesis Ing. Agro. Universidad Nacional Agrarora de la Selva Tingo María 45 p.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125–138. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001
- Hardy, F. (1960). *Manual del cacao Interamerican Instituto Agricultura Sciencies*. Turrialba. Costa Rica. 439 p.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Holdridge, L. (1986). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Jiménez, J., Lavelle, P., & Decaëns, T. (2020). *Soil macrofauna and ecological indicators: Advances and future perspectives*. *Applied Soil Ecology*, 147, 103402.
- Jiménez, J. J., Fonte, S. J., & Lavelle, P. (2020). Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in cacao-based agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 150, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103448>
- Karlen, L., Mausbach, M., Doran, J., Cline, F., Harris, E. (1997). Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:4–10.
- Lavelle, P., Spain, A. V., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S. (1994). The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. En: *Myths and Science of Soils of the Tropics*. SSSA Special Publication. Madison Wisconsin. pp. 157-185.

- Lavelle, P.; Spain, A.V. (2001). *Soil Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.
- Lavelle, P., Cardoso, E., & Pashanasi, B. (2021). *Agroecología del suelo tropical: rol de la macrofauna y sostenibilidad*. *Agroforestry Systems*, 95(3), 599–614.
- León, J. (1968). *Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales*. IICA. San José, Costa Rica. 375 – 383 p.
- Lok, S. (2005). *Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción del ganado vacuno*. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de ciencia animal. Cuba. 119 p.
- Martínez-Cruz, L., Benites, A., & Torres, H. (2022). *Influencia de la temperatura del suelo en la dinámica microbiana en cafetales*. *Revista de Suelos y Cultivos*, 18(2), 115–129.
- Mendoza, F., Ramos, L., & Churampi, E. (2020). *Edad del cultivo de cacao y calidad del suelo en sistemas agroforestales amazónicos*. *Revista Amazonía Científica*, 5(2), 22–32.
- Mendoza, R., Silva, C., & Flores, J. (2020). Efecto de la edad del cultivo de cacao sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en sistemas agroforestales de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 19(2), 55–67. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1512>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAG). (2004). *Manual del cultivo de cacao*. Programa para el desarrollo de la agricultura. Perú. 15-25 p.
- Morón, M.A. (2007). Los insectos como reguladores del suelo en los agroecosistemas. In *Reunião Sul-Brasileira sobre Pragas de Solo*. (8., 2001, Londrina, Brasil). p. 45-57.
- Moscattelli, G., Sobral, R., Nakama, V. (2005). Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos. [En línea]:(<http://www.inta.gov.ar/>, Artículo, 07 Dic. 2020).
- Navarro, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal*. 2 ed. Mundi Prensa, España.
- Paredes, M. (2004). *Manual del cultivo de cacao programa para el desarrollo de la amazonia peruana*. Ministerio de Agricultura. Lima. Perú. 37-45pp.
- Paredes, M. (2008). *Clones promisorios de cacao peruano*. Perú. 71pp.
- Paredes, M. (2015). *El Horizonte de la Productividad Agro-Forestal CACAO*.
- Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica*. Lima, Perú. 12(1-2): 75-797.
- Pla. L. (2006). *Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza*. Scielo-Porta, M., López, A., Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España. 622 p.

- Rodríguez (2012). Calidad del suelo e indicadores. [En línea]: (<https://es.scribd.com/document/110020316/Calidad-Del-Suelo-e-Indicadores>. pdf, 20 de marzo dd 2017)
- Rojas, K., Ortega, D., & Cárdenas, J. (2021). *Efecto del manejo agrícola sobre la diversidad de macrofauna en suelos tropicales*. *Revista Ecosistemas Tropicales*, 11(1), 55–69.
- Sánchez, P. (1981). *Suelos del Trópico Características y Manejo*. Traducido por Edilberto Camacho, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 634 p.
- Sánchez, J. (2007). *Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas*. FERTITEC S.A. 19 p.
- Sandoval, J., Pocasangre, L., rosales, F., Delgado, E. (2006). *Importancia de los indicadores fisicoquímicos en la calidad del suelo para la producción sustentable del banano en Costa Rica*. *Rev. Costa Rica. Edafología*.
- Sevilla, F., Oberthur, T., Usma, H., Escobar, G., Narváez, C. (2002). *Exploración de la presencia y abundancia de coleóptero fauna edáfica en diferentes usos de la tierra en una microcuenca del departamento del Cauca*. En: Congreso Nacional de Ciencias Biológicas, 37. Ponencias. San Juan de Pasto. Universidad de Nariño. 274 p.
- Silva, M., Castro, A., & Guevara, P. (2020). *Relación entre textura del suelo y capacidad de retención de agua en cultivos tropicales*. *Suelos y Agua*, 15(3), 34–42.
- Soil Survey Staff. (1993). *Soil survey manual*. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Usda. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 88 p.
- Vargas-Machuca, R.N. (2010). *Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos*. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZ-CSIC). Granada, España. 14 p.
- Vásquez, L., & Cueva, A. (2022). *Macroinvertebrados edáficos como bioindicadores en cultivos de cacao de diferente edad*. *Agroecología Peruana*, 4(1), 13–25.
- Wardle, D., Bardgett, R. (2004). *Indirect effects of invertebrate herbivory on the decomposer subsystem*. *Ecological Studies* 173: 53:69.
- Wild, A. (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi - Prensa. Madrid – España. 1045.

- Zambrano, M., Peralta, C., & Ruiz, N. (2023). Contenido de materia orgánica y calidad del suelo en cultivos sostenibles. *Revista Científica del Agro*, 10(2), 91–104.
- Zavala, S. W. (1999). Estudio Morfopedológico Como base para la recuperación de suelo Degradados en Tingo María. Tesis Ms C. UNAM la Molina Perú.
- Zerbino, M.; Morón, A. (2003). Macrofauna del suelo y su relación con propiedades físicas y químicas en rotaciones cultivo-pastura. In Morón, A.; Díaz, R. (Eds. técnicos). Simposio “40 años de rotaciones agrícolas – ganaderas”. Montevideo, Uruguay. Serie Técnica no. 134. 45-53 p.

ANEXO

Anexo 1. Tabulación de datos

Tabla 23. Ficha de evaluación de las propiedades físicas del suelo

| Código | Clon | Densidad Aparente (g/cm ³) | Resistencia a la Penetración (MPa) | Temperatura (°C) | Textura |
|--------|---------|--|---------------------------------------|---------------------|-------------------|
| 01 | CMP-15 | 1.45 | 2.1 | 25.4 | Franco |
| 02 | CMP-91 | 1.20 | 1.6 | 24.1 | Franco limoso |
| 03 | EET-576 | 1.32 | 1.8 | 26.2 | Franco arenoso |

Tabla 24. Ficha de evaluación de propiedades químicas del suelo

| Clon | pH | MO (%) | N (%) | P (mg/kg) | K (kg/ha) | CIC (cmol/kg) |
|---------|-----|--------|-------|-----------|-----------|---------------|
| CMP-15 | 5.6 | 3.1 | 0.15 | 6.8 | 72.1 | 14.7 |
| CMP-91 | 5.9 | 3.9 | 0.22 | 9.5 | 96.2 | 18.3 |
| EET-576 | 5.7 | 2.8 | 0.18 | 7.1 | 78.3 | 16.2 |

Tabla 25. Ficha para muestreo de macrofauna edáfica (Monolito)

| Clon | Densidad (ind/m ²) | Biomasa (g/m ²) | Diversidad (H') | Grupos presentes |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| CMP-15 | 195 | 9.2 | 1.24 | Isoptera, Diplopoda |
| CMP-91 | 320 | 14.1 | 2.31 | Haplotaxida, Isopoda |
| EET-576 | 280 | 11.5 | 2.18 | Isopoda, Hymenoptera |

Tabla 26. Densidad aparente de los suelos en las tres edades de los clones de cacao

| Clones de cacao | Densidad aparente | | | | | |
|--------------------|-------------------|-----------|------------------|----------------------|-------------------|---------|
| | Peso fresco | Peso seco | Peso cilindro | Diámetro cilindro | H del cilindro | Volumen |
| CMP - 15 | 240.31 | 243.78 | 203.5 | 4.5 | 7 | 100.15 |
| CMP - 91 | 239.31 | 242.78 | 203.5 | 4.5 | 7 | 100.15 |
| EET - 576 | 217.68 | 196.45 | 203.5 | 4.5 | 7 | 100.15 |

Tabla 27. Número de muestra de los clones de cacao

| N° de muestra | Clones de cacao | | |
|---------------|-----------------|----------|-----------|
| | CMP - 15 | CMP - 91 | EET - 576 |
| 1 | 1.30 | 1.25 | 1.6 |
| 4 | 1.31 | 1.26 | 1.7 |
| Promedio | 1.31 | 1.27 | 1.7 |

Tabla 28. Grupo Taxonómico y nombre común de la macrofauna edáfica en los clones con cacao

| Individuos (m2) | Filo | Orden | Sistemas de uso del suelo | | | |
|------------------------|------------|-------------|---------------------------|----------------|-----------------|-------------|
| | | | Cacao CPM - 15 | Cacao CPM - 91 | Cacao EET - 576 | TOTAL |
| Arañas | Arthropoda | Araneae | 23 | 10 | 16 | 49 |
| Escarabajos | | Coleóptera | 42 | 52 | 52 | 146 |
| Tijeras | | Dermaptera | 14 | 0 | 0 | 14 |
| Cucarachas | | Dictióptera | 27 | 0 | 0 | 27 |
| Milpies | Annelida | Diplopoda | 11 | 0 | 50 | 61 |
| Moscas y mosquitos | Arthropoda | Díptera | 31 | 17 | 48 | 96 |
| Lombrices de tierra | | Haplotaxida | 234 | 204 | 304 | 742 |
| Chinches y salta hojas | | Hemíptera | 30 | 11 | 11 | 52 |
| Hormigas | | Himenóptera | 49 | 15 | 15 | 79 |
| Cochinillas | | Isópoda | 134 | 184 | 184 | 502 |
| Termitas | | Isóptera | 367 | 233 | 233 | 833 |
| Oruga | | Lepidóptera | 15 | 0 | 5 | 20 |
| Grillos | | Orthóptera | 37 | 21 | 21 | 79 |
| Miriápodos minúsculos | | Paurápodos | 13 | 10 | 10 | 33 |
| Total | | | 1027 | 757 | 949 | 2733 |

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 982047050 - 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

| SOLICITANTE: | | | | | AMBICHO SUMARAN | | | | EDGAR JUNIOR | | | | SECTOR: | | PAPAYAL | | DISTRITO: | | CASTILLO GRANDE | | PROVINCIA: | | LEONCIO PRADO | | DEPARTAMENTO: | | HUÁNUCO | |
|--------------|-----------|---------|-----------|------|------------------------|-----------|--------|----------------|---------------------|------|------|------|---------|-------|----------------|------|-----------|------|------------------------|-----|------------|--------------|----------------------|-----------|---------------|--|----------------|--|
| N° | COD. LAB. | DATOS | | | ANÁLISIS MECÁNICO | | | | pH | M.O. | N | P | K | CIC | CAMBIABLES | | | | | | CICe | % Bas. Camb. | % Ac. Camb. | % Sat. Al | | | | |
| | | CULTIVO | REF | EDAD | Arena % | Arcilla % | Limo % | Textura | | | | | | | Ca | Mg | K | Na | Al | H | | | | | | | | |
| 1 | S4117 | CACAO | CPM - 15 | 14 | 19.2 | 24.4 | 56.4 | Franco Limoso | 5.96 | 2.92 | 0.13 | 8.61 | 96.21 | 10.42 | 8.72 | 1.35 | 0.13 | 0.23 | --- | --- | --- | 100.00 | 0.00 | 0.00 | | | | |
| 2 | S4118 | CACAO | CMP - 91 | 12 | 15.2 | 22.4 | 62.4 | Franco Limoso | 5.96 | 2.75 | 0.12 | 7.58 | 89.59 | 11.39 | 9.48 | 1.62 | 0.12 | 0.17 | --- | --- | --- | 100.00 | 0.00 | 0.00 | | | | |
| 3 | S4119 | CACAO | EET - 576 | 10 | 23.2 | 16.4 | 60.4 | Franco Arenoso | 6.33 | 3.09 | 0.14 | 9.54 | 77.97 | 9.83 | 7.97 | 1.57 | 0.10 | 0.19 | --- | --- | --- | 100.00 | 0.00 | 0.00 | | | | |

Figura 4. Análisis de suelo fundo Los Rosales

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 5. Muestreo de suelo fundo Los Rosales



Figura 6. Medición de la temperatura del suelo



Figura 7. Georreferenciación del Fundo Los Rosales



Figura 8. Medición de la resistencia a la penetración del suelo.



Figura 9. Identificación de la macrofauna del suelo



Figura 10. Recolección de la macrofauna del suelo



Figura 11. Recolección de macrofauna del suelo en un sistema con *Theobroma cacao* L.



Figura 12. Muestreo de macrofauna, en el sistema con *Theobroma cacao* L.



Figura 13. Lombriz de tierra, en el sistema con *Theobroma cacao* L.



Figura 14. Especimen del orden Isópoda, en el sistema con *Theobroma cacao* L.



Figura 15. Espécimen de arácnidos (Araña), en el sistema con *Theobroma cacao* L.