

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



**CALIDAD DE SUELO DEL CULTIVO DE CACAO (*Teobroma cacao*) EN
DIFERENTES EDADES SECTOR VENTENJEBE DISTRITO Y PROVINCIA
TOCACHE- SAN MARTÍN**

Autor	: CAMPOS VALDIVIEZO, Segundo Magno
Asesor	: Ing. RENGIFO TRIGOZO, Juan Pablo
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	: Ventenjebe - Tocache
Duración	: Seis Meses
	Fecha de Inicio : 29/05/2018
	Termino : 23/02/2019
Financiamiento	: S/ 3,544.70
	FEDU : No
	Propio : Si
	Otros : No

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 22 de Marzo del 2019, a horas 11:00 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

“CALIDAD DE SUELO DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN DIFERENTES EDADES SECTOR VENTENJEBE DISTRITO Y PROVINCIA TOCACHE – SAN MARTIN”

Presentado por el Bachiller: **SEGUNDO MAGNO CAMPOS VALDIVIEZO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de “**BUENO**”

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 01 de Abril del 2019

Ing. MSc. **JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO**
PRESIDENTE

Dr. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ**
MIEMBRO

Ing. Mg. **ROBERTO OBREGÓN PEÑA**
MIEMBRO

Ing. **JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO**
ASESOR



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



CALIDAD DE SUELO DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN
DIFERENTES EDADES SECTOR VENTENJEBE DISTRITO Y PROVINCIA
TOCACHE- SAN MARTÍN

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

SEGUNDO MAGNO CAMPOS VALDIVIEZO

Tingo María – Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios por regalarme el don de la vida y permitir que llegue hasta instancia.

A mis Hermanas: Adita y Atalia Campos Valdiviezo por la confianza y el apoyo incondicional durante toda mi formación.

A todos mis amigos que formaron parte de este gran proceso.

A mis padres Magno Campos Morales y Esmira Valdiviezo, por los buenos valores sembrados, por el amor incondicional y ustedes son mi mayor motivación para lograr todas mis metas.

A mi familia en general por los buenos deseos, por aportar grandes cosas en mi vida y el apoyo incondicional brindado

AGRADECIMIENTOS

Durante mi formación profesional, personal y elaboración de la presente investigación, varias personas colaboraron directa e indirectamente, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento:

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por haberme forjado como un profesional.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables por sus consejos y enseñanzas impartida durante toda esta etapa.

Al Ing. RENGIFO TRIGOZO, Juan Pablo quien me ofreció su invaluable asesoramiento en la presente investigación. Gracias por su paciencia, empeño y confianza.

A los miembros del jurado de tesis, Ing. José Lévano Crisóstomo, Ing. Roberto Obregón Peña, e Ing. Lucio Manrique de Lara Suarez por su ilustre despliegue de conocimientos, consejos y sugerencias para poder llevar a cabo la integra ejecución de la tesis.

A mis amigos, Marilim, Sheyla, shilton, Percy, Maricarmen, Dayli, Martin R, Myanu, Xilene, Liz, Tania, Martin G, Gerson, Merly, Samuel.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Definición del suelo	3
2.2. Factores de formación del suelo	3
2.3. Indicadores del suelo	6
2.4. Indicadores físicos	7
2.4.1. Textura	9
2.4.2. Estructura	10
2.4.3. Color.....	10
2.4.4. Densidad	10
2.4.5. Temperatura.....	11
2.5. Indicadores quimos	12
2.5.1. pH del suelo	13
2.5.2. Materia orgánica (M.O).....	14
2.5.3. Fosforo	14
2.5.4. Potasio	15
2.5.5. Nitrógeno.....	16
2.5.6. Capacidad de intercambió catiónico.....	16
2.5.7. Potasio intercambiable	17

2.5.8. Magnesio intercambiable.....	18
2.5.9. Calcio intercambiable	18
2.5.10. Sodio intercambiable	20
2.5.11. Porcentaje de saturación de bases	20
2.6. Indicadores biológicos	21
2.6.1. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo	22
2.7. Calidad del suelo	24
2.8. Subíndice de uso sustentable del suelo SUSS.....	27
2.8.1. Valores deseables y valores de corte para el SUSS	28
2.9. El cacao.....	29
2.9.1. Ciclo biológico del cacao	29
2.9.2. Aspectos determinantes en la calidad de cacao	30
2.9.3. Manejo nutricional.....	33
2.10. Antecedentes de estudios realizados	34
III. MATERIALES Y METODOS	38
3.1. Descripción del área de estudio.....	38
3.1.1. Ubicación Política	39
3.1.2. Ubicación geográfica	39
3.2. Características de las zonas de estudio	39
3.2.1. Clima	39
3.2.2. Relieve	39

3.2.3. Zonas de vida	39
3.2.4. Flora.....	40
3.2.5. Fauna.....	40
3.2.6. Hidrografía	40
3.2.7. Fisiografía	41
3.2.8. Suelos.....	41
3.2.9. Accesibilidad.....	41
3.3. Materiales y equipos	41
3.3.1. Materiales	41
3.3.2. Equipos de campo	42
3.3.3. Materiales de laboratorio	42
3.3.4. Equipos de laboratorio	42
3.4. Metodología.....	43
3.4.1. Determinar los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en el cultivo de cacao de diferentes edades	43
3.4.2. Determinación Calidad del suelo mediante la metodología del Subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS)	47
3.4.3. Representar cartográficamente la distribución espacial de la calidad del suelo	50
IV. RESULTADOS	51

4.1.	Determinación de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en el cultivo de cacao de diferentes edades	51
4.1.1.	Determinación de los indicadores físicos	51
4.1.2.	Determinación de los indicadores químicos	54
4.1.3.	Determinación de los indicadores biológicos.....	59
4.2.	Determinación de la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS).....	63
4.3.	Representar cartográficamente la distribución espacial de la calidad del suelo con cultivo de cacao	65
V.	DISCUSIÓN.....	67
VI.	CONCLUSIONES.....	70
VII.	RECOMENDACIONES.....	71
VIII.	ABSTRACT	72
IX.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	73
ANEXO	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Indicadores físicas del suelo	8
2. Densidad aparente del suelo.....	11
3. Indicadores químicas del suelo	12
4. Niveles de pH del suelo	13
5. Niveles de Materia Orgánica en suelos.....	14
6.Niveles de fósforo	15
7. Niveles de contenido de potasio disponible.	15
8.Niveles de contenido de nitrógeno.	16
9.Niveles críticos de CIC para suelos con pH mayor de 5.5	17
10.Niveles críticos de CIC para suelos con pH menor de 5.5	17
11.Rangos interpretativos para potasio (K) intercambiable.....	18
12.Rangos interpretativos para magnesio intercambiable.	18
13.Rangos interpretativos para el calcio intercambiable	19
14.Rangos interpretativos para sodio intercambiable.	20
15. Indicadores biológicas del suelo	22
16. Actividades de la fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.....	24
17. Parámetros edáficos, valores deseables y de corte para evaluar el estado actual de los suelos.....	28
18. Niveles de diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.....	33
19. Indicadores de físico, químico y biológico.	45

20. Interpretación del índice de calidad.....	49
21. Textura de suelos.....	51
22. Densidad aparente y temperatura del suelo.....	53
23. Indicadores químicos del suelo en estudio de 16 sectores.....	54
24. Densidad de macrofauna del suelo en cultivos de cacao.....	59
25. Biomasa de macrofauna del suelo	61
26. Unidades taxonómicas de macrofauna del suelo.....	61
27. Índice de diversidad de macrofauna del suelo	62
28. Sub índice de calidad de uso sustentable del suelo.....	64
29. Distribución espacial de la calidad del suelo con cultivo de cacao.....	65
30. Análisis de suelos	79
31. Datos de campo de macrofauna en el suelo	79
32. Clasificación de la macrofauna	81
33. Determinación de índice de diversidad de planas de 3 años	81
34. Determinación de índice de diversidad de planas de 6 años	82
35. Determinación de índice de diversidad de planas de 10 años	82
36. Parámetros edáficos para evaluar el estado actual del suelo	82
37. Resultados del parámetro normalizado.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Factores de formación del suelo	5
2. Clase textural del suelo	9
3. Evolución de la productividad de la planta de cacao.....	30
4. Parcelas de cultivos de cacao en diferentes edades	38
5. Muestreo biológico	44
6. Clase textural de parcelas con cultivo de cacao en diferentes edades.....	50
7. Densidad aparente del suelo.....	53
8. Temperatura de las muestras	54
9. pH del suelo	55
10. Materia orgánica de las muestras	56
11. Nitrógeno de las muestras	56
12. Fosforo en las muestras del suelo	57
13. Potasio de las muestras de suelo	58
14. Capacidad de intercambio catiónico de las muestras	58
15. Bases intercambiables de las muestras	59
16. Densidad de macrofauna	60
17. Grupos taxonómicos en parcelas de cacao	62
18. Calidad de suelos.....	63
19. Porcentajes de distribución de calidad del suelo.....	66
20. Cacao 3 años	84
21. Cacao 6 años	84
22. Cacao de 10 años	85

23. Registro de temperatura del suelo	85
24. Registro de macrofauna	86
25. Identificación de organismos.....	86
26. Registro de macrofauna de acuerdo a su clases taxonómicas	87
27. Macrofauna identificadas en el laboratorio.....	87

RESUMEN

La determinación de indicadores de la calidad del suelo constituye una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global; en base a ello se orientó a determinar los indicadores físicos químicos y biológicos, que determinan la calidad del suelo y representarlo cartográficamente. Para ello se recolectaron muestras de suelo del cultivo de cacao de diferentes edades en 6 puntos estratégicos, se identificaron la macrofauna presente que fueron identificadas en el laboratorio de suelos de la UNAS; los análisis de suelo nos permitieron determinar la calidad del suelo utilizando la metodología del SUSS y posteriormente se elaboraron mapas mediante el programa ArcGis. Los resultados de la parcela de 3 años está distribuido espacialmente en calidad pobre y marginal, presenta clases texturales de franco arenoso limoso, franco arenoso, pH moderadamente alcalino y neutro, M.O nivel medio, N nivel medio y bajo, P y CIC nivel bajo, K nivel medio; la parcela de 6 años presenta solamente calidad marginal, clases texturales de franco arcilloso, franco arcillo arenoso, pH neutro, M.O nivel bajo, N nivel bajo, P y CIC nivel bajo, K nivel medio; y la parcela de 10 años está distribuido en calidad pobre y marginal presenta clase textural de franco limoso, pH moderadamente alcalino, niveles bajo de M.O, N, P y CIC y nivel medio de K, Por lo que se recomienda realizar prácticas de manejo, con la aplicación de abonos orgánicos en las parcelas en estudio con el fin de mejorar su calidad del suelo.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, actualmente se ha despertado un alto interés por el cultivo del cacao debido al alza de precio y a la demanda aun insatisfecha, del mercado internacional y nacional. La mayoría de los productores de la provincia de Tocache maneja el cultivo de cacao en forma adecuada, teniendo la unidad familiar de 2 - 5 ha de cacao. Usando como sombra temporal el plátano, frijol de palo y papayo, y con sombra permanente, la guaba y otras leguminosas.

Siendo el recurso suelo es fundamental para la sostenibilidad de los agros ecosistemas porque cumple tres funciones esenciales: actúa como medio para el crecimiento de plantas y desarrollo de la actividad biológica, regula la reserva y flujo del agua, degrada compuestos contaminantes para el ambiente (LARSON Y PEARCE 1994).

Por lo que es importante evaluar el estado actual de todos esos indicadores físicos - químicos del suelo y compararlos con valores conocidos o deseados (KARLEN *et al.* 1997). Siendo necesario caracterizar los sistemas para analizar las influencias que el manejo y componentes de los mismos pueden tener en el suelo; así como las prácticas culturales pueden afectar significativamente la calidad de suelos al cambiar los parámetros físicos, químicos y biológicos. Teniendo en cuenta la importancia de la calidad del suelo y la falta de información que le permita determinar al agricultor el tipo y calidad

del suelo del sector Vetejebe con cultivos de cacao. La presente investigación pretende aportar mayores conocimientos para una mejora en la producción de parcelas de cacao debido a que la edad de la planta influye en el rendimiento de la producción de cacao; así mismo la determinación de indicadores de la calidad del suelo constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global; en base a lo explicado se formula la siguiente interrogante ¿En cuál de las edades del cultivo de cacao se encontrará una buena calidad del suelo en el sector Vetejebe – Tocache?

Y ante esta interrogante se plantea la hipótesis: Ha: el cultivo de cacao influye en la calidad del suelo en el sector Vetejebe – Tocache. Por lo que la investigación se orientó a determinar los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo General:

Determinar la calidad del suelo del cultivo de cacao de diferentes edades en el sector Vetejebe distrito y provincia de Tocache- San Martín

1.2. Objetivos específicos

- Determinar los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en el cultivo de cacao de diferentes edades.
- Determinar la calidad del suelo mediante la metodología del SUSS (sub índice de uso sustentable del suelo) del cultivo de cacao.
- Representar cartográficamente la distribución espacial de la calidad del suelo en cultivo de cacao de diferentes edades.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definición del suelo

La palabra suelo tiene varios significados. Su significado tradicional se define como el medio natural para el crecimiento de las plantas. También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y indicadores químicas, biológicas y físicas (FAO, 2015).

2.2. Factores de formación del suelo

Hans Jenny fue profesor de la ciencia del suelo de la Universidad de California, Berkeley; fue el primer científico en definir los factores de formación del suelo en su libro "Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology", el cual fue publicado en 1941. En su libro planteó la Ecuación de los Factores de Estado:

$$S = f (cl, o, r, p, t);$$

Dónde: S = Suelo, f= en función de, cl= clima, o= organismos, r= relieve, p= roca madre y, t= tiempo.

Los científicos de la ciencia del suelo clasifican a los cinco factores de formación del suelo como: factores activos y factores pasivos. El clima y la biota se identifican como los factores activos de la formación del suelo, debido a que su influencia sobre el desarrollo del suelo puede observarse directamente; Por ejemplo: lluvia, altas y bajas temperaturas, viento, microorganismos (algas y hongos), lombrices de tierra y animales excavadores. Por otra parte, los factores pasivos son el tiempo, la topografía y el material parental, porque sus efectos no se observan directamente (INTAGRI, 2017).

- El material parental: Los suelos se derivan principalmente de las rocas, por lo que se le denomina material parental. Estos materiales definen en gran parte el color, la composición, la textura y la estructura de los suelos. Sin embargo, un mismo tipo de roca puede dar lugar a suelos con distintas características, dependiendo las condiciones del medio en el que evolucione.

- El clima: es uno de los factores que influyen de manera directa sobre la formación del suelo, pues condiciona la velocidad de meteorización de la roca madre. Los elementos más importantes del clima en la formación de suelo son la temperatura y la precipitación. Estos dos parámetros del clima afectan la tasa de meteorización química y el crecimiento de las poblaciones de organismos, así como la velocidad de descomposición de la materia orgánica.

- **Relieve:** La forma de la superficie de la tierra desempeña un papel fundamental en la formación del suelo. El relieve influye en la distribución del agua recibida por medio de la precipitación, por lo que afecta directamente el proceso de la erosión hídrica. Como regla general, las superficies elevadas con relieves inclinados o convexos pierden más agua por escorrentía, arrastrando sedimentos, por lo que los suelos son más someros. En cambio, las superficies más bajas que son cóncavas o depresivos reciben agua extra y sedimentos, por lo que el desarrollo de los suelos es más profundo.

- **Organismo:** Varía de ningún organismo ni suelo a abundante actividad orgánica (tanto vegetal como de organismos en el suelo). Suelos delgados y jóvenes tienen poca vegetación. A mayor vegetación y organismos, mayor grado de intemperismo.

- **El tiempo:** Varía de corto tiempo de exposición a largo tiempo de exposición a la intemperie y agentes. Más tiempo: más intemperismo, suelos más desarrollados; menos tiempo: menos intemperismo, suelos menos desarrollados.



Figura 1. Factores de formación del suelo

2.3. Indicadores del suelo

Los indicadores de la calidad de suelo se conciben como una herramienta de medición que debe ofrecer información sobre las indicadores, los procesos y las características. Estos se miden para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado (ASTIER *et al.*, 2002).

ADRIAANSE (1993) refirió que los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos, y son usados en muchas esferas del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc.). Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser los indicadores físicos, químicos y biológicos, o los procesos que ocurren en él, los indicadores deberían permitir:

1. Analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible.
2. Analizar los posibles impactos antes de una intervención.
3. Monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas.
4. Ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

2.3.1. Condiciones que deben cumplir los indicadores de la calidad del suelo

Para que los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo sean consideradas indicadores de la calidad deben cubrir las siguientes condiciones:

- Ser integradores.
- Ser fáciles de medir, basados en información objetiva y fácil de reconocer.
- Ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado.
- Ser preferentemente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones.
- Reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar.
- Ser fáciles de entender.
- Permitir cambios y diferencias entre los sistemas.
- Centrarse en aspectos prácticos y claros.

Teniendo en cuenta que el suelo es un ecosistema donde interactúan múltiples factores y que no es posible que un solo indicador provea una información completa, es necesario basarse en indicadores físicos, químicos, biológicos, productivos y sociales para determinar la calidad y/o la salud del suelo (DORAN y PARKIN, 1994).

LARSON y PIERCE (1991), DORAN y PARKIN (1994) y SEYBOLD *et al.* (1997) establecieron un grupo mínimo de indicadores del suelo para ser utilizadas como indicadores, ya que existían muchas y no todas tenían la suficiente precisión e importancia; entre ellas se encuentran los indicadores físicos, los químicos y los biológicos.

2.4. Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso, ya que no se pueden mejorar fácilmente

(SINGER y EWING, 2000); La calidad física del suelo se asocia con el uso eficiente del agua, los nutrientes y los pesticidas, lo cual reduce el efecto invernadero, y conlleva un incremento de la producción agrícola. Esta calidad no se puede medir directamente, pero se infiere a través de los indicadores de la calidad (estáticos o dinámicos) y de la medición de los atributos que están influenciados por el uso y las prácticas de manejo. La estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

Cuadro 1. Indicadores físicos del suelo

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo	suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	minutos/2.5 cm de agua y g/cm ³
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm ³ /cm ³), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación

Fuente: Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold et al., 1997.

2.4.1. Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras indicadores (FAO, 2015).

El triángulo de textura de suelos según la FAO se usa como una herramienta para clasificar la textura. Partículas del suelo que superan tamaño de 2.0mm se definen como piedra y grava y también se incluyen en la clase de textura. Por ejemplo, un suelo arenoso con 20% de grava se clasifica como franco arenoso con presencia de gravas. Cuando predominan componentes orgánicos se forman suelos orgánicos en vez de minerales.

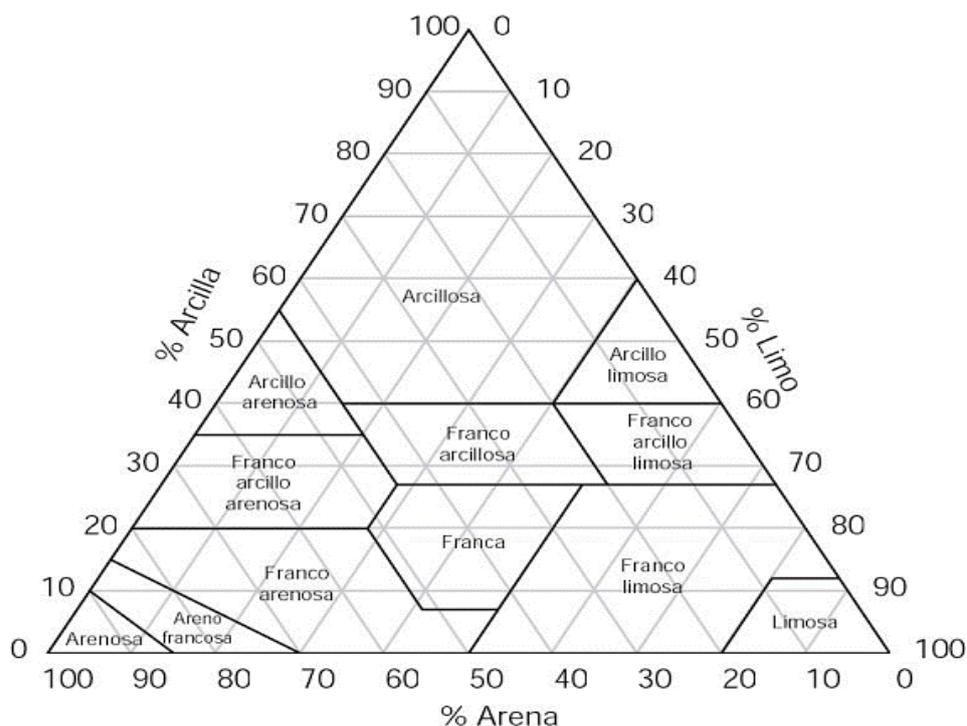


Figura 2. Clase textural del suelo

2.4.2. Estructura

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas.

2.4.3. Color

El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertos indicadores del suelo. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato.

2.4.4. Densidad

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g. cm^{-3} o t^3). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (KELLER & HAKANSSON, 2010). Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. La

densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas (TABOADA & ALVAREZ, 2008).

Cuadro 2. Densidad aparente del suelo

Textura	Ideal (g cm⁻³)	Aceptable (g cm⁻³)	Puede afectar el crecimiento (g cm⁻³)	Restringe el crecimiento (g cm⁻³)
Arena, areno-franco	Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.69	1.69 ≤ Dap < 1.80	Dap > 1.80
Franco-arenosa, franco	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.63	1.63 ≤ Dap < 1.80	Dap > 1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco-arcillosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.60	1.60 ≤ Dap < 1.75	Dap > 1.70
Limosa	Dap < 1.3	1.3 ≤ Dap < 1.60	1.60 ≤ Dap < 1.75	Dap > 1.75
Franco-limosa, franco- arcillo-limosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.55	1.55 ≤ Dap < 1.65	Dap > 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo- limosa	Dap < 1.1	1.1 ≤ Dap < 1.39	1.39 ≤ Dap < 1.58	Dap > 1.58
Arcillosa (>45% arcilla)	Dap < 1.1	1.1 ≤ Dap < 1.39	1.39 ≤ Dap < 1.47	Dap > 1.47

2.4.5. Temperatura

La temperatura del suelo es un factor de gran importancia para el agricultor. La temperatura es una propiedad que posee un efecto muy importante sobre los organismos y sobre los procesos de alteración química de la fracción mineral del suelo. Cada especie cultivada posee un rango propio de aptitud para la germinación de la semilla, por ejemplo. La mayor parte de la energía calorífica que recibe el suelo procede de la energía solar. En un clima templado, y por término medio, se estima que el suelo recibe 144 calorías·día⁻¹·cm⁻².

Obviamente, este valor varía con la latitud, la época del año, la nubosidad, la orientación de la ladera y la cubierta vegetal.

2.5. Indicadores químicos

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y los microorganismos. Entre ellos se encuentran la disponibilidad de nutrientes, el carbono orgánico total, el carbono orgánico lábil, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes, los cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable (AEET, 2004).

Cuadro 3. Indicadores químicas del suelo

Propiedad	Condición y función del suelo	Valores o unidades
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha ⁻¹
pH	Define la actividad química y biológica	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana.
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm ⁻¹ ; comparación entre los límites superiores e inferiores .
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta.	Kg ha ⁻¹ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos.

Fuente: Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold et al., 1997.

2.5.1. pH del suelo

El pH es conocido como potencial de hidrógeno o menos logaritmo de la actividad de H^+ , que afecta directamente la solubilidad, disponibilidad y absorción de los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo vegetal. Entre los elementos que más afecta el pH se encuentran el P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu, el porcentaje de saturación de bases y la capacidad de intercambio catiónico. En regiones con lluvias abundantes se promueve el lavado de las bases y como consecuencia el suelo se acidifica (pH entre 4.0 y 6.5), provocando altas concentraciones de aluminio y manganeso solubles que al ser absorbidos por las raíces provocan intoxicación y fijación de fosfatos. Mientras que en zonas áridas el lavado es mínimo y los suelos se alcalinizan (pH entre 7.0 y 8.5), provocando baja solubilidad del fósforo debido a la presencia de carbonato de calcio ($CaCO_3$), (SAGARPA, 2012).

El pH del sustrato controla la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. Para cacao, el rango óptimo se encuentra entre 5.5 a 6.5. Un buen sustrato es aquel cuya composición está formada por 50% de buen suelo, 25% de materia orgánica, y 25% de arena, (PAREDES, 2004).

Cuadro 4. Niveles de pH del suelo

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4.5
Fuertemente ácido	4.6-5.4
Moderadamente ácido	5.5-6.5
Neutro	6.6-7.3
Moderadamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	Mayor de 8.5

Fuente: Porta *et al.*, 1999.

2.5.2. Materia orgánica (M.O)

La materia orgánica del suelo constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo, así como sustancias producidas por los organismos del suelo. La parte más estable de esta materia orgánica se llama humus, que se obtiene de la descomposición de la mayor parte de las sustancias vegetales o animales añadidas al suelo. La fracción orgánica del suelo regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas, químicas y todas las actividades biológicas en el mismo, incluyendo la microflora y la fauna (BORNEMISZA, 1982).

Cuadro 5. Niveles de Materia Orgánica en suelos

Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	menos de 2
Medio	2 - 4
Alto o Rico	mayor de 4

Fuente: Porta *et al.* 1999.

2.5.3. Fosforo

Si el pH es ácido, la solubilidad del aluminio y del hierro es alta. Estos compuestos precipitan con el fósforo como compuestos insolubles. En pH alcalino, es decir, superior a 7.5, el calcio aumenta su solubilidad y reacciona con los fosfatos precipitándolos y formando compuestos Insolubles como la apatita; por lo tanto, el fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5,

siendo en ese rango donde se presenta la mayor mineralización de compuestos de fósforo orgánico y mineral (GARAVITO FABIO, 1979).

Cuadro 6. Niveles de fósforo

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

Fuente: Porta *et al.* 1999.

2.5.4. Potasio

El potasio es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Los vegetales necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejantes al requerimiento de nitrógeno. El K cumple un rol importante en la activación de un gran número de enzimas (conociéndose, más de 60 actividades por este catión), que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; también tiene incidencia en el balance de agua y en el crecimiento meristemático. Al participar de estos procesos metabólicos el K actúa favoreciendo el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos (RAMOS, 2003).

Cuadro 7. Niveles de contenido de potasio disponible.

Nivel	Potasio(ppm)
Bajo	<120
Medio	120- 140
Alto	> 240

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS

2.5.5. Nitrógeno

El nitrógeno del suelo es uno de los elementos de mayor importancia para la nutrición de las plantas y más ampliamente distribuido en la naturaleza. Se asimila por las plantas en forma catiónica de amonio NH_4^+ o anionica de nitrato NO_3^- . A pesar de su amplia distribución en la naturaleza se encuentra en forma inorgánica por lo que no se pueden asimilar directamente.

Además, existen las formas gaseosas del N pero son muy pequeñas y difíciles de detectar como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), amoníaco (NH_3) y nitrógeno molecular presente en la atmósfera del suelo (N_2), (SAGARPA 2012).

Cuadro 8. Niveles de contenido de nitrógeno.

Nivel	Rango (%)
Bajo	Menor de 0.1
Medio	0.1 – 0.2
Alto	Mayor de 0.2

Fuente: Porta *et al.* 1999.

2.5.6. Capacidad de intercambió catiónico (CIC)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH_4 etc.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrogeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El

nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo cmolc/kg o meq/ 100g de suelo, (FAO, 2015).

Cuadro 9. Niveles críticos de CIC para suelos con pH mayor de 5.5

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

Fuente: Porta *et al*,1999.

Cuadro 10. Niveles críticos de CIC para suelos con pH menor de 5.5

Nivel	CIC (meq/100gr de suelo)
Bajo	menor de 4
Medio	4 – 30
Alto	mayor de 30

Fuente: Porta *et al* .,1999.

2.5.7. Potasio intercambiable

Junto con el nitrógeno y el fósforo, el potasio es uno de los nutrientes minerales que requiere la planta en mayor cantidad. Este elemento es absorbido de la solución del suelo en forma del catión K^+ . La cantidad de potasio en la solución está en función de la liberación del potasio intercambiable, generalmente ubicado en el entorno de las arcillas. La mayoría de los cultivos

extraen grandes cantidades de potasio del suelo para su crecimiento y desarrollo, (SAGARPA 2012).

Cuadro 11. Rangos interpretativos para potasio (K) intercambiable.

Clase	K (Cmol (+)/kg)
Muy Baja	$K < 0.2$
Baja	$0.2 \leq K < 0.3$
Mediana	$0.3 \leq K < 0.6$
Alta	$K \geq 0.6$

2.5.8. Magnesio intercambiable

Este elemento resulta de particular interés dado que forma parte de la molécula de clorofila, por lo que está asociado a la fotosíntesis. Resulta muy común encontrar deficiencias de Mg en suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), (SAGARPA, 2012).

Cuadro 12. Rangos interpretativos para magnesio intercambiable.

Clase	Mg (Cmol (+)/kg)
Muy Bajo	$Mg < 0.5$
Bajo	$0.5 \leq Mg < 1.3$
Mediano	$1.3 \leq Mg < 3$
Alto	$Mg \geq 3$

2.5.9. Calcio intercambiable

Entre los cationes intercambiables relacionados directamente con cambios en la degradación del suelo por el fenómeno de salinización, se

encuentra el calcio. Este es un elemento relativamente abundante particularmente en suelos de regiones semiáridas. Sin embargo, suele estar presente en formas químicas de baja solubilidad, por lo que su disponibilidad en la solución del suelo resulta ser baja, (SAGARPA 2012).

Cuadro 13. Rangos interpretativos para el calcio intercambiable

Clase	Ca (Cmol (+)/kg)
Muy Bajo	$Ca < 2$
Bajo	$2 \leq Ca < 5$
Mediano	$5 \leq Ca < 10$
Alto	$Ca \geq 10$

En suelos desarrollados bajo condiciones de precipitación más abundante puede haber pérdida de bases por efecto de la lixiviación y por extracción de los cultivos. Esto puede traer como consecuencia la reducción del pH y la escasez de nutrientes para los cultivos.

El calcio posee un efecto moderador de los cambios en niveles de salinidad, particularmente por el sodio en suelo y planta. Al ser un catión bivalente con menor carga de hidratación, desplaza al sodio del complejo de cambio y promueve la agregación de los suelos salinos. La principal actividad del calcio junto con la interacción de otros cationes en suelos con sodio, radica en la reducción de los efectos tóxicos de este elemento en las plantas.

Desde el punto de vista de la calidad edáfica, el calcio es fundamental en la promoción de la estructura del suelo cuando predomina en el

complejo sorbente de un suelo que no sea ácido o donde el aluminio sea el catión predominante.

2.5.10. Sodio intercambiable

Se sabe que el sodio, aun cuando no se ha demostrado que sea un nutrimento esencial, puede remplazar al potasio en algunos casos. Muchas especies vegetales cuentan con mecanismos que reducen la absorción y translocación del sodio a las hojas, por lo no muestran síntomas de toxicidad, ya que se acumula en tallos, troncos y raíces. Los síntomas de toxicidad del sodio en las hojas son manchas necróticas intervenales. Sin embargo, el exceso de sodio puede provocar deficiencias de otros cationes como potasio, calcio y magnesio, (SAGARPA 2012).

Cuadro 14. Rangos interpretativos para sodio intercambiable.

Clase	Na (Cmol (+)/kg)
Muy Baja	$0.0 \leq \text{Na} < 0.3$
Baja	$0.3 \leq \text{Na} < 0.6$
Normal	$0.6 \leq \text{Na} < 1$
Alto	$1 \leq \text{Na} < 1.5$
Muy Alto	$\text{Na} \geq 1.5$

2.5.11. Porcentaje de saturación de bases

En el suelo se encuentran los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) y los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo de refiere al

porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neutral) su saturación de bases llega a un 100 por ciento y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo (FAO, 2015).

2.6. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de los macro invertebrados. Estos rompen, transportan y mezclan el suelo al construir galerías, nidos, sitios de alimentación, turrículos o compartimientos; afectan los procesos de manera directa incorporación y redistribución de varios materiales o indirecta formación de comunidades microbiales, transporte de propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad, etc. incluyen funciones como la tasa de respiración, el ergosterol y otros subproductos de los hongos, las tasas de descomposición de los residuos vegetales, y el nitrógeno y el carbono de la biomasa microbiana (SQI, 1996; KARLEN *et al.*, 1997).

La biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el carbono total, se ha propuesto la relación carbono microbiano: carbono orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (KARLEN *et al.*, 1997).

Cuadro 15. Indicadores biológicos del suelo

Propiedad	Condición y función del suelo	Unidades relevantes
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N , cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Kg de N o C ha ⁻¹ relativo al C y N total o CO ₂ producidos
Respiración contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Kg de N ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo al contenido de C y N total

Fuente: Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold et al., 1997.

2.6.1. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo

La fauna excavadora tritura y mezcla material del suelo, lo que contribuye a la estructuración y favorece la formación de horizontes Bw, la permeabilidad y la aireación. Su acción sobre horizontes preexistentes puede llegar a hacer desaparecer alguno de sus rasgos por efectos de la bioturbación (faunaturbación). Cuando hay predominio de un cierto tipo de población animal tiende a producirse la homogeneización del volumen trabajado por la fauna, estableciéndose una diferencia muy nítida con respecto al material subyacente. Una actividad biológica muy intensa puede dar lugar a modificaciones significativas del epipedión, de forma que su espesor sea muy considerable y

esté formado casi enteramente por deyecciones y galerías rellenas. Para designar a los suelos con este tipo de horizonte (normalmente un epipedión móllico) se usa el elemento formador de gran grupo Verm (como en Verudoll o Vermustoll) (BLAIR *et al.*, 1996).

La macrofauna más numerosa son los artrópodos, sobre todo los colémbolos, que viven en los primeros 5 cm de suelo. Los colémbolos son las responsables de trocear la materia orgánica, aumentando su área superficial. Las lombrices de tierra desempeñan un papel importante en el suelo, mezclando la materia orgánica con los componentes minerales.

La mayor densidad poblacional de la macrofauna del suelo se presenta en el estrato superficial, entre 0 y 10 cm, los factores físicos del ambiente como la humedad, temperatura y hojarasca en el suelo son más importantes en la determinación de la distribución vertical y de la abundancia de los macro invertebrados. En los suelos se presenta una disminución gradual de la densidad de la macro fauna conforme se incrementa la profundidad, sin embargo, hay algunos grupos más abundantes en los niveles más profundos del suelo (WELLINTON, 1995).

Las especies se encuentran repartidas de forma irregular entre los diversos grupos de organismos y en las distintas regiones del planeta. Se han descrito poco más de un millón y medio de especies vivientes. De ellas, aproximadamente un millón corresponde a animales y medio millón a plantas y más de la mitad del total de los organismos vivientes son insectos.

Cuadro 16. Actividades de la fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.

Categoría	Ciclaje de nutrientes	Estructura del suelo
Microfauna (4 μm - 100 μm)	- Regulan la población de bacterias y hongos. - Alteran el ciclaje de nutrientes	Pueden afectar la estructura del suelo a través de las interacciones con la microflora
Mesofauna (100 μm - 2 mm)	- Regulan la población de hongos y de la microfauna - Alteran el ciclaje de nutrientes - Fragmentan detritos vegetales	Producen pelotas fecales Crean bioporos Promueven la humificación
Microfauna (4 μm - 100 μm)	- Regulan los hongos y la microfauna. - Estimulan la actividad microbiana	- Descomponen partículas orgánicas y minerales - Redistribuyen la materia orgánica y microorganismos - Promueven la humificación - Producen pelotas fecales

Fuente: CORREIA (2000).

2.7. Calidad del suelo

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos (Doran y Parkin, 1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter et al., 1997). El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo (Romig et al., 1995).

La preocupación por la calidad del suelo no es nueva (Lowdermilk, 1953; Doran et al., 1996; Karlen et al., 1997; Singer y Ewing, 2000). En el pasado, este concepto fue equiparado con el de productividad agrícola por la poca diferenciación que se hacía entre tierras y suelo. Tierras de buena calidad eran aquellas que permitían maximizar la producción y minimizar la erosión. Para clasificarlas se generaron sistemas basados en esas ideas (Doran y Parkin, 1994).

Esos incluían términos como tierras agrícolas de primera calidad. El concepto de calidad del suelo ha estado asociado con el de sostenibilidad, pero éste último tiene varias acepciones. Para Budd (1992), es el número de individuos que se pueden mantener en un área dada. En cambio, para Buol (1995), el uso del suelo se debe basar en la capacidad de éste para proporcionar elementos esenciales, pues éstos son finitos y limitan, por ende, la productividad.

La calidad del suelo, ha sido percibida de muchas formas desde que este concepto se popularizó en la década anterior (Karlen et al., 1997). Este concepto ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Simultáneamente, calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. A pesar de su importancia, la ciencia del suelo no ha avanzado lo suficiente para definir claramente lo que se entiende por calidad.

El término calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo: (1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran y Parkin, 1994; Karlen et al., 1997) (Fig. 1). Al desarrollar este concepto, también se ha considerado que el suelo es el substrato básico para las plantas; capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo (Larson y Pierce, 1991; Buol, 1995). En consecuencia, este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa (Parr et al., 1992).

Las definiciones más contemporáneas de calidad del suelo se basan en varias de sus funciones y no solo en un uso específico, aunque este concepto continúa evolucionando (SINGER y EWING, 2000). El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America sintetizó esta definición como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (DORAN y PARKIN, 1994).

Para que este concepto sea funcional es necesario contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Así surgen los indicadores, pues las variables representan una condición y conllevan información sobre los cambios o tendencias (DUMANSKI *et al.*, 1998).

2.8. Subíndice de uso sustentable del suelo SUSS

El índice de sustentabilidad del sector rural y pesquero pondera los niveles de sustentabilidad de cinco componentes (suelos, agua, atmósfera, pesquerías y biodiversidad), dándole un enfoque global a los resultados. De esta manera, el cálculo del índice implica la construcción de cinco subíndices que reflejan los avances de cada uno de los componentes, estableciendo niveles de sustentabilidad (SAGARPA, 2012).

1. Variables del subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS)
2. Variables del subíndice uso sustentable del agua (SUSA)
3. Variables del índice de sustentabilidad biológica de las principales pesquerías de México (ISB)
4. Variables del subíndice diversidad:
 - Variables del subíndice de biodiversidad vegetal (SBV)
 - Variables del subíndice de diversidad pecuaria (SDP)
5. Variables del subíndice de emisiones de gases efecto invernadero (SEGEI).

Para evaluar el estado actual de los suelos, tomando en consideración aquellos parámetros edáficos que inciden sobre la calidad del mismo, se tomó en consideración un número mínimo de indicadores analizadas consideradas las más relevantes para el uso agropecuario global, tanto en condiciones de riego como en condiciones de temporal, (DORAN, 1994).

Para cada propiedad edáfica contemplada se determinaron rangos máximos y mínimos, a partir de los cuales se normalizaron los indicadores de calidad para llevarlo a valores entre cero y uno, donde 1 representa el mejor estado de calidad, y cero el peor. A partir de los datos normalizados se calculó un promedio simple (subíndice de uso sustentable del suelo) y éste se clasificó según los rangos de calidad definidos (SAGARPA 2012).

2.8.1. Valores deseables y valores de corte utilizados en el SUSS

Los rangos de valores deseables para cada parámetro considerado en la estimación del SUSS se presentan en el cuadro 10. Éstos están en concordancia sobre especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación del suelo. Igualmente se consideraron referencias alternas citadas en la descripción de los indicadores derivados.

Cuadro 17. Parámetros edáficos, valores deseables y de corte para evaluar el estado actual de los suelos.

Indicador	Unidad	Valor deseable (d)	Valor de corte (c)
Materia orgánica (MO)	%	MO > 5	0.5
Densidad aparente (Da)	g/cm	Dap < 1.1	1.47
CE	dSm	CE < 1	4.1
pH	pH	6 > pH < 7	5 < pH > 8.5
Fósforo (P)	mg kg	P > 5.5	0
Sodio (Na)	Cmol/kg	Na < 1	1.5
Magnesio (Mg)	Cmol/kg	Mg > 0.3	0
Cálcio (Ca)	Cmol/kg	Ca > 5	0
RAS	RAS	< 2.5	4
CIC	Cmol/kg	CIC > 15	5
Nitrógeno (N) total	%	N > 0.2	0.05

Fuente: SAGARPA (2012).

2.9. El cacao

El cacao (*Theobroma cacao*) es una especie originaria de los bosques tropicales húmedos de América del sur, sus almendras constituyen el alimento básico para la industria del chocolate, cosmética, farmacéutica y otros derivados. La Amazonía es uno de los centros de mayor variabilidad genética de esta especie, su dispersión ha sido originada por influencia del hombre y animales, por diversos lugares generando cruzamientos o híbridos espontáneos; así como posibles mutaciones que han creado numerosos fenotipos de cacao comercial que hoy se cultivan. (DE LOS RIOS, 2000).

2.9.1. Ciclo biológico del cacao

El ciclo de vida biológica del cacao dura más de cien años, pero su vida económica normalmente no pasa de 40 años. Sin embargo, no existe una curva rendimiento-edad que se aplique a todas las regiones cacaoteras, porque depende de otros factores, como la calidad del suelo, el clima, el germoplasma, manejo y los contextos socioeconómicos asociados a las fluctuaciones de precios (MEJIA, 2005).

A pesar de esta variabilidad, es posible trazar una curva de la evolución general del rendimiento de la planta de cacao con la edad: La producción de frutos se inicia a los 2-4 años, el rendimiento por planta aumenta cada año hasta los 8 - 10 años, se estabiliza entre los 11 - 15 años y se mantiene (en promedio) así desde los 16 hasta los 30-35 años. El rendimiento declina moderadamente entre los 36 - 45 años y luego rápidamente entre los 46 - 60

años de edad. A continuación, se presenta un modelo sencillo para proyectar la productividad del cacao por planta.

$$P=e^{(-1.1+\ln(a))-0.125^a}$$

Dónde:

P= Productividad (kg/planta),

e= logaritmo natural de base e,

a= edad en años.

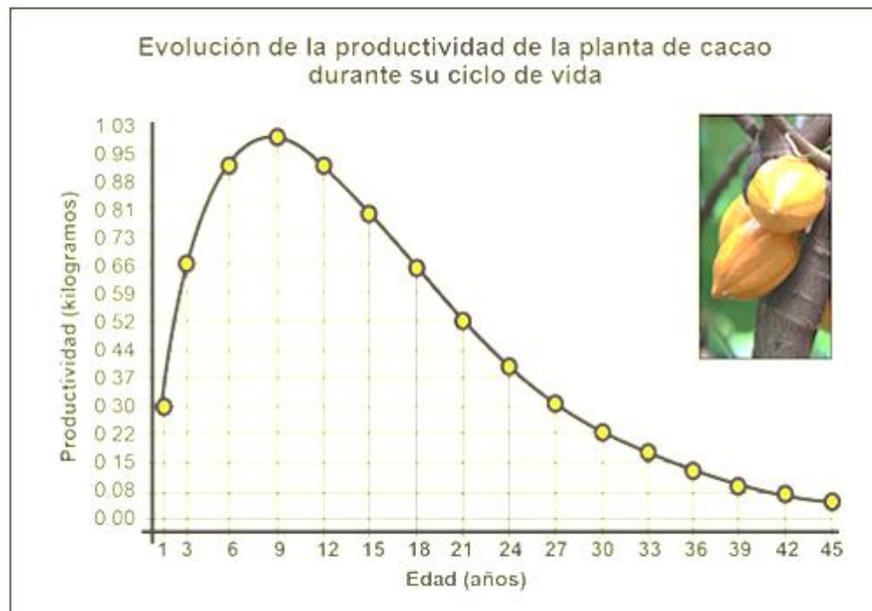


Figura 3. Evolución de la productividad de la planta de cacao

2.9.2. Aspectos determinantes en la calidad de cacao

2.9.2.1. Clima

El cacaotero pertenece a las tierras bajas del bosque tropical. Los factores climáticos críticos para su óptimo crecimiento son la temperatura y la precipitación. Son favorables temperaturas altas en promedio anual de 30-32 °C

como máximo y 18-21 °C mínimo. Variaciones de productividad notables son el resultado de las diferencias de precipitación entre años, por lo que el promedio anual debe estar entre 1500 y 2000 mm con un máximo de tres meses de sequía en áreas donde la precipitación mensual sea de 100 mm. En los países productores de cacao la humedad relativa puede alcanzar el 100% en el día y hasta un 70-80% en la noche, por lo que se convierte en otro factor climático indispensable para el desarrollo recomendable de la planta de cacao. Durante los primeros años de vida del árbol de cacao es indispensable dar protección a la planta (cultivo umbrófilo) de los rayos directos del sol (ICCO, 2009).

2.9.2.2. Suelo

Los suelos adecuados para este cultivo son suelos profundos que sean capaces de retener agua en épocas secas además de topografía regular que facilite el drenaje. Suelos franco arenosos y libres de obstáculos son preferibles a suelos arcillosos porque estos últimos complican la penetración de las raíces. Un alto contenido de materia orgánica (3.5% en 15 cm superficiales) y nutrientes determina el óptimo desarrollo de sus raíces. El árbol de cacao es adaptable a diferentes tipos de suelo, sin embargo, un suelo pobre en nutrientes con pH fuera de 5.0 y 7.5 (ácidos-4.00 o alcalinos-8.00) disminuye la productividad esperada en condiciones óptimas (GÓMEZ, 2002).

2.9.2.3. Genotipo

La gran dificultad que existe para determinar la influencia real del genotipo sobre las diferencias aromáticas, se debe a que el beneficio no se hace

de forma idéntica para cada variedad (De igual manera el contenido de metilxantinas va a estar determinado por el genotipo y el grado de maduración del cacao en grano (Timbie 1977, Bastide 1987, citados por CROS, 2000)

2.9.2.4. Viento

Es el factor que determina la velocidad de evapotranspiración del agua en la superficie del suelo y de la planta. En las plantaciones expuestas continuamente a vientos fuertes se produce la defoliación o caída prematura de hojas. En plantaciones donde la velocidad del viento es del orden de 4 m/seg y con muy poca sombra, es frecuente observar defoliaciones fuertes. Comparativamente, en regiones con velocidades de viento del 1 a 2 m/seg no se observa dicho problema.

2.9.2.5. Luminosidad:

La luz es otro de los factores ambientales de importancia para el desarrollo del cacao, especialmente para la fotosíntesis, la cual ocurre a baja intensidad aun cuando la planta este a plena exposición solar. En la etapa de establecimiento del cultivo de cacao es recomendable la siembra de otras plantas para hacer sombra, debido a que las plantaciones jóvenes de cacao son afectadas por la acción directa de los rayos solares. Para plantaciones ya establecidas, se considera que una intensidad lumínica menor del 50% del total de luz limita los rendimientos, mientras que una intensidad superior al 50% del total de luz los aumenta. (PAREDES, 2004).

2.9.3. Manejo nutricional

Para iniciar un plan de fertilización para los primeros 5 años del cultivo es necesario conocer el estado de fertilidad del suelo. Para este trabajo se debe realizar un estudio de suelo y luego los resultados de laboratorio deben ser consultados con un técnico conocedor de la materia para que le dé el asesoramiento de lugar. En el Cuadro 5 presenta los niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao. El contenido de este cuadro es solamente para tener una idea general aproximada de lo que es importante para cacao en materia de nutrición mineral.

Cuadro 18. Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.

Parámetro	Rango de fertilidad relativa		
	Alto	Medio	Bajo
pH (en agua 1 : 2.5)	7.6-6.5	6.4-5.1	< 5.0
Materia Orgánica (combustion húmeda)	> 6.1	6	< 3.0
Nitrógeno total % (kjeldahl)	> 0.41	0.40-0.16	0.2
Relación C/N	9.5-10.4	15.5-10.5	> 15.6 ó < 9.4
Fósforo P ppm (Mehlich)	> 16	15-6	< 5
Fósforo P /ml (Olsen modificado)	> 21	20-12	< 12
Fósforo "disponible" P2 O5 ppm(Truog)	> 120	119-21	< 20
Potasio intercambiable meq/100 g(Acetato de Amonio 1N, pH, 7.0)	> 0.41	0.40-0.16	< 0.15
Potasio extraible, meq/100 ml (Olsenmodificado)	> 0.41	0.40-0.21	< 0.20
Azufre S-SO4 /ml (Fósforomonocálcico 500 ppm P)	> 21	20-13	< 12
Calcio intercambiable meq/100 g (Acetato de Amonio 1N, ph, 7.0)	> 18.1	18.1-4.1	< 4
Calcio Extraible, meq/100 ml(Cloruro de potasio 1N)	> 4.1	2-Apr	< 2
Magnesio intercambiable meq/100 g(Acetato de amonio 1N, pH, 7.0)	> 4.5	4.4-09	< 0.8
Magnesio extraible meq/100 ml(Cloruro de potasio 1N)	> 2.1	2.0-0.8	< 0.8
Capacidad de intercambio de cationes meq/100 g (Acetato de Amonio, 1N, pH 7.0)	> 30.1	30-12.1	< 12
Saturación de aluminio % (KCL 1N)	0.1	11-25	< 26
Aluminio meq/100 ml (Klc 1N)	< 0.3	0.31-1.50	> 1.51

Fuente: Enriquez, 1985

2.10. Antecedentes de estudios realizados

PANDURO (2013) La investigación, se llevó a cabo con la finalidad de determinar la diversidad, densidad y biomasa de la macrofauna en los diferentes sistemas de usos del suelo en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), políticamente ubicado en el distrito Rupa Rupa, región Huánuco, a una altitud que va desde los 667 msnm. Hasta los 1092 msnm. Se evaluó sistemas tipo pastizal, bosque secundario, bambuzal, tornillal y cacaotal; el método en la toma de muestras se siguió al de Anderson e Ingram, citados por LINARES *et al* (2007). Se determinó que el sistema tornillal y cacaotal presentaron 10 grupos taxonómicos, seguido de la plantación de bambú, bosque secundario y por último en el terreno donde se estableció los pastos, habiendo entre los primeros 10 cm del suelo mayor número de macrofauna y biomasa; mayor diversidad en los suelos con plantaciones de cacao, bambú, plantaciones de tornillo, bosque secundario y finalmente en suelos donde se estableció pastos. Además, se encontró relaciones positivas de la densidad y biomasa de macrofauna con las indicadores químicas del suelo como el pH y fósforo del suelo, y relaciones negativas con la materia orgánica y nitrógeno.

AZAÑRERO (2016) el manejo inadecuado del suelo con cultivo de coca y el mal uso de su producción ha afectado las zonas de vida más frágiles de nuestra Amazonía, lo cual se reflejan en la baja productividad de los cultivos lícitos; degradación y pérdida de fertilidad del suelo. En base a esto, en el presente estudio se plantearon los siguientes objetivos: determinar los

indicadores físicos del suelo, indicadores químicos, la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) y los indicadores más influyentes sobre la calidad del suelo en tres sistemas de uso ubicados en la localidad de Rio Espino - Monzón.

Para ello, se realizó el muestreo del suelo y así determinar los indicadores fisicoquímicos, en base a esto se determinó la calidad del suelo utilizando la metodología del SUSS, cuyos indicadores fueron: textura, densidad aparente, resistencia a la penetración, infiltración, temperatura, pH, fósforo disponible, nitrógeno total y materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, potasio, calcio y magnesio intercambiable y conductividad eléctrica. Determinándose que el SAF y el cocal presentaron una textura franco arcilloso arenoso y el bosque secundario franco arenoso.

El sistema que presentó mayor densidad aparente fue el cocal (1.49 g/cc). El sistema con menor valor de resistencia a la penetración lo presentó el bosque secundario (1.60 kg/cm²). El SAF obtuvo una velocidad de infiltración de 33.94 cm/h y una temperatura de 25.50 °C. En cuanto al pH, el SAF presentó mayor valor (4.77). El bosque secundario presentó menor nivel de fósforo disponible (2.89 mg·kg⁻¹). La materia orgánica fue menor en el cocal (2.29 %). En cuanto a nitrógeno total fue mayor en el bosque secundario (0.22%). El SAF presentó mayor valor de potasio, calcio y magnesio (0.09, 3.76 y 0.45 Cmol⁽⁺⁾·kg⁻¹). El bosque secundario presentó menor valor CIC (5.38 Cmol⁽⁺⁾·kg⁻¹). El mayor valor de conductividad eléctrica lo presentó el SAF (1.84 dS·m⁻¹). Teniendo en cuenta los valores obtenidos de cada indicador se determinó el SUSS de cada

sistema, clasificando al SAF, bosque secundario y ex cocal con calidad aceptable, sensible y marginal respectivamente, siendo el SAF quien obtuvo una mejor calidad y el nitrógeno total el indicador fuertemente correlacionado con la calidad del suelo.

OBREGON (2017) en el parque nacional de Tingo María existe la zona de uso especial que es el área en la cual la intervención del hombre a lo largo de los años ha producido una alteración del ecosistema lo que ha traído consigo la formación de un ecosistema antropogénico. Por esa razón los sistemas de uso de suelos ocasionan diferentes grados de perturbación, que, al afectar sus características físicas, químicas y biológicas, producen efectos sobre la degradación y erosión del suelo.

En base a ello se planteó clasificar la taxonomía, los indicadores físicos químicos y la calidad del suelo por el método de sub índice de uso sustentable del suelo (SUSS). En la zona de uso especial del PNTM se realizaron la lectura de 4 calicatas clasificadas según Soil Taxonomy, se recolectaron muestreos de suelo en 10 puntos del área en estudio que fueron analizados en el laboratorio de suelos de la UNAS.

En base a los análisis del laboratorio se determinó la calidad del suelo utilizando la metodología del SUSS. Determinándose que son de orden Inceptisol, sub orden Udepts, gran grupo Eutrudepts (la calicata C 1 Rio Oro (RO) y C 3 puente Pérez (PP)) y Distrudepts (la C 2 RO y C 4 Tres de Mayo (TM)), En sub grupo se encuentran los Typic Eutrudepts (C 1 RO y C 3 PP) y Typic Distrudepts (C 2 RO y C 4TM). En los indicadores físico químicos se determinó

suelos que presentan diferentes clases texturales que varían de franco arenoso a franco arcilloso, su temperatura mínima es de 22.8 °C, presentan pH extremadamente ácido en las muestras (2,3,7, 9 y 10), M.O nivel bajo en la muestra 5 Puente Pérez (PP) , N nivel bajo en la muestra 5 (PP), fosforo nivel muy bajo en las muestras (1 RO, 3 RO, 4 B (Bella), 10 (JSA) Juan Santos Atahualpa), K nivel medio en las muestras (2 RO y 9 TM) y CIC nivel bajo en la muestra 5 (PP). Se determinó suelos de calidad pobre en la zona de RO.

Finalmente se concluye que la zona de uso especial del PNTM según la clasificación soil Taxonomy son suelos Inceptisols y según la metodología SUCSS presenta suelos de calidad pobre (2 y 3) marginal (4, 7 y 10), sensible (1, 5, 8 y 9) y aceptable (6). Se recomienda principalmente aplicar enmiendas para mejorar el pH, incorporar abono orgánico y realizar un plan de abonamiento de acuerdo a los análisis de suelo.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en el sector de Ventenjebe, en tres parcelas de cultivos de cacao en diferentes edades, todas con títulos de propiedad, asociadas con especies arbóreas de guaba, oje, bolaina y cético: la primera parcela de propiedad del Sr. Juan Santos Herrera, con 1.65 ha de cultivo de cacao de 3 años de edad; la segunda parcela de propiedad del Sr. Pedro Piundo Campos, con 3.91 ha de cultivo de cacao de 6 años de edad y la tercera parcela de propiedad del Sr. Magno Campos Morales, con 1.72 ha de cultivo de cacao de 10 años de edad.

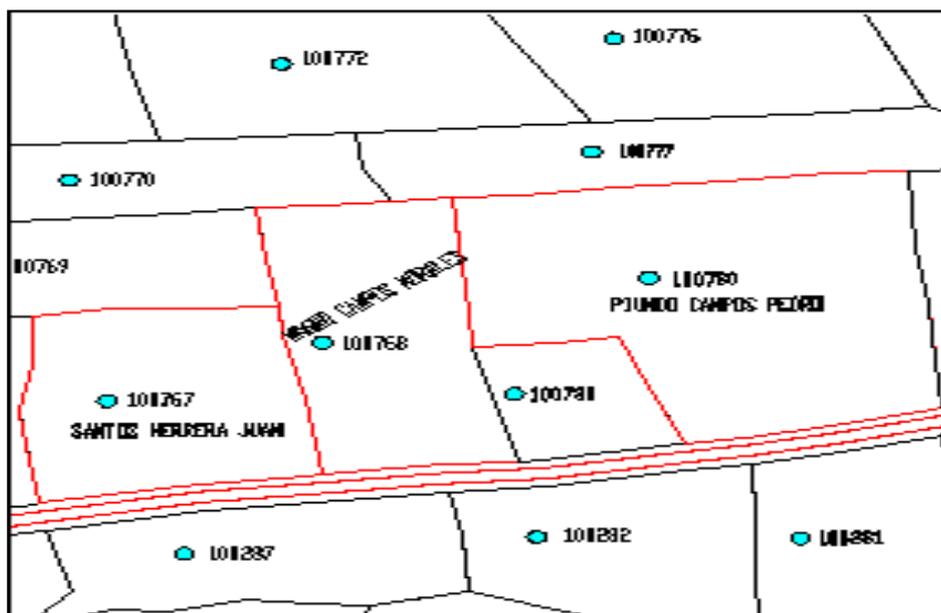


Figura 4. Parcelas de cultivos de cacao en diferentes edades

3.1.1. Ubicación Política

Políticamente el sector Ventenjebe pertenece al distrito y provincia de Tocache, departamento de San Martín.

3.1.2. Ubicación geográfica

El sector Ventejebe geográficamente se ubica en las coordenadas UTM, 335103.32 Este, 9091159.51 Norte: y una altitud de 480 msnm.

3.2. Características de las zonas de estudio

3.2.1. Clima

El sector de Ventenjebe de acuerdo a las estaciones meteorológicas del SENAMHI registran una temperatura máxima media de 29 °C y una temperatura mínima media de 22 °C, siendo la temperatura media de 25.5 °C. La humedad relativa es cercana al 80%. La precipitación media es de 3,847.3 mm/año, siendo el comienzo de la época de lluvias en octubre hasta abril.

3.2.2. Relieve

El relieve está representado por terrazas bajas de drenaje imperfecto a muy pobre, periódicamente inundables. Presenta material fluvial como arenas, limos y arcillas.

3.2.3. Zonas de vida

El 75% del territorio corresponde a las zonas de bosques húmedos y pluviales con pisos pre-montanos, montano bajo y mónicos, seguido de los

bosques secos basal y pre-montano (15.5%). La intervención del hombre se ha centrado en mayor proporción en todos los tipos de bosques secos afectando el 86% de ellos, especialmente los de nivel pre-montano que casi han desaparecido (95%). Los bosques montanos en general han sido afectados aproximadamente en un 21%, (PLAN ESTRATÉGICO REGIONAL AGRARIO, 2008).

3.2.4. Flora

La vegetación está conformada por especies pioneras, típicas de riberas, adaptadas a suelos húmedos, como ceticos (*Cecropia* sp.), ñejillas (*Bactris* sp.), renacos (*Ficus trigona*), caña brava (*Gynerium sagittatum*), y herbáceas como ciperáceas y gramíneas (ZZE, 2006).

3.2.5. Fauna

Esta zona constituye hábitat y refugio de mamíferos como Agouti paca (picuro), *Dasyprocta fuliginosa* (añuje), *Hydrochaeris hydrochaeris* (ronsoco), *Dasypus novemcinctus* (carachupa), *Aotus nancymae* (musmuqui), *Callicebus cupreus* (tocón colorado), *Potos flavus* (chosna), *Nasua nasua* (achuni), *Sciurus spadiceus* (ardilla colorada); aves como el *Anhima corneta* (camungo), *Jacana jacana* (tuqui tuqui) y especies de patos silvestres.

3.2.6. Hidrografía

La cuenca hidrográfica principal en la región San Martín, la constituye el río Huallaga, que viene a ser el eje del Sistema Hidrológico, teniendo entre su nacimiento y su desembocadura una longitud de 1,138 Km, es

navegable con la presencia de algunas dificultades naturales denominados “rápidos” o “malos pasos”, entre los tramos de Shapaja – Chazuta (provincia de San Martín) y un segundo tramo en la jurisdicción de Mariscal Cáceres (PLAN ESTRATÉGICO REGIONAL AGRARIO.2008).

3.2.7. Fisiografía

Presenta una fisiografía de terraza baja no inundable con pendientes de 0 a 8% aproximadamente y una altitud de 0 a 80 m sobre la base local.

3.2.8. Suelos

Los suelos son superficiales y poco evolucionados. En las depresiones de relieve plano cóncavo, compuestas por depósitos de materiales orgánicos, presentan drenaje pobre y escaso desarrollo.

3.2.9. Accesibilidad

La accesibilidad al sector Ventenjebe, es vía terrestre que se encuentra a 15 minutos aproximadamente de la vía principal Fernando Belaunde Terry dirigiéndose a la ciudad de Tingo María, el acceso es con todo tipo de vehículos de transportes, y las vías para llegar al sector Ventenjebe en por una carretera afirmada.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales

- Bolsas

- Plástico
- Pala
- Machete
- Plumón indeleble

3.3.2. Equipos de campo

- Cámara digital
- GPS
- Lapto

3.3.3. Materiales de laboratorio

- Probeta
- Tubos de ensayo
- Pipetas
- Tamiz de 2 y 0.25 mm

3.3.4. Equipos de laboratorio

- Balanza de precisión
- Estufa
- pH metro
- Espectrofotómetro de absorción atómica

3.4. Metodología

3.4.1. Determinar los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en el cultivo de cacao de diferentes edades

- Reconocimiento de terreno

Se realizó el reconocimiento del área de estudio donde se ejecutó la investigación previa coordinación con los propietarios de las parcelas de cultivo de cacao. Así mismo se recopiló información física y digital.

- Determinación de números de muestras

El número de muestras se determinó en relación a las características del área de estudio, considerando dos muestras por cada edad de cultivo de cacao

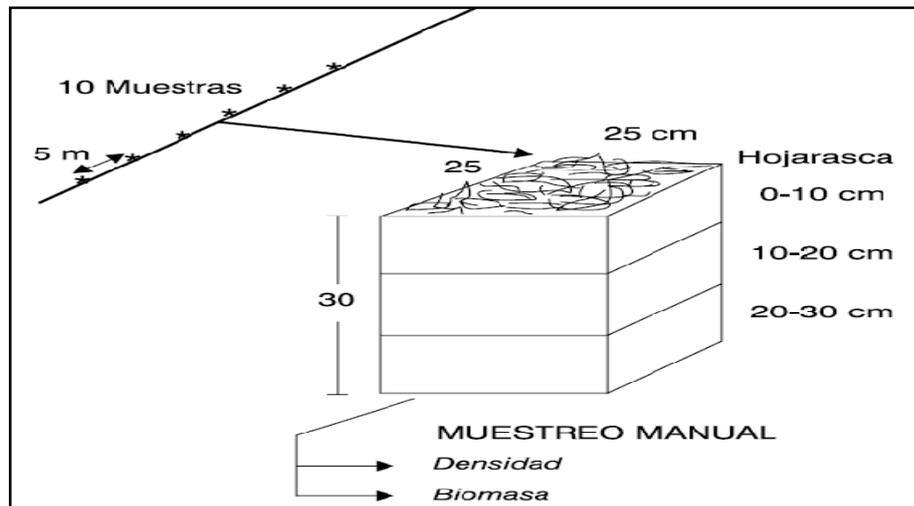
- Muestreo de suelo

El muestreo de suelos se realizó mediante el muestreo sistemático en zigzag, en zonas homogéneas del cultivo de cacao en el cual se muestreo y recolecto la muestra hasta completar aproximadamente un kilogramo y algunas indicadores han sido determinadas in situ y otras han sido trasladados al laboratorio de suelos de la UNAS.

- Muestreo de indicadores biológicos

El método de muestreo utilizado es el *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF), donde indica que las dimensiones: de muestreo es de 25 cm x

25 cm x 30 cm de forma lineal, así mismo la recolección de macro fauna se realizó en estratos sucesivos (0 - 10, 10 - 20, 20 – 30 cm) incluyendo la hojarasca



Fuente: Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF,IUBS/UNESCO)

Figura 5. Muestreo biológico

Así mismo las muestras fueron trasladadas al laboratorio de entomología que pertenece a la Facultad de Agronomía, fueron llevadas en bolsas de polietileno debidamente codificadas. De cada muestra, los macro invertebrados fueron colectados con una pinza sobre bandejas plásticas y se conservaron en alcohol. Posteriormente se hizo el conteo y valorización de la biomasa, los organismos se identificaron hasta nivel de Orden, con ayuda de un especialista y se registraron en una matriz de datos.

- **Análisis físicos, químicos y biológicos**

En el Cuadro 19 se observa los indicadores físicos, químicos y biológicos con su metodología de determinación respectiva con el que ha sido analizado en el laboratorio de la UNAS.

Cuadro 19. Indicadores de físico, químico y biológico.

Indicadores físicos	Método de su determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Temperatura del suelo	Método directo (termómetro)
Indicadores químicos	
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Capacidad de intercambio Catiónico	Método del acetato
Indicadores biológicos	
Densidad de la macrofauna	Método directo por conteo
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo
Diversidad de especies	Índice de Diversidad de Shannon - Wiener (H')
Equidad	$J = H' / \ln S$

Fuente: Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold et al., 1997.

- **Densidad de macrofauna**

Dado que para cada muestreo se utilizó un cuadrado de 25 cm x 25 cm de lado, lo que representa 0.0625 m² o 1/16 m², los datos de cada punto de muestreo fueron multiplicados por un factor de 16, esto es con la finalidad de obtener las unidades en número de individuos por m² (ind/m²) (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

- **Biomasa de macrofauna**

Al igual que en la densidad, los datos (pesos) de cada punto de muestreo fueron multiplicados por el factor de 16 para obtener las unidades de gramos por m² (g/m²), (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

- **Riqueza de especies (s)**

Se determinó realizando el conteo de las especies identificadas en el laboratorio de entomología. Siendo considerado como un tipo de medida de la diversidad alfa, aunque únicamente tiene en consideración el número de especies y no la abundancia de cada una.

- **Índice de Shannon-Wiener**

Se determinó utilizó la fórmula empleada por SMITH y SMITH (2001) donde indica que el rango de evaluación esta entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies. Estos han sido determinados en el programa de Excel introduciendo los datos obtenidos de la evaluación biológica y aplicando la formula indicada.

Se utilizó la fórmula empleada por SMITH y SMITH (2001):

$$H = \sum_{i=1}^s (P_i)(\ln P_i) \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

H = Diversidad de especies

S = Número de especies

Pi = Proporción de individuos en el total de la muestra que pertenecen la especie

ln = Logaritmo natural

- **Equidad de Pielou**

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes

(MAGURRAN, 1987).

$$J = H' / \ln S \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

J = Es el índice de equidad de Pielou

Ln = logaritmo natural

S = Riqueza de especies

3.4.2. Determinación Calidad del suelo mediante la metodología del Subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS)

Para determinar la calidad del suelo con la metodología del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), se tomó en cuenta los rangos de interpretación emitidos por el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Donde el subíndice de uso sustentable del suelo SUSS agrupa las indicadores fisicoquímicas relacionadas a la calidad del suelo y el valor de corte y valor deseable de cada indicador.

La ecuación de cálculo de la normalización de los indicadores es la siguiente:

$$Rn_j = 1 - \left(\frac{Vr_j - d_j}{c_j - d_j} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

Rn: es el resultado normalizado,

Vr: es el valor del parámetro fisicoquímico (indicador),

d: es el valor deseable en el indicador,

c: es el valor de corte en el indicador, y

j: es cada muestra de suelo.

- Luego se determina Promedio del valor de los parámetros normalizados,

Dónde:

P: es el promedio del valor de los parámetros normalizados,

m: es el número de muestras de suelos analizados

j: es cada muestra de suelo

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m Rn_j}{m} \dots\dots\dots (4)$$

- Finalmente se determina le SUSS y es realiza la interpretación de acuerdo al Cuadro 20.

Donde:

P: es el promedio del valor de los parámetros normalizados

I: es cada indicador o cada parámetro analizado

n: es el número total de parámetros analizados

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \dots\dots\dots (5)$$

Cuadro 20. Interpretación del índice de calidad

Calidad del suelo Bueno	Descripción
Bueno (0.95 < SUSS ≤ 1.0)	Las condiciones de calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola.
Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)	Los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)	Los indicadores de calidad a son distantes de los valores deseables.
Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

Fuente: SAGARPA (2012).

3.4.3. Representar cartográficamente la distribución espacial de la calidad del suelo en el cultivo de cacao de diferentes edades

Para la elaboración de los mapas se realizaron proyecciones al Sistema Universal Transversal Mercator (UTM), en el Datum WGS 84 zona 18s Hemisferio Sur, mediante el programa ArcGis y para la manipulación de datos se realizó el proceso de interpolación mediante Kriging.

En el programa ArcGis se insertaron las coordenadas del área de estudio y se procedió a la elaboración del mapa de distribución de calidad del suelo, a partir de los cálculos realizados del SUSS (calidad del suelo) y mediante la interpolación de la herramienta kringin que es una técnica cuantitativa que muestra mayor exactitud y permite estudiar estas características de los suelos y mapear el comportamiento de la calidad del suelo. Teniendo como resultado una capa raster de la distribución de la calidad del suelo y posteriormente fue convertido en formato shapefile y representado en un mapa a escala de adecuada.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en el cultivo de cacao de diferentes edades

4.1.1. Determinación de los indicadores físicos

- Textura

Las diferentes edades de plantaciones de cacao nos muestran la clase textural para plantas establecidas de 3 años de edad presentándonos suelos (franco limoso y franco arenoso), plantas de 6 años de edad presentan texturas (franco arcillo arenoso y franco arcilloso) y las plantas de 10 años de edad presenta una textura (franco limoso), tal como se aprecia en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Textura de suelos

N° de muestra	Edad	Textura	Partículas de suelo		
			Arena%	Arcilla%	Limo%
M - 1	3	Franco Limoso	35	14	51
M - 2	3	Franco Arenoso	53	12	35
M - 3	6	Franco Arcilloso	27	36	37
M - 4	6	Franco Arcillo Arenoso	53	26	21
M - 5	10	Franco Limoso	33	10	57
M - 6	10	Franco Limoso	35	14	51

La Figura 6, muestra las clases texturales de las tres parcelas con cultivo de cacao donde la parcela de tres años de edad presenta suelos franco limoso y franco arenoso, las parcelas de seis años suelos franco arcillosos y franco arcillo arenoso, y la parcela de 10 años presenta una textura limoso. Observando así que en todas las muestras las partículas que predominan son el limo y la arena.

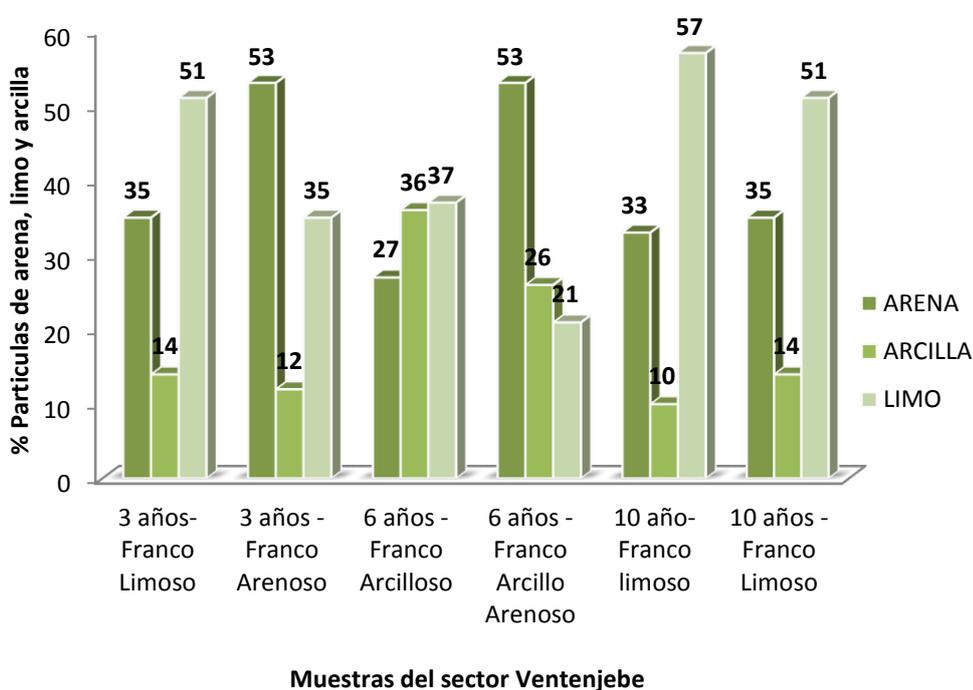


Figura 6. Clase textural de parcelas con cultivo de cacao de diferentes edades

- Temperatura y densidad aparente

La densidad aparente de las parcelas con cultivo de cacao de 3, 6 y 10 años todas se encuentran dentro del rango ideal por encontrarse por debajo del rango de $Dap < 1.4 \text{ g/cm}^3$ Cuadro 7.

Las temperaturas que presentan las parcelas con cultivo de cacao de 3, 6 y 10 años se encuentran dentro de las temperaturas favorables para el normal crecimiento y producción del cultivo de cacao.

Cuadro 22. Densidad aparente y temperatura del suelo

Indicadores físicos	Edad					
	3 años		6 años		10 años	
DA (g/cm ³)	1.14	1.24	1.19	1.17	1.10	1.14
Temperatura °C	25.6°	25.4°	25.8°	25.8°	25.1°	24.9°

En la Figura 7 se muestran los rangos de densidad aparente de las 6 muestras evaluadas de los cultivos de cacao de diferentes edades.

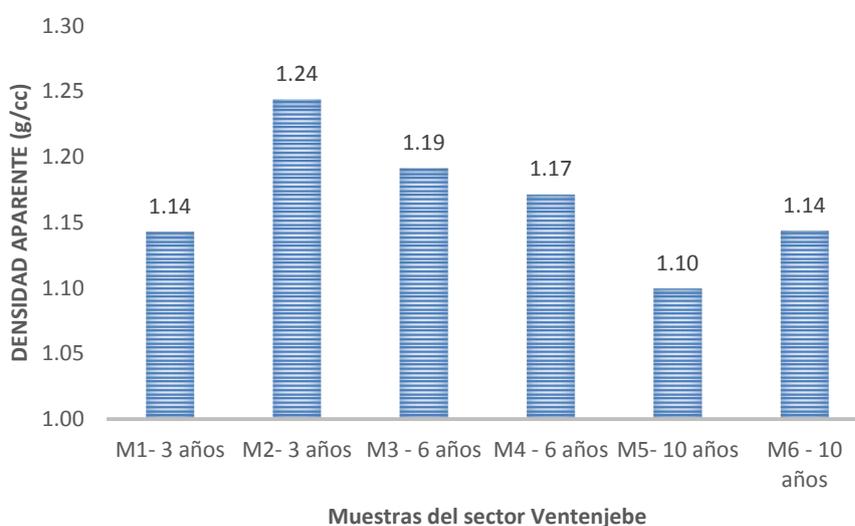


Figura 7. Densidad aparente del suelo

Referente a la temperatura las muestras 3 y 4 presentan temperaturas de 25.80°C y las muestras 6 y 10 presentan una temperatura menor (22.80°C) y las demás muestras varían dentro de ese rango Figura 8.

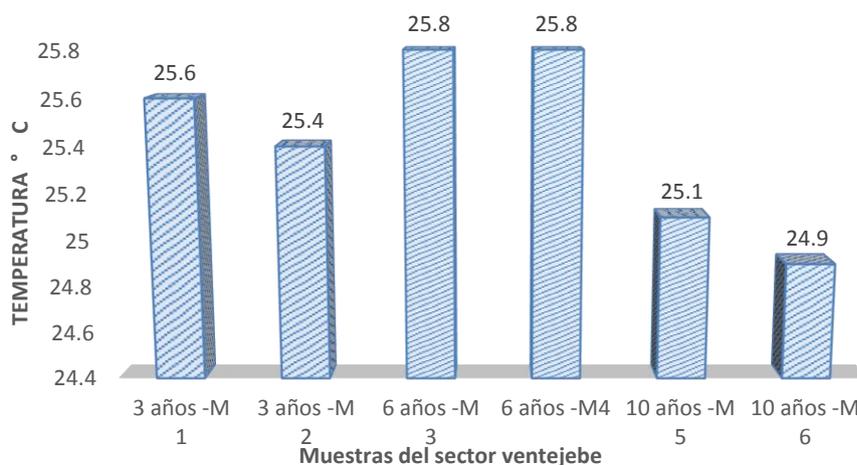


Figura 8. Temperatura de las muestras

4.1.2. Determinación de los indicadores químicos del suelo

Los indicadores químicos del suelo tales como pH, Materia Orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Capacidad de intercambio catiónico, Bases cambiables (Calcio, Magnesio, potasio y sodio); fueron obtenidos del análisis que se dio en el laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía. El cual están representados con sus niveles respectivos de cada indicador.

Cuadro 23. Propiedades químicas del suelo en estudio de 6 sectores

N° de muestra	Edad	pH	M.O.	N	P	K	CIC	Cambiables Cmol(+)/kg					CIC	%			
		1:1	%	%	ppm	ppm		Ca	Mg	K	Na	Al		H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
M - 1	3	7.36	2.41	0.11	7.2	64.97	6.83	4.70	1.62	0.21	0.3	---	---	---	100.00	0.00	0.00
M - 2	3	7.04	2.02	0.09	6.83	65.47	6.63	4.25	1.81	0.2	0.37	---	---	---	100.00	0.00	0.00
M - 3	6	7.06	1.48	0.07	6.72	97.96	9.06	6.36	2.13	0.15	0.42	---	---	---	100.00	0.00	0.00
M - 4	6	7.08	1.30	0.08	6.8	94.21	9.22	6.42	2.25	0.16	0.39	---	---	---	100.00	0.00	0.00
M - 5	10	7.48	1.62	0.05	7.58	89.46	9.44	6.62	2.13	0.41	0.28	---	---	---	100.00	0.00	0.00
M - 6	10	7.58	1.71	0.08	7.77	93.46	10.37	6.70	2.25	0.43	0.32	---	---	---	100.00	0.00	0.00

- pH en el suelo

De acuerdo al cuadro 23, y figura 9 se observa , que el mayor pH (7.58) nivel moderadamente alcalino se da en la muestra 6 del cacao de 10 años y el menor (7.04) nivel neutro se da en la muestra 2 del cacao de 3 años , con un promedio de 7.27.

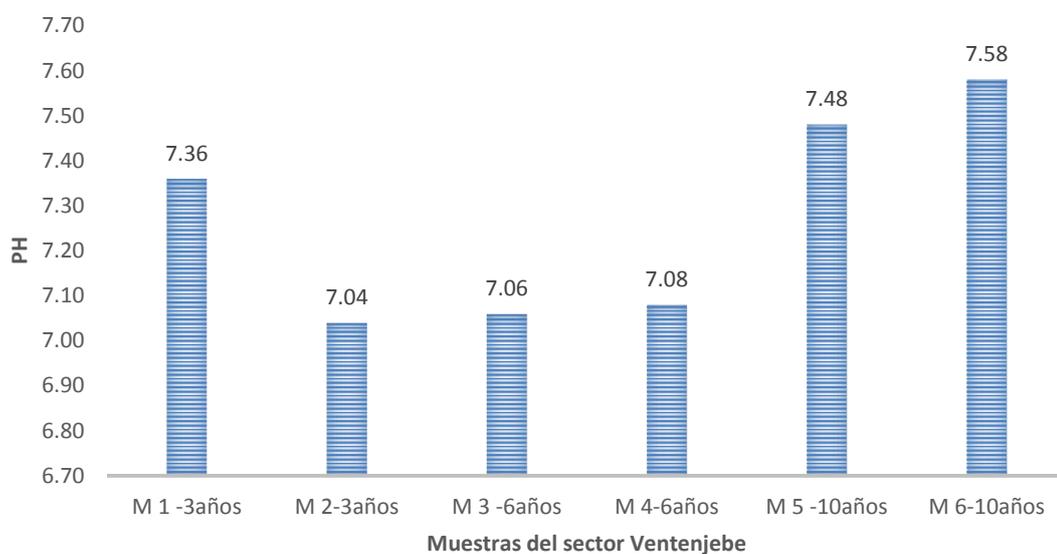


Figura 9. pH del suelo

- Materia orgánica del suelo

De acuerdo al cuadro 23, y figura 10, se muestra los contenidos de materia orgánica de los suelos del sector Ventejebe, encontrándose rangos de 2.41 % contenido medio materia orgánica en la muestra 1 del cacao de 3 años hasta 1.30 % contenido bajo de materia orgánica en la muestra 4 del cacao de 6 año, con un promedio de 1.58%.

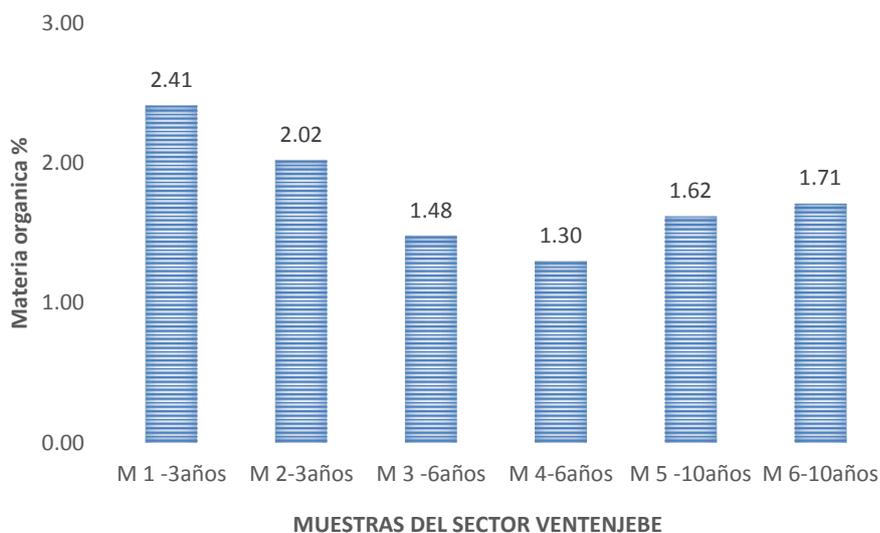


Figura 10. Materia orgánica de las muestras

- Nitrógeno del suelo

De acuerdo al cuadro 23, y figura 11, se observan que las 6 muestras de las diferentes edades del cultivo de cacao presentan niveles bajos de contenido de nitrógeno que van desde 0.05 % en la muestra 5 cacao de 10 años hasta 0.11% en la muestra 1 en cacao de 3 años, con un promedio de 0.08%.

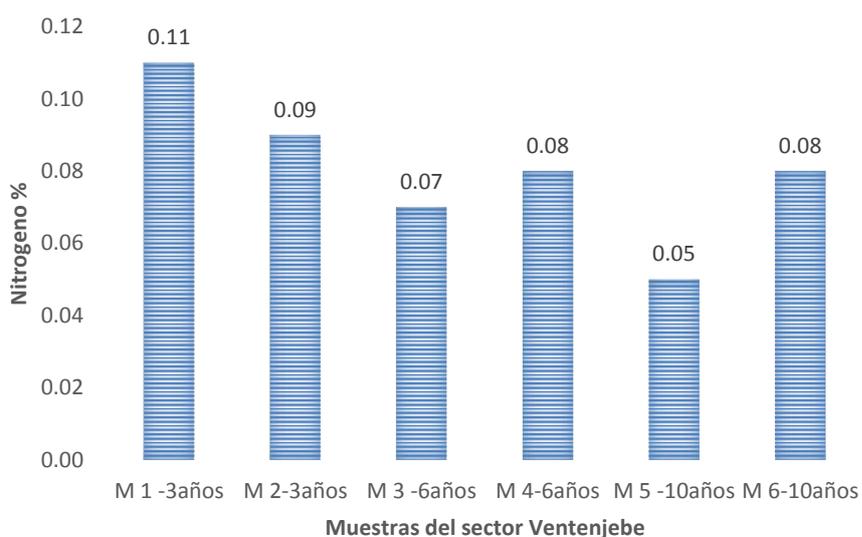


Figura 11. Nitrógeno de las muestras

- Fósforo del suelo

De acuerdo al cuadro 23, y figura 12, se observan que las 6 muestras de las diferentes edades del cultivo de cacao presentan niveles bajos de contenido de fósforo que van desde 6.72 ppm en la muestra 3 cacao de 6 años hasta 7.77 ppm en la muestra 6 en cacao de 10 años, con un promedio de 7.15 ppm.

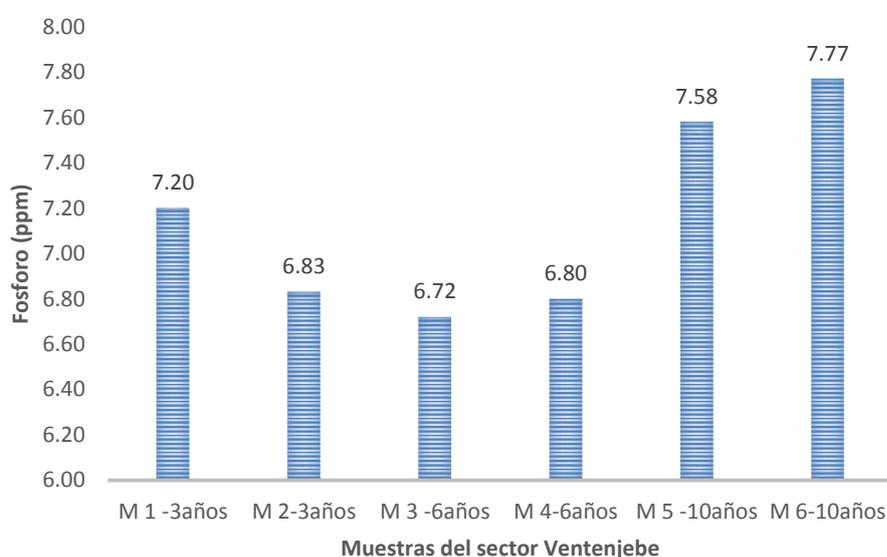


Figura 12. Fósforo en las muestras del suelo

- Potasio del suelo

De acuerdo al cuadro 23, y figura 13, se observan que las 6 muestras de las diferentes edades del cultivo de cacao presentan niveles bajos de contenido de potasio que van desde 64.97 ppm en la muestra 1 cacao de 3 años hasta 97.96 ppm en la muestra 3 en cacao de 6 años, con un promedio de 84.26 ppm.

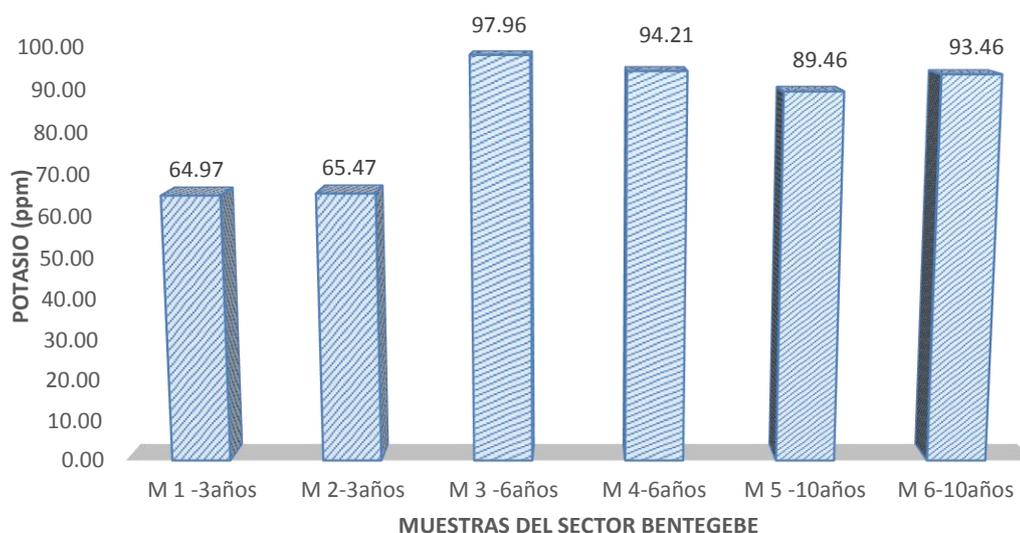


Figura 13. Potasio de las muestras de suelo

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo**

De acuerdo al cuadro 23, y figura 14, se observan que las 6 muestras de las diferentes edades del cultivo de cacao presentan niveles bajos de contenido de la capacidad de intercambio catiónico que van desde 6.63 Cmol (+)/kg en la muestra 2 cacao de 3 años hasta 10.37 Cmol (+)/kg en la muestra 6 en cacao de 10 años, con un promedio de 8.57 Cmol(+)/kg.

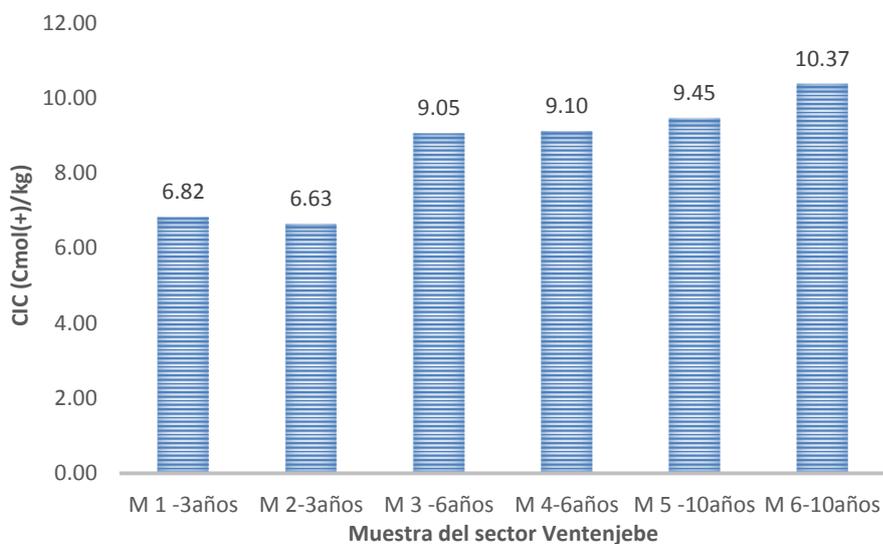


Figura 14. Capacidad de intercambio catiónico de las muestras

- Bases cambiables del suelo

De acuerdo al cuadro 23, y figura 15, referente a los rangos de bases de (K, Ca, Mg, Na), en plantas de 6 y 10 años de edad presentan rangos medios de calcio, magnesio nivel medio en todas, potasio nivel bajo en cultivos de cacao de 3 años, muy bajo en cultivos de cacao de 6 años y nivel medio en cultivos de cacao de 10 años y sodio presentan nivel bajo y muy bajo.

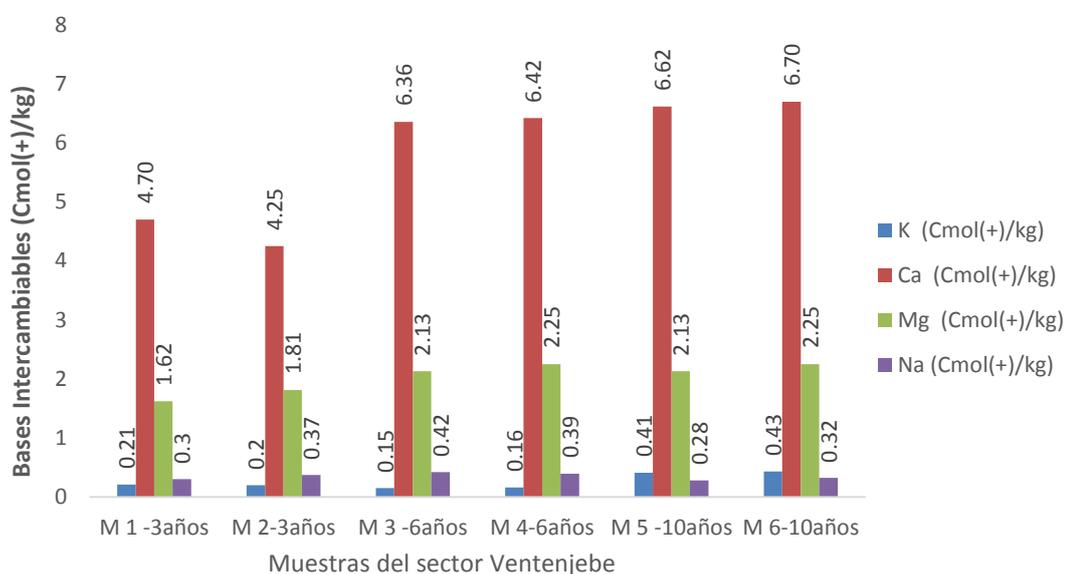


Figura 15. Bases cambiables de las muestras

4.1.3. Determinación de los indicadores biológicos

- Densidad de macrofauna

En los primeros 10 cm se encontró diferentes cantidades de invertebrados, por lo tanto, en los suelos con cultivo de cacao de tres años de edad presenta una mayor densidad de 752 ind/m², seguido por el de 6 años de edad con 672 ind/m² y en menor cantidad el de 10 años de edad con 416 ind/m². Cuadro 24. Densidad de macrofauna del suelo en cultivos de cacao.

Edades del cacao	Individuos /m ²			Total
	0 cm-10 cm	10cm - 20 cm	20 cm - 30 cm	
3 años	752	*	*	752 ind/m ²
6 años	672	*	*	672 ind/m ²
10 años	416	*	*	416 ind/m ²
Totales	1840 ind/m ²	*	*	

*No se encontró macrofauna en estratos de 10 cm – 20 cm y 20 cm- 30cm

En la Figura 16, se aprecia las densidades de macrofauna en estratos de 0 cm - 10 cm, donde los suelos con cultivos de cacao de 3 años de edad presentan mayor densidad con 752 ind/m², continuando con la edad de 6 años presenta una densidad de 672 ind/m² y los cultivos de 10 años de edad presentan 416 ind/m².

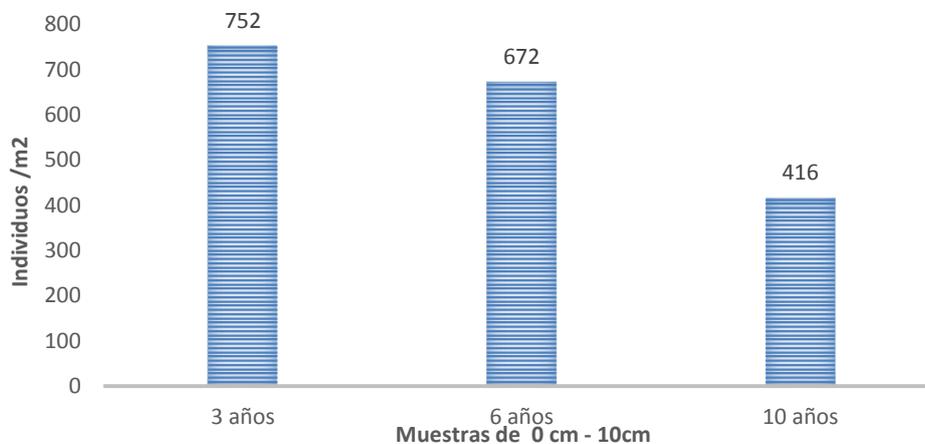


Figura 16. Densidad de macrofauna

- Biomasa de macrofauna

En los primeros 10 cm las cantidades de biomasa de invertebrados son variables, por lo tanto, en suelos con cultivo de cacao de tres años de edad presenta una biomasa de 54.09 g/m², seguido por el de 6 años de edad con 36.23 g/m² y en menor cantidad el de 10 años de edad con 25.75 g/m².

Cuadro 25. Biomasa de macrofauna del suelo

Edades del cacao	Peso en g/m ²			
	0 cm-10 cm	10cm - 20 cm	20 cm - 30 cm	Total
3 años	54.09	*	*	54.09 g/m ²
6 años	36.23	*	*	36.23 g/m ²
10 años	25.75	*	*	25.75 g/m ²
Totales	116.08 g/m ²	*	*	

*No se encontró macrofauna en estratos de 10 cm – 20 cm y 20 cm- 30cm.

- Diversidad de macrofauna

En el presente estudio se encontraron 13 unidades taxonómicas (Cuadro 32) de las cuales el orden taxonómico de oligocheata es el que ha estado más presentes en todas las edades de cultivo de cacao 3, 6 y 10 años de edad con (288, 272 y 208).

Cuadro 26. Unidades taxonómicas de macrofauna del suelo

Filo	Clase	Orden	Edades de cacao		
			3 años	6 años	10 años
Annelida	Clitellata	Oligocheata (lombriz)	288	272	208
Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (chanchitos de tierra)	144	16	48
		Hymenoptera (hormigas)	64	96	32
	Insecta	Coleóptera (escarabajo)	48	48	48
		Orthoptera (Picurito)	0	0	16
		Dermaptera (Grillo)	16	32	0
		Dermaptera (Tijerata)	0	16	0
	Miriápodo	Scolopendromorpha (cien pies)	64	32	0
		Polydesmida (mil pies)	0	16	16
		Arachnida	Araneae (araña)	0	80
	Mollusca	Gasterópoda	Gastropoda (caracol)	128	48
Total			752	656	416

Respecto al número de grupos taxonómicos de macrofauna en el suelo respecto a las edades del cultivo de cacao se observa que en edades de 3 años se encuentran presentes 7 grupos taxonómicos, 6 años 10 grupos taxonómicos y en 10 años se encuentran presentes 8 grupos taxonómicos

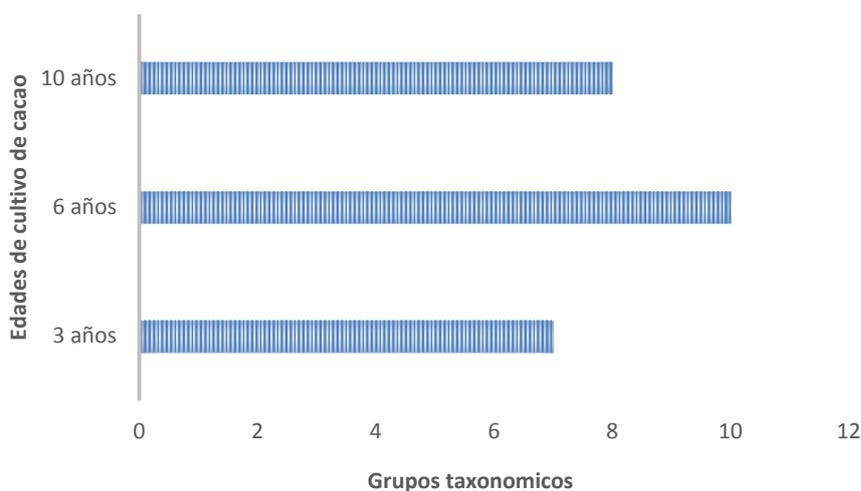


Figura 17. Grupos taxonómicos en parcelas de cacao

- Índice de diversidad de macrofauna

El índice de diversidad de macrofauna encontrado en cultivos de cacao de diferentes edades ubicado en el sector ventenjebe, fue determinado de acuerdo al índice de Shannon – Wiener (H') donde mayor Diversidad ($H':1.85$) se encontró en cultivos de cacao de 6 años de edad y distribuyéndose de una forma más equitativa, en las edades de 3 años y 10 años con cultivo de cacao.

Cuadro 27. Índice de diversidad de macrofauna del suelo

Índices	Edad de plantas de cacao		
	3 años	6 años	10 años
S (N° de especies)	7	10	8
Shannon - wiener (H')	1.66	1.85	1.73
Equidad (J)	0.85	0.80	0.83

4.2. Determinación de la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS)

En el cuadro 28 y la figura 18, se observa que las parcelas de cacao de tres años de edad presentan suelos de calidad pobre, y los de 6 años y 10 años de edad presentan suelos de calidad marginal.

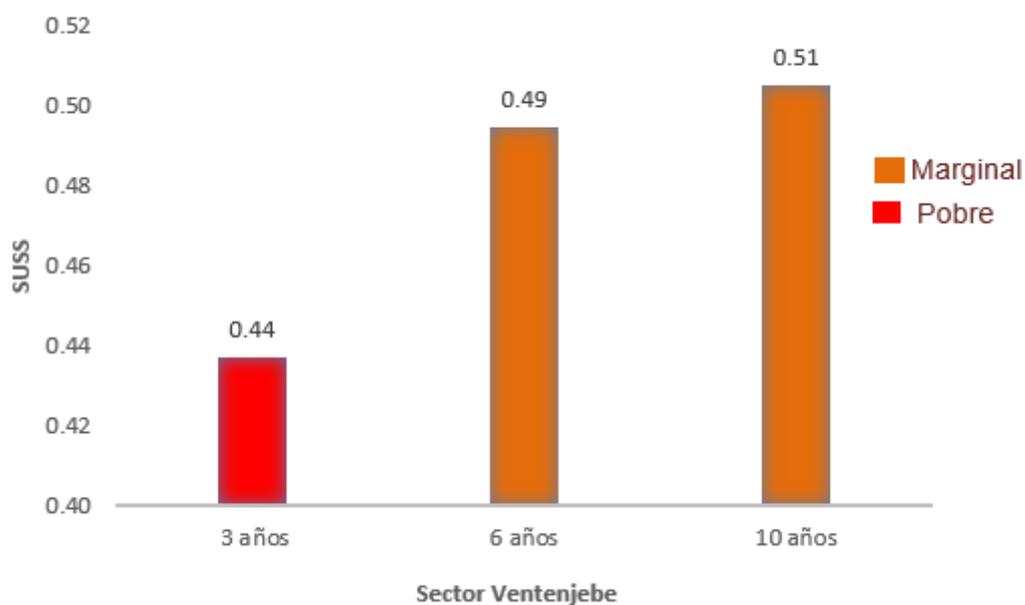


Figura 18. Calidad de suelos

En el Cuadro 28, se observan las diferentes edades de parcelas con cultivo de cacao muestreadas en el sector Ventenjebe; en relación a la determinación del SUSS y la calidad que presenta cada uno de ellos, donde la parcela de cacao de 3 años de edad presenta una calidad pobre y las parcelas de cacao de 6 y 10 años de edad presentan una calidad marginal.

Cuadro 28. Sub índice de calidad de uso sustentable del suelo

N° de muestra	Parcelas	Rn								P	SUSS	Calidad
		Materia orgánica	Densidad Aparente	pH	Fosforo	Magnesio	Calcio	CIC	Nitrógeno			
M-1	3 años	0.35	0.70	0.11	0.90	0.54	0.59	0.17	0.24	0.45	0.44	Pobre
M-2		0.28	0.48	0.35	0.85	0.60	0.53	0.15	0.16	0.43		
M-3	6 años	0.18	0.59	0.34	0.84	0.71	0.80	0.37	0.08	0.49	0.49	Marginal
M-4		0.15	0.64	0.32	0.85	0.75	0.80	0.38	0.12	0.50		
M-5	10 años	0.20	0.79	0.02	0.95	0.71	0.83	0.40	0.00	0.49	0.51	Marginal
M-6		0.22	0.69	-0.06	0.97125	0.85	0.91	0.49	0.12	0.52		

4.3. Representar cartográficamente la distribución espacial de la calidad del suelo con cultivo de cacao

En el Cuadro 29, se observan la distribución de la calidad del suelo en las diferentes edades de parcelas muestreadas en el sector Ventenjebe, donde las muestras de 3 años con 1.65 ha está distribuido en calidad pobre y marginal, la muestra de 6 años con 3.91 ha solo presenta calidad marginal y muestras de 10 años con 1.72 ha se distribuye en calidad pobre y marginal.

Cuadro 29. Distribución espacial de la calidad del suelo con cultivo de cacao.

ID	Parcela	Área total (ha)	Descripción	Área por calidad (ha)	Porcentaje %
1	Cacao 3 años	1.65	Calidad pobre	1.35	18.60
2			Calidad marginal	0.30	4.12
3	Cacao 6 años	3.91	Calidad marginal	3.91	53.65
4	Cacao 10 años	1.72	Calidad pobre	0.06	0.83
5			Calidad marginal	1.66	22.80
		Total		7.28	100.00

En la Figura 19, se observa el porcentaje de la calidad de las diferentes parcelas de cultivo de cacao, así mismo la parcela de 6 años representa el 53.65% del área en estudio con una calidad de suelo marginal.

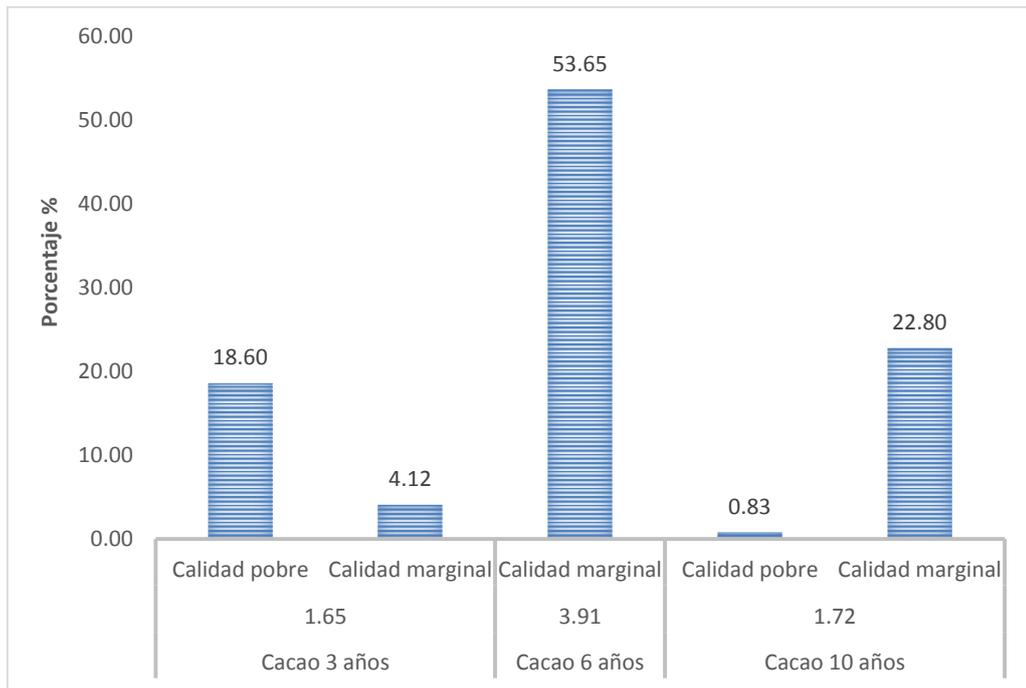


Figura 19. Porcentajes de distribución de calidad del suelo

V. DISCUSION

FAO (2015) menciona que la textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otros indicadores.

Que para nuestro caso la textura del suelo de las diferentes edades de plantas de cacao fue franco limoso y franco arenoso en edades de 3 años, franco arcilloso y franco arcillo arenoso en edades de 6 años, y franco limoso en edades de 10 años, que han sido determinados debido a los porcentajes de partículas de arena, limo y arcilla.

GÓMEZ (2002) Menciona que un alto contenido de materia orgánica (3.5% en 15 cm superficiales) y nutrientes determina el óptimo desarrollo de sus raíces. Así mismo el árbol de cacao es adaptable a diferentes tipos de suelo, sin embargo, un suelo pobre en nutrientes con pH fuera de 5.0 y 7.5 (ácidos - 4.00 o alcalinos-8.00) disminuye la productividad esperada en condiciones óptimas.

Para nuestro caso el pH del suelo de las diferentes edades de plantas de cacao del sector bentegene, presentaron niveles de pH neutro en edades de 3 años y 6 años y en edad de 10 años los suelos fueron moderadamente alcalino. En lo que concierne a materia orgánica del suelo de

las diferentes edades del cultivo de cacao, presenta niveles medios en edades de 3 años, en edad de 6 y 10 años niveles bajos.

GARAVITO FABIO, (1979) Si el pH es ácido, la solubilidad del aluminio y del hierro es alta. Estos compuestos precipitan con el fósforo como compuestos insolubles. En pH alcalino, es decir, superior a 7.5, el calcio aumenta su solubilidad y reacciona con los fosfatos precipitándolos y formando compuestos Insolubles como la apatita; por lo tanto, el fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5.

En relaciona lo que menciona GARAVITO FABIO, (1979) de que el fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5. En caso de las muestras analizadas del sector ventenjebe se recalca que en presencia de pH mayores a 7 la disponibilidad de fosforo es nivel bajo y como las muestras presentan pH neutos y básicos no hay presencia de aluminio e hidrogeno.

SAGARPA, (2012) menciona que mientras en zonas áridas el lavado es mínimo y los suelos se alcalinizan (pH entre 7.0 y 8.5), provocando baja solubilidad del fósforo debido a la presencia de carbonato de calcio (CaCO_3).

En relación con lo que menciona SAGARPA (2012) el sector Ventenjebe de acuerdo a las estaciones meteorológicas del SENAMHI registran La precipitación media anual es de 3,847.3 milímetros, siendo el comienzo de la época de lluvias en octubre y se prolonga hasta abril, así mismo siendo considerado que la zona presenta un clima cálido tropical y el relieve está representado por terrazas bajas de drenaje imperfecto a muy pobre, periódicamente inundables. Por lo que presentan pH alcalinizados en las

muestras del sector Ventenjebe debido a la presencia de carbonato de calcio. (CaCO_3).

WELLINTON, (1995) menciona que la mayor densidad poblacional de la macrofauna del suelo se presenta en el estrato superficial, entre 0 y 10 cm, los factores físicos del ambiente como la humedad, temperatura y hojarasca en el suelo son más importantes en la determinación de la distribución vertical y de la abundancia de los macro invertebrados.

Se evidenciaron macrofauna a una profundidad de 0 – 10 cm, en las profundidades de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm no se logró evidenciar ningún individuo de macrofauna; así mismo se evidencio mayor densidad de ind/m² en plantas de 3 años de edad con 752 ind/m², seguido por planas de 6 años de edad con 672 ind/m² y la menor cantidad de individuos se encuentran en plantas de 10 años de edad con 416 ind/m².

SAGARPA, (2012) menciona que para cada propiedad edáfica contemplada se determinaron rangos máximos y mínimos, a partir de los cuales se normalizaron los indicadores de calidad para llevarlo a valores entre cero y uno, donde 1 representa el mejor estado de calidad, y cero el peor. A partir de los datos normalizados se calculó un promedio simple (subíndice de uso sustentable del suelo) y éste se clasificó según los rangos de calidad definidos.

De acuerdo al autor se evidenció en la investigación que en las diferentes edades de parcelas muestreadas con cultivo de cacao el de 3 años de edad presenta una calidad pobre ($0 < \text{SUSS} \leq 0.45$) y las muestras de 6 y 10 años de edad presenta una calidad marginal ($0.45 < \text{SUSS} \leq 0.65$).

VI. CONCLUSIONES

1. Los indicadores físicos, químicos y biológicos en las diferentes edades 3, 6 y 10 años de edad del cultivo de cacao fueron:
 - En la determinación de los indicadores físicos se concluye que las muestras presentan clases texturales que varían entre franco limoso, franco arenoso y franco arcilloso, una densidad aparente de 1.10 a 1.24 g/cc, su temperatura varia de 24.90 a 25.60 °C.
 - En la determinación de indicadores químico se concluye que las 6 muestras de suelo del cultivo de caco de 3, 6 y 10 años presentan pH que van de neutro a moderadamente alcalino y los indicadores M.O, N, P, K, CIC, Ca, Mg, K, Na presentan niveles que van de muy bajo a media.
 - En la determinación de indicadores biológicos se concluye que solo en estrato de 0 – 10 cm de profundidad del suelo se encontró macrofaunas, determinándose 13 diversidades de macrofauna y el grupo taxonómico de oligocheata ha estado presente en las diferentes edades del cultivo de cacao.
2. La calidad del suelo de los cultivos de cacao en las diferentes edades fue de calidad pobre y calidad marginal.
3. Se representó cartográficamente mediante un plano la distribución espacial de la calidad del suelo en el cultivo de cacao de diferentes edades de calidad pobre y de calidad marginal, con sus respectivas áreas.

VII. RECOMENDACIONES

1. Solicitar a las autoridades competentes realizar capacitaciones sobre plan de abonamiento de acuerdo a los análisis físicos, químicos del suelo; debido a que son factores influyentes en la diversidad biológica del suelo.
2. Realizar la determinación de la calidad del suelo con la metodología ICS (índice de calidad del suelo), que profundicen el concepto de calidad y fertilidad del suelo.
3. Realizar mediciones periódicas, a lo largo del tiempo en un mismo sitio, para así monitorear cambios o tendencias en la modificación de los parámetros físicos y químicos del suelo.

VIII. ABSTRACT

The determination of the quality indicators for soil constitute a powerful tool for decision making in the management and use of soil on a local, regional and global scale; based on this, the orientation was to determine the physicochemical and biological indicators which determine the quality of the soil and represent it cartographically. To do so, samples of soil from cacao crops of different ages were collected from six strategic points, the macrofauna that was present was identified in the soil laboratory at the UNAS (acronym in Spanish); the soil analysis allows us to determine the quality of the soil using the SUSS methodology and to later elaborate maps using the ArcGis program. The results of the three year old parcel are spatially distributed in poor to marginal quality, presenting textural classes of frank loamy clay, sandy frank, moderately alkaline and neutral pH, average level of M.O, average to low level of N, low level of P and CEC (CIC in Spanish), average levels of K; the six year old parcel just presents a marginal quality, textural classes of frank clay, sandy frank clay, neutral pH, low level of M.O, low level of N, low level of P and CEC, average level of K; and the ten year old parcel is distributed between poor and marginal quality, presenting a loamy frank textural class, moderately alkaline pH, low levels of M.O, N, P and CEC and an average level of K. Due to this, it is recommended that management practices be used which include the application of organic fertilizer to the parcels in study, with the purpose of improving the soil quality.

IX. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- ADRIAANSE, A 1993. Environmental policy performance indicators. A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands. 1993.
- AEET, 2004 Asociación Española de Ecológica Terrestre, la calidad del suelo y sus indicadores En línea: (<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>).
- ASTIER, M. *et al.* 2002, Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*. 36 (5):605. 2002.
- AZAÑERO AQUINO, L 2016; calidad del suelo en tres sistemas de uso en la localidad de Rio Espino – Monzón; Tesis para optar el título de Ingeniero ambiental -Tingo María, Perú.
- BLAIR, J., BOHLEN, P., FRECKMAN, D. 1996. Soil Invertebrates as indicators of soil quality. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality Methods*. SSSA, Madison WI. Special Publication no. 49. 291 p.
- BORNEMISZA E., 1982. *Introducción a la Química de Suelos*, Universidad de Costa Rica, San José , Secretaría General de la Organización de los

Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía no. 25 p. 21-47.

BUDD, W.W. 1992. What capacity the land? *SoilWater Conservation* 47: 28-31.

BUOL, S. W. 1995. Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematic* 26:25-44.

CARTER, M.R., GREGORICH, E.G., ANDERSON, D.W., DORAN, J.W., JANZEN, H.H. Y PIERCE, F.J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.

CROS, E. 2000. Factores condicionantes de la calidad del cacao (en línea). CIRAD-CP, Maison de la Technologie, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, Francia. Consultado el 21 de septiembre del 2009. Disponible en: <http://www.redcacao.info.ve/memorias/html/02.html>.

CORREIA, M.E.F., OLIVEIRA, L.C.M. 2000. De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. *Seropédica: Embrapa agrobiología*. 46 p.

DE LOS RÍOS SANTOLAYA CÉSAR, 2000. El cultivo del cacao en la amazonía Peruana, Plan Nacional del cacao. Perú 47 p.

DORAN, J.W. Y PARKIN, B.T. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

DUMANSKI, J., GAMEDA, S. Y PIERI, C. 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.

FAO 2015 Organization de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura indicadores físicas químicas y biológicas.

GÓMEZ, A Y AZOCAR, A. Octubre, 2002. Áreas potenciales para el desarrollo del cultivo cacao en el Estado Mérida (en línea). Agronomía Tropa.. Vol.52, no.4. p. 403-425. Consultado el 17 Octubre 2009. Disponible en: http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000400001&lng=es&nrm=iso. ISSN 0002-192X.

GARAVITO. FABIO. 1979. Indicadores químicos de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. Colombia.

ICCO (International Cocoa Organization). September 17, 2009. Growing Cocoa. Origins of Cocoa and Its Spread around the World (en línea). Consultado el 16 de septiembre del 2009. Disponible en: <http://www.icco.org/about/growing.aspx#>.

INTAGRI. 2017. Los Factores de Formación del Suelo. Serie Suelos. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p. En línea: (<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/los-factores-de-formacion-del-suelo>).

KELLER, T.; HAKANSSON, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Geoderma 154: 398-406

- KARLEN, D.L., MAUSBACH, M.J., DORAN, J.W., CLINE, R.G., HARRIS, R.F., SCHUMAN, G.E., 1997. Calidad del suelo: un concepto, definición y marco para la evaluación. *Soil Science Society of America Journal* 61 p.
- LOWDERMILK, W.C. 1953. *Conquest of the Land Through Seven Thousand Years*. Agriculture Information Bulletin N° 99, USDA, Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- LARSON, W.E. Y PIERCE, F.J., (1991). Conservación y mejora de la calidad del suelo. En: Dumanski, J. (Ed.), *Evaluación para el manejo sostenible de la tierra en el mundo en desarrollo*. Actas del Taller Internacional.
- LINARES, D.E., TAPIA, S.C., GAMARRA, O., TORRES, J. 2007. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el Parque Nacional Tingo María, Huánuco – Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Consorcio Internacional Iniciativa Amazónica para la Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Naturales (IA). 5 p.
- MEJÍA F LUÍS ANTONIO, 2005. *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao Aspectos ecofisiológicos relacionados con el cultivo del cacao*.
- OBREGON, S. 2017. *Clasificación Taxonómica y calidad de suelo en la zona de uso especial del Parque Nacional de Tingo María (PNTM)*. Tesis para optar el título de Ingeniero en Conservación de Suelos y Agua, Tingo María, Perú.

- .PANDURO G, F 2013; Diversidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso del suelo en el Bosque Reservado de La Universidad Nacional Agraria De La Selva – Tingo María; Tesis para optar el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables mención Conservación de Suelos y Agua. Tingo María, Perú.
- PAREDES, M. (2004). Manual del Cultivo del Cacao. (En línea). Lima, PE. Consultado 12 oct.2010.Formato (PDF). Disponible en <http://www.proamazonia.gob.pe/estudios/manualcacao.pdf>.
- PLAN ESTRATÉGICO REGIONAL AGRARIO. 2008 / diagnóstico y marco estratégico de la biodiversidad para la promoción del ecoturismo y zonas potenciales en la Región San Martín.
- PARR, J.F., PAPENDICK, R.I., HORNICK, S.B. Y MEYER, R.E. 1992. Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. American J. of Alternative Agriculture 7: 5-11.
- ROMIG, D.E., GARLYND, M.J., HARRIS, R.F. Y MCSWEENEY, K. 1995. How farmers assess soil health and quality. J. Soil Water Conservation 50: 229-236.
- RAMOS, N. 2003. Evaluación del fósforo extraído con dos soluciones extractoras en 19 suelos del Altiplano Occidental de Guatemala. Tesis In. Agrónomo. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 51 p.
- SAGARPA 2012 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología

de Cálculo. [EN LINEA]: SMYE, ([http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico_suelos.pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento%20metodologico_suelos.pdf), 02 noviembre 2015).

SEYBOLD, C.A., MAUSBACH, M.J., KARLEN, D.L. Y ROGERS, H.H. 1997. Quantification of Soil Quality. En Soil Process and the Carbon Cycle (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.), pp. 387-403, CRC Press, Boca Raton, Florida.

SINGER, M.J. Y EWING, S. 2000. Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.

SQI-Instituto de Calidad del Suelo. 1996. Indicadores para la Evaluación de la Calidad del Suelo. Servicio de Conservación de Recursos Naturales del USDA . Centro Nacional de Encuesta de Suelos en cooperación con el Instituto de Calidad del Suelo, NRCS, USDA, Estados Unidos.

MAGURRAN, A.E. 1987. Diversidad ecológica y su medición. Barcelona, España, Vedral. 200 p.

TABOADA, M.A.; ALVAREZ, C.R. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

WELLINTON, J. 1995. Abundancia, Distribuição Vertical e Fenologia da fauna de arthropoda de uma região de água mista, próxima de Manaus, am. Brasil.

ZEE, 2006 Zonificación ecológica económica provincia Tucumán estudio de suelos.

X. ANEXO

Anexo A. Cuadro de datos de la zona de investigación

Cuadro 30. Análisis de suelos

Indicadores	Edad					
	3 años		6 años		10 años	
pH	7.36 N	7.04 N	7.06 N	7.08 N	7.48 MA	7.58 MA
MO (Materia orgánica %)	2.41 M	2.02 M	1.48 B	1.3 B	1.09 B	1.71 B
N (Nitrógeno %)	0.11 B	0.09 B	0.07 B	0.08 B	0.05 B	0.08 B
P (Fosforo ppm)	7.2 B	6.83 B	6.72 B	6.8 B	7.58 B	7.77 B
K (Potasio ppm)	64.97 B	65.47 B	97.96 B	94.21 B	89.46 B	93.46 B
CIC (Cmol(+)/kg)	6.82 B	6.63 B	9.05 B	9.10 B	9.45 B	10.37 B
Ca (Cmol(+)/kg)	4.7 B	4.25 B	6.36 M	6.42 M	6.62 M	6.7 M
Mg (Cmol(+)/kg)	1.62 M	1.81 M	2.13 M	2.25 M	2.13 M	2.25 M
K (Cmol(+)/kg)	0.21 B	0.2 B	0.15 MB	0.16 MB	0.41 M	0.43 M
Na (Cmol(+)/kg)	0.3 MB	0.37 B	0.42 B	0.39 B	0.28 MB	0.32 B

N Neutro, MA Moderadamente Alcalino, MB Muy Bajo, B Bajo, M Medio, A Alto

Cuadro 31. Datos de campo de macrofauna en el suelo

Años	N° muestra	Filo	Clase	Orden	Numero	Peso gr
3	M1	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	3	0.3831
		Arthropoda	Insecta	Coleóptera (Escarabajo)	1	0.0728
		Arthropoda	Insecta	Hymenoptera (Hormiga)	1	0.0018
		Mollusca	Gasterópoda	Gastropoda (Caracol)	2	0.0762
	M2	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	3	0.3725
		Arthropoda	Miriápodo	Scolopendromorpha (Cien Pies)	1	0.0126
		Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	2	0.0949
		Arthropoda	Insecta	Dermáptera (Grillo)	1	0.0232
	M3	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	4	0.5109
		Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	2	0.0602
		Arthropoda	Insecta	Hymenoptera (Hormigas)	2	0.0365
	M4	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	4	0.5223
		Mollusca	Gasterópoda	Gastropoda (Caracol)	3	0.1143
		Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	1	0.0301
	M5	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	3	0.4251

		Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	3	0.2312
		Arthropoda	Insecta	Coleóptera (Escarabajo)	1	0.0728
	M6	Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	1	0.0285
		Arthropoda	Miriápodo	Scolopendromorpha (Cien Pies)	2	0.0252
		Mollusca	Gasterópoda	Gastropoda (Caracol)	3	0.1143
	M7	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	1	0.1277
		Arthropoda	Miriápodo	Scolopendromorpha (Cien Pies)	1	0.0115
		Arthropoda	Insecta	Coleóptera (Escarabajo)	1	0.0154
		Arthropoda	Insecta	Hymenoptera (Hormigas)	1	0.0178
	M1	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	1	0.0527
		Arthropoda	Insecta	Dermáptera(Tijerata)	1	0.0776
		Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	1	0.0462
		Arthropoda	Miriápodo	Scolopendromorpha (Cien Pies)	1	0.0126
		Mollusca	Gasterópoda	Gastropoda (Caracol)	2	0.0356
	M2	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	5	0.2758
		Arthropoda	Insecta	Dermáptera (Grillo)	1	0.0189
		Arthropoda	Insecta	Coleóptera (Escarabajo)	2	0.0308
	M3	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	2	0.2803
		Arthropoda	Miriápodo	Scolopendromorpha (Cien Pies)	1	0.0099
6		Arthropoda	Arachnida	Araneae (Araña)	2	0.1742
		Mollusca	Gasterópoda	Gastropoda (Caracol)	1	0.0289
	M4	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	2	0.2449
		Arthropoda	Arachnida	Araneae (Araña)	1	0.1191
		Arthropoda	Insecta	Hymenoptera (Hormigas)	3	0.0712
	M5	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	2	0.2658
		Arthropoda	Insecta	Coleóptera (Escarabajo)	1	0.0088
		Arthropoda	Arachnida	Araneae (Araña)	2	0.2189
		Arthropoda	Insecta	Hymenoptera (Hormigas)	3	0.0618
	M6	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	2	0.0824
	M7	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	3	0.0956
		Arthropoda	Insecta	Dermáptera (Grillo)	1	0.0156
		Arthropoda	Miriápodo	Polydesmida (Mil Pies)	1	0.0367
	M1	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	4	0.1985
		Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	1	0.2891
	M2	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	2	0.1114
10		Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	1	0.0302
		Arthropoda	Arachnida	Araneae (Araña)	2	0.2346
	M3	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	3	0.1671
		Arthropoda	Miriápodo	Polydesmida (Mil Pies)	1	0.0146
		Arthropoda	Insecta	Coleóptera (Escarabajo)	1	0.0154

	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	2	0.1025
M4	Arthropoda	Insecta	Hymenoptera (Hormigas)	2	0.0355
	Arthropoda	Crustáceo	Isópoda (Chanchitos De Tierra)	1	0.0215
	Annelida	Clitellata	Oligocheata (Lombriz)	2	0.0987
M5	Arthropoda	Insecta	Coleóptera (Escarabajo)	2	0.0293
	Arthropoda	Insecta	Picurito	1	0.1316
	Arthropoda	Arachnida	Araneae (Araña)	1	0.1295

Cuadro 32. Clasificación de la macrofauna

Filo	Clase	Orden	Edades de cacao		
			3 años	6 años	10 años
Annelida	Clitellata	Oligocheata (lombriz)	18	17	13
	Crustáceo	Isópoda (chanchitos de tierra)	9	1	3
		Hymenoptera (hormigas)	4	6	2
	Insecta	Coleóptera (escarabajo)	3	3	3
		Orthoptera (Picurito)	0	0	1
Arthropoda		dermáptera (grillo)	1	2	0
		Dermaptera (Tijerata)	0	1	0
	Miriápodo	Scolopendromorpha (cien pies)	4	2	0
		Polydesmida (mil pies)	0	1	1
	Arachnida	Araneae (araña)	0	5	3
Mollusca	Gasterópoda	Gastropoda (caracol)	8	3	0

Cuadro 33. Determinación de índice de diversidad de plantas de 3 años

Grupo taxonómico	3 años de edad				
	Pi	LnPi	PiLnPi	Pi ²	H
Oligocheata (lombriz)	0.38298	-0.95978	-0.36757	0.13511	
Isópoda (chanchitos de tierra)	0.19149	-1.65292	-0.31652	0.10018	
Hymenoptera (hormigas)	0.08511	-2.46385	-0.20969	0.04397	
Coleóptera (escarabajo)	0.06383	-2.75154	-0.17563	0.03085	
Dermaptera (Grillo)	0.02128	-3.85015	-0.08192	0.00671	
Scolopendromorpha (cien pies)	0.08511	-2.46385	-0.20969	0.04397	
Gastropoda (caracol)	0.17021	-1.77071	-0.30140	0.09084	
S=7			-1.66241		1.66241

Cuadro 34. Determinación de índice de diversidad de plantas de 6 años

Grupo taxonómico	6 años de edad				
	Pi	LnPi	PiLnPi	Pi2	H
Oligocheata (lombriz)	0.41463	-0.88036	-0.36503	0.13324	
Isópoda (chanchitos de tierra)	0.02439	-3.71357	-0.09057	0.00820	
Hymenoptera (hormigas)	0.14634	-1.92181	-0.28124	0.07910	
Coleóptera (escarabajo)	0.07317	-2.61496	-0.19134	0.03661	
Dermaptera (Grillo)	0.04878	-3.02042	-0.14734	0.02171	
Dermaptera (Tijerata)	0.02439	-3.71357	-0.09057	0.00820	
Scolopendromorpha (cien pies)	0.04878	-3.02042	-0.14734	0.02171	
Polydesmida (mil pies)	0.02439	-3.71357	-0.09057	0.00820	
Araneae (araña)	0.12195	-2.10413	-0.25660	0.06584	
Gastropoda (caracol)	0.07317	-2.61496	-0.19134	0.03661	
S= 10			-1.85195		1.85195

Cuadro 3535. Determinación de índice de diversidad de plantas de 10 años

Grupo taxonómico	10 años de edad				
	Pi	LnPi	PiLnPi	Pi2	H
Oligocheata (lombriz)	0.50000	-0.69315	-0.34657	0.12011	
Isópoda (chanchitos de tierra)	0.11538	-2.15948	-0.24917	0.06209	
Hymenoptera (hormigas)	0.07692	-2.56495	-0.19730	0.03893	
Coleóptera (escarabajo)	0.11538	-2.15948	-0.24917	0.06209	
Orthoptera (Picurito)	0.03846	-3.25810	-0.12531	0.01570	
Polydesmida (mil pies)	0.03846	-3.25810	-0.12531	0.01570	
Araneae (araña)	0.11538	-2.15948	-0.24917	0.06209	
Gastropoda (caracol)	0.07317	-2.61496	-0.19134		
S= 8			-1.73335		1.73335

Cuadro 36. Parámetros edáficos para evaluar el estado actual del suelo

Indicadores	Valor deseable	Valor de corte
Materia Orgánica	6.00	0.50
Densidad Aparente	1.00	1.47
pH	6.20	7.50
Fosforo	8.00	0.00
Magnesio	3.00	0.00
Calcio	8.00	0.00
CIC	16.00	5.00
Nitrógeno	0.30	0.05

Cuadro 37. Resultados del parámetro normalizado

N° DE MUESTRA	EDAD (años)	Rn							
		Materia Orgánica	Densidad Aparente	pH	Fosforo	Magnesio	Calcio	CIC	Nitrógeno
M-1	3	0.35	0.70	0.11	0.90	0.54	0.59	0.17	0.24
M-2	3	0.28	0.48	0.35	0.85	0.60	0.53	0.15	0.16
M-3	6	0.18	0.59	0.34	0.84	0.71	0.80	0.37	0.08
M-4	6	0.15	0.64	0.32	0.85	0.75	0.80	0.38	0.12
M-5	10	0.20	0.79	0.02	0.95	0.71	0.83	0.40	0.00
M-6	10	0.22	0.69	0.06	0.97125	0.85	0.91	0.49	0.12

Anexo B. Panel fotográficos



Figura 20. Cacao 3 años



Figura 21. Cacao 6 años



Figura 22. Cacao de 10 años



Figura 23. Registro de temperatura del suelo



Figura 24. Registro de macrofauna



Figura 25. Identificación de organismos



Figura 26. Registro de macrofauna de acuerdo a su clases taxonómicas



Figura 27. Macrofauna identificadas en el laboratorio

Anexo 3. Mapas temáticos de la calidad del suelo de diferentes edades

- Lamina 01. Mapa de ubicación
- Lamina 02. Mapa de calidad del suelo