

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



**MACROFAUNA EDÁFICA DEL SISTEMA PRODUCTIVO CONVENCIONAL DE
PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN EL CENTRO POBLADO DE TANANTA,
TOCACHE-SAN MARTIN-PERÚ**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

HERRERA DOMINGUEZ, THALIA MILENI

Asesor:

Ing. MSc. JOSÉ VICTOR QUIROZ RAMIREZ

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 103-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 07 de octubre de 2024, a horas 8:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“MACROFAUNA EDÀFICA DEL SISTEMA PRODUCTIVO
CONVENCIONAL DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN EL
CENTRO POBLADO DE TANANTA, TOCACHE-SAN MARTIN- PERÙ”**

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

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

Tingo María, 14 de octubre de 2024

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE

Dr. SANDRO JUNIOR RUIZ CASTRE
MIEMBRO

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO



Ing. MSc. MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA
SUPLENTE

Ing. MSc. JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ
ASESOR

Blgo. MSc. JOSÉ LUIS GIL BACILIO
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 322 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
MACROFAUNA EDÁFICA DEL SISTEMA PRODUCTIVO CONVENCIONAL DE PALMA ACEITERA (<i>Elaeis guineensis</i>) EN EL CENTRO POBLADO DE TANANTA, TOCACHE-SAN MARTIN-PERÚ	HERRERA DOMINGUEZ, THALIA MILENI	18 % Dieciocho

Tingo María, 11 de noviembre de 2024



Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

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



MACROFAUNA EDÁFICA DEL SISTEMA PRODUCTIVO CONVENCIONAL DE
PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN EL CENTRO POBLADO DE TANANTA,
TOCACHE-SAN MARTIN-PERÚ

Autor : Herrera Domínguez, Thalía Mileni

Asesores (es) : Ing. M. Sc. José Victor Quiroz Ramirez

Blgo. M. Sc. José Luis Gil Bacilio

Programa de investigación: Ciencias Básicas

Líneas de investigación : Biología y Microbiología del suelo

Eje de investigación : Evaluación de parámetros fisicoquímicos y biológicos

Indicadores de calidad del suelo

Lugar de ejecución : CC.PP. de Tananta, Tocache-San Martin-Perú

Duración : 6 meses

Financiamiento : S/. 3,669.05

FEDU : No

Propio : Si

Otros : No

DEDICATORIA

A Dios Jehová por ser mi protección y mi guía constante durante este camino de aprendizaje y crecimiento profesional, su amor, presencia y dirección me han dado la fuerza y sabiduría para creer que nada es imposible y alcanzar el éxito.

A mis queridos padres Francisco y Paulina, por su amor, por su apoyo constante en mi formación académica, por creer en mí, por estar presentes en el desarrollo de mi tesis y ayudarme alcanzar este logro, los amo.

A mi hermano Jhair Anderson, por su amor y apoyo en el proceso de ejecución de mi tesis, es una gran bendición tenerte en mi vida.

.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por ser mi alma Mater, por permitirme formar parte de la familia unasina, por las enseñanzas y por los momentos compartidos que llevaré siempre en mi corazón.
- A mi mamá Paulina Zenaida Dominguez De La Cruz, por su amor incondicional y por estar al pendiente de mí siempre, ella es mi mayor inspiración y motivación para alcanzar el éxito personal y profesional.
- A mi papá Francisco Marcos Herrera Ramos, gracias, papá por permitirme ejecutar mi proyecto de tesis en el fundo Herrera, eres el mejor papá del mundo, gracias por tu apoyo económico, por tu amor y tu fortaleza.
- A mi hermano Jhair Anderson Herrera Dominguez por su compañía, por su amor y por su apoyo hasta esta la última instancia del logro terminado.

- Al jurado evaluador, y estimados docentes, Dr. Jose Levano Crisóstomo, Ing. M.Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, Ing. M.Sc. Sandro, Ruiz Castre, por sus sugerencias, correcciones, tiempo y cortesía.
- A mi asesor Ing. M.Sc. Jose Victor Quiroz Ramirez, por su valioso apoyo, dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía, por todos sus consejos, y por su amistad.
- A mi coasesor Blgo. M. Sc. José Luis Gil Bacilio por su enseñanza y guía en el laboratorio de entomología de la Facultad de Agronomía y por su amistad.

- A mis docentes de la Escuela Profesional de Conservación de Suelos y Agua que han sido parte de mi camino universitario, gracias por transmitirme los conocimientos necesarios y que hoy en día lo desarrollo en el campo laboral.
- A mis amigas Luz y Marilita por sus palabras de ánimo, por su valiosa amistad y por cada momento compartido durante la universidad.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Suelo	3
2.2. Indicadores de calidad del suelo	3
<u>2.2.1. Indicadores físicos de calidad del suelo.....</u>	4
<u>2.2.2. Indicadores químicos de calidad del suelo.....</u>	5
<u>2.3. La macrofauna edáfica.....</u>	6
<u>2.4. Diversidad de macrofauna del suelo.....</u>	7
<u>2.5. Clasificación taxonómica de la macrofauna y grupos funcionales del suelo.....</u>	9
<u>2.6. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo.....</u>	12
2.7. Importancia de macrofauna en el suelo.....	13
2.7.1. Funciones importantes de los grupos de la macrofauna edáfica	14
2.8. Factores que afectan a la macrofauna de suelos.....	14
<u>2.9. Características de la Palma Aceitera.....</u>	15
<u>2.9.1. Origen, Taxonomía y distribución de la especie de la Palma.....</u>	15
<u>2.9.2. Nombre botánico y clasificación taxonómica.....</u>	16

2.9.3. Condiciones agroecológicas para el desarrollo de palma aceitera.....	16
2.9.3.1. Clima, temperatura y altitud.....	16
2.9.3.2. Suelos de cultivo de palma aceitera.....	17
2.10. Manejo convencional.....	17
2.11. Biodiversidad.....	18
2.11.1. Distribución de la biodiversidad.....	18
2.11.2. Valor de la biodiversidad.....	19
2.11.3. Diversidad.....	19
2.11.3.1. Riqueza biológica.....	19
2.11.3.2. Diversidad alfa.....	20
2.12. Estado del arte.....	21
2.12.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.12.2. Antecedentes nacionales.....	22
III. MATERIALES Y METODOS.....	25
3.1. Lugar de ejecución.....	25
3.1.1. Ubicación política y geográfica.....	25
3.1.2. Características ambientales de la zona de estudio.....	25
3.2. Materiales y equipos.....	25
3.2.1. Materiales.....	26
3.2.2. Equipos.....	26
3.2.3. Materiales y equipos de gabinete.....	26
3.2.4. Reactivos.....	26
3.3. Diseño estadístico.....	26

3.3.1. Unidad experimental	26
3.3.2. Tamaño de la muestra	26
3.4. Variables en investigación	27
3.5. Metodología	27
<u>3.5.1. Tipo y nivel de investigación.....</u>	<u>27</u>
<u>3.5.1.1. Tipo de la investigación.....</u>	<u>27</u>
<u>3.5.1.2. Nivel de la investigación.....</u>	<u>27</u>
<u>3.5.1.3. Método de la investigación.....</u>	<u>27</u>
<u>3.5.1.4. Diseño de la investigación.....</u>	<u>27</u>
<u>3.5.2. Variables en estudio.....</u>	<u>28</u>
<u>3.5.3. Procedimiento experimental.....</u>	<u>28</u>
<u>3.5.4. Obtención de la muestra de suelo.....</u>	<u>29</u>
<u>3.5.5. Determinación de las propiedades físicas y químicas.....</u>	<u>29</u>
<u>3.5.6. Determinación del índice de calidad del suelo (ICS).....</u>	<u>29</u>
<u>3.5.7. Muestreo de macrofauna.....</u>	<u>32</u>
<u>3.5.8. Conteo y estructura de la comunidad del suelo.....</u>	<u>32</u>
<u>3.5.9. Densidad de macrofauna.....</u>	<u>33</u>
<u>3.5.10. Biomasa de macrofauna.....</u>	<u>33</u>
<u>3.5.11. Índice de diversidad de macrofauna.....</u>	<u>33</u>
<u>3.5.12. Análisis de datos.....</u>	<u>34</u>
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. Macrofauna identificada en el suelo con cultivo de palma aceitera de 18 años de plantación.	37

4.2. Densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna en suelos con palma aceitera.	40
4.3. Calidad del suelo en el sistema productivo convencional de palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i> Jaq.) utilizando los índices de calidad del suelo “ICS”.	50
4.4. Correlación entre los indicadores de calidad del suelo en el sistema productivo convencional de palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i> Jaq).	53
V. CONCLUSIONES	65
VI. RECOMENDACIONES	66
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXO.....	100

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna.	10
2. Grupos funcionales que componen la macrofauna edáfica	11
3. Actividades de la fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo	12
4. Clasificación taxonómica de la palma africana.	16
5. Parámetros edáficos para determinar el ICS	30
6. Rangos de interpretación del método SUSS.....	31
7. Clases de calidad de Estrada	31
8. Clases de calidad de Cantú	32
9. Valores de significancia para el Índice de Shannon-Wiener	34
10. Valores de significancia para el Índice de Dominancia de Simpson	34
11. Composición taxonómica (orden y familia) y abundancia de la comunidad de macrofauna del suelo con palma aceiter	37
12. Densidad de macrofauna (ind/m ²) en suelos según composición taxonómica.....	41
13. Distribución vertical de la densidad de la macrofauna del suelo con palma aceitera	42
14. Distribución de la densidad de la macrofauna del suelo con palma aceitera de 18 años	45
15. Diversidad de macrofauna en suelos de palma aceitera de 18 años de plantación.....	47
16. Indicadores de Calidad del Suelo evaluado en el sistema productivo convencional de palma aceitera (Elaeis guineensis Jaq) de 18 años de plantación.....	51
17. Segunda Interacción de los Indicadores de Calidad del Suelo excluyendo NPK en el sistema productivo convencional de palma aceitera (Elaeis guineensis Jaq) de 18 años de plantación.....	52
18. Estadísticos descriptivos de los indicadores físicos del suelo	53
19. Correlaciones de los indicadores físicos del suelo	54
20. Estadísticos descriptivos de los indicadores químicos del suelo	56
21. Correlaciones de los indicadores químicos del suelo	63

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mesofauna del suelo.	9
2. Macrofauna del suelo.	10
3. Tamaño de la fauna edáfica	13
4. Modelo del diseño.	26
5. Variables de estudio.	27
6. Modelo de muestreo de suelo	29
7. Monolito para muestreo	32
8. Macrofauna identificada en suelos con cultivo de palma aceitera de 18 años.	37
9. Curva de abundancia de familias en suelos con cultivo de palma aceitera.	40
10. Densidad específica por orden en suelos con cultivo de palma aceitera.	42
11. Biomasa específica por orden en suelos con cultivo de palma aceitera.	42

RESUMEN

Esta investigación se realizó en suelos con cultivo palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) en el fundo “Herrera” del centro poblado de Tananta -Tocache, Perú. Con el objetivo de determinar la macrofauna en suelos con cultivo de sistema productivo convencional de palma aceitera de 18 años de plantación. El muestreo de la macrofauna se realizó de acuerdo con el método estándar lineal del Programa Internacional sobre la Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (TSBF); se determinó la densidad, biomasa, diversidad de macrofauna; para determinar la Calidad de suelo se utilizó los índices de calidad del suelo y estándares propuestos por la secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012), Cantú et al., (2007) y Estrada et al., (2017); para el análisis de correlación de los indicadores físico químicos se utilizó estadística no paramétrica habiendo utilizado la prueba estadística del coeficiente de Spearman.

Se identificaron 12 órdenes de macrofauna y 30 familias específicamente entre los primeros 30 cm de profundidad del suelo. Se determinó una densidad poblacional total de 979 ind/m² y biomasa promedio de 32.34 g/m², con predominio de las familias de lombrices de tierra (Lumbricidae) y hormigas (Formicidae), mostrando abundancia absoluta de 485 ind/m² y 150 ind/m² respectivamente. Se determinó valores de riqueza específica y biomasa para Haplotaxida (485 ind/m² y 16.02 g/m²); Himenópteros (150 ind/m² y 4.96 g/m²) Araneae (92 ind/m² y 3.04 g/m²); Isóptera (62 ind/m² y 2.0 g/m²); Coleóptera (50 ind/m² y 1.65 g/m²). El índice de diversidad de Shannon-Wiener $H' = 1.699$ nats/ind; representando un valor de diversidad media. El índice de Simpson $D = 0.710$ representando una dominancia alta, é índice de equidad de Pielou $J = 0.680$ representando valores de equidad media de las especies.

El Índice de Calidad determinado para el suelo en estudio es $ICS = 0.83$, correspondiendo a una clasificación de calidad “Aceptable” SAGARPA (2012), y de Muy alta calidad según Cantú et al. (2007) y Estrada et al. (2017). Estos resultados hacen suponer que la calidad natural del suelo cuyo valor sería $ICS = 1.0$ habría disminuido de forma notable pasando de buena a una calidad aceptable ($ICS = 0.83$) mostrando una tendencia de degradación de la calidad del suelo con el manejo convencional del cultivo de palma aceitera en los 18 años que lleva implementada la plantación. Existen correlaciones significativas entre los indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo estudiado.

Palabras claves: *Elaeis guineensis* Jaq., Shannon-Wiener, Macrofauna edáfica-TSBF, Calidad de suelo.

ABSTRACT

This research was carried out in soils with oil palm cultivation (*Elaeis guineensis* Jaq) on the “Herrera” farm in the town center of Tananta -Tocache, Peru. The objective of determining the macrofauna in soils conventional oil palm production system cultivation of 18 years of plantation. Macrofauna sampling was performed according to the standard linear method of the International Program on Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF); The density, biomass, and diversity of macrofauna were determined; To determine soil quality, the soil quality indices and standards proposed by the Secretary of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA, 2012), Cantú et al., (2007) and Estrada et al. , (2017); For the correlation analysis of the physical-chemical indicators, non-parametric statistics were used, having used the Spearman coefficient statistical test.

Twelve orders of macrofauna and 30 families were identified specifically within the first 30 cm of soil depth. A total population density of 979 ind/m² and average biomass of 32.34 g/m² was determined, with a predominance of the families of earthworms (Lumbricidae) and ants (Formicidae), showing absolute abundance of 485 ind/m² and 150 ind/m² respectively. Specific richness and biomass values were determined for Haplotaxida (485 ind/m² and 16.02 g/m²); Hymenoptera (150 ind/m² and 4.96 g/m²) Araneae (92 ind/m² and 3.04 g/m²); Isoptera (62 ind/m² and 2.0 g/m²); Coleoptera (50 ind/m² and 1.65 g/m²). The Shannon-Wiener diversity index $H' = 1.699$ nats/ind; representing a medium diversity value. The Simpson index $D = 0.710$ representing high dominance, and the Pielou equity index $J = 0.680$ representing average equity values of the species.

The Quality Index determined for the soil under study is $ICS = 0.83$, corresponding to a quality classification of “Acceptable” by SAGARPA (2012), and of Very high quality according to Cantú et al. (2007) and Estrada et al. (2017). These results suggest that the natural quality of the soil whose value would be $ICS = 1.0$ would have decreased significantly, going from good to an acceptable quality ($ICS = 0.83$), showing a trend of degradation of soil quality with conventional management of the cultivation of oil palm in the 18 years that the plantation has been implemented. There are significant correlations between the physicochemical quality indicators of the soil studied.

Keywords: *Elaeis guineensis* Jaq., Shannon-Wiener, Edaphic macrofauna-TSBF, Soil quality.

I. INTRODUCCIÓN

En la selva baja del Perú, actualmente se viene realizando una agricultura que hace uso de técnicas de manejo orgánico y convencional, las que desde su inserción ha venido afectando a la calidad del suelo, ya que estos sistemas productivos muestran deficiencias técnicas frente al empleo de la fertilidad de la tierra, siendo esto el resultado de una gran variabilidad espacial de parámetros de calidad del suelo.

El cambio de paisajes en las regiones tropicales y la intensificación de monocultivos como la Palma Aceitera y el Cacao son causas fundamentales de la pérdida de biodiversidad, la heterogeneidad de ecosistemas y variación en la estructura vegetal en las áreas donde se establecen estos sistemas productivos en la región San Martín.

Por consiguiente, estas transformaciones siguen afectando grandes áreas boscosas en la región San Martín como consecuencia del aprovechamiento agropecuario teniendo así un gran efecto en parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo que a la actualidad no conocemos en su real dimensión, y en especial en esta investigación

Sabiendo que, en el centro poblado de Tananta, se llevan a cabo en su vasta extensión prácticas de empleo de tierras inadecuadas, independientemente de sus resultados sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, por ejemplo, especialmente el pH, con efecto negativo sobre la macrofauna. Acorde a lo mencionado por Lavelle, (2002); ese efecto negativo es debido a la alta sensibilidad de comunidades de macrofauna de la tierra, a los cambios de la cubierta de la tierra, al saber que la macrofauna edáfica comprende invertebrados cuyas dimensiones se encuentran entre igual o mayor a 10 mm de longitud y 2 mm de ancho, y son detectables a simple vista, ya que habitan tanto dentro y sobre el suelo (Fragoso et al., 2001). Como es sabido su distribución va a depender de muchos factores edafoclimáticos tal como menciona (Cabrera y López, 2018). La macrofauna del suelo se ve afectada directa e indirectamente por la forma de empleo agrícola y de pesticidas, fungicidas, insecticidas, herbicidas y fertilizantes. (Correia y Oliveira, 2000).

Frente a esta realidad problemática el estudio planteo como problema de investigación la siguiente interrogante ¿Cuál es la distribución de la macrofauna en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) en el fundo Herrera del centro poblado de Tananta – Tocache, Perú?

Habiendo establecido la siguiente hipótesis: Ha: El suelo del sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) presentan alta densidad y diversidad

de macrofauna. Ho: El suelo del sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) no tienen alta densidad y diversidad de macrofauna. Formulándose para ello los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Determinar la macrofauna en el suelo del sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) en el fundo “Herrera” del centro poblado de Tananta – Tocache, Perú.

1.2. Objetivos específicos

1. Clasificar la macrofauna del suelo en el sistema productivo convencional de palma aceitera en el fundo “Herrera” del centro poblado de Tananta – Tocache, Perú.
2. Determinar la abundancia, riqueza, e índice diversidad de taxas de macroinvertebrados edáficos en del sistema productivo de palma aceitera en el fundo “Herrera” del centro poblado de Tananta – Tocache, Perú.
3. Determinar la calidad del suelo en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) utilizando los índices de calidad del suelo “ICS”.
4. Determinar la correlación entre los indicadores de calidad del suelo en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Suelo

Desde el punto de vista edáfico, el suelo es un sistema tridimensional creado por la variación fisicoquímica de la roca madre a lo largo del tiempo, influenciado por el clima, la topografía y la actividad biológica, en un continuo intercambio de materia y energía. Ortiz et al. (2008).

Bornemisza, (1982) y Ministerio de Agricultura (2011) definen el suelo como un sistema dinámico y complejo donde suceden fenómenos fisicoquímicos y biológicos de intensidad variable, que se presenta como una franja continua sobre la tierra. Según USDA (2014), su límite superior es el aire o las aguas someras, con márgenes variables en profundidad según áreas de vegetación, roca o hielo; su límite inferior es más difícil de definir.

Siendo el suelo considerado como fundamental para el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos y, a su vez desempeña la función de filtro para la contaminación que surge de elementos orgánicos e inorgánicos, dificultando ser alcanzados por aguas subterráneas y el aire, como también se introduzcan en la cadena alimenticia. Enmarcándonos en la idea del continuum suelo-planta-atmósfera, en el que se establece la relación del suelo, con el reino vegetal, y resto de seres vivos del planeta; adquiriendo su máxima expresión en la red trófica del ecosistema, una red de etapas fisicoquímicos y biológicos entrelazados por las actividades de los organismos edáficos (Brussaard et al., 2007).

La tierra es uno de los medio primordiales para la vida en el planeta, fundamental para la agricultura y la explotación forestal. Como sistema natural y social, cumple funciones biológicas, alimentarias, de depuración y de soporte mecánico, y alberga una gran distintas especies microbianas, animales y vegetales que son esenciales para su formación, funcionamiento y fertilidad. Sin embargo, los distintos sistemas de uso del suelo provocan diversos grados de perturbación. (Rosas et al., 2017, Navarro et al., 2018; Azañero, et al., 2020)

2.2. Indicadores de calidad del suelo

Doran y Parkin, (1994); mencionan que la calidad y la salud de la tierra son conceptos similares, para Carter et al., (1997); se interpreta como el provecho de la tierra para un objetivo específico en escala amplia de tiempo (estado de parámetros dinámicos de la tierra como MO, diversidad de organismos, o productos microbianos).

El Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS) del Departamento

de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999), define la calidad del suelo como la capacidad de la superficie para desempeñar sus funciones en el momento actual y de la preservación de sus funciones para uso futuro (Vezzani y Mielniczuk, 2009).

Doran y Parkin (1994) compararon el concepto de calidad con la productividad agrícola, destacando que las tierras de buena calidad acrecientan la productividad y reducen la erosión. Se crearon sistemas de clasificación que contaban con términos como suelos agrícolas de primera calidad. Además, la calidad de la tierra ha estado relacionada con la sostenibilidad, que tiene muchas interpretaciones. Según Budd (1992), se refiere al número de individuos que un área puede sustentar, mientras que Buol (1995) sostiene que el empleo de la tierra debe basarse en su capacidad para facilitar recursos esenciales, que son finitos y restringen la producción.

Doran y Parkin (1994) indican que la calidad de la tierra abarca atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. A pesar de su relevancia, la ciencia del suelo aún no ha definido claramente el concepto de calidad. Este término comenzó a delimitarse al identificar las funciones del suelo: (1) fomentar la productividad del sistema sin comprometer sus características fisicoquímicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) disminuir la contaminación ambiental y patógenos (calidad ambiental); y (3) beneficiar la salud de plantas, animales y humanos.

Smyth y Dumanski (1995), citados por Meza et al. (2017), definen la calidad de la tierra como su capacidad para producir y conservar funciones ambientales sin degradarse. Existe consenso en que este término se refiere a la habilidad del recurso para ofrecer servicios ambientales de manera sostenible. Sin embargo, ningún estudio de la calidad del suelo ha tenido una consideración objetiva los resultados, positivos y negativos, de los indicadores de multifuncionalidad (producción, sostenibilidad, calidad ambiental, etc.). A menudo, solo se reconocen los resultados positivos, como el contenido de MO y el número de lombrices, o solo los negativos, como la salinidad y la compactación. Aunque la MO brinda numeroso provecho a la tierra, asimismo tendría impactos ambientales y agrícolas negativos que rara vez se contemplan en las evaluaciones actuales. (Bautista et al., 2004).

2.2.1. Indicadores físicos de calidad del suelo

Sánchez (2007) señala que las propiedades físicas son esenciales para el desarrollo de las raíces, la aireación, el movimiento del agua, el contenido de humedad y la retención de nutrientes, factores que influyen para el óptimo crecimiento de las plantas. Sin embargo, estas propiedades pasan por alto favoreciendo las características químicas (Ramírez, 1997). Para lograr un entorno adecuado para el crecimiento vegetal, es vital la interacción dinámica entre las

propiedades fisicoquímicas y biológicas de la tierra pueden ser:

Fundamentales; no provienen de otras y están dentro de este grupo el color, la textura, la estructura, la densidad, la consistencia, la temperatura, etc.

Derivadas; como indica su nombre, son aquellas nacidas de la interacción de las fundamentales.

Las características físicas están compuestas por partículas minerales, MO, aire y agua, donde los minerales constituyen el 50% del volumen de la capa arable.

La cantidad de arena, limo y arcilla define la textura de la tierra, mientras que su organización se denomina estructura. La profundidad efectiva de la tierra influye en el movimiento y almacenamiento de agua, su absorción por las plantas, el desarrollo radicular y la emergencia de plántulas, además de afectar la labranza, aireación y absorción de nutrientes (Velásquez, 2003). Según García et al. (2012), los parámetros físicos de la tierra que pueden servir como parámetros incluyen la estructura, DA, Rp, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo, capacidad de retención de agua y CE.

Camacho et al. (2017) y FAO (2009) destacan la textura como un indicador clave, debido a su relación con la degradación del suelo y su potencial de producción, determinada por diversas fracciones minerales estandarizadas por el USDA. Camacho et al. (2017) añaden que la textura está relacionada con la DA, porosidad, retención hídrica, aireación, drenaje y contenido de materia orgánica. La DA es un indicador sensible a cambios por manejo de la tierra, que permite evaluar indirectamente la estructura del suelo, su resistencia mecánica y cohesión. Demuner et al. (2013) subrayan la importancia de la Rp, que está relacionadas con la compactación y desgaste de la tierra, provocando pérdida de propiedades y disminución en el rendimiento, al aumentar la Rp y DA y reducir la porosidad. Este indicador refleja la compactación y endurecimiento de la capa superficial debido a cualquier presión aplicada. (FAO, 2009).

2.2.2. Indicadores químicos de calidad del suelo

Los indicadores químicos describen la naturaleza química que daña la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora de la tierra, la disponibilidad de agua y nutrientes para los cultivos y los microorganismos. (Bautista et al., 2004). Bornemisza (1982) afirmó que la química del suelo es la ciencia que analiza las características químicas de la tierra, sus compuestos orgánicos e inorgánicos, y los fenómenos resultantes de la mezcla de estos componentes.

Las propiedades químicas primordiales que sirven como indicadores son: macronutrientes N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de absorción de fosfatos, CIC, y variación en la materia orgánica y N mineralizable (García et al., 2012). Clapperton (2000) destaca la importancia de la proporción de macro y micronutrientes, pH y CIC, indicando que un equilibrio adecuado de estos factores es esencial para un sustrato favorable al desarrollo de cultivos. El pH determina la adsorción de iones (H⁺) por la tierra, influyendo en la acidez o alcalinidad y afectando la solubilidad y movilidad de otros nutrientes y contaminantes (FAO, 2020). La materia orgánica, que se presenta en distintos grados de descomposición y fracciones como carbohidratos, ligninas, y componentes húmicos, mejora indicadores físicos como la retención de humedad, formación de agregados, y la capacidad de retener cationes y oligoelementos esenciales para el crecimiento vegetal (FAO, 2020). Según Velásquez (2003), la combinación de arena, limo, arcilla y MO facilita el intercambio de nutrientes y su absorción por las plantas. El complejo de cambio incluye cationes como Ca, Mg, K y Na, etc., (Ortega, 1995), menciona que se puede intercambiar por iones de la misma carga en la solución de la tierra, reponiendo los nutrientes. Este intercambio iónico es fundamental para la fertilidad de la tierra y permite a las plantas absorber nutrientes de la solución de la tierra.

2.3. La macrofauna edáfica

Según Feijoo et al. (1999) y Lavelle et al. (1992), citados por Zavaleta (2019), los seres vivos del suelo se clasifican por su longitud en micro, meso y macrofauna. La microfauna incluye invertebrados menores de 0.2 mm que habitan el líquido entre los poros de la tierra; la mesofauna abarca invertebrados de 0.2 a 10 mm que viven en los espacios aéreos y en la hojarasca; y la macrofauna tiene invertebrados mayores de 10 mm y 2 mm de diámetro, capaces de crear espacios mediante excavación (Coyne, 2000). Entre ellos se encuentran isópodos, quilópodos, diplópodos, arácnidos, moluscos, formícidos, isópteros, coleópteros y lombrices de suelo (Ramirez, 1999). Según Jones et al. (1994), los macroinvertebrados son cruciales para la depredación de microbios, el cambio de la estructura de la tierra, el desgaste de MO y la mezcla de suelo con materia degradada. Estos organismos facilitan la formación de agregados, completan su ciclo de vida en la tierra y mejoran sus propiedades físicas, además de definir el hábitat de diversas comunidades.

Por otro lado, Bornemisza (1982) y Sánchez (2007) destacan que la reacción de la tierra daña indirectamente las etapas químicas, la disponibilidad de nutrientes, y la actividad microbiana, siendo el pH uno de los parámetros químicos más relevantes en el cultivo de plantas. La reacción de la tierra influye en la vida de los microorganismos y en la asimilación de

componentes químicos esenciales para las plantas, afectando directamente los nutrientes disponibles y la actividad microbiana.

En suelos ácidos, la disponibilidad de nutrientes para las raíces es muy baja, lo que resulta en cosechas reducidas (FAO, 2013). Respecto al pH y los organismos del suelo, Wooding (1967) indicó que las bacterias y actinobacterias funcionan mejor en tierras minerales con pH entre 5.0 y 6.5, y su actividad disminuye drásticamente por debajo de 5.5. Millar et al. (1971) añadieron que la nitrificación y la fijación de N atmosférico solo ocurren cuando el pH supera 5, mientras que la aminización y amonificación disminuyen notablemente a pH más bajos. Sin embargo, las bacterias oxidantes de S no se ven afectadas por el pH del suelo.

Navarro (2003) señala que los hongos son facultativos y que, en los cultivos superiores, es complicado correlacionar su progreso óptimo con el pH de la tierra debido a múltiples factores fisiológicos. Las plantas pueden crecer en un amplio rango de pH, lo que dificulta identificar la reacción más adecuada.

2.4. Diversidad de macrofauna del suelo

Jiménez et al. (2002) describen la macrofauna como ingenieros del suelo, encargados de numerosas funciones en el ecosistema, como la transformación de hojarasca, mejora de propiedades físicas de la tierra, desgaste de MO y estructuración del suelo. Según Brown et al. (2001), la macrofauna de la tierra incluye alrededor de 80 millones de especies, principalmente artrópodos, siendo crucial considerar tanto la macrofauna benéfica como la perjudicial. Wellington (1995) señala que la mayor densidad poblacional de macrofauna se encuentra en el estrato superficial (0-10 cm), donde las características físicas como humedad, temperatura y hojarasca son determinantes para su distribución vertical y abundancia. Al ir maximizándose la profundidad de la tierra, la densidad de la macrofauna disminuye, aunque algunos grupos son más abundantes en niveles profundos.

Pashanasi (2001) analizó 22 sistemas de uso del suelo en Yurimaguas y Pucallpa, encontrando que tanto en bosques primarios intervenidos como no intervenidos hay una rica diversidad de macroinvertebrados, con densidades de 382 a 853 individuos/m². Velásquez (2003) destaca que la macrofauna contribuye a la formación de agregados estructurales, retención de humedad, composición del aire y temperatura del suelo, además de incorporar N atmosférico al suelo a través de bacterias del género *Rhizobium* (20-150 kg de N/ha/año). Pardo (2006) indica que, en términos de abundancia, las hormigas, miriápodos y anélidos son predominantes, siendo los miriápodos los que muestran diferencias significativas asociadas a bosques y cafetales

sombreados.

Huerta (2008) determinó que la riqueza y diversidad del orden taxonómico de los macroinvertebrados reflejaba el grado de fecundidad del sistema, encontrando que los sitios con menor fecundidad albergaban menos taxones. Rendón (2010) analizó poblaciones de macroinvertebrados en suelos provenientes de las moras, pastos y aguacates y finalizó que la diversidad de macroinvertebrados varía por el empleo, la profundidad de la tierra y el clima (particularmente la precipitación). Sainz (2011) analizó las características fisicoquímicas de la tierra para establecer tipos de referencia y sus relaciones con la macrofauna en sistemas agroforestales de cacao y bosques secundarios y encontró que los grupos funcionales estaban distribuidos en dos comunidades: una relacionada con la concentración de bases y la relación N :P, otro relacionado con la DA, la porosidad y los gradientes de humedad, lo que sugiere que estas métricas pueden ser clave en la regulación de la fauna. Maldonado, et al. (2008) Y Bravo (2011) demostraron la presencia de consorcios de HMA nativos asociados a la rizosfera de todos los materiales genéticos (*Elaeis guineensis*, *E. oleifera*, *E. guineensis* x *E. oleifera* y variedades compactas) de palma aceitera en el litoral y oriente ecuatorianos con tasas de colonización de hasta 73 % y densidad visual en raíces terciarias y cuaternarias de hasta 5.5 %. Los HMA encontrados pertenecen a los géneros *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Archaeospora* spp. y *Gigaspora* spp., demostrando la prevalencia de HMA nativos en suelos agrícolas.

Los autores destacaron el hecho de que la zona donde se encontraron mayores porcentajes de asociación HMS-raíces está ubicada en la zona de producción de palma más antigua del país (Santo Domingo de los Tsáchilas), demostrando la alta capacidad de simbiosis de los HMA con este cultivo. Zavaleta, (2019) determinó en suelos de cultivo de café, que la macrofauna con más frecuencia lo constituyeron los Formícidos, *Isopthera*, y oligochetas; con asignaciones normales; en menor frecuencia se presentaron *Araneae*, *heteropthera*, larvas de *colepthera* e *isopthera*, que también presentan una asignación casi normal en tierras estudiadas que la distribución de larvas de *Araneas*, larvas de *Colepteras*, *Heteropthera*, *isopthera*, *oligochaeta* y *Dermanthera* muestran una media casi simétrica y los demás grupos siguen una distribución asimétrica. Ávila et al., (2022), resaltan que son varios los factores edáficos y climáticos que afectan al comportamiento de los HMA en la palma aceitera, particularmente la buena correlación entre la cobertura vegetal de *Pueraria* sp. (leguminosa) y la tasa de colonización entre el contenido de MO del suelo y la densidad visual del endófito, mientras que existe una correlación negativa entre el contenido de P en el suelo y la población de esporas (Maldonado, et al., 2008; Bernal, 2010; Bravo, 2011; Maldonado et al., 2013). Además,

menciona que dicha información es relevante para los programas de manejo de la palma aceitera que deben incluir coberturas vegetales, aporte de compost proveniente de los residuos del proceso industrial para incorporación MO al suelo y planes de fertilización equilibrados, tal como mencionan Recalde y Calvache (2009) y Bernal (2010).

2.5. Clasificación taxonómica de la macrofauna y grupos funcionales del suelo

De acuerdo con el tamaño adulto y su forma de vida según Fragoso et al. (2001) se dividen:

- **Microfauna del suelo:** Invertebrados acuáticos menores a 0,2 mm de longitud y menos de 0,1 mm de diámetro que residen en el agua entre partículas de tierra.
- **Mesofauna del suelo:** organismos de aproximado a 4 mm de longitud y de 0,2 a 2 mm de diámetro. Su entorno es la hojarasca y el interior del suelo. La Figura 1 podemos ver los organismos que se encontraron al clasificar la mesofauna de la tierra.
- **Macrofauna del suelo:** invertebrados de 10 mm o más de largo y 2 mm de ancho, que son visibles al ojo humano y viven en o sobre la tierra (hojarasca).

La macrofauna terrestre realiza varios cometidos en los ecosistemas y se puede separar en muchas clases; utilizando otras clasificaciones funcionales (Linden et al., 1994) citados por Zavaleta, (2019) así como, la organización de taxones de la macrofauna terrestre en varios Filos, Clases y Órdenes como se muestra en la Tabla 1.



Figura 1. Mesofauna del suelo. Collembola: Symphypleona, Entombryomorpha (A, B y C), Ácari: Mesostigmata, Cryptostigmata (D, E y F), Symphyla (G), Diplura (H) y Thysanoptera (I). Tomado de Diversidad biológica de Cuba: Fauna del suelo. Cabrera, et al. (2018).

Zavaleta (2019) menciona diversas clasificaciones de grupos funcionales que

buscan simplificar la complejidad de la trama trófica de la tierra. Una de las más útiles clasifica la macrofauna edáfica según su comportamiento alimenticio: los herbívoros consumen partes vivas de plantas, los depredadores se alimentan de animales vivos y los detritívoros aprovechan MO no viva de origen animal y vegetal, además de microorganismos, heces de vertebrados e invertebrados, y compuestos derivados del metabolismo de otros organismos (FAO, 2002) citado por Zavaleta (2019). La Tabla 2 (Cabrera, 2014) citada por Zavaleta (2019) muestra los grupos de invertebrados más frecuentes en la macrofauna edáfica y las funciones que desempeñan.



Figura 2. Macrofauna del suelo. Chilopoda: Scolopendromorpha, Scutigermorpha (A y B.), Haplotaaxida (C), Gastropoda (D), Opiliones (E), Dictyoptera: Blattaria (F), Orthoptera (G) y Hemiptera: Heteróptera (H). Tomado de Diversidad biológica de Cuba: Fauna del suelo. Cabrera, et al. (2018).

Zavaleta (2019), afirmó que las interacciones bióticas entre estos grupos funcionales están involucradas en regular fases edáficas.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna.

Filo	Clase	Sub-clase	Orden
Anélida	Clitellata	-	Oligochaeta
	Arachnida	-	Araneae
Artrópoda	Insecta	-	Coleóptera
		-	Dictyoptera
		-	Díptera
		-	Hemíptera
		-	Hymenoptera
		-	Homóptera

		-	Isóptera
		-	Orthoptera
	Crustácea	-	Isópoda
	Myriapoda	Chilopoda	-
		Diplopoda	-
Nematoda	Adenophorea	-	-
Molusca	Gastropoda	-	-

Fuente: tomado de Zavaleta (2019)

Price (1988) señala que, dado el alto grado de complejidad en las interacciones, los resultados indirectos al regular las funciones de los ecosistemas podrían ser significativos. Según Zerbino (2005) citado por Zavaleta (2019), la actividad de los herbívoros invertebrados influye en la cantidad y calidad de recursos que llegan a la tierra, afectando así a los detritívoros y depredadores. Zavaleta (2019) destaca que los grupos más relevantes de herbívoros son coleópteros, himenópteros y ortópteros. Dentro de los coleópteros, las especies fitófagas corresponden a las familias Elateridae, Melolonthidae (Scarabaeoidea), Curculionidae y Chrysomelidae; tanto los adultos como las larvas son miembros permanentes de las comunidades, viviendo a menudo en la superficie o en vegetación baja, en tanto que otros son escavadores en parte o la totalidad de su ciclo de vida.

Tabla 2. Grupos funcionales que componen la macrofauna edáfica

Nombre común	Grupo taxonómico reconocido (Clase**, Orden*o Familia)	Grupo funcional
“Lombriz de tierra”	Haplotaxida*	Detritívoros e “ingenieros del suelo”
“Babosas” y “caracoles”	Gastropoda**	Detritívoros Depredadores
“Cochinillas”	Isópoda*	Detritívoros
“Milpiés”	Diplopoda**	Detritívoros
“Ciempiés”	Chilopoda**	Depredadores
“Arañas”	Araneae*	Depredadores
“Arañas patonas”	Opiliones*	Depredadores
“Falsos escorpiones”	Pseudoscorpionida*	Depredadores
“Cucarachas”	Insecta**	Detritívoros
	-Dermaptera*	Depredadores
“Escarabajos”	Insecta**	Detritívoros
	-Coleoptera*	Herbívoros
		Depredadores

“Tijeretas”	Insecta** -Dermaptera*	Detritívoros Depredadores
“Moscas y “mosquitos”	Insecta** -Diptera*	Detritívoros Depredadores
“Chinches y “salta hojas”	Insecta** -Hemiptera*	Herbívoros
“Hormigas”	Insecta** - Hymenoptera* - Formicidae	Omnívoros, Depredadores e “ingenieros del suelo”
“Termitas y comejenas”	Insecta** -Isoptera*	Detritívoros e “ingenieros del suelo”
“Mariposas” y “orugas”	Insecta** -Lepidoptera*	Herbívoros
“Grillos” y “saltamontes”	Insecta** -Orthoptera*	Herbívoros

Fuente: Extraído del Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, (Cabrera, 2014).

2.6. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo

Panduro (2013) señala que la fauna excavadora tritura y mezcla los residuos de la tierra, lo que favorece la estructura y conformación de horizontes Bw, así como la permeabilidad y la aireación. Blair et al. (1996) mencionan que la bioturbación puede hacer desaparecer ciertos rasgos de horizontes preexistentes, y que la predominancia de determinadas poblaciones animales tiende a homogeneizar el volumen trabajado, diferenciándose claramente del material subyacente. La intensa actividad biológica provocó cambios significativos en el epipedión, aumentando su espesor y constituyéndose casi en su totalidad por heces y conductos obturados. Además, en tierras con este tipo de horizonte (normalmente franco blando), se utiliza el elemento formador de grupos grandes Verm. (como en Verudoll o Vermustoll).

Tabla 3. Actividades de la fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.

Categoría	Ciclaje de nutrientes	Estructura del suelo
Microfauna (4µm– 100 µm)	-Organizan las poblaciones de bacterias y hongos -Perturban el ciclaje de nutrientes	- Dañan la estructura del suelo por las interacciones con la microflora.

Microfauna (100 μm – 2 mm)	<ul style="list-style-type: none"> -Organizan las poblaciones de hongos y de la microfauna. -Perturban el ciclaje de nutrientes -Fragmentan detritos vegetales 	<ul style="list-style-type: none"> -Forman pelotas fecales. -Producen bioporos. -Fomentan la humificación
---------------------------------------	---	--

Fuente: Correia (2000), tomado de Panduro (2013).

Panduro (2013) señala que los artrópodos, como los colémbolos, son los animales más grandes y numerosos en los primeros centímetros del suelo. Estos pequeños invertebrados descomponen la MO y mejoran su estructura. Las lombrices, por su parte, mezclan la MO con los minerales del suelo. Se estima que una hectárea puede albergar hasta 10 toneladas de lombrices al año, las cuales son capaces de remover grandes cantidades de tierra en pocos años.

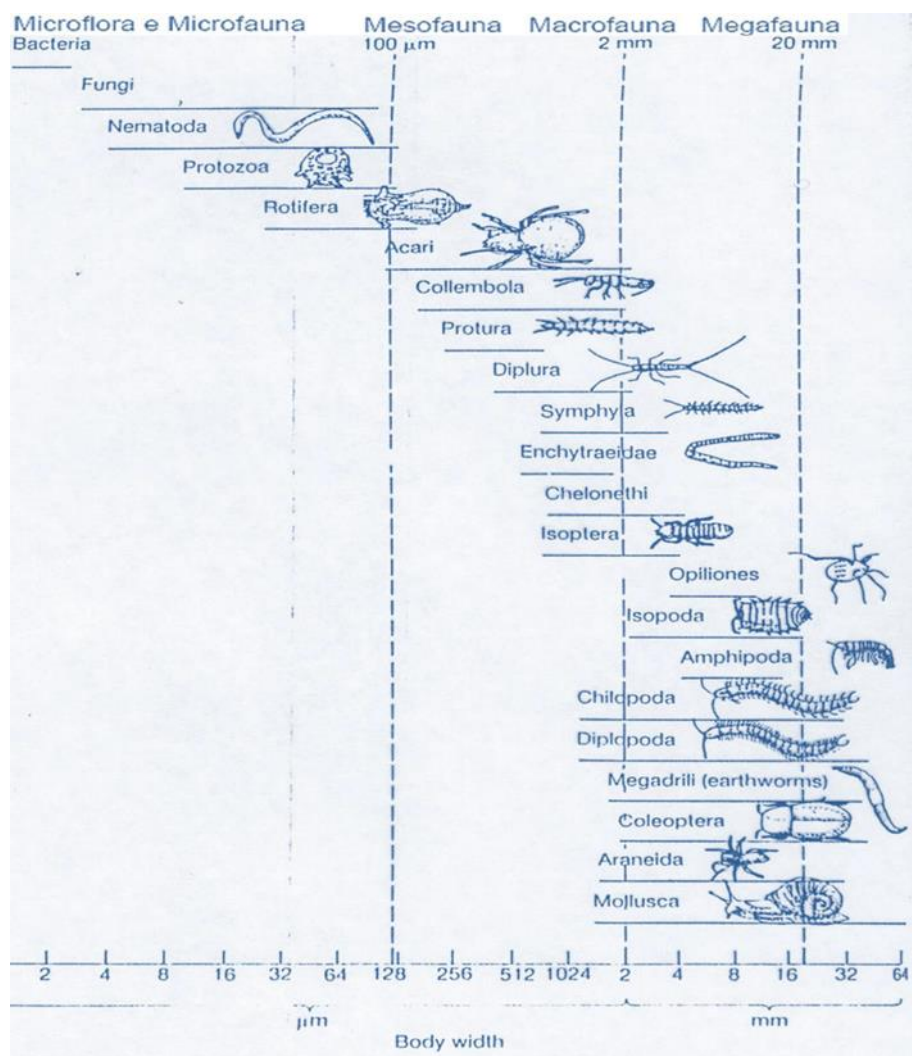


Figura 3. Tamaño de la fauna edáfica (Blair et al., 1996), citado por Panduro, (2013).

2.7. Importancia de macrofauna en el suelo

Brown et al. (2001) destacan la vital importancia de la macrofauna edáfica en ecosistemas agrícolas, ya que los invertebrados alteran tanto el interior como la superficie del

tierra donde crecen las plantas, y no deben ser considerados plagas ni ser culpables de la proliferación de patógenos, según Lavelle et al. (1994). Ruiz (2015) subraya que estos invertebrados fracturan, transportan y acoplan la tierra al construir galerías, nidos, sitios de alimentación y turrículos. Geissert et al. (2013) añaden que la diversidad biológica y riqueza genética de los organismos de la tierra son esenciales para mantener el equilibrio biológico y mitigar los efectos negativos de plagas y otros organismos dañinos. La diversidad biológica de la tierra es, por tanto, un factor clave para la fertilidad, calidad y salud de la superficie terrestre, contribuyendo a la productividad y calidad de las plantaciones, ya que la macrofauna desempeña funciones importantes como la reutilización de nutrientes, captación de C, fijación de N, regulación del ciclo del agua, estructuración de la tierra y control de plagas, según Geissert et al. (2013).

2.7.1. Funciones importantes de los grupos de la macrofauna edáfica

Cabrera et al. (2011) mencionaron que la macrofauna regula las etapas de la tierra, el trabajo y el equilibrio de los ecosistemas, y estos grupos cuentan con ingenieros de la tierra, detritívoros, herbívoros y depredadores.

- **Los ingenieros del suelo:** Según Cabrera et al., la función específica del suelo es modificar características físicas favoreciendo la constitución de agregados, la estructura, la circulación y retención de agua, y también influyen al intercambiar gases. (2011). Por su parte, Lavelle (2000) mencionó que en este grupo están los principales consumidores de MO, entre ellos las lombrices (Haplotaxida), hormigas (Hymenoptera: Formicidae) y termitas (Isoptera).

- **Detritívoros:** como milpiés (Spirobolida, Polydesmida), cochinillas y caracoles, se alimentan de hojarasca, acelerando su descomposición y enriqueciendo el suelo con nutrientes. Al fragmentar la materia orgánica, facilitan la acción de microorganismos y favorecen la formación del suelo" (Lavelle, 1997, citado en Cabrera et al., 2011a).

- **Herbívoros:** se nutren de material vegetal y animal vivo, mejorando la calidad del suelo. Este grupo incluye coleópteros, hemípteros y otros insectos, así como depredadores como arácnidos y ciempiés (Lavelle, 1997, citado por Cabrera et., al., 2011a). A través de su mayor densidad y biomasa, las lombrices son la fauna edáfica más relevante, ya que su actividad estructural permite la penetración de raíces y su secreción retiene agua y nutrientes. Según Ruiz (2015), las lombrices de tierra son esenciales para la salud del suelo, ya que disminuyen la incidencia de patógenos.

2.8. Factores que afectan a la macrofauna de suelos

Como se sabe la división de la macrofauna es dependiente de factores

edafoclimáticos, como la precipitación, temperatura y humedad de la tierra a lo mencionado por Cabrera y López, (2018); como también de las actividades agrícolas (antropogénico) que llegan a modificar las propiedades fisicoquímicas del suelo, llegando a destruir estructuras de comunidades biológicas en el mismo, provocando reducir las actividades de la macrofauna edáfica como por ejemplo Souza et al., (2016) mencionaron algunas cuestiones fundamentales como la mineralización de la MO, la estabilidad de los agregados, la porosidad y el ciclo de nutrientes. Al parecer, en zonas de desarrollo agrícola, debido a las alteraciones causadas por el hombre, se pueden observar cantidades muy pequeñas de animales terrestres de gran tamaño, como lo menciona Cabrera et al. (2011).

2.9. Características de la Palma Aceitera

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.) es una de fuentes principales de oleaginosas en todo el mundo debido a su alto rendimiento, produciendo hasta 4 t. ha⁻¹ de aceite anualmente (Córdoba et al., 2017; Rival y Levang, 2015, citados por Ibañez, 2021). Su aceite tiene una historia de más de 3.000 años y es nativa de África ecuatorial occidental; en el siglo XIX, las semillas fueron llevadas a América por comerciantes europeos (Bernal y Almonacid, 2006, citado por Ibañez, 2021).

Hoy en día, Asia Sudoriental se ha convertido en el primordial productor de aceite de palma, con aumentos anuales del 8,5 % en Malasia y del 16,9 % en Indonesia, que juntos representan el 80 % de la producción mundial (Fairhurst y Härdter, 2012; Ibañez, 2021). En Perú, las plantaciones de palma aceitera comenzó entre 1960 y 1970, promovido por el Estado mediante el MINAGRI, mediante el Proyecto de Colonización Tingo María-Tocache-Campanilla. Este proyecto ha establecido una plantación piloto de 200 Has en Tananta, Tocache, San Martín, donde la palma se adaptó favorablemente al clima y del suelo, lo que llevó a la expansión del cultivo (DGCA-MINAG, 2012, citado por Soto, 2015). Hoy, Perú cuenta con aproximadamente 74 millones de Has de bosques (70 % del territorio), pero se ven amenazados. Se perdió una gran extensión de hectáreas, y el Estado no ha abordado este grave problema. Más de 150 mil Has de bosques primarios en la Amazonía peruana están en peligro debido a la expansión de la palma aceitera (AIDSESEP, 2016).

2.9.1. Origen, Taxonomía y distribución de la especie de la Palma

La palma africana, o aceitera, es una planta monocotiledónea de la familia Arecaceae, originaria del golfo de Guinea en África occidental, de ahí su nombre científico *E. guineensis* (Siew, 2003, citado por Ibañez, 2021). El género *Elaeis* incluye otra especie, la palma de aceite americana *E. oleifera* (Kunth), propia de este continente (Meijaard et al., 2018, citado por Ibañez, 2021).

2.9.2. Nombre botánico y clasificación taxonómica

Botánicamente, se llama *E. guineensis*, nombre asignado por Jacquin en 1763, derivado del griego *ελαια*, que significa olivo, en referencia a sus frutos ricos en aceite y a su origen en Guinea (Arce, 2012).

Tabla 4. Clasificación taxonómica de la palma africana.

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Subclase	: Commelinidae
Orden	: Arecales
Familia	: Arecaceae
Subfamilia	: Coryphoideae
Género	: <i>Elaeis</i>
Especie	: <i>guineensis</i>

Fuente: Cronquist (1981).

2.9.3. Condiciones agroecológicas para el desarrollo de palma aceitera

Soto (2015) señala que la palma aceitera se desarrolla en un clima típico del trópico húmedo. Loli (2012) indica que su grado de rusticidad le permite adaptarse a diversas condiciones agroecológicas y tipos de suelo dentro de este marco ambiental. Según Castillo (2015), las zonas con alta producción de palma aceitera presentan temperaturas elevadas, apto abastecimiento de agua, suficiente luz y radiación solar, siendo ideal que estas cualidades se mantengan estables durante todo el año y el proceso productivo.

2.9.3.1. Clima, temperatura y altitud

Paramanathan (2003), citado por Soto (2015), señala que la temperatura media anual para la palma de aceite debe estar entre 20 y 32°C. Corley y Tinkes (2003), también citados por Soto (2015), indican que el desarrollo de cultivos jóvenes se detiene a 15°C, mientras que a 25°C crecen 7 veces más rápido que a 20°C y 3 veces más rápido que a 17,5°C. Soto (2015) establece que temperaturas mensuales promedio de 25 a 28°C son aptas, siempre que la temperatura mínima no sea inferior a 21°C. A 15°C, el desarrollo de los cultivos se detiene y el rendimiento de las palmas adultas disminuye.

Según el IICA (2006), citado por Soto (2015), el rango óptimo de precipitación es de 1700 a 2000 mm anuales, con un promedio mensual de 150 mm. Es crucial que la carencia de agua anual no sea menor de 200 mm, destacando la importancia de la

distribución de las precipitaciones. Durante julio a octubre, se requieren más de 400 mm mensuales. Si las precipitaciones anuales son inferiores a 1500 mm, se deben realizar riegos complementarios en los meses secos. Soto (2015) menciona que una precipitación de 1800 a 2200 mm es óptima, siempre que esté bien distribuida, siendo que las precipitaciones de 1 00 mm anuales, como promedio mensual de 150 mm, son aptas.

Barrero (2012), citado por Soto (2015), indica que las tierras bajas del trópico, de 0 a 500-700 msnm y con pendientes menores al 6%, presentan el máximo potencial productivo de la palma aceitera. La humedad relativa debe ser del 70 al 90% (MAGFOR, 2005), aunque Raygada (2005), también citado por Soto (2015), sugiere que debe variar entre el 75 y el 85%.

2.9.3.2. Suelos de cultivo de palma aceitera

Soto (2015) señala que las características fisicoquímicas de la tierra afectan el crecimiento de la palma de aceite, especialmente en áreas climáticas marginales. Al igual que el cocotero, prefiere suelos profundos, sueltos y bien drenados. IICA (2006), citado por Soto (2015), indica que la palma tolera bajos niveles de acidez, hasta un pH de 4. Gonzales (2008) indica que necesita tierras con pH entre 4.5 y 7.8, y crece a altitudes de 700 a 3,000 msnm. Niveles altos de calcio intercambiable pueden dificultar la absorción de cationes. Los suelos óptimos son limosos profundos y con buen drenaje, evitando texturas extremas: los arcillosos generan problemas de drenaje, mientras que los arenosos carecen de retención de agua y nutrición (Surre y Ziller, 1969, citados por Soto, 2015). Además, Surre y Ziller destacan que el estado del suelo es crucial para las explotaciones de palma en condiciones climáticas desfavorables, ya que determina la disponibilidad de nutrientes y agua. Reyes et al. (2005) añaden que tras el primer año de trasplante, la palma de aceite aumenta la extracción de nutrientes, siendo los más requeridos: K>N>S>Ca>Mg>P>Fe>Mn>Zn>Cu>B.

2.10. Manejo convencional

Pichardo (2006) menciona que el manejo convencional agrario se basa en prácticas tecnológicas orientadas a la industrialización para lograr mayores rendimientos. Este modelo surgió en Estados Unidos con el desarrollo de semillas híbridas resistentes a enfermedades y con alto potencial de producción, buscando asegurar la seguridad alimentaria.

Devine et al. (2008) indican que solo una décima parte de las tierras del planeta se destina a la producción agrícola, mayormente a través de sistemas convencionales que utilizan químicos como fertilizantes, herbicidas e insecticidas, impactando negativamente los ecosistemas del suelo.

Bruulsema (2002) señala que los sistemas convencionales emplean tecnologías

recomendadas por la comunidad científica en las últimas décadas, basadas en conocimientos que mostraban rendimiento para los cultivos. Sin embargo, la falta de capacitación en el uso de agroquímicos ha llevado a su aplicación sin criterios técnicos, lo que ha producido problemas como compactación, salinización, acidificación y pérdida de materia orgánica, disminuyendo el potencial productivo a lo largo del tiempo (Navarro et al., 2018). En el caso del manejo intensivo de la palma aceitera, el cambio del uso del suelo de forestal a agrario es su principal impacto ambiental (Dammert et al., 2012), afectando negativamente la calidad de la tierra (Celis et al., 2020).

La pérdida de diversidad biológica y la fragmentación de hábitats son consecuencias directas de la pérdida forestal ocasionada por los cultivos de palma aceitera (Dammert et al., 2012). Según Fitzherbert et al. (2008), citado por Dammert et al. (2012), estas plantaciones crean fragmentos de bosque. Los estudios indican que los fragmentos aislados en áreas de cultivo de palma albergan menos de la mitad de las especies de hormigas que los bosques continuos adyacentes, y los fragmentos más pequeños presentan especies invasivas.

Además, los fragmentos pequeños, rodeados de plantaciones, tienen una menor riqueza de especies de mariposas en comparación con los más grandes y menos aislados (Dammert et al., 2012). Otro impacto ambiental es la contaminación del agua por agroquímicos, fertilizantes, insecticidas y efluentes del aceite de palma. Aunque es posible mitigar parcialmente estos contaminantes mediante control ecológico y empleo de efluentes, en un clima lluvioso como el amazónico, donde la precipitación oscila entre 3,000 y 3,500 mm anuales, el riesgo de que los residuos de agroquímicos percole hacia el subsuelo y los cuerpos de agua es alto.

2.11. Biodiversidad

Se refiere a la variabilidad de organismos vivos de diversos orígenes, que incluye la diversidad dentro de cada especie, entre especies y en ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos (Halffter et al., 2001, citado por Panduro, 2013).

2.11.1. Distribución de la biodiversidad

Halffter et al. (2001), citado por Panduro (2013), señala que las especies están distribuidas de manera irregular entre diferentes conjuntos de organismos y regiones del planeta. Se describió más de 1.5 millones de especies, de las cuales un aproximado de un millón son animales y medio millón son plantas. Más del 50% de los organismos vivos son insectos (53%), en tanto grupos bien conocidos, como los vertebrados y las plantas con flores, siendo el 3% y 15% de la diversidad biológica total.

2.11.2. Valor de la biodiversidad

Etter (1991), citado por Panduro (2013), define la biodiversidad como la variedad de los procedimientos biológicos a niveles genéticos, de especies y ecosistemas, abarcando datos genéticos de la biota del planeta, la variedad de especies y hábitats, y los procesos ecológicos. Según Etter, la biodiversidad se manifiesta en todos los tipos de organización de los sistemas de vida, desde genes hasta ecosistemas, y su variación se refleja en la complejidad de las comunidades.

2.11.3. Diversidad

Según Etter (1991), citado por Panduro (2013), es un atributo que existe en todas las etapas de organización de los sistemas vivos, y es definida como la variación expresada en todos los procedimientos biológicos, desde los genes hasta los que se encuentran en ecosistemas y entorno incluyen toda la variedad que sucede entre y dentro de las especies, por lo que la característica comunitaria que mide este nivel de complejidad se llama diversidad. Franco (1989), también citado por Panduro (2013), menciona la existencia de numerosos índices para estimar la pluralidad de una comunidad. Los basados en la teoría de datos, como el índice de Shannon-Wiener ajustado por equitatividad y el índice de heterogeneidad de Simpson, han tenido mayor impulso a pesar de sus limitaciones. Este último cuantifica la probabilidad de que dos individuos escogidos de forma aleatoria de una comunidad infinita integren a la misma especie. En la investigación de preservación, el enfoque se centra en la pluralidad de la riqueza de especies, lo que requiere el uso de índices que consideren a las especies menos abundantes, como el Índice de Shannon-Wiener.

2.11.3.1. Riqueza biológica

Franco (1989), citado por Panduro (2013), señala que la riqueza de especies es fundamental, ya que mide cuántas especies hay en relación con un número específico de individuos o zona, siendo su valor independiente del tamaño de la muestra.

Mostacedo (2000) define la riqueza como el número de especies de un grupo particular (plantas, animales, bacterias, hongos, mamíferos, árboles, etc.) en una zona definida. En cambio, la variedad de especies incluye tanto el número total de especies como la abundancia de individuos de cada una en un lugar específico. Los índices de diversidad evalúan la variabilidad de un sitio considerando tanto la riqueza como la abundancia de especies, existiendo más de 20 índices, cada uno con sus ventajas y desventajas. (Mostacedo, 2000).

2.11.3.2. Diversidad alfa

Halffter et al. (2001) indican que la riqueza de especies en una comunidad homogénea se define mediante la diversidad alfa, que comprende las especies del grupo indicador coexistentes en una zona específica del paisaje. Esta zona actúa como unidad de muestreo, correspondiendo a un fragmento estudiado, aunque cada fragmento puede contener heterogeneidad derivada de diversas características del medio (como pendiente, vegetación, suelo y agua). Estas variables pueden incorporarse al diseño de muestreo para un estudio más detallado, aunque incluirla complicaría el proceso y aumentar el tiempo y esfuerzo en la recopilación de información. Una vez establecida la diversidad alfa de cada fragmento, se pueden combinar los datos de múltiples fragmentos para calcular la diversidad alfa de cada tipo de vegetación, empleo de la tierra o áreas de preservación en la reserva. Franco (1989), citado por Panduro (2013), menciona que se han desarrollado distintos índices para cuantificar la diversidad, considerando el criterio de heterogeneidad.

Índice de diversidad de Shannon-Weiner (H'). Según Moreno (2001), citado por Panduro (2013), este índice mide la incertidumbre en al pronosticar la especie de un individuo extraído aleatoriamente de la comunidad. Su valor es mínimo cuando todos los individuos son de una sola especie y máximo cuando todas las especies están igualmente representadas.

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

Los valores de este índice suelen oscilar entre 1.5 y 3.5, raramente superando 4.5. Una propiedad del índice de Shannon-Wiener es su sensibilidad a las variaciones en la abundancia de especies raras, lo que lo hace útil en estudios de conservación (Moreno, 2001, citado por Panduro, 2013).

El Índice de Equitatividad es una medida de uniformidad basada en la diversidad máxima, que se lograría si todas las especies fueran igualmente abundantes. La equidad (J) varía entre 0 y 1, siendo 1 el valor que indica una abundancia uniforme de especies (Magurran, 1991). Para presentar los resultados en una escala de 0 a 1 se utiliza el Índice de Equitatividad, cuya fórmula es la siguiente:

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

Dónde:

H' : Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

S : Número de especies o unidades taxonómicas.

\ln : Logaritmo natural

2.12. Estado del arte

2.12.1. Antecedentes internacionales

Potapov et al. (2019) en Jambi, Indonesia, revela cómo diferentes sistemas agrícolas afectan las comunidades de invertebrados del suelo y su distribución en términos de tamaño entre depredadores y descomponedores. Esto sugiere que la gestión de la agricultura puede tener un impacto notable en la biodiversidad del suelo, lo cual es crucial para la salud del ecosistema. Por otra parte, el trabajo de Navarro et al. (2018) en Jaboticabal, Brasil, se centra en dos tipos de oxisoles y la producción de caña de azúcar. Aunque no encontraron diferencias significativas en varias propiedades del suelo entre los sistemas de manejo, sí observaron variaciones en la densidad de masa y la densidad de la tierra en ciertos estratos. Esto indica que, aunque algunos aspectos de la calidad de la tierra pueden permanecer inalterados, el empleo de la tierra puede modificar propiedades físicas específicas, lo que tiene implicaciones para la gestión agrícola y la sostenibilidad de los cultivos.

Cabrera y López (2018) evaluaron la riqueza, abundancia, variedad y estructura funcional de la macrofauna terrestre en dos áreas del bosque siempre verde medio (Helechal y Vallecito) de la Reserva Ecológica El Salón de la Sierra del Rosario, comparándolas con otros sistemas del empleo de tierra en Cuba. Se recolectaron monolitos de $25 \times 25 \times 20$ cm in situ, encontrando 34 familias de macrofauna edáfica de 18 órdenes. Vallecito tuvo mayor riqueza, densidad y pluralidad (34 familias, 1,298.5 individuos m^{-2} , $H' = 2.72$) que Helechal (19 familias, 749.2 individuos m^{-2} , $H' = 2.57$), aunque solo la riqueza presentó diferencias significativas. Las variaciones se debieron a la estacionalidad del muestreo: se llevó a cabo en un mes lluvioso en Helechal (octubre de 2009) y en un mes seco en Vallecito (marzo de 2011). La estructura funcional fue similar en ambos sitios, predominando detritívoros de hojarasca, ingenieros de tierras y depredadores, aunque las familias dominantes variaron. La estructura de la macrofauna se asemejó a la de otros bosques tropicales, mostrando pocas diferencias respecto a los bosques secundarios en Cuba, pero diferenciándose de sistemas más perturbados, como pastizales y cultivos.

Patiño et al. (2017) determinaron el impacto de la fuente de fertilizante en la productividad de las variedades de banano y la macrofauna del suelo. Concluyeron que aunque

la fuente de fertilizante no afectó las poblaciones y la biomasa de macroinvertebrados, la abundancia de macroinvertebrados Oligochaetas sí influyó en el rendimiento de frutos.

Anchundia (2015) examinó la diversidad y población en La Maná y El Carmen, encontrando que los sistemas de cultivos asociados tienen mayor diversidad y población de macroinvertebrados en comparación con el monocultivo.

Brown et al. (2001) evaluaron la diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en ecosistemas tropicales mexicanos, muestreando nueve tipos de ecosistemas, incluidos pastizales, bosques, cultivos anuales, cítricos y cafetales. Sus resultados mostraron que las lombrices terrestres predominaban en biomasa, en tanto las hormigas lo hacían en densidad. Las milpas y el cocotal presentó la menor biomasa total ($< 15 \text{ g m}^{-2}$), en tanto que los bosques superaron los 25 g m^{-2} y otros ecosistemas se han caracterizado por biomásas mayores a 35 g m^{-2} . En caña de azúcar se registraron casi 3000 ind/m^{-2} , en tanto que en otros ecosistemas no superaron los 1600 ind/m^{-2} .

2.12.2. Antecedentes nacionales

Huamán (2021) estudió el impacto de procedimientos de empleo en la calidad de la tierra, utilizando el subíndice de uso sustentable (SUSS) en Cora Cora, Luyando, Leoncio Prado. Encontró una densidad aparente óptima y temperaturas favorables para el cultivo. El procedimiento agroforestal mostró una calidad sensible (0.68), en tanto que el sistema de coca (0.16) y el bosque (0.12) presentaron calidad deficiente. Estos hallazgos coinciden con Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007), que clasifican el sistema agroforestal en alta calidad (0.60-0.79) y el de coca en muy baja calidad (0.0-0.19) tras 10 años de manejo.

Celis et al. (2020) analizaron el impacto del empleo convencional de E. coca, *Theobroma cacao* L. y el bosque como referencia en Padre Abad, Ucayali, Perú. Encontraron diferencias significativas en la Da, Rp y en propiedades químicas como pH, MO, K⁺, Ca²⁺, Al³⁺, acidez intercambiable y salinidad. Concluyeron que el empleo convencional de E. coca deteriora gravemente las propiedades físicas (Da y Rp) en ambos estratos evaluados (0.0-0.10 y 0.10-0.20 m), afectando negativamente los niveles de pH, MO, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y maximizando la compactación superficial, el Al³⁺ y la acidez intercambiable en comparación con el bosque.

Zavaleta y Gonzales, (2019), en su investigación “Macrofauna y parámetros fisicoquímicas de la tierra de cultivos de *coffea arábica* I.” su objetivo fue analizar las propiedades fisicoquímicas de la tierra en cultivo de café, cuyo fin fue definir si la abundancia y la existencia de distintos órdenes taxonómicos de la macrofauna indicarán el grado fértil de la tierra, se seleccionaron 33 fincas de producción de café orgánico y 2 de bosques secundarios,

donde se midieron 18 variables fisicoquímicas de forma convencional. Para la macrofauna, se tomaron muestras según el método internacional TSBF modificado (25x25x20 cm). Utilizando el Análisis Factorial por Compuestos Principales, se definieron 5 tipologías de tierra, nombradas desde la variable más relevante (%MO, Dap, Ca, K, NP y Mg/K). La fauna se ha clasificado en 20 grupos, siendo los formícidos los más abundantes, seguidos de isópteras y oligochaetas.

Solsol (2018) evaluó la restauración de tierras degradadas ex cocal en el distrito de Mariano Dámaso Beraún, Leoncio Prado-Huánuco, encontrando un incremento en la velocidad de penetración y una disminución en la densidad aparente (Da), temperatura y resistencia del suelo (Rp). No halló diferencias significativas en los indicadores químicos, que permanecieron en niveles bajos. El índice de calidad del suelo (SUSS) en cinco poblados presentó valores de 0,15 a 0,21 para ex cocal de 5 años y de 0,33 a 0,38 para ex cocal de 20 años, clasificándose ambos como tierras pobres (0,00-0,45). Estos resultados coinciden con la clasificación de Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007), que definen la calidad de ex coca de 5 años como muy baja (0,0-0,19) a baja calidad (0,20-0,39) y la de 20 años también como baja calidad (0,20-0,39). Se concluye que hay una tendencia de restauración de la calidad del suelo tras 20 años de restauración natural.

Panduro (2013) evaluó sistemas como pastizales, bosque secundario, bambuzal, tornillal y cacaotal, determinando que ambos, tornillal y cacaotal, han presentado 10 grupos taxonómicos, seguidos por el bambuzal y el bosque secundario, mientras que los pastizales tuvieron la menor diversidad. El mayor número de macrofauna y biomasa se halló en los primeros 10 cm del suelo con plantaciones de cacao (H' : 1.76 nats/ind), mientras que los pastizales mostraron la menor diversidad (H' : 0.48 nats/ind). Se encontraron relaciones positivas entre la densidad y biomasa de macrofauna con indicadores químicos de la tierra, como pH y P, y relaciones negativas con MO y N. En total, se identificaron 15 grupos taxonómicos, siendo Hymenoptera y Coleoptera omnipresentes en todos los sistemas evaluados.

Zavaleta y González (2019) estudiaron la macrofauna en 33 parcelas de café de la Cooperativa Agraria Cafetalera Fe y Esperanza en Japelacio, Moyobamba, además de 2 parcelas de bosque secundario. Encontraron que la macrofauna más común incluía Formícidos, Isópteros y oligoquetos, con distribuciones normales. En menor frecuencia se observaron Araneae, Heterópteros, larvas de Coleópteros e Isópteros, cuyas distribuciones también fueron casi normales, mientras que las de Dermanthera mostraron simetría y otros grupos presentaron distribución asimétrica.

Huamán y Barón (2015) en su estudio en San Vicente, Japelacio, Moyobamba, en 2014, encontraron que el índice de riqueza específica en café orgánico fue de

trece taxas: Hymenopteros, Isópteros, Haplotaxicos, Coleópteros, Dermanthera, Gastropoda, Julida, Lepidópteros, Dípteros, Hemípteros, Araneae y Scolopendromorpha. En contraste, el café convencional presentó diez taxas: Hymenópteros, Coleópteros, Haplotaxicos, Dermanthera, Araneae, Julida, Gastropoda, Isópteros, Ortópteros y Lepidópteros.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política y geográfica

Fue ejecutada en la plantación de Palma Aceitera del Fundo “Herrera” centro poblado de Tananta, distrito y provincia de Tocache en la Región San Martín. Cuyas coordenadas de su centroide en UTM son: 326587.96, 9101128.16 y 491 msnm.

Región	: San Martín
Provincia	: Tocache
Distrito	: Tocache
Centro Poblado	: Tananta

3.1.2. Características ambientales de la zona de estudio

El clima varía de húmedo y cálido en las zonas bajas del sector central de la cuenca a muy húmedo y templado frío en las montañas, con temperaturas que alcanzan hasta 25 °C entre octubre y diciembre. Se caracteriza por un clima tropical con lluvias constantes y un régimen pluviométrico mono-modal, con máximas precipitaciones de octubre a marzo y mínimas en julio y agosto (Bazán, 2015). La temporada calurosa dura aproximadamente 2 meses, de mediados de agosto a la primera semana de octubre, con una temperatura máxima promedio diaria superior a 32 °C. Septiembre es el mes más cálido, alcanzando 33 °C máxima y 23 °C mínima. La temporada fresca se extiende durante 6.5 meses, desde fines de diciembre hasta inicios de julio, con una temperatura promedio máximo diario inferior a 30 °C, siendo junio el mes más frío, con un promedio mínimo de 21 °C y una máxima de 30 °C (Bazán, 2015). Según PDRC (2018), la provincia de Tocache se encuentra en el complejo andino e incluye dos unidades morfoestructurales: la Cordillera Oriental al oeste y la Cordillera Subandina al este. Tocache presenta un relieve variado, con zonas montañosas de diferentes pendiente y altitud, además de relieves planos a ondulados en algunas áreas debido a la dinámica de los ríos locales. Intensos procesos pedogenéticos han dado lugar a una gran variedad de suelos que influyen en la diversidad de vegetación y hábitats. La red hidrográfica de Tocache es parte de la cuenca alta del río Huallaga, que recorre 218 km en la provincia, mostrando alta pendiente y gran velocidad de corriente. Sus primordiales tributarios surgen en la Cordillera Oriental y la Cordillera Subandina, siendo muy torrentosos y con baja diversidad íctica, con alrededor de 71 especies de peces.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Laptop, Programa estadístico IBM SPSS Statistics, Programa Microsoft office, Software ArGis

3.2.2. Equipos

Flexómetro de 5 m, libreta de campo, martillo, machete, pala recta, wincha de 50 m, cilindros muestreadores, barreno, cámara digital, GPS, escuadra de madera de 0.50 x 0.50 m, rafia, jalones de madera, bolsas de 35 x 17.5 cm (1 kg), bolsas de 47 x 22 cm (2 kg), plumones indelebles, etiquetas post it.

3.2.3. Materiales y equipos de gabinete

Materiales biológicos, plancha tecnoport, alfileres, pinzas, jeringas, alcohol al 96%, formol al 10%, estufa, estereoscopio y lupa.

3.2.4. Reactivos

Formol al 10 % y alcohol al 70%

3.3. Diseño estadístico

Es descriptiva, ya que se tuvo que indagar la incidencia de una o más variables en una población (Hernández et al., 2014).

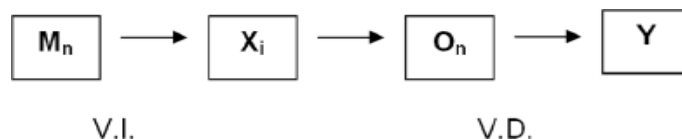


Figura 4. Modelo del diseño.

Donde:

M: Muestras

n: varios grupos de investigación.

X_i : Variable independiente

O_1 : Observaciones

Y : Variable dependiente.

3.3.1. Unidad experimental

Se compone de un monolito de 25 cm x 25 cm y 30 cm de profundidad, en el cual se definieron y tabularon las variables.

3.3.2. Tamaño de la muestra

El tratamiento reúne cuatro repeticiones, determinándose valores que se

detallan:

3 estratos de suelo	= 1 unidad experimental
12 monolitos por Transecto	= 48 monolitos
Longitud del transecto	= 50 metros
Distancia entre monolitos	= 10 metros

3.4. Variables en investigación

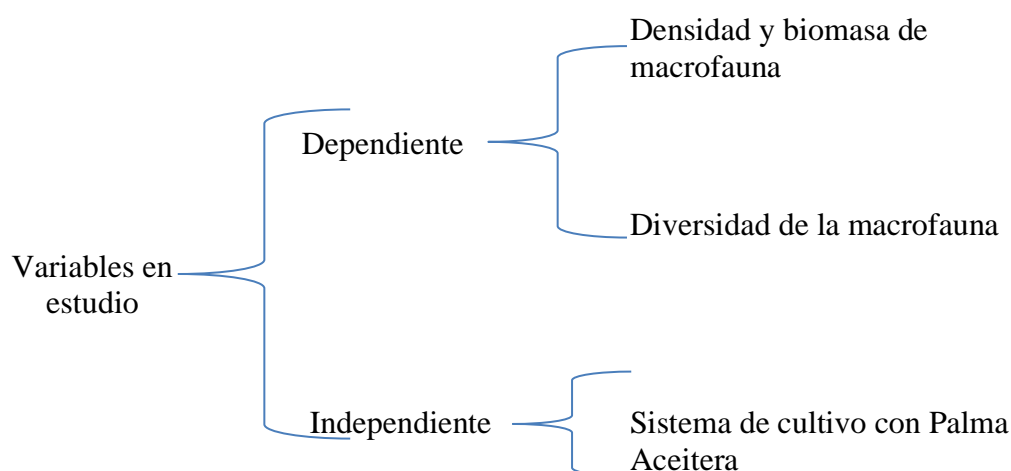


Figura 5. Variables de estudio.

3.5. Metodología

El método de estudio se distribuyó en dos etapas, campo y gabinete

3.5.1. Tipo y nivel de investigación

3.5.1.1. Tipo de la investigación

Es de tipo: descriptivo, correlacional (Hernández et al., 2014)

3.5.1.2. Nivel de la investigación

Es probabilístico, se ejecutó un muestreo al azar y ha permitido conseguir datos representativos (Hernández et al., 2014).

3.5.1.3. Método de la investigación

Es descriptivo – comparativo, explicativo, Ya que se realiza una descripción y se compara las parcelas de palma aceitera en los diferentes transectos del sistema convencional en estudio, y explicativo porque se aplica la relación causa – efecto entre la variable independiente y dependiente (Hernández et al., 2014).

3.5.1.4. Diseño de la investigación

De tipo transversal, ya que la información se recolectó en un solo momento, por el muestreo y estudio de la tierra, análisis de propiedades físicas (compactación, DA) y biológicas (macrofauna) existentes en estas parcelas, siguiendo el método propuesto por (Hernández et al., 2014), por un periodo de seis meses.

3.5.2. Variables en estudio

Las variables por estudiar serán las propiedades fisicoquímicos y biológicas los que se pasan a detallar en la tabla siguiente.

Tabla 1. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo

Parámetros físicos	Método de determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Resistencia a la penetrabilidad	Penetrómetro de cono
Parámetros 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
Parámetros biológicos	
Densidad de la macrofauna	Método directo por conteo (ind./m ²)
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo (g/m ²)
Diversidad de especies	Índice de Shannon – Winner (H')

Elaboración propia

3.5.3. Procedimiento experimental

En esta investigación, con respecto a la delimitación de área experimental, se desarrolló en la parcela con un sistema de manejo convencional de palma aceitera de 18 años, instalado en un terreno plano de 4.0 ha, en donde se estableció cuatro transectos de 25 x 50m, dentro de cada transecto se trazó cuadrículas de 4 x 25m y dentro de cada cuadrícula se colocó tres cuadrantes de 1 x 1 m, área donde se realizó las calicatas de 0.25 x 0.25 x 0.30 cm.

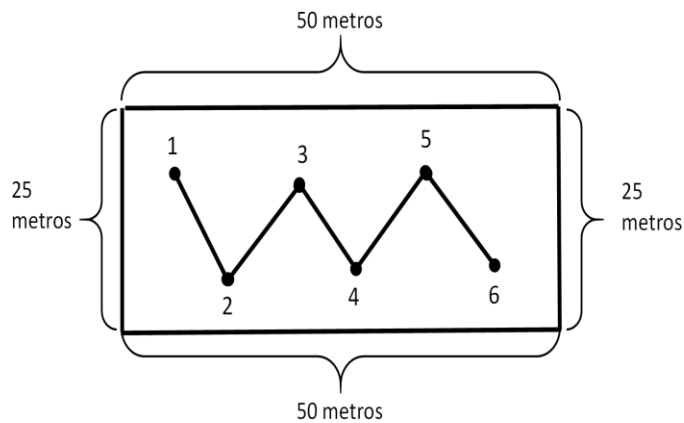


Figura 6. Modelo de muestreo de suelo

3.5.4. Obtención de la muestra de suelo

Luego de realizar las calicatas, se realizó el muestreo de suelos, a profundidad de 0 a 30 cm, en cada calicata, luego se mezcló y homogenizó las muestras; fueron etiquetadas y llevadas al laboratorio de suelos para sus respectivos estudios.

3.5.5. Determinación de las propiedades físicas y químicas

Tomadas las muestras de tierra de sistema convencional de palma aceitera, realizando la determinación de algunos parámetros *in situ* y otros en laboratorio de la UNAS (ver tabla 1).

3.5.6. Determinación del índice de calidad del suelo (ICS)

Fue aplicado el SUSS de SAGARPA (2012) y los rangos de valor requerido y de corte de saturación de bases de Cantú et al. (2007). La calidad de la tierra se definió mediante los siguientes cálculos:

a). Sub índice SUSS – SAGARPA (2012)

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

Donde:

P : Promedio de los parámetros normalizados

i : Indicador analizado

n : Número total de indicadores analizados

Para encontrar el SUSS primeramente se definió el promedio de los valores normalizados en cada indicador (i).

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n Rn_j}{m} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

Rn : Valor del parámetro normalizado

m : Número de muestras analizadas

j : Es cada muestra de suelo

Encontrado el valor de P (2) fue calculado el parámetro normalizado (3) de cada indicador (i).

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

Donde:

Rn : Resultado normalizado.

Vr : Valor del indicador.

d : Valor deseable del indicador.

c : Valor de corte del indicador

j : Cada muestra de suelo

La tabla siguiente presenta los rangos deseados y los valores de corte para el cálculo de cada indicador.

Tabla 5. Parámetros edáficos para determinar el ICS

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor	Valor de corte (C)
pH*	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5
Conductividad eléctrica (CE) *	dS/cm	< 1	4.1
MO*	%MO	> 5	0.5
N*	%N	> 0.2	0.05
P*	ppm	> 5.5	0
K****	ppm	>78	117
Ca*	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Ca > 5	0
Mg*	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Mg > 0.3	0
Saturación de bases**	%	100	50
Saturación de aluminio***	%	10	50
Resistencia a la penetrabilidad (Rp)****	Kg/cm ²	<1.00	4
Densidad aparente*	g/cm ³	Da < 1.1	1.47

Fuente: SAGARPA (2012), **Cantú et al. (2007), *** Propuesto por el autor ****Acuña (2021).

La calidad se determinó a partir de los valores medios finales conseguidos, utilizando los rangos de calidad del SUSS (Tabla 6) y las clasificaciones de Estrada (Tabla 7) y Cantú (Tabla 8) para su interpretación. El SUSS normaliza distintos indicadores de calidad del suelo, siguiendo un método práctico propuesto por la SAGARPA, 2012.

Esta propuesta forma parte de la línea de base del Programa de Sustentabilidad de Recursos Naturales, que evalúa el impacto en el suelo y establece criterios de interpretación (Tabla 6).

Tabla 6. Rangos de interpretación del método SUSS

Calidad de suelo	Descripción
Buena (0,95 – 1,00)	Las operaciones agrícolas requieren calidad.
Aceptable (0,80 – 0,95)	La calidad es cercana a la ideal. Estas variables están un poco alejadas de los valores correspondientes.
Sensible (0,65 – 0,78)	Las propiedades medias a veces difieren de sus valores óptimos
Marginal (0,45 – 0,65)	Varios indicadores están lejos de los valores ideales.
Pobre (0,00- 0,45)	La calidad para uso agrícola está comprometida. Todos los indicadores están lejos de ser ideales.

Fuente: SAGARPA (2012)

El Método ICS empleado por Sarmiento et al. (2018), Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) utiliza criterios similares para establecer indicadores y umbrales basados en aspectos teóricos, tipo de suelo, condiciones ideales, disponibilidad de nutrientes, presencia de carbonatos, rendimientos máximos y el estado climático. Los valores de ICS se interpretaron utilizando las tablas 7 y 8 para definir la calidad según este método.

Tabla 7. Clases de calidad de Estrada

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

Fuente: Estrada et al. (2017)

Tabla 8. Clases de calidad de Cantú

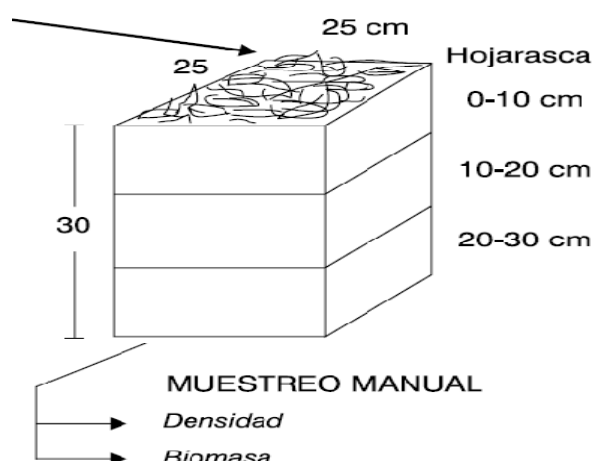
Indice de calidad de suelos	Escala	Clase
Muy alta calidad	0,80 - 1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada calidad	0,40 - 0,59	3
Baja Calidad	0,20 - 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 - 0,19	5

Fuente: Cantú et al. (2007)

3.5.7. Muestreo de macrofauna

Se tomaron 12 muestras de cada transecto en calicatas para tomar muestra de la fauna de la tierra. Se recogieron macroinvertebrados de cada estrato, preservándolos en solución de alcohol al 80% para insectos de cuerpo duro y en formol al 4-10% para larvas e insectos de cuerpo no endurecido.

Se siguió la metodología del Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993), citada por múltiples investigadores como Ruiz, 2023; Ríos, 2023; Huamán, 2022; Zavaleta, 2019; Tuesta, 2015; Moran y Alfaro, 2015; Panduro, 2013; Pashanasi, 2001. El suelo muestreado tiene unas dimensiones de 25 x 25 x 30 cm, dividido en 3 capas: 0-10 cm (incluida la capa de basura), 10-20 cm y 20-30 cm. Las muestras se transportan al laboratorio de insectos de la Facultad de Agronomía en bolsas de plástico etiquetadas. Los macroinvertebrados se recolectaron con pinzas en bandejas de plástico y se almacenaron en alcohol al 96%, mientras que las larvas y moluscos se almacenaron en formaldehído al 10%.



Fuente: Anderson e Igram (1993).

Figura 7. Monolito para muestreo

3.5.8. Conteo y estructura de la comunidad del suelo

El estudio faunístico se realizó en el laboratorio de entomología de la Facultad

de Agronomía, donde se determinó la biomasa (g/m²) y densidad (individuos/m²) de los macroinvertebrados mediante estereoscopio y escala de medición precisa. Los valores de biomasa (19% para lombrices, 9% para hormigas, 11% para escarabajos, 6% para arañas y 13% para otros macroinvertebrados) se ajustaron a la pérdida de peso al fijarlo con alcohol y formalina (Decaëns et al., 1994). Los grupos taxonómicos se identificaron mediante claves de identificación, se calculó el número de individuos por monolito, se adicionó el número total de individuos por taxón y fue calculado el porcentaje de abundancia o la densidad relativa promedio de cada taxón en el sistema terrestre en estudio. Con la ayuda de un experto, se han identificado organismos a nivel de Orden y los datos se registraron en nuestra matriz.

3.5.9. Densidad de macrofauna

El método sigue el enfoque de Correa y Oliveira (2000), utilizando un cuadrado de 25 cm x 25 cm, correspondiente a 0,0625 m² o 1/16 m². La información de cada punto de muestreo se multiplica por un factor de 16 para obtener el número unitario de individuos por m² (ind/m²).

3.5.10. Biomasa de macrofauna

Se aplicará el mismo criterio para analizar la densidad; los pesos de cada punto de muestreo se multiplicaron por 16 para conseguir los valores en gramos por metro cuadrado (g/m²) (Correia y Oliveira, 2000).

3.5.11. Índice de diversidad de macrofauna

Para calcular el índice de diversidad de especies, se utilizarán las fórmulas de Simpson y Shannon-Wiener:

Índice de Shannon-Wiener (H'), según la ecuación siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \ln p_i)$$

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

Dónde

H' : Índice de Shannon-Wiener que en un contexto ecológico.

S : Número de especies o unidades taxonómicas

n_i : Abundancia de la especie i

N : Número total de individuos

ln : Logaritmo natural

Tabla 9. Valores de significancia para el Índice de Shannon-Wiener

Valores	Significancia
< a 1.35	Diversidad baja
1.36 - 3.5	Diversidad media
> 3.5	Diversidad alta

Fuente: Aguirre (2013)

Índice de Simpson (S), según la ecuación siguiente:

$$S = 1/S(Pi)^2$$

Dónde

S = Índice de Simpson

1/s = Probabilidad que individuos al azar de una población provenga de la misma especie

Pi = Proporción de individuos pertenecientes a la misma especie

Tabla 10. Valores de significancia para el Índice de Dominancia de Simpson

Valores	Significancia
0 - 0.33	Dominancia baja
0.34 - 0.66	Dominancia media
>0.66	Dominancia alta

Fuente: Aguirre (2013)

Índice de Equidad de Pielou (E=J): Magurran, 1991; Begon, Harper y Townsend, 1995; Ramirez, 1999).

$$E = J = \frac{H'}{\ln S}$$

Dónde:

J : Índice de equidad de Pielou

H' : Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

S : Número de especies o unidades taxonómicas.

ln : Logaritmo natural

3.5.12. Análisis de datos

Se analizó los datos que se recolectaron en campo y laboratorio, organizándolos y procesándolos para generar gráficos y cuadros con Microsoft Excel 2016. La información de densidad (ind./m²) y biomasa (gr/m²) de macrofauna fueron normalizados.

Para examinar la relación entre los indicadores fisicoquímicos y biológicos, se utilizó la prueba del coeficiente de Spearman, dado que la información no presentó distribución normal (Hernández et al., 2014). Se realizó un estudio de correlación simple, basado en el siguiente modelo matemático.

$$\text{Ecuación de regresión: } Y_i = a + bX_i + \epsilon_i \text{ ----- (3)}$$

En cuanto al coeficiente de correlación, se empleó la prueba estadística r para probar la relación entre dos variables (Hernández et al., 2014). Un valor cercano a 1 indica una fuerte correlación positiva y un valor cercano a -1 indica una fuerte correlación negativa. Los valores cercanos a cero reflejan la ausencia de correlación lineal, aunque puede ocurrir una correlación no lineal.

En la prueba de hipótesis para la correlación, un $p < 5\%$ indica que la correlación entre las dos variables es significativa, lo que permite interpretar su signo y magnitud (Martínez, 2009).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde

$d_i = r_{xi} - r_{y}$;

d_i es la diferencia entre los rangos de X e Y.

Martínez (2009) muestra escalas de interpretación a continuación:

Escala 1: El coeficiente de correlación varía entre -1 y +1, siendo 0 el indicador de que no hay asociación lineal entre las dos variables.

Escala 2:

Correlación negativa perfecta.....	-1
Correlación negativa fuerte moderada débil.....	-0,5
Ninguna correlación.....	0
Correlación positiva moderada Fuerte.....	+0,5
Correlación positiva perfecta.....	+1

Escala 3:

- 1) Perfecta $R = 1$
- 2) Excelente $R = 0.9 \leq R < 1$
- 3) Buena $R = 0.8 \leq R < 0.9$
- 4) Regular $R = 0.5 \leq R < 0.8$
- 5) Mala $R < 0.5$ (6)

Escala 4: Rango Relación

- 0 – 0,25: Escasa o nula
- 0,26-0,50: Débil
- 0,51- 0,75: Entre moderada y fuerte
- 0,76- 1,00: Entre fuerte y perfecta**

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Macrofauna identificada en el suelo con cultivo de palma aceitera de 18 años de plantación.

Tras un trabajo minucioso en laboratorio se logró identificar 12 órdenes o especies de macrofauna en los 4 transectos de estudio de tierras con plantaciones de palma aceitera de 18 años de plantación, se observa la muestra en la Figura 8 y la Tabla 11.

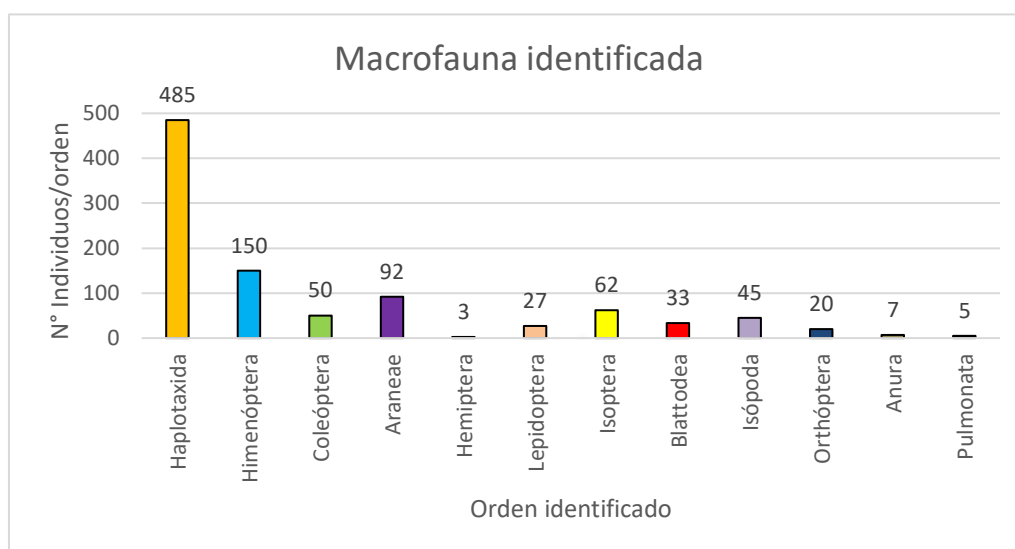


Figura 8. Macrofauna identificada en suelos con cultivo de palma aceitera de 18 años.

Se encontró considerable cantidad de especies de macrofauna en tierras con cultivo de palma aceitera de 18 años de plantación entre ellos tenemos en mayor número de individuos los del orden Haplotaxida (Lumbricidae-lombriz de tierra), seguido de Himenópteros (Formicidae-hormiga), Araneae (Lycosidae-arañas), Isoptera (Termitidae-termita), Coleóptera (Scarabaeidae-escarabajo y torito), Isópoda (Crustáceo-chanchito), Blattodea (Blattellidae-cucaracha), Lepidóptera (Noctuidae, Lycaenidae - Orugas, Mariposa, Larvas), Orthóptera (Gryllidae, Acrididae, Tettigoniidae- grillo, saltamontes), Anura (Lissamphibia, Dendrobatidae-sapo, rana), Pulmonata (Helicidae-caracol), Hemíptera (Pentatomidae-chinche), como se muestra en la Tabla 11, la Composición y abundancia de la macrofauna en tierras de palma aceitera de la finca Herrera en el centro del pueblo de Tananta.

Tabla 11. Composición taxonómica (orden y familia) y abundancia de la comunidad de macrofauna del suelo de palma aceitera en el fundo “Herrera” centro poblado de Tananta.

N°	Orden	Familia	Nombre común	T1	T2	T3	T4	TOTAL
				N° Ind/m ²				N° Ind/m ²
1	Haplotaxida	Lumbricidae	Lombriz de tierra	95	130	170	90	485

2	Himenóptera	Formicidae	Hormiga	50	31	22	47	150
			Oruga de					
		Chrysomellidae	escarabajo de hoja	-	4	-	-	4
3	Coleóptera	Curculionidae	Picudo	1	-	-	-	1
			Larva					
		Scarabaeidae	escarabiforme o gusano blanco	6	19	16	4	45
		Araneidae	Araña	-	2	-	-	2
		Dyctynidae	Araña	-	-	4	-	4
		Linyphiidae	Araña	3	-	-	-	3
		Lycosidae	Araña	2	3	35	-	40
4	Araneae	Pholcidae	Araña	10	15	9	-	34
		Pisauridae	Araña	1	-	2	-	3
		Sparassidae	Araña	-	1	-	-	1
		Tetragnathidae	Araña	1	1	-	-	2
		Theridiidae	Araña	1	1	-	1	3
		Pentatomidae	Chinches hediondas	1	-	-	-	1
5	Hemíptera	Reduviidae	Chinches asesinas	-	-	2	-	2
		Noctuidae	Oruga de mariposa	-	25	-	-	25
6	Lepidóptera	Lycaenidae	Mariposa	1	-	-	1	2
7	Isóptera	Termitidae	Termita-Comejen	-	26	36	-	62
		Blattidae	Cucaracha	-	25	6	1	32
8	Blattodea	Blableridae	Cucaracha de las cuevas	1	-	-	-	1
9	Isópoda	Armadilliidae	Chanchito de humedad	16	3	25	-	44

		Porcellionidae	Cochinilla de tierra	1	-	-	-	1
		Acrididae	Saltamontes	2	1	5	-	8
10	Orthóptera	Grillotalpidae	Grillo topo	1	-	-	-	1
		Gryllidae	Grillo	-	1	4	-	5
		Tettigoniidae	Saltamontes hoja	-	3	3	-	6
11	Anura	Lissamphibia	Sapo	1	5	-	-	6
		Dendrobatidae	Rana	1	-	-	-	1
12	Pulmonata	Helicidae	Caracol	-	5	-	-	5

En la Tabla 11, se evidencia que existen identificadas 12 órdenes de macrofauna edáfica y 30 familias identificadas entre los 30 cm del suelo en las plantaciones de palma aceitera de 18 años de plantación en el fundo “Herrera” del centro poblado de Tananta. Ríos, (2023) encontró 11 órdenes de macrofauna edáfica siendo valores similares, encontrados en suelos de palma aceitera. En su estudio Choca y Vega (2021) encontraron 8 tipos de macroinvertebrados y 16 grupos taxonómicos (orden), identificaron 23 familias (zona de Esmeraldas) y 20 familias (zona de Santo Domingo). Respecto a la riqueza taxonómica Pashanasi (2001), encontró 22 unidades taxonómicas y posteriormente Arlen (2019) encontró 20 unidades taxonómicas ambas investigaciones estudiaron la diversidad biológica de macroinvertebrados edáficos en plantaciones de palma.

Cabe mencionar que en la Tabla 11, se evidencia un mayor número de individuos que pertenecen al grupo considerado como los ingenieros del suelo: lombriz de tierra y hormigas, debido a que cumplen funciones muy importantes en la modificación de las características físicas, estructurales, además de circulación, retención de agua, e intercambio gaseoso según acorde Lavelle, (2000); Cabrera, et al., (2011).

Se encontraron detritívoros, en menor cantidad que cooperan en la fragmentación promoviendo la etapa de degradación, incrementando su muestra para el ataque de la microflora Lavelle, (1997), Cabrera et al., (2011). Se identificaron también herbívoros, depredadores, y omnívoros (grillos, escarabajo, arañas, torito y cucarachas) ver Tabla 4. siendo en general los que se encargan de consumir material vegetal y/o animal vivo del suelo, interviniendo así en cada nivel de la cadena trófica edáfica, dando origen a la basta riqueza, como también contribuyendo a la calidad de los materiales presentes en la tierra (Lavelle, 1997, Cabrera et al., 2011)

4.2. Densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna en suelos con palma aceitera.

4.2.1. Densidad y biomasa

La densidad poblacional total de la tierra en estudio con palma aceitera de 18 años es de 979 ind/m² y con biomasa promedio de 32.34 g/m², se observa el dominio de las familias de invertebrados como las lombrices terrestres (Lumbricidae) y hormigas (Formicidae) (Figura 8) con una cuantía absoluta de 485 ind/m² y 150 ind/m² respectivamente (Tabla 12). La densidad de la macrofauna de tierra presenta poca variabilidad entre transectos.

Ríos, (2023) evaluó la diversidad de macrofauna en plantaciones del cultivo *E. guineensis* en cuatro parcelas de edades de 1, 3, 5 y 7 años, habiendo encontrado para la parcela de 7 años una densidad 763 ind/m² y con biomasa promedio de 15.42 g/m².

En su estudio Choca y Vega (2021) encontraron en suelos de fincas con palma el predominio de las familias de Lumbricidae con abundancia de 2144 ind/m² (lombrices de tierra) y Julidae (ciempiés) con abundancia de 1104 ind/m² en la localidad de Esmeraldas; y para la localidad de Santo Domingo encontró el predominio de familias de Formicidae con abundancia de 2288 ind/m² (hormigas) y de Lumbricidae con abundancia de 880 ind/m² (lombrices de tierra). Y valores de biomasa de la macrofauna edáfica con medias de 32,90 y 13,77 g/m² para las localidades de estudio, mostrándose más alta en el estrato de 0 a 10 cm de profundidad.

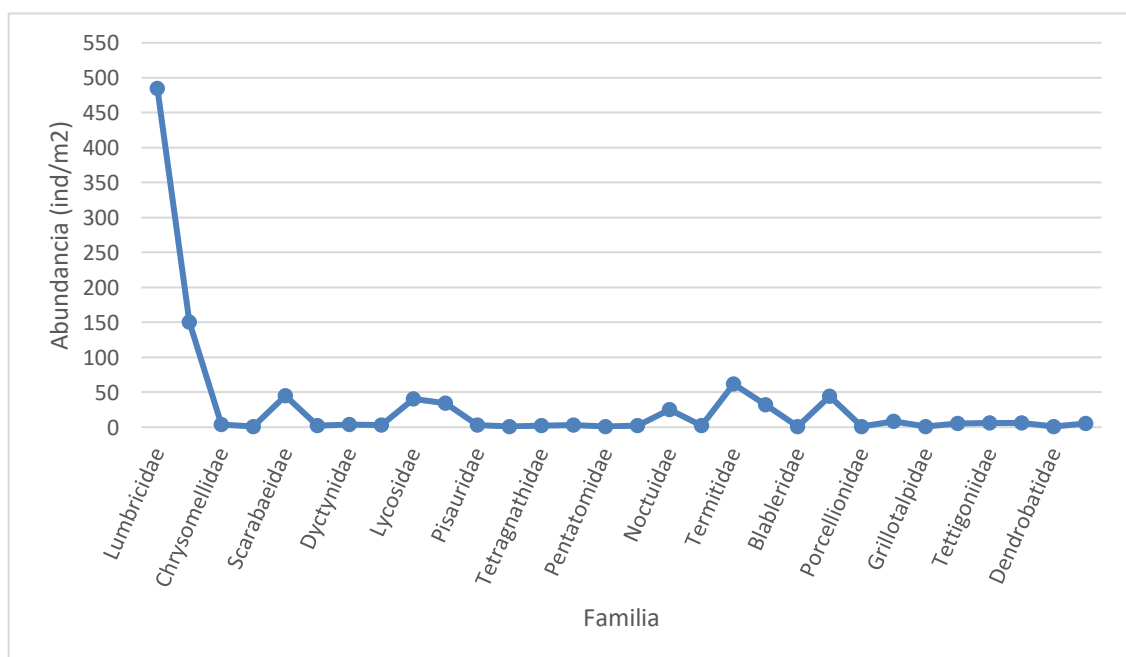


Figura 9. Curva de abundancia de familias en suelos con cultivo de palma aceitera.

Pashanasi (2001), determino la densidad poblacional total del suelo con palma

aceitera mayores a 30 años de antigüedad, siendo de 560 ind/m² y con biomasa promedio de 18,05 g/m².

Tabla 12. Densidad de macrofauna (ind/m²) en suelos según composición taxonómica.

N°	Orden	Densidad (ind/m ²)	Biomasa g/m ²
1	Haplotaxida	485	16,02
2	Himenóptera	150	4,96
3	Coleóptera	50	1,65
4	Araneae	92	3,04
5	Hemíptera	3	0,10
6	Lepidóptera	27	0,89
7	Isóptera	62	2,05
8	Blattodea	33	1,09
9	Isópoda	45	1,49
10	Orthóptera	20	0,66
11	Anura	7	0,23
12	Pulmonata	5	0,17
Total		979,00	32,34

- Riqueza específica

En la Tabla 12, se puede observar la densidad poblacional (riqueza específica) y biomasa determinada para cada orden; siendo en mayor proporción para el orden Haplotaxida (Lumbricidae-lombriz de tierra) con 485 ind/m² y con biomasa promedio de 16.02 g/m² seguido de Himenópteros (Formicidae-hormiga) con 150 ind/m² y con biomasa promedio de 4.96 g/m², Araneae (Lycosidae-arañas) con 92 ind/m² y con biomasa promedio de 3.04 g/m², Isóptera (Termitidae-termita) con 62 ind/m² y con biomasa promedio de 2.0 g/m², Coleóptera (Scarabaeidae-escarabajo y torito) con 50 ind/m² y con biomasa promedio de 1.65 g/m², Isópoda (Crustáceo-chanchito) con 45 ind/m² y con biomasa promedio de 1.49 g/m², Blattodea (Blattelidae-cucaracha) con 33 ind/m² y con biomasa promedio de 1.09 g/m², Lepidóptera (Noctuidae, Lycaenidae - Orugas, Mariposa, Larvas) con 27 ind/m² y con biomasa promedio de 0.89 g/m², Orthóptera (Gryllidae, Acrididae, Tettigoniidae- grillo, saltamontes) con 20 ind/m² y con biomasa promedio de 0.66 g/m², Anura (Lissamphibia, Dendrobatidae-sapo, rana) con 7 ind/m² y con biomasa promedio de 0.23 g/m², Pulmonata (Helicidae-caracol) con 5 ind/m² y con biomasa promedio de 0.17 g/m², Hemíptera (Pentatomidae-chinche) con 3 ind/m² y con biomasa promedio de 0.10 g/m² (Figura 10 y 11)

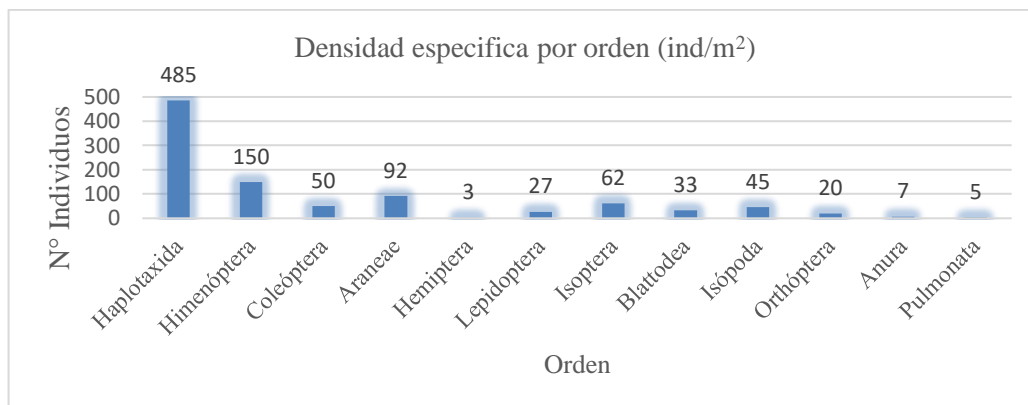


Figura 10. Densidad específica por orden en suelos con cultivo de palma aceitera.

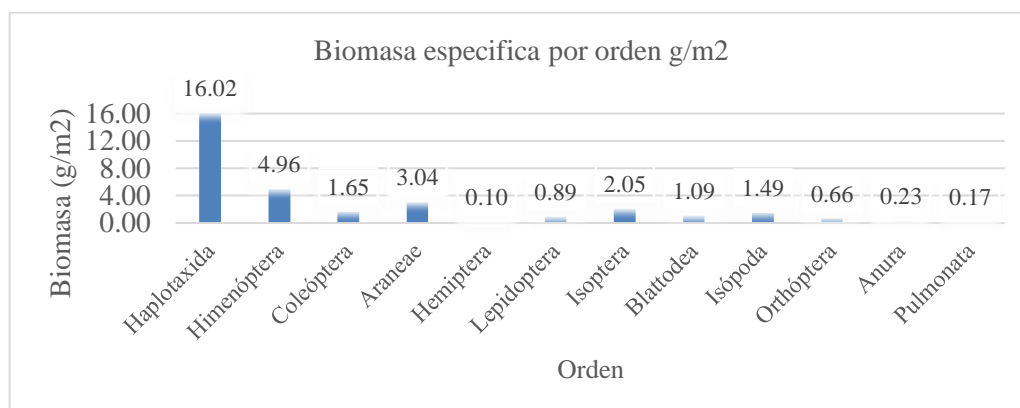


Figura 11. Biomasa específica por orden en suelos con cultivo de palma aceitera.

- **Distribución vertical de la densidad de la macrofauna edáfica.**

El suelo con palma aceitera de 18 años presenta una densidad poblacional acumulada de 979 ind/m²; como se muestra en la tabla 5 una mayor densidad de macrofauna a profundidad de 0 - 10 cm (195 ind/m²) y 10 -20 cm (45 ind/m²), y una profundidad de 20 - 30 cm se muestra una baja densidad con 5 ind.m² (Tabla 13).

Tabla 13. Distribución vertical de la densidad de la macrofauna del suelo con palma aceitera (ind.m²).

Profundidad (cm)	Transecto				Promedio Ind/m ²	Total Ind/m ²
	T1	T2	T3	T4		
0 - 10 cm	140	236	265	139	195	780
10 - 20 cm	48	64	62	5	45	179
20 - 30 cm	7	1	12	0	5	20
Densidad poblacional acumulada						979

Existe una relación entre la profundidad de muestreo y la cantidad de individuos presentes en cada uno de los niveles, a razón de la presencia de alimento disponible “materia

orgánica” esta aseveración concuerda con lo mencionado por Daza (2019) según su investigación. Al igual Jiménez et al., (2003) indica que esa distribución vertical se basa en su mayoría por la disponibilidad de alimento orgánico que provee la capa vegetal y recubre el suelo, como también la influencia de la humedad y temperatura que brinda la MO en el perfil del suelo; el factor esencial de identificación y actividad de las lombrices es la humedad, por la necesidad para cumplir su proceso biológico (Navia, 2003).

Zambrano (2021) encontró variaciones en la macrofauna según la profundidad de muestra, registrando una mayor cantidad de macroinvertebrados en la hojarasca y en los primeros 20 cm de tierra, con las mayores concentraciones entre 0 y 10 cm, y densidades similares pero menores entre 10-20 cm y 20-30 cm.

Pashanasi (2001) en su investigación precisa respecto a la distribución vertical de los individuos en el cultivo de palma aceitera se muestra fuertemente colonizada hasta los 20 cm (82,0 %), además menciona que los cultivos de *Eleais guianensis*, en Pucallpa, tienen una riqueza parecida a la del bosque primario (22 a 25 unidades). Ríos (2023), en su investigación sobre el tiempo de cultivos de *E. guineensis*, encontró que la densidad de individuos en la hojarasca a 10 cm del suelo es de 709,67 ind/m², con un promedio de 141,66 ind/m². Choca y Vega (2021) determinaron en suelos con palma aceitera en la zona de Esmeraldas una abundancia acumulada en 4 estratos fue 6160 ind/m² con una media de 267 ind/m²; para los primeros 20 cm de suelo, se detectaron muchas macroinvertebrados con una densidad promedio de 182 ind/m², seguidos de hojarasca con una densidad promedio de 163 ind/m², y menor promedio de densidad poblacional de 6 ind/m² entre los 20 a 30 cm de profundidad. La abundancia poblacional acumulada en la zona de Santo Domingo, a lo largo de 4 estratos, fue de 4976 ind/m², con un promedio de 248 ind/m². La mayor densidad se identificó en los primeros 10 cm de profundidad, con 140 ind/m², en comparación con los 132 ind/m² en la hojarasca. Las profundidades de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm presentaron la menor abundancia, con 47 y 18 ind/m², respectivamente.

Los resultados de abundancia para el caso de esta investigación en el cultivo de palma aceitera de 18 años, (Tabla 14) muestra fuertemente colonizada hasta los 10 cm representando un 79,67% respecto al total de individuos identificados, y hasta los 20 cm llega a un 97,96%, contrastando con Pashanasi (2001) que identificó un 82% hasta los 20 cm de profundidad en su investigación.

4.2.2. Densidad de los grupos funcionales de la macrofauna edáfica

En esta investigación se pudo identificar que para los grupos funcionales de la macrofauna edáfica en tierras con palma aceitera de 18 años; en la Tabla 14 observamos que a

profundidades de 0 a 10 cm el orden Haplotaxida (lombriz de tierra) presentan mayor densidad 401 ind/m² representando un 41%, siguiendo los de orden; Himenóptera (hormigas) con densidad 100 ind/m² representando un 10.2%, Araneae (arañas) con densidad 75 ind/m² representando un 7.7%, Isóptera (termitas) con densidad 59 ind/m² representando un 6%, Isópoda (chanchito de humedad) con densidad 44 ind/m² representando un 4.5%.

Respecto a los grupos con menor abundancia, Coleoptera (larva de torito) con densidad 39 ind/m² representando un 4.0%, Blattodea (cucaracha) con densidad 31 ind/m² representando un 3.2%, Orthóptera (saltamontes) con densidad 14 ind/m² representando un 1.4%, Anura (sapo) con densidad 7 ind/m² representando un 0.7%, Pulmonata (caracol de tierra) con densidad 5 ind/m² representando un 0.5%, Hemíptera (chinche) con densidad 3 ind/m² representando un 0.3%, y lepidóptera (mariposa) con densidad 2 ind/m² representando un 0.2%, sumando casi el 10.3% entre los grupos de menor abundancia, acercándose a los determinados por Pashanasi (2001) y Cabrera et al., (2018) que, respecto a los grupos de minoría, estos investigadores definieron para sistemas tropicales de cultivos porcentajes que varían entre 11 a 15%, considerando algunas familias de hemípteros y larvas de coleópteros, como algunas familias de Araneae que se consideran depredadores.

De acuerdo con lo mencionado por (Anderson e Ingram, 1993), estos valores menores de abundancia en el estrato más profundo (20 a 30 cm) se dan a razón de que la macrofauna edáfica se encuentra en mayor proporción en los estratos que brindan las condiciones adecuadas para el óptimo desarrollo, por lo que un cambio del estado ambiental (físico químicas) de la tierra provocan la alteración de las poblaciones de los grupos edáficos. Por otro lado, Cristancho, et al., (2007) señalaron, entre los 20 y 30 cm de profundidad en tierras de cultivos con palma aceitera, podría haber compactación lo cual limitaría el desarrollo de raíces, además de disminuir la actividad biológica y número de poblaciones de los macroinvertebrados concordando con Arlen, et al., (2019).

Choca y Vega (2021) en suelos con palma aceitera en la zona de Esmeraldas determinaron la curva de abundancia de las familias de macroinvertebrados encontradas en los 30 primeros centímetros, habiendo notado el predominio de las familias Lumbricidae (lombrices de tierra) y Julidae (ciempiés); también observaron los grupos de menor abundancia de las familias Araneidae, Salticidae (arañas), Mecistocephalidae (milpiés), Pentatomidae (hemípteros),

Tabla 14. Distribución de la densidad de la macrofauna del suelo con palma aceitera de 18 años (ind.m2) en diferentes profundidades

Profundidad	Orden	Transecto				TOTAL	Promedio	Porcentaje %
		T1	T2	T3	T4	N° Ind/m2	Media Ind/m ²	
0 - 10 cm	Haplotaxida	71	125	120	85	401	100	41,0
	Himenóptera	31	8	14	47	100	25	10,2
	Coleóptera	5	22	8	4	39	10	4,0
	Araneae	11	17	46	1	75	19	7,7
	Hemíptera	1	0	2	0	3	1	0,3
	Lepidóptera	1	0	0	1	2	1	0,2
	Isóptera	0	25	34	0	59	15	6,0
	Blattodea	1	23	6	1	31	8	3,2
	Isópoda	16	3	25	0	44	11	4,5
	Orthóptera	1	3	10	0	14	4	1,4
	Anura	2	5	0	0	7	2	0,7
	Pulmonata	0	5	0	0	5	1	0,5
10 - 20 cm	Haplotaxida	20	4	41	5	70	18	7,2
	Himenóptera	19	23	8	0	50	13	5,1
	Coleóptera	0	1	5	0	6	2	0,6
	Araneae	6	6	4	0	16	4	1,6
	Hemíptera	0	0	0	0	0	0	0,0
	Lepidóptera	0	25	0	0	25	6	2,6
	Isóptera	0	1	2	0	3	1	0,3
	Blattodea	0	2	0	0	2	1	0,2
	Isópoda	1	0	0	0	1	0	0,1
	Orthóptera	2	2	2	0	6	2	0,6
	Anura	0	0	0	0	0	0	0,0
	Pulmonata	0	0	0	0	0	0	0,0
20 - 30 cm	Haplotaxida	4	1	9	0	14	4	1,4
	Himenóptera	0	0	0	0	0	0	0,0
	Coleóptera	2	0	3	0	5	1	0,5

Araneae	1	0	0	0	1	0	0,1
Hemíptera	0	0	0	0	0	0	0,0
Lepidóptera	0	0	0	0	0	0	0,0
Isóptera	0	0	0	0	0	0	0,0
Blattodea	0	0	0	0	0	0	0,0
Isópoda	0	0	0	0	0	0	0,0
Orthóptera	0	0	0	0	0	0	0,0
Anura	0	0	0	0	0	0	0,0
Pulmonata	0	0	0	0	0	0	0,0
Total (ind/m²)	195	301	339	144	979		100,0

y Coccinelidae, Elateridae y Elrotylidae (escarabajos). En la localidad de Santo Domingo, las familias Formicidae (hormigas) y Lumbricidae (lombrices de tierra) fueron las más abundantes, mientras que las familias de arañas (Agelaneidae, Sicariidae, Cosmetidae), Lampyridae y Staphylinidae del orden Coleoptera, y Acanthosomatidae del orden Hemíptera, presentaron una menor abundancia, con menos de 16 ind/m². Habiendo determinado en esta investigación los grupos de macrofauna en menor cantidad por debajo de los 10 ind/m², conformándose por las familias pertenecientes a los órdenes; Isópoda (Armadilliidae, Porcellionidae), Blattodea (Blattidae, Blableridae), Orthóptera (Acrididae, Grillotalpidae, Gryllidae, Tettigoniidae), Anura (Lissamphibia, Dendrobatidae), Pulmonata (Helicidae), Hemíptera (Pentatomidae, Reduviidae), Lepidóptera (Noctuidae, Lycaenidae) (Tabla 14).

4.2.3. Diversidad de macrofauna en suelos de palma aceitera de 18 años de plantación

En la Tabla 15, el suelo con cultivo de palma aceitera de 18 años reporto un índice de diversidad de Shannon – Wiener $H' = 1.699$ nats/ind., siendo estos valores de diversidad media. El índice de Simpson determinado es $D = 0.710$ este valor representa una dominancia alta, Respecto a la equidad de Pielou, las tierras con palma aceitera reportaron un índice de Equidad $J = 0.680$ que corresponde a valores de equidad media donde todas las especies representan abundancia media. Sabiendo Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 pertenece a condiciones en la que las especies son igual de abundante y el 0 indica la ausencia de uniformidad. (Magurran, 1991). Choca y Vega (2021) en suelos con palma aceitera encontraron valores de índice de Shannon Wiener $H' = 1,95$ y $2,26$ en las localidades de Esmeraldas y Santo Domingo respectivamente, habiendo expresado estos investigadores que los valores menores a 2 presentaban una baja diversidad de especies y mayores a 3 tienen una alta diversidad.

Este valor de diversidad con el índice de Shannon Wiener $H' = 1,699$ de significancia de valor medio (Tabla 15), es posible atribuirlo al uso del suelo, como también al tipo de empleo realizado en el cultivo, en este caso es un manejo convencional tal como lo asevera el propietario del fundo “Herrera”, también menciona que el proceso de recolección de frutos de palma se realiza con camionetas y/o camión de carga tipo “fuso”.

Al ser un sistema de cultivo agrícola convencional el propietario realiza la limpieza del área constantemente, por lo cual no se observa abundante cobertura vegetal, siendo que las acciones de limpieza de cobertura, influyen directamente en la presencia de macrofauna de la tierra por consiguiente en índice de diversidad a nivel de familias, además de influir en las parámetros fisicoquímicos de la tierra por el uso de fertilizantes, también se observó que en el terreno predominan pendientes bajas entre 0 a 1 %, con drenaje moderado.

Tabla 15. Diversidad de macrofauna en suelos de palma aceitera de 18 años de plantación.

Orden	Transecto				ni	Pi = (ni/N)	LN "Pi"	Pi * LN(Pi)	Pi ²
	T1	T2	T3	T4					
Haplotaxida	95	130	170	90	485	0,495	-0,702	-0,348	0,245
Himenóptera	50	31	22	47	150	0,153	-1,876	-0,287	0,023
Coleóptera	7	23	16	4	50	0,051	-2,975	-0,152	0,003
Araneae	18	23	50	1	92	0,094	-2,365	-0,222	0,009
Hemíptera	1	0	2	0	3	0,003	-5,788	-0,018	0,000
Lepidóptera	1	25	0	1	27	0,028	-3,591	-0,099	0,001
Isóptera	0	26	36	0	62	0,063	-2,759	-0,175	0,004
Blattodea	1	25	6	1	33	0,034	-3,390	-0,114	0,001
Isópoda	17	3	25	0	45	0,046	-3,080	-0,142	0,002
Orthóptera	3	5	12	0	20	0,020	-3,891	-0,079	0,000
Anura	2	5	0	0	7	0,007	-4,941	-0,035	0,000
Pulmonata	0	5	0	0	5	0,005	-5,277	-0,027	0,000
Número total de individuos (N):					979		Sumatoria		-1.699
							Pi*ln(pi):		
Número de especies:					12		Sumatoria Pi ²		0.289
Shannon - Wiener (H') en nats/individuo:									1.699
Diversidad de especies					Índice de Simpson (D)				0.711

D: índice de dominancia. E: equidad de Pielou (J)

Por lo tanto, la presencia de cobertura vegetal es asociada a la diversidad, e influye en las características y propiedades del suelo que conforman el hábitat de la macrofauna edáfica acorde a lo mencionado por Moran y Alfaro (2015) y otros investigadores.

Ríos (2023) definió la diversidad empleando el índice de Shannon Wiener en 4 parcelas de diferentes edades (1, 3, 5 y 7 años) y encontró menor diversidad en la parcela más antigua, con un $H' = 1,89$. Observó que la edad de plantación de *E. guineensis* influye en la calidad biológica de la tierra, concluyendo que un menor tiempo de cultivo se relaciona con un mayor número de individuos por orden y viceversa. Esto resulta consistente con los hallazgos de esta investigación (Tabla 15), pues en el cultivo de palma aceitera (*E. guineensis*) del fundo “Herrera” se registran 18 años de cultivo.

Ruiz, (2023) determino la diversidad en cuatro sistemas de producción obteniendo el índice de Shannon Wiener para el sistema de producción Bambú $H' = 0,6005$ para el sistema Aguaje $H' = 0,3446$, en el sistema mixto $H' = 0,4176$ y para el sistema Pastizal $H' = 0,4851$; siendo menores respecto a los valores encontrados en esta investigación ver Tabla 15, en la plantaciones de palma aceitera (*E. guineensis*) en el fundo “Herrera” de 18 años de plantación; respecto al índice de Simpson igual a $D' = 0,3328$ mostrándose mayor con respecto a los demás índices; para el sistema Aguaje $D' = 0,1563$, para el sistema mixto $D' = 0,2098$ y del sistema Pastizal $D' = 0,1799$. Respecto a esta investigación se determinó valor de $D' = 0,711$ siendo mayores en la plantación de palma aceitera ver Tabla 15.

Quiroz et al. (2021) determinaron en distintos sistemas agroforestales; el índice de diversidad de Shannon Wiener $H' = 2,73$ siendo más alto en el sistema CA: Café y árboles en épocas seca y lluviosa, y $H' = 1,44$ mínimo para el sistema CIE: Café, Inga, *Erithryna* y árboles. Para el caso de esta investigación realizada en suelos de Palma aceitera de 18 años de plantación se determinó el índice $H' = 1,691$ encontrándose dentro del rango encontrado por los investigadores referidos, ver Tabla 15.

Investigadores como Del Carmen et al. (2017) hicieron comparación de la macrofauna de la tierra en un procedimiento agroforestal, un potrero tradicional y un bosque latifoliado en la microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. El índice de Shannon (H') fue más alto en el sistema de bosque ($H' = 1,93$), seguido por el silvopastoril ($H' = 1,69$) y el potrero tradicional ($H' = 1,68$). Panduro (2013) determino índices de diversidad de Shannon Wiener (H') en distintos sistemas de empleo de tierra del BRUNAS en Tingo María, teniendo para sistema

Tornillal $H' = 1,47$ para sistema bambuzal $H' = 1,50$ para el pastizal $H' = 0,48$ para el sistema de bosque $H' = 1,31$ y para sistema de cacaotal $H' = 1,76$. Para el caso de esta investigación realizada en suelos de Palma aceitera de 18 años de plantación el índice determinado (Tabla 15) se encuentra entre los rangos encontrado por los referidos investigadores.

Ruiz, (2023) determino la diversidad alfa en cuatro sistemas de productividad obteniendo el índice Simpson igual a $D' = 0,3328$ para el sistema de producción de Bambú siendo mayor a los demás índices; para el índice de Shannon fue presentado el sistema de productividad de Bambú con 0,6005, siendo superior; respecto a esta investigación se determinó valor de $D' = 0,711$ siendo mayor en la plantación de palma aceitera ver Tabla 15.

Ríos, (2023) en su investigación determino respecto a la equidad de Pielou, que las tierras con palma aceitera de 4 parcelas con diferentes edades de 1, 3, 5 y 7 años reportaron rangos de 0,91 a 0,96 para el índice de Equidad (J) siendo cercanos a 1 mostrando así que todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1991), siendo para esta investigación menor el valor de equidad ver Tabla 15 ($J = 0,680$) correspondiendo a un valor de equidad media. Choca y Vega (2021) realizaron la prueba de similitud entre profundidades determinando que el valor más alto fue $J = 0,75$ entre la hojarasca y los primeros 10 cm de tierra, mostrando que estos dos niveles tienen el 75% (21 familias) de todas las familias de macroinvertebrados que se identificaron, siendo para los últimos 10 cm de profundidad (20 a 30) obtuvieron un menor valor del índice de Jaccard ($J = 0,38$).

Zambrano (2021) realizo la prueba de similitud en suelos de cultivo de plátano, a diferentes profundidades determinando que el valor más alto fue $J = 0,61$ entre la hojarasca y los primeros 10 cm de tierra, mostrando que estos dos niveles tienen el 61% a nivel de familias encontradas, además comparo las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm determinando $J = 0,52$, y obtuvo menor índice entre hojarasca y profundidades de 20 a 30 cm siendo $J = 0,31$.

Ruiz (2023) determinó la diversidad beta utilizando el índice de Jaccard en cuatro sistemas de productividad. Encontró que el sistema de Aguaje tenía una similitud de Jaccard de 0,500 con el sistema de Bambú. Además, el sistema de productividad mixto presentó una similitud de 0,500 con Bambú, y el sistema de Pastizal mostró una similitud de 0,250 tanto con Bambú como con el sistema mixto.

En esta investigación se determinó que al realizar la prueba de similitud entre las profundidades estudiadas siendo el valor de $J = 0,684$ a su vez, se considera este valor entre la

hojarasca y los primeros 10 cm de suelo, mostrando que estos dos niveles tienen el 79.7% (27 familias) de todas las familias de macroinvertebrados que se identificaron, asumiendo que para las profundidades (20 a 30) menor el valor del índice de Jaccard.

En tanto es sabido que la gran cantidad y diversidad de especies en los primeros niveles del suelo es debido a la disponibilidad de alimentos, contenido de humedad, temperatura, además de depender de los procesos ecológicos que cumplen los organismos en distintas profundidades de suelo (Vega et al., 2014).

Se destaca que el índice de diversidad se ve influenciada probablemente a razón de la cuantía de especies existente en el zona de evaluación correspondiente, asimismo, las labores culturales (manejo) y la aplicación de agroquímicos lleva a deteriorar la diversidad de macrofauna edáfica, como también se tiene que las etapas de erosión y desgaste de la tierra causa la pérdida del hábitat de la macrofauna. Ruiz, (2023) menciona también que el índice de Jaccard (J) es influenciada por las características del área en donde se ejecuta el estudio, y los factores como la humedad, temperatura, y características topográficas.

4.3. Calidad del suelo en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq.) utilizando los índices de calidad del suelo “ICS”.

En la Tabla 16, se muestra los valores de los Indicadores de Calidad del Suelo en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de 18 años en el fundo “Herrera” del centro poblado de Tananta, apreciándose que el mayor valor en el Sistema productivo es 0.83, conforme a la clasificación de calidad "Aceptable", es decir, la calidad de la tierra aproxima al carácter deseado según SAGARPA (2012), por cuanto a los valores de clasificación establecidos por Cantú et al. (2007) y Estrada et al. (2017) los valores determinados indican que se clasifican como de Muy alta calidad.

García et al., (2012) hizo mención que las propiedades de calidad se consideran como una herramienta utilizada para generar información y evaluar los efectos que generan el manejo convencional del cultivo sobre el suelo, siendo fundamental en la generación integral de la información en base a los índices de calidad del suelo “ICS”. Por su parte Sarmiento et al., (2018) menciona que estos índices constan de variables que permiten la evaluación de la situación del suelo utilizando las nociones estadísticas, tanto autores como Estrada et al., (2017) y Prieto et al., (2013) entre otros; hacen mención que los índices reflejan el efecto del manejo de suelo sobre la calidad de este, y las tendencias de las actividades agrícolas sobre la degradación del suelo. Los resultados (Tabla 16), indican clara tendencia de desgaste mínimo de la calidad con el empleo convencional del cultivo de palma aceitera, según SAGARPA (2012) la calidad del suelo es “Aceptable” por tanto este suelo no se encuentra amenazado, mostrando que los

indicadores de calidad se acercan a las condiciones deseables según esta Metodología de evaluación de la calidad de tierra. Reinoso (2018), encontró valores de calidad Alta en suelos de palma aceitera de edad de 12 años de plantación, habiendo integrado de forma cuantitativa cada parámetro estudiado, en función a lo establecido por Cantú et al. (2007), llegando a obtener el valor promedio de 0.67.

Tabla 16. Indicadores de Calidad del Suelo evaluado en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de 18 años de plantación

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor	Valor de corte (C)	Rn
pH*	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5	1,94
Conductividad eléctrica (CE) *	dS/cm	< 1	4.1	1,27
MO*	%MO	> 5	0.5	0,24
N*	%N	> 0.2	0.05	0,19
P*	ppm	> 5.5	0	0,66
K***	ppm	>78	117	2,17
Ca*	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Ca > 5	0	0,36
Mg*	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Mg > 0.3	0	1,16
Saturación de bases**	%	100	50	0,07
Saturación de aluminio***	%	10	50	0,50
Resistencia a la penetrabilidad****	Rp Kg/cm ²	<1.00	4	0,88
Densidad aparente*	g/cm ³	Da < 1.1	1.47	0,57
ICS				0,83
Clase de ICS-SAGARPA (2012) (0.80 < SUSS ≤ 0.95)				Aceptable
Clase de ICS- Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) (0,80 - 1,00)				Muy alta calidad

Fuente: SAGARPA (2012), **Cantú et al. (2007), *** Propuesto por el autor ****Acuña (2021)

A su vez Reinoso (2018), menciono también que al realizar un primer estudio de los valores normalizados estos mostraron que la plantación de palma no ha perjudicado la calidad del suelo considerablemente al haber encontrado una disminución de la calidad de “muy alta a alta”; al haber realizado el análisis de la calidad en suelo no intervenido cuyo valor fue de 1.0 considerado de muy alta calidad en estos suelos.

Coincidiendo con la metodología realizada por Reinoso (2018), se realizó una segunda iteración de los indicadores de calidad (Tabla 17), excluyendo los indicadores Nitrógeno, Fosforo y Potasio con el fin de definir la calidad real del suelo, dicha exclusión se realiza con el sustento de que los tres parámetros NPK en la tierra del cultivo de palma aceitera fue suministrado mediante la fertilización realizada por el propietario, teniendo en cuenta que en condición natural el valor es óptimo según lo demostrado por Reinoso (2018). Los resultados de la Tabla 17, indican clara tendencia de desgaste de la calidad con el empleo convencional de la plantación de palma aceitera, según SAGARPA (2012) la calidad del suelo es “Sensible” por tanto este suelo se encuentra amenazado, mostrando que los parámetros medios de los indicadores se calidad ocasionalmente se alejan de las condiciones óptimas deseables según esta Metodología de estudio de la calidad de suelo. Por lo que al excluir los indicadores NPK, la diferencia de los valores de ICS entre la primera y segunda interacción es relevante; lo cual evidencia que la tierra en el periodo de tiempo de la plantación sufrió una etapa de desgaste proceso de degradación en términos de calidad ambiental del suelo.

Tabla 17. Segunda Interacción de los Indicadores de Calidad del Suelo excluyendo NPK en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de 18 años de plantación.

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor	Valor de corte (C)	Rn
pH*	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5	1,941
Conductividad eléctrica (CE) *	dS/cm	< 1	4.1	1,268
MO*	%MO	> 5	0.5	0,239
Ca*	Cmol(+) kg ⁻¹	Ca > 5	0	0,361
Mg*	Cmol(+) kg ⁻¹	Mg > 0.3	0	1,157
Saturación de bases**	%	100	50	0,069
Saturación de aluminio***	%	10	50	0,496
Resistencia a la penetrabilidad****	Rp Kg/cm ²	<1.00	4	0,881
Densidad aparente*	g/cm ³	Da < 1.1	1.47	0,566
ICS				0,775
Clase de ICS-SAGARPA (2012) (0.65 < SUSS ≤ 0.80)				Sensible
Clase de ICS- Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) (0,60 - 0,79)				Alta calidad

Fuente: SAGARPA (2012), **Cantú et al. (2007), *** Propuesto por el autor ****Acuña (2020)

4.4. Correlación entre los indicadores de calidad del suelo en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq).

4.4.1. De las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, resistencia a la penetración del suelo) en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de 18 años de plantación.

La Tabla 18, muestra el estudio de estadísticos descriptivos general de los parámetros físicos estudiados teniendo las fracciones granulométricas de arena, limo, arcilla y, la Rp de la tierra, indicando diferencias la fracción arena, limo y la Rp. En la Tabla 18, se observar que la textura del suelo del cultivo con *E. guineensis* en la parcela estudiada están dentro de un suelo franco, tipo de suelo adecuado para su cultivo (Rivadeneira, 2014). Basándose a que en su mayoría estos suelos estudiados contienen menos del 27-25% de arcilla, siendo suelos idóneos para la agricultura, pudiéndose deducir que existe en dichos suelos en general una estructura granular laminar, concordando con lo mencionado por Rivadeneira, (2014) “Granular por su estructura franca, pero su bajo porcentaje de MO le confiere características laminares”.

Tabla 18. Estadísticos descriptivos de los indicadores físicos del suelo

Indicador	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	Varianza
Arena (%)	16	26	42	35,38	4,30	18,52
Arcilla (%)	16	21	27	25,31	1,78	3,16
Limo (%)	16	32	48	39,69	3,93	15,43
Rp (Kg.cm2)	16	1,35	1,37	1,36	,0052	,000
Da (g/cm3)	16	1,18	1,25	1,20	,0168	,000
N válido (por lista)	16					
Textura				Franco		

Navarro et al., (1995) la densidad es la relación entre la masa de la tierra (sólido) y el volumen total ocupado que incluye el espacio poroso, con la que podemos diferenciar el tipo de suelo donde se desarrolla el cultivo. Considerando la DA de la tierra estudiado se encuentra en rangos de 1,18 - 1,25 g/cm³, característicos de suelos Franco (Navarro, 2003). Las tierras arenosas generalmente tienen valores más altos de DA que van desde 1,35 a 1,85 g/cm³ (Jaramillo, 2003). Ríos (2023) afirmo en base a sus resultados de DA de las áreas estudiada con cultivo de *E. guineensis* de 7, 5 y 3 años fueron instalados en suelos francos y de 1 año en suelos arcillosos.

Al haber realizado el estudio de normalidad de los datos de los indicadores

físicos, y habiéndose determinado que los datos no presentaron distribución normal, en tanto se rechazó la Hipótesis nula H_0 , y se aceptó la hipótesis alterna H_a , por lo que se utilizó estadística no paramétrica y se realizó la correlación de Spearman, por tanto en base al planteamiento de las Hipótesis generales: para la hipótesis nula H_0 : $Rho \rho=0$ (no existe correlación entre la variable A y B), y para hipótesis alterna H_a : $Rho \rho \neq 0$ (existe correlación entre la variable A y B). Para la significancia como criterio decisivo se estableció que si $p < 0.05$ rechazamos H_0 , y aceptamos H_a y si $p > 0.05$ aceptamos H_0 , y rechazamos H_a .

Por lo tanto, se planteó las siguientes hipótesis para la hipótesis nula H_0 : $\rho=0$; no existe correlación entre la R_p y D_a ; y para hipótesis alterna H_a : $\rho \neq 0$; existe correlación entre la R_p y D_a . Se puede observar en la tabla 19. Al ser (sig.) $p < 0.05$ rechazamos H_0 , y aceptamos H_a , por tanto, la correlación es significativa, siendo directa es decir a menor D_a mayor Resistencia a la Penetración, siendo la relación alta ($=0.722$).

Con respecto a las correlaciones de la R_p frente a las fracciones granulométricas, Se puede observar en la tabla 19; al ser (sig.) $p > 0.05$ aceptamos H_0 , y rechazamos H_a , por tanto, no existe correlación según la significancia bilateral (p valor). Pero se observa una relación negativa muy fuerte entre R_p y arena (-,432), relación baja entre R_p y arcilla (,290), y relación regular entre R_p y Limo (,440), este último, evidencia que las fracciones de la tierra que definen la clase textural (franco) no son determinantes para el valor de la R_p , lo que indica puede aumentarse con el tiempo, independientemente de la clase textural del área de estudio.

Tabla 19. Correlaciones de los indicadores físicos del suelo

Rho de Spearman		Correlaciones				
		Rp (Kg.cm ²)	Da (g/cm ³)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
Rp (Kg.cm ²)	Coefficiente de correlación	1,000	,722**	-,432	,290	,440
	Sig. (bilateral)	.	,002	,095	,277	,088
Da (g/cm ³)	Coefficiente de correlación	,722**	1,000	-,368	,096	,456
	Sig. (bilateral)	,002	.	,161	,723	,076
Arena (%)	Coefficiente de correlación	-,432	-,368	1,000	-,289	-,955**
	Sig. (bilateral)	,095	,161	.	,278	,000

Arcilla (%)	Coefficiente de correlación	,290	,096	-,289	1,000	,066
	Sig. (bilateral)	,277	,723	,278	.	,809
Limo (%)	Coefficiente de correlación	,440	,456	-,955**	,066	1,000
	Sig. (bilateral)	,088	,076	,000	,809	.
	N	16	16	16	16	16

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Para las correlaciones de D_a y R_p , Arcilla, Arena y Limo, observamos en la tabla 19. Para la correlación D_a y R_p , $p < 0.05$ rechazamos H_0 , y aceptamos H_a , por tanto, la correlación es significativa, siendo directa, siendo la relación alta ($=0.722$). Con respecto a las correlaciones de la D_a frente a las fracciones granulométricas, $p > 0.05$ aceptamos H_0 , y rechazamos H_a por tanto no existe correlación entre D_a y fracciones granulométricas Arcilla, Arena y Limo, por lo cual no existen diferencias significativas (Tabla 19). Pero se observa una relación negativa muy fuerte entre D_a y arena ($-,368$), relación pequeña entre D_a y arcilla ($,096$) y relación baja entre D_a y Limo ($,456$).

En general siempre se usan como indicadores principales a la R_p y la textura (García et al., 2012), a razón de estar relacionados con la DA, porosidad, retención hídrica, aireación, drenaje, procesos de degradación y contenido de MO de la tierra (Camacho et al., 2017; FAO, 2009). Cabe mencionar que para un contexto diferente respecto al cultivo de palma aceitera; la R_p de la tierra, con respecto a la infiltración de las raíces, tal como determinaron en su investigación (Bengough y Mullins (1991), citados por Ríos (2023), demostraron una correlación directa entre la resistencia de la tierra a la infiltración y la infiltración de las raíces. Se sabe que el R_p indica el endurecimiento de la capa superficial (FAO, 2009); por lo que al incrementarse la R_p se infiere que aumenta la compactación (Orozco et al., 2016) y correspondientemente la DA, a razón de los variaciones producidos en los parámetros físicos de la tierra; por otra parte, también se reduce la porosidad (Demuner et al., 2013). Ríos (2023) determino valores de moderados a severos que ocasionarían restricciones para el enraizamiento de los cultivos estudiado en su investigación cuyas edades varían desde 1, 3, 5 y 7 años, a través del ANOVA de variables de resistencia a la infiltración del suelo, se demostró que las medias para cada tiempo de incubación eran iguales, basándose en un análisis estadístico con un nivel de confianza del 95%.

4.4.2. De las propiedades químicas del suelo (reacción del suelo o pH, materia

orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible) en el sistema productivo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de 18 años de plantación.

La Tabla 20, muestra el análisis de estadísticos descriptivos general de los indicadores químicos, mostrando las medias, desviación estándar y varianza.

Se puede observar que el **pH** muestra una media de 4,6 para los suelos estudiados, encontrándose en rangos de pH (4,30 a 5,30) sabiendo que el pH el indicador químico más importante que expresa la calidad de la tierra, con el aporte de información relevante de la fertilidad, debido a que su variación influye y lleva a cambiar de forma significativa la solubilidad de los minerales disponibles para los cultivos presentes en la solución (Tabla 20)

Tabla 20. Estadísticos descriptivos de los indicadores químicos del suelo

Indicador	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	Varianza
pH	16	4,30	5,30	4,6000	,29889	,089
CE (dS/cm)	16	,0148	,3220	,160675	,0643085	,004
MO (%)	16	,71	3,89	1,5763	,73741	,544
N (%)	16	,04	,20	,0788	,03693	,001
C (%)	16	,41	2,26	,9144	,42772	,183
P (ppm)	16	1,96	5,30	3,6631	1,05638	1,116
K (ppm)	16	30,00	58,65	44,7600	10,32900	106,688
Ca (Cmol+)/kg)	16	1,10	2,64	1,8070	,49663	,247
Mg (Cmol+)/kg)	16	,18	,55	,3471	,13140	,017
Kc (Cmol+)/kg)	16	,08	,15	,0971	,02320	,001
Na (Cmol+)/kg)	16	,03	,07	,0444	,01320	,000
Al (Cmol+)/kg)	16	1,17	1,72	1,4759	,16550	,027
H (Cmol+)/kg)	16	,22	1,59	1,1351	,48246	,233
CICe	16	4,33	5,67	4,9063	,42153	,178
BC (%)	16	32,00	65,00	46,3750	11,48260	131,850
AC (%)	16	35,00	68,00	53,6250	11,48260	131,850
SatAL (%)	16	24,00	35,00	30,1875	3,20871	10,296
N válido (por lista)	16					

Los rangos de pH del suelo en estudio, muestran valores de pH del suelo en inicios del proceso de acidificación (pH entre 4,0 a 6,5) que mayormente se dan en zonas características de altas precipitaciones, es cuando se produce el lavado de las bases y como resultado la tierra da inicio una fase de acidificación; por lo cual se liberan cantidades elevadas de aluminio y manganeso, que llegan a afectar las raíces a razón de la alta toxicidad que generan al ser absorbidas por las raíces, además de la fijación de fosfatos. Reinoso (2018) determino un pH de 5.6 siendo moderadamente ácido en suelo de Palma aceitera de 12 años, según la escala utilizada que fue planteada por González J., (2011). León y Martínez (2020) determinaron un pH moderadamente ácido pH=5.34 en suelo de Palma aceitera de 20 años de producción.

Para el resultado de esta investigación realizada en suelo de Palma aceitera de 18 años el valor de la media pH=4.6 se considera de Muy fuertemente ácido. Ríos (2023) determino que, de las cuatro parcelas estudiada de 1,3,5 y 7 años de plantación, tienen valores de pH entre 4.20 a 3.95 considerándose un nivel de pH extremadamente ácido, aseverando que casi todos los suelos de las áreas con cultivos de *E. guineensis* en la región San Martín puedan desarrollarse en dichos estados de pH.

Fassbender y Bornemisza (1987) indican que el pH óptimo para el progreso de plantaciones está entre 6.5 y 7.5, ya que valores fuera de este rango pueden causar problemas de toxicidad. Además, altas concentraciones de H^+ afectan la solubilidad, disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales para las plantas. Según SAGARPA (2012), un pH <4 provoca trastornos en el sistema radical debido a los efectos directos del H^+ , afectando así los ápices radiculares.

Del resultado de esta investigación se obtuvieron respecto a la conductividad eléctrica valores medios de CE= 0,1607 dS/cm, llegando a interpretar que es un suelo no salino, en tanto se considera que estos suelos estudiados están libres de sales, razón por la cual se puede desarrollar el cultivo de Palma como otros productos según Castellanos (2000); los valores menores a 1 dS/cm se consideran propicios para cultivar palma (Owen, 1995; Munévar, 2004) entre otros. Por otra parte, Reinoso (2018) determino conductividad eléctrica igual a 0.01382 dS/cm para suelos con Palma aceitera de 12 años; León y Martínez (2020) determinaron rangos de CE (103 y 120.15 uS/cm) en promedio 0,1115 dS/cm. para suelos con Palma aceitera de 20 años; refiriendo que el nivel de conductividad eléctrica es óptimo, a razón que los suelos arcillosos presentan una capacidad alta de adsorción iones, en comparación con los suelos arenosos según Pérez et al. (2017).

Los resultados de Materia Orgánica en promedio MO%=1,5763 para este indicador se interpreta que la tierra en estudio está en un nivel medio de MO según SAGARPA

(2012); es sabido que los niveles de MO son de vital importancia en la nutrición vegetal, influyendo tanto directa como indirectamente en la disponibilidad de los nutrientes, como también influyen en los parámetros físicos de la tierra (SAGARPA, 2012), principalmente en la estructuración del suelo, optimiza la retención de humedad, disminuye la erosión, y mejora la CIC de la tierra. Además, es claro que la MO se configura como un importante indicador debido a su función como: regulador del aluminio tóxico, en la retención de cationes, en la formación de complejos estables (Bravo et al., 2014), en la solubilización y adsorción; y además evita la erosión hídrica de los horizontes superficiales (Espinoza et al., 2011, Cortes et al., 2016). Reinoso (2018), determinó porcentajes bajos de Materia orgánica $MO\%=0.53$ para suelos con Palma aceitera de 12 años; a lo cual refirió que dichos valores se deben a los constantes desbroces realizados, como también en cultivos con edades avanzadas, la sombra de las hojas de palma hace lento el desarrollo de los arbustos y herbáceas; consecuentemente una baja presencia de hojarasca y a su vez una mínima restitución del material orgánico es mínima.

Ríos (2023), determinó valores promedio de MO entre 0.55% a 0.69% en cuatro parcelas de 1,3,5 y 7 años de palma aceitera; siendo que la de 7 años presentó el máximo %MO con 0,69%, y la parcela de 1 año el menor %MO con 0,55% considerados un nivel bajo o pobre de % de materia orgánica (Soil Survey Staff, 1993); Ríos (2023) refiere que dichos valores se obtuvieron debido al poco aporte de MO por parte de la especie, el poco incremento de MO en el abonamiento entre otros aspectos. León y Martínez (2020) determinaron rangos de %MO (2.73% y 4.86%) para suelos con palma aceitera de 20 años; considerando niveles de materia orgánica bueno u altos según SAGARPA (2012).

Los resultados de Nitrógeno Total en promedio $N\%=0,0788$ para este indicador se interpreta que el suelo en estudio se encuentra en un nivel bajo (Soil Survey Staff, 1993; SAGARPA, 2012); por su parte Ríos (2023) determinó para su parcela de 07 años de plantación del cultivo *E. guineensis*, un mayor nivel de N disponible en la tierra con 0.04%, y similares en las parcelas de 5 y 3 años, dichos valores indican un nivel bajo de contenido de N disponible según Soil Survey Staff (1993), siendo incluso valores menores a los determinados en este estudio (ver tabla 20). Al igual que Reinoso (2018) también determinó porcentajes bajos de nitrógeno $N\%=0.03$ para suelos con palma aceitera de 12 años; a lo cual asumió que la deficiencia registrada se debía a la falta de fertilización del área de cultivo para ese periodo de evaluación.

Los resultados de Fósforo en promedio $P(\text{ppm})=3,6631$ para este indicador se interpreta que el suelo en estudio se encuentra en un nivel bajo a muy bajo (Soil Survey Staff, 1993; SAGARPA, 2012) coincidiendo con lo reportado por González et al., (2011) determinaron un bajo nivel de Fósforo disponible (5,25 ppm) en suelos de 3 y 7 años, por otro lado, León y

Martínez (2020) determinaron rangos de P (5.25-35.42ppm) para suelos con Palma aceitera de 20 años; considerando niveles de bajos a medio (SAGARPA, 2012). Como también Ríos (2023) determino el mayor valor de P disponible con 6,30 ppm en la parcela de 7 años, definiendo que las parcelas de 1,3 y 5 años con 5,29 ppm también tendrían un nivel bajo de P disponible acorde a Soil Survey Staff (1993). En cuanto a Reinoso (2018) también determino P (ppm)=43.64 ppm para suelos con Palma aceitera de 12 años; refiriendo que el valor obtenido de fósforo se encontraba dentro de los rangos de niveles altos (SAGARPA, 2012) e idóneos en concordancia con lo establecido por Owen (1995) para el óptimo crecimiento del cultivo de palma de aceite. Arias y Munévar (2004) también determinaron valores altos de Fosforo en tierras con palma aceitera con edades de plantación de ente 5 a 15 años.

Los resultados de Potasio en promedio $K(\text{ppm})= 44,76 (0,11477 \text{ cmol/kg})$ para este indicador se interpreta que el suelo en estudio se encuentra en un nivel bajo a muy bajo (Soil Survey Staff, 1993; SAGARPA, 2012). Ríos (2023) determino el mayor promedio con 107.58 ppm en suelos con plantación de 7 años definiendo esto que es una tierra con niveles de K disponible muy bajo, según la Soil Survey Staff (1993). En cuanto a Reinoso (2018) también determino $K(\text{ppm})= 588.3\text{mg/kg}$ o ppm para suelos con Palma aceitera de 12 años; refiriendo que el valor obtenido de Potasio se encontraba dentro de los rangos de niveles medios concordando con Soil Survey Staff, (1993) y SAGARPA, (2012). León y Martínez (2020) determinaron rangos de K (5.25-35.42ppm) para suelos con Palma aceitera de 20 años; considerando niveles de bajos a medio (SAGARPA, 2012). Arias y Munévar (2004) también determinaron valores medios a bajos, en tierras con palma aceitera con edades de plantación de ente 5 a 15 años, mostrando el valor medio obtenido de 0,14 meq/100 g.

Respecto a las correlaciones (Tabla 21) previa al análisis se realizó el planteamiento general de Hipótesis, para correlaciones de los indicadores químicos, se planteó las siguientes: para la hipótesis nula $H_0: \rho=0$ (no existe correlación entre la variable A y B), y para hipótesis alterna $H_a: \rho \neq 0$ (existe correlación entre la variable A y B). Para la significancia como criterio tenemos que si $p < 0.05$ rechazamos H_0 , y aceptamos H_a y si $p > 0.05$ aceptamos H_0 , y rechazamos H_a .

Por lo tanto, se planteó las siguientes hipótesis para la hipótesis nula $H_0: \rho=0$ (no existe correlación entre los indicadores químicos como el pH y CE, %MO, %N, %C, P, K, Ca, Mg, Al, H, CICE, BC, AC, SatAL y con la ICS), y para hipótesis alterna $H_a: \rho \neq 0$ (existe correlación entre entre los indicadores químicos como el pH y CE, %MO, %N, %C, P, K, Ca, Mg, Al, H, CICE, BC, AC, SatAL y con la ICS). Determinándose que si existen correlaciones entre los indicadores químicos.

Se puede observar en la tabla 21. Siendo (sig.) $p < 0.05$ rechazamos H_0 , y aceptamos H_a , por tanto, la correlación es significativa, entre pH y Ca, Mg, H, CICE, BC, AC, y ICS siendo directa es decir a menor pH menor biodisponibilidad de los principales macronutrientes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , siendo la relación positiva de media a considerable alta Hernández et al. (2014), para ambos casos (ver tabla 21) entre otros macronutrientes como K^+ y P, esta condición facilita la solubilidad de elementos fitotóxicos como el aluminio y el manganeso, afectando la nutrición normal de las plantas. Con respecto a la correlación pH - H y AC es significativa inversamente proporcional, siendo una relación negativa media para ambos casos (ver tabla 21). Con respecto a la correlación pH - CICE y BC es significativa, siendo una relación positiva de media para ambos casos. Con respecto a la correlación pH - ICS no existe correlación (ver tabla 21).

Se muestra que los contenidos de MO en tierras estudiadas muestran correlaciones significativas con N, C y CICE, siendo una relación positiva perfecta para MO%-N y MO%-C, y una relación positiva media MO%-CICE (ver tabla 21).

Al conocer nuestros resultados de MO de niveles medios, se infiere que podría mostrar una tendencia de incremento en el tiempo, ya que es un sistema convencional de producción de palma aceitera de 18 años, en concordancia a lo determinado por Ríos (2023), quien determinó que las plantaciones de 1 año cuentan con menor valor de MO con respecto a la parcela de 7 años, en tanto por la edad del cultivo, valores altos se obtendrían a través del aporte de MO dependiendo de la especie, la poca suma de MO en el abonamiento y otros aspectos importantes para lograr resultados distintos, siendo también que la ubicación del cultivo cumple un rol necesario en el aporte de MO.

En otra perspectiva por ejemplo en áreas de pastoreo libre en 40 años han favorecido y mejorado los niveles de MO superando al suelo de Bosque nativo según lo reportado por Navarro et al., (2018); Silva et al., (2015) entre otros, enfatizando que es debido a que el sistema radicular de las gramíneas “pastos” abarcan mayor volumen de tierra en relación con los cultivos anuales. Reinoso (2018) menciona que los suelos con cultivo de palma con porcentaje bajo de materia orgánica son a razón de los constantes desbroces que se realiza y en los de edades avanzadas; ocasionando que la existencia de hojarasca en la tierra sea baja y por ende la restitución del material orgánico es mínima.

Entendiendo así que un mayor porcentaje de MO repercute en el contenido de fósforo disminuyéndola, como se sabe el P es muy importante por ser un nutriente primario, y es requerido en grandes cantidades por las plantas (Munera, 2014). y para el caso del contenido de nitrógeno lo aumenta por lo que se muestra en la Tabla 21, que existe una correlación

altamente significativa, siendo una relación positiva perfecta para MO%-N. Fassbender (1982), menciona que el clima influye en el contenido de nitrógeno de la tierra esta se ve influenciada por la temperatura y humedad, habiendo encontrado una relación inversa entre la temperatura y el contenido de nitrógeno.

La deficiencia de nitrógeno se asocia generalmente con suelos arenosos y bien drenados, que pierden nutrientes rápidamente (Zavaleta, 1974). Para el caso de la investigación se sabe que la textura es franca, teniendo una considerable concentración de Arena en promedio al 35% en los suelos de estudio.

Por otra parte, una vasta bibliografía indica que la concentración de MO es relacionada con la contribución vegetal de carbono, por su parte Sposito, (1989) adujo que al aumento del número de cultivos en sistema de rotación generan un rendimiento alto de biomasa, por lo cual en poca años el nivel de carbono será mayor, en el caso de esta investigación existiendo una relación positiva perfecta para MO%-C, se puede inferir que al ser un cultivo de 18 años ha ido incrementándose el nivel de carbono; en comparación a los primeros años del cultivo.

Potthast et al. (2010) señalan que la pérdida de MO afecta negativamente las características fisicoquímicas y biológicas del suelo. Esta investigación considera la MO como el indicador más sensible al manejo del suelo en cultivos de palma aceitera de 18 años.

Con respecto a los indicadores NPK, se observa (Tabla 21) que en los suelos estudiados muestra correlaciones significativas para N%-MO%, N%-C% y para N%-CICe, siendo una relación positiva perfecta para N%-MO% y N%-C, y una relación positiva media N%-CICe (ver tabla 21). Ríos (2023), determino al 95% de nivel de confianza que no existirá diferencia estadísticamente significativa para que confirmare que el tiempo de siembra de 1,3,5 y 7 años de plantación de los cultivos de *E. guineensis* fuese distinto a la variable N disponible en la tierra, mencionando que todos eran estadísticamente iguales.

En caso del P, se observa (Tabla 21) que en los suelos estudiados muestra correlaciones significativas para P(ppm)-CE, P(ppm)-K(ppm), P(ppm)-H, P(ppm)-BC%, y para P(ppm)-AC%, siendo una relación positiva media para P(ppm)-CE; relación negativa media para P(ppm)-K(ppm), relación positiva considerable para P(ppm)-H; relación negativa media para P(ppm)-BC% y una relación positiva media para P(ppm)-AC%. (ver tabla 21).

Ríos (2023), determino al 95% de nivel de confianza que existía diferencia estadísticamente significativa para que confirmare que el tiempo de siembra de 1,3,5 y 7 años de plantación de los cultivos de *E. guineensis* fuese distinto a la variable promedio de fósforo disponible en la tierra, mencionando que todos eran estadísticamente diferentes. En caso del K,

se observa (Tabla 21) que en los suelos estudiados muestra correlaciones significativas para K(ppm)- P(ppm); K(ppm)- Ca; K(ppm)- Mg, K(ppm)-H; K(ppm)- BC%; y K(ppm)- AC; siendo una relación negativa media para K(ppm)- P(ppm); relación positiva media para K(ppm)- Ca; relación positiva media para K(ppm)-Mg, relación negativa media para K(ppm)-H; relación positiva media para K(ppm)- BC%; y relación negativa media para K(ppm)- AC%. (ver tabla 21).

Tabla 21. Correlaciones de los indicadores químicos del suelo

Rho de Spearman		Correlaciones														
		pH	CE	MO%	N%	C%	P	K	Ca	Mg	Al	H	CICe	BC	AC	SatAL
pH	Coeficiente de correlación	1,000	,334	,379	,379	,379	-,011	,435	,710**	,607*	,146	-,521*	,652**	,632**	-,632**	-,436
	Sig. (bilateral)	.	,206	,147	,147	,147	,969	,092	,002	,013	,591	,039	,006	,009	,009	,092
CE	Coeficiente de correlación	,334	1,000	,424	,424	,424	,594*	-,053	-,075	-,226	,302	,271	,415	-,197	,197	-,065
	Sig. (bilateral)	,206	.	,102	,102	,102	,015	,846	,782	,399	,256	,310	,110	,463	,463	,811
MO%	Coeficiente de correlación	,379	,424	1,000	1,000**	1,000**	,148	,252	,309	,176	,317	-,024	,525*	,283	-,283	-,226
	Sig. (bilateral)	,147	,102	.	.	.	,585	,346	,245	,515	,232	,931	,037	,289	,289	,400
N%	Coeficiente de correlación	,379	,424	1,000**	1,000	1,000**	,148	,252	,309	,176	,317	-,024	,525*	,283	-,283	-,226
	Sig. (bilateral)	,147	,102	.	.	.	,585	,346	,245	,515	,232	,931	,037	,289	,289	,400
C%	Coeficiente de correlación	,379	,424	1,000**	1,000**	1,000	,148	,252	,309	,176	,317	-,024	,525*	,283	-,283	-,226
	Sig. (bilateral)	,147	,102	.	.	.	,585	,346	,245	,515	,232	,931	,037	,289	,289	,400
P	Coeficiente de correlación	-,011	,594*	,148	,148	,148	1,000	-,577*	-,439	-,427	,462	,702**	,200	-,607*	,607*	,188
	Sig. (bilateral)	,969	,015	,585	,585	,585	.	,019	,089	,099	,072	,002	,457	,013	,013	,486
K	Coeficiente de correlación	,435	-,053	,252	,252	,252	-,577*	1,000	,658**	,574*	-,116	-,681**	,391	,709**	-,709**	-,332
	Sig. (bilateral)	,092	,846	,346	,346	,346	,019	.	,006	,020	,668	,004	,134	,002	,002	,209
Ca	Coeficiente de correlación	,710**	-,075	,309	,309	,309	-,439	,658**	1,000	,637**	-,151	-,756**	,546*	,911**	-,911**	-,608*
	Sig. (bilateral)	,002	,782	,245	,245	,245	,089	,006	.	,008	,577	,001	,029	,000	,000	,012
Mg	Coeficiente de correlación	,607*	-,226	,176	,176	,176	-,427	,574*	,637**	1,000	,134	-,518*	,491	,672**	-,672**	-,189
	Sig. (bilateral)	,013	,399	,515	,515	,515	,099	,020	,008	.	,621	,040	,053	,004	,004	,483
Al	Coeficiente de correlación	,146	,302	,317	,317	,317	,462	-,116	-,151	,134	1,000	,512*	,455	-,404	,404	,600*
	Sig. (bilateral)	,591	,256	,232	,232	,232	,072	,668	,577	,621	.	,043	,077	,121	,121	,014

Continua.....																
H	Coeficiente de	,271	-,024	-,024	-,024	,702**	-,681**	-,756**	-,518*	,512*	1,000	-,029	-,891**	,891**	,469	
(Cmol(+)/kg)	correlación															
	-521*															
	Sig. (bilateral)	,039	,310	,931	,931	,931	,002	,004	,001	,040	,043	.	,914	,000	,000	,067
CICe	Coeficiente	,652**	,415	,525*	,525*	,525*	,200	,391	,546*	,491	,455	-,029	1,000	,329	-,329	-,396
	de correlación															
	Sig. (bilateral)	,006	,110	,037	,037	,037	,457	,134	,029	,053	,077	,914	.	,214	,214	,129
BC%	Coeficiente	,632**	-,197	,283	,283	,283	-,607*	,709**	,911**	,672**	-,404	-,891**	,329	1,000	-1,000**	-
	de correlación															,663**
	Sig. (bilateral)	,009	,463	,289	,289	,289	,013	,002	,000	,004	,121	,000	,214	.	.	,005
AC%	Coeficiente	-,632**	,197	-,283	-,283	-,283	,607*	-,709**	-,911**	-,672**	,404	,891**	-,329	-1,000**	1,000	,663**
	de correlación															
	Sig. (bilateral)	,009	,463	,289	,289	,289	,013	,002	,000	,004	,121	,000	,214	.	.	,005
SatAL	Coeficiente	-,436	-,065	-,226	-,226	-,226	,188	-,332	-,608*	-,189	,600*	,469	-,396	-,663**	,663**	1,000
%	de correlación															
	Sig. (bilateral)	,092	,811	,400	,400	,400	,486	,209	,012	,483	,014	,067	,129	,005	,005	.
ICS	Coeficiente	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	de correlación															
	Sig. (bilateral)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

P y K = (ppm); Ca, Mg, Al y H =(Cmol(+)/kg)

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

V. CONCLUSIONES

1. Se identificaron 12 órdenes de macrofauna en suelos con palma aceitera de 18 años, y 30 familias identificada entre los primeros 30 cm de profundidad del suelo en el cultivo de palma aceitera de 18 años de plantación en el fundo “Herrera” del centro poblado de Tananta.
2. La densidad poblacional total determinada fue de 979 ind/m² y con biomasa promedio de 32.34 g/m², predominando familias de invertebrados como las lombrices de tierra (Lumbricidae) y hormigas (Formicidae), con abundancia absoluta de 485 ind/m² y 150 ind/m² respectivamente. Del análisis de riqueza específica y biomasa para cada orden; los resultados mostraron una mayor proporción para los órdenes: Haplotaxida (485 ind/m² y biomasa de 16.02 g/m²); Himenópteros (150 ind/m² y biomasa de 4.96 g/m²). El índice de diversidad de Shannon-Wiener $H' = 1.699$ nats/ind; que representa un valor de diversidad media. El índice de Simpson $D = 0.710$ valor que representa una dominancia alta, el índice de equidad de Pielou $J = 0.680$ que corresponde a valores de equidad media, mostrando que las especies representan abundancia media.
3. El Índice de Calidad del Suelo determinado es $ICS = 0.83$, correspondiendo a una clasificación de calidad “Aceptable” SAGARPA (2012). Estos resultados nos indica que la calidad natural del suelo $ICS = 1.0$ ha disminuido de forma notable pasando de buena a una calidad aceptable (0.83) observándose la tendencia de degradación de la calidad del suelo con el manejo convencional de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq).
4. Se determino que existe correlaciones significativas entre los indicadores de calidad del suelo en estudio, con la prueba de normalidad se llegó a determinar la prueba estadística, siendo que los datos no presentaron distribución normal entonces nos llevo a rechazar la H_0 , y aceptar la H_a , por lo cual utilizamos estadística no paramétrica determinándose así el uso de la prueba de correlación de SPEARMAN.

VI. RECOMENDACIONES

1. Continuar con más investigaciones implementando otros parámetros de evaluación, para poder perfeccionar las técnicas de estudios de macrofauna e índices de calidad, considerando las condiciones y realidades de uso del suelo en nuestro país.
2. Implementar el Laboratorio de Suelos vivos, perteneciente a la carrera profesional de ingeniería en conservación de suelos y agua, tal como tiene el ICRAF; debiéndose establecer un área adecuada que cuente con las instalaciones pertinentes para los investigadores de esta línea de investigación de la ciencia del suelo.
3. Realizar investigaciones más detalladas en los suelos con cultivos de palma aceitera, con el fin de conocer el impacto sobre las propiedades fisicoquímicas que se generen sobre el suelo a diferentes edades de desarrollo del cultivo, y así definir estándares de degradación de este cultivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, G. (2021). Indicadores fisicoquímicos del suelo con manejo tradicional de cultivos en la comunidad nativa de Chambira Picota- San Martín, 2019. [Tesis posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/799baad3-8cdb-4001-bc47-84c5728501d7>
- Aguirre, H. 2013. Determinación de macrofauna en suelos de cafetales (*Coffea arabica* L.) en Santa Rosa Tealera, distrito Hermilio Valdizan. Tesis-UNAS. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1079/TS_MMHA_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Anchundia, M. (2015). Diversidad de la Macrofauna de los Suelos en dos Sistemas de Producción de Banano y Plátano en la zona de El Carmen y La Maná. Quevedo: Universidad Tecnológica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4617/1/T-UTEQ-042.pdf>
- Anderson, J., e Ingram, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods* (Segunda ed.). C.A.B International. <https://scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2164411>.
- Arce, Jorge. 2012. Palma aceitera, documento temático. Proyecto Microzonificación Ecológica y Económica del Área de Influencia de la Carretera Iquitos-Nauta, convenio entre el IIAP y DEVIDA. Iquitos - Perú
- Arias A., N. A., y Munévar M., F. (2004). Caracterización de la fertilidad de los suelos de la Zona Central palmera de Colombia. Palmas, 25(especial,), 135–147. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1076>
- Arlen, J., Abdul, R., Sabina, T., & Akoeb, E. (2019). Soil macrofauna in Oil palm plantation of Sei Liput. *Earth Environ Science*, 305. doi:10. 10.1088/1755-1315/305/1/012005.
- Asociación Interétnica de Desarrollo de la Amazonía Peruana (AIDSESP) (2016). “El aumento de cultivos de palma aceitera amenaza la Amazonia peruana”. <http://www.aidsep.org.pe/aumento-de-cultivos-de-palma-aceitera-amenaza-a-la-amazonia-peruana/>
- Avila-Salem, María, Urgiles Gómez, Narcisa, Lojan, Paul, Araujo, Salome. (2022). Microorganismos benéficos en suelos de ecosistemas naturales y agroecosistemas. https://www.researchgate.net/publication/360382326_Cap_9_Microorganismos_beneficos_en_suelos_de_ecosistemas_naturales_y_agroecosistemas
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R.F. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y

- sus indicadores. *Ecosistemas*, 13 (2), 90-97.
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=14>
- Bazán, D. (2015). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de la Provincia de Tocache 2016–2025. <http://siar.minam.gob.pe/sialtocache/download/file/fid/50924>
- Begon, M., Harper, J., y Townsend, C. (1995). *Ecología –Individuos, Poblaciones y Comunidades-*. Barcelona, España: Omega S.A.
- Bengough, O., Mullins, y Q. (1991). *Ecología y Cultura: Cambio ambiental, evolución biológica y evolución cultural*. Politeia, (28).
- Bernal, G. 2010. El desarrollo de la microbiología del suelo en la palma de aceite en Ecuador. *Palmas* 31 N° Especial (1): 226-233
- 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.
- Bravo, R., Arboleda, P. y Martín, P. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia. *Acta Agronómica*, 63(02), 164-174. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.39569>
- Bravo, V. (2011). Evaluación de consorcios simbióticos micorrízicos nativos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.), reproducidos como bioinoculantes para el estudio de su eficiencia en fase de vivero. Departamento de Ciencias de la Viva. Facultad de Ingeniería en Biotecnología, Escuela Politécnica del Ejército. Ingeniero en Biotecnología. Sangolquí, Ecuador. 98 p
- Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., Bueno, J., Moreno, A., Lavelle, P., Ordaz, V. Y Rodríguez, C. (2001). Diversidad de rol funcional de macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta zoológica mexicana (nueva serie)*. (1): 79 – 110. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57500006>.
- Bruulsema, T.W. 2002. Nutrients and product quality. p. 69-78. In *Plant Nutrient Use in North America*. PPI/PPIC/FAR Technical Bulletin 2002-1. Published by Potash & Phosphate Institute. ISBN # 0- 9629598-4-7.
- Brussaard, Lijbert; Ruitter, Peter y Brown, George. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 121. 233-244. 10.1016/j.agee.2006.12.013.
- Budd, W.W. (1992). What capacity the land? *J. Soil Water Conservation* 47: 28- 31 Buol, S.

- (1995). Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematic*.
- Cabrera, G. y López, G. (2018). Caracterización ecológica de la macrofauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El Salón, Sierra del Rosario, Cuba. *BOSQUE. (Valdivia)* 39(3): 363 – 373. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002018000300363>
- Cabrera, G., Robaina, N. y Ponce, D. (2011a). Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34 (3): 331-346. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942011000300008
- Cabrera, G., Robaina, N. y Ponce, D. (2011). Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34 (3): 313 -330. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942011000300007&lng=es&nrm=iso
- Camacho, T. J., Forero, C. N., Ramírez, L. L. y Rubiano, y. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1),5-18. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., y Schiviano, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia Suelo*. 25: 173-178
- Castellanos, R. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. México D:F : Ed. Intagri, 2000. https://www.intagri.com/public_files/Interpretacion-de-Analisis-de-Suelos-y-Aguas.pdf
- Castillo. P.E.A. (2015). Distribución de nutrientes, biomasa microbial y densidad de oligoquetos en suelos con diferentes edades de instalación de palma aceitera (*Elaeis guineensis*). [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1040>.
- Celis, R., Florida, N., y Rengifo, A. (2020). Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. *CIENCIA UNEMI*, 13(33), 1-9. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss33.2020pp1-9p>
- Choca D.E.J. y Vega R.J.L. (2021). Evaluación de la macrofauna del suelo en palma africana en las zonas de Santo Domingo y Esmeraldas. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. ESPESD. Sede Santo Domingo. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/25865>
- Clapperton, J. 2000. Creating healthy productive soil. In Congreso Nacional de AAPRESID.

- Mar del Plata, Argentina. 35-40 p
- Correira, M. y Oliveira, L. (2000). *Fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos*. (Documentos N° 112.). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Agrobiologia. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR20001597278>
- Cortes, P., Bravo, R., Martín, P. y Menjivar, F. (2016). Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agronómica* 65(3): 232-238
- Coyne, M. 2000. Microbiología del suelo: Un enfoque exploratorio. Madrid, España, Paraninfo.
- Cristancho R., J, Munévar M., F, Acosta G., Á, Santacruz A., L y Torres V., M. (2007). The Relationship between Edaphic Soil characteristics and the Development of the Root System in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). Fedepalma. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1201>
- Cronquist, A. y TakhtadzhíA N, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants. Columbia university press.
- Cunha, F. V. Da, Pereira, M. G., Leles, P. S. dos S., y Abel, E. L. da S. (2018). Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba - MG. *Ciência Florestal*, 28(1), 13–24. <https://doi.org/10.5902/1980509831569>
- Dammert B.J.L, Cárdenas C., Canziani E. 2012. Potenciales impactos ambientales y sociales del establecimiento de cultivos de palma aceitera en el departamento de loreto. Programa de Ciudadanía y Asuntos Socioambientales. <https://www.biofuelobservatory.org/Documentos/Otros/Potenciales-Impactos-Ambientales-y-Sociales-del-establecimiento-de-Cultivos-de-Palma-Aceitera-en-el-Departamento-de-Loreto.pdf>
- Daza, F. (2019). *Componente microbiológico (macro invertebrados) en el sistema de uso del suelo (Theobroma cacao L.) Cacao y (Guazuma crinita L.) Bolaina en el Fun.do Rosales*. Tingo María - Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1786>
- Decaëns, T; Lavelle, P.; Jiménez, J. J.; Escobar, G. ; Rippstein, G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal of Soil Biology*, (30): pp. 157– 168
- Del Carmen, A., Bartolomé, J., González, N. (2017) Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. *Rev. Ciencias Ambientales*. 22 (1): 39 – 49.

- Demuner, M. G., Cadena, Z. M., y Campos, M. S. (2013). Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1): 68-71. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000500012&lng=es&tlng=es
- Devine, G. J., Eza, D., Ogusuku, E. y Furlong, M. J. (2008). Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 25(1): 74-100
- Doran, J.W. y Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F. & Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, *Soil Science Society of America*, SSSA Special Publication, 35,3-21.
- Espinosa, M., Andrade, E., Rivera, P., y Romero, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*. 53 (4), 77-88. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40721572006>
- Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J. J., Navarro, H., y Etchevers, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>
- Fairhurst, T. y Hardter, R. (2012). *Palma de aceite: Manejo para Rendimientos Altos y Sostenibles*. Quito. Primera Edición. Editores IPNI, 404 p.
- FAO (2015). *Suelos y Biodiversidad*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. ISBN 978-92-5-307784-7. 33 p. <http://www.fao.org/3/i3361s/i3361s.pdf> .
- Fassbender, O., y Bornemisza, I. (1987). *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6801>
- Fassbender, H. (1982). *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 3ra reimpresión. IICA San José, Costa Rica. 422 p.
- Fragoso, C., Reyes, P. y Rojas, P. (2001). La importancia de la biota edáfica en México. *Acta zoológica mexicana (n. s.)*. (1): 1 – 10. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401842>
- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001
- Geissert, D., Barois, I., Mólgora, A., Mokondoko, P., Mass, K. y Manson, R. (2013). *Manual para el manejo sustentable del suelo en cafetales de sombra*. FORDECYT Y Café In Red.

https://www.researchgate.net/publication/328342454_Manual_para_el_manejo_sustentable_del_suelo_en_cafetales_de_sombra

- González P, A. (2011). efecto del cultivo de palma y pastizales sobre algunas propiedades de los suelos. *Fac. Agron. (LUZ)*. https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento_diciembre_2011/v28sup11a2011pa_478.pdf
- Halffter, G., Moreno, C.E., Pineda, E.O. 2001. Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. Manuales y Tesis vol. 2.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6.^{ta} ed.). Mc Graw Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. México. 632 p
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. Editorial IICA. Instituto interamericano de ciencias agrícolas.
- Huamán, J. H. (2021). Influencia de los sistemas de uso en la calidad de suelo sector Cora Cora distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2034>
- Huamán, M. y Barón, A. (2015). *Efecto de los sistemas productivos de café (coffea arábica. L) orgánico y convencional sobre los macroinvertebrados edáficos en el Caserío San Vicente, Distrito de Japelacio- San Martín 2014*. [Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/178>
- Huamanyauri, B. 2012. Macrofauna del suelo en diferentes usos de la tierra en sistemas ganaderos en el distrito de José Crespo y Castillo – Aucayacu. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/782>.
- Huerta, E y Col. (2008) Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados tierra Latinoamericana, Vol. 26, Núm. 2, abril-junio, México, pp. 171-181.
- Ibañez F., C.E., 2021. Tesis “Caracterización físico-química de suelos y contenido de nutrientes foliares y su relación con la incidencia de la pudrición de cogollo en palma africana (*Elaeis guineensis* jacq) en el municipio de zona bananera. Magdalena, Universidad de Córdoba Facultad de Ciencias Agrícolas Programa de Maestría en Ciencias Agronómicas Montería- Córdoba. Colombia.
- Jaramillo, J. (2000). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 613 p.
- Jiménez J.J.J.; Moreno, A.G; Decaëns, T; Lavelle, P; Pescador, Myles J.; Thomas, R.J. (2003).

- Las comunidades de lombrices en las sábanas nativas y en los pastizales introducidos de los Llanos Orientales de Colombia. En: Jiménez Jaén, Juan José; Thomas, Richard J. (eds.). El arado natural: Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. p. 57-75. (Publicación CIAT n° 336)
- Jones, C., Lawton, J., Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* (69): 373 - 386.
- Lavelle, P. 2000. Desafíos Ecológicos para la Ciencia del Suelo. *Ciencia del suelo* 165(1);, https://journals.lww.com/soilsci/abstract/2000/01000/ecological_challenges_for_soil_science.9.aspx
- Lavelle, P., Dangerfield, C., Fragoso, V., & Eschen, M. (1994). The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. Chichester: Woomer, P. y Swift, M.
- Leon Florez, B y Martinez Quintero, J. (2020). Impacto del uso y manejo del cultivo de palma de aceite sobre la calidad del suelo en la Vereda Astilleros, Municipio el Zulia Norte de Santander. Universidad Francisco de Paula Santander. <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/3988>
- Loli, O. 2012. Guía técnica; Análisis de suelo y fertilización en el cultivo de palma aceitera. Universidad Nacional Agraria La Malina - Agrobanco. Lima- Perú.
- Magurran, E. 1991. Diversidad ecológica y su medición. 1 era Edición. Ediciones Vedra. Barcelona. España. 200 p.
- Maldonado, L., V. Bravo, R. Morales and G. Bernal. 2013. Native mycorrhizal association in oil palm (*Elaeis guineensis*) in Ecuador and evaluation of colonization efficiency in nursery palms. *ASD Oil Palm Papers* 41: 23-26
- Maldonado, L., R. Morales, G. Bernal y I. Alcocer. 2008. Estudio del comportamiento de las asociaciones micorrízicas en el material germoplásmico de palma aceitera en Ecuador. En: J. Espinosa (ed). Memorias del XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador.
- Martínez Ortega, Rosa María, Tuya Pendás, Leonel C, Martínez Ortega, Mercedes, Pérez Abreu, Alberto, & Cánovas, Ana María. (2009). EL COEFICIENTE DE CORRELACION DE LOS RANGOS DE SPEARMAN CARACTERIZACION. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2) Recuperado en 18 de junio de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&tlng=es.
- Meza M., Castro C., Pereira K., y Puga G. 2017. Indicadores para el monitoreo de la calidad

- del suelo en áreas periurbanas. valle de Quillota, cuenca del Aconcagua, Chile. *Interciencia* 2017; 42 (8): 494-502. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/494.pdf>
- Millar, C. E.; Turk, L. M.; Foth, H. D. 1971. *Fundamentos de la Ciencia del Suelo*. 562 P.
- Moran, J., y Alfaro, F. (2015). *Diversidad de macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de Moringa oleifera Lam. (Marango) en la finca Santa Rosa, UNA*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/3203/>
- Mostacedo, B. 2000. *Manual de métodos básicos en muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz, Bolivia. El país.
- Munera V.G. (2014). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. <https://hdl.handle.net/11059/5248>
- Munévar M., F. (2004). Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para nuevas siembras de palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 25(especial,), 148–159. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1077>
- Navarro, V. L., Florida, R. N. y Navarro, V. M. (2018). Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso. *Livestock Research for Rural Development*. 30, Article #137. <http://www.lrrd.org/lrrd30/8/nelino30137.html>
- Navarro, B. y Navarro, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda edición. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 487p.
- Navarro, O. (2003). Architectural features of agricultural habitats and their impact on spider inhabitants. *Journal of Arachnology* 27:371-377.
- Navarro Pedreño, J., Moral Herrero, Gómez Lucas y Mataix Beneyto., (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. Alicante. España, 108p.
- Navia, J. (2003). *Impacto de los diferentes sistemas de uso de la tierra sobre la biota del suelo en el departamento del Cauca. Palmira, valle del Cauca*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, escuela de postgrados.
- Ortega, D. 1995. Consideraciones Generales para Interpretar Análisis de Suelos. En: *Suelos de Colombia, origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Canal Ramírez Antares Ltda. Bogotá. p. 423.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2020). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades químicas del

Suelo.<http://www.fao.org/soilsportal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos 4^o edición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Orozco, CAL; Valverde, FMI; Martínez, TR; Chávez, BC y Benavides, HR 2016. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con manzano biofertilizado. *Tierra Latinoam.* 34:441-456. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00441.pdf>
- Owen B., E. J. (1995). Estado de las principales características físico-químicas de los suelos palmeros de la región de la Orinoquia. *Palmas*, 16(2), 25–30. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/469>
- Owen B., E. J., y Gómez C., P. L. (1993). Estudio de las principales características fisicoquímicas de los suelos palmeros de la región valles interandinos. *Palmas*, 14(4), 27–34. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/389>
- Panduro Gonzales, 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. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1060>
- Pardo, L., y Ocampo, N. (2019). Contexto actual del impacto ambiental de la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 40(3), 79-88.
- Pardo, L., Vélez, F., y Sevilla, E. (2006). Abundancia y biomasa de macroinvertebrados edáficos en la temporada lluviosa, en tres usos de tierra, en los andes colombianos. Colombia: Universidad del Valle.
- Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Rev. Folia amazónica*. 12(1-2): 75- 97. <https://revistas.iiap.gob.pe/index.php/foiaamazonica/article/view/126>.
- Patiño, M., Espinosa, J., Rueda, D., Gallardo, V., and Gooty, J. (2017). Effect of the conventional and organic fertilization on fruting efficiency and on evolution of the edaphic macrofauna in banana cultivars. *Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc.*, 19(3), 1-8.
- Pérez Rosales Alejandro, Galvis Spínola Arturo, Bugarín Montoya Rubén, Hernández Mendoza Teresa Marcela, Vázquez Peña Mario Alberto, y Rodríguez González Agustín. 2017. «Capacidad de Intercambio catiónico: Descripción del método de la Tiourea de Plata (AgTUⁿ)». *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 8 (1). México, ME:171-77.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80>.

- Pichardo, G. B. (2006). La revolución verde en México. *Agraria*, São Paulo, 4(1), 40-68.
<https://www.revistas.usp.br/agraria/article/download/121/121/0>
- Plan de Desarrollo Regional Concertado San Martín al 2030. (PDRC, 2018) Gobierno Regional San Martín Calle Aeropuerto N° 150 - Barrio de Lluyllucucha, Dpto. de San Martín – Perú. <http://www.regionsanmartin.gob.pe/>
- Potapov, A., Klarner, B., Sandmann, D., Widayastuti, R., and Scheu, S. (2019). Linking size spectrum, energy flux and trophic multifunctionality in soil food webs of tropical land-use systems. *Jr. Anim Ecol.*, 1845-1859. doi:10.1111/1365-2656.13027
- Potthast, K, Hamer, U y Makeschin, F. Impact of litter quality on mineralization processes in managed and abandoned pasture soils in Southern Ecuador. 2010, *Soil Biology and Biochemistry* , págs. 56-64. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.09.025
- Price, W. P. (1988). An overview of organismal interactions in ecosystems in evolutionary and ecological time. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2:269- 377.
- Prieto, J., Prieto, F., Acevedo, O. A., y Méndez, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ics) Cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 83-91. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43726204013>
- Quintana, V. (2018). Radiosensibilidad de CAFÉ (*Coffea arabica* L. var. Typica) aplicado con radiación gamma. [Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de la Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3721>
- Quintana, J. O.; Blandón, J.; Flores, A.; Mayorga, E. (1983). Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Ithaca, Nueva Yor. Residencial Las Mercedes N° 19-A. Managua, Nicaragua. 60p.
- Quiroz M, C. R., Castellón, J. D., Cea Navas, N. E., Ortiz, M. S., y Zuniga-Gonzalez, C. A. (2021). Caracterización de la macrofauna edáfica en diferentes sistemas agroforestales, en el Municipio de San Ramón, Departamento de Matagalpa, Nicaragua. *Rev Científica Nexo*. 34 (2): 572-582. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i02.11542>
- Ramírez, W. (1999). Estimating sample size for inference about the Shannon- Weaver and the Simpson indices of diversity. *For. Ecol. Manage.* 78, 1- 3, 71-84.
- Ramirez, R. 1997. Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos. Boletín informativo. Colombia. 24p. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>.
- Reinoso M, J.E. (2018). Análisis de la calidad ambiental del suelo de la plantación de palma africana (*Elaeis guineensis*) en la parroquia San Carlos, cantón Joya de los Sachas,

provincia de Orellana. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10555>

- Recalde, F. y M. Calvache. 2009. Importancia de la aplicación de raquis en el manejo de la corona del cultivo de palma aceitera: su efecto en la absorción del potasio. *Revista ANCUPA* 4: 1-11.
- Rendón, J et.al. (2010). Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pasto y Aguacate. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 64(1):5793-5802.
- Reyes, P. y Torres. J. (2009). Diversidad, distribución, riqueza y abundancia de conductos de aguas profundas a través del archipiélago patagónico austral, Cabo de Hornos, Islas Diego Ramírez y el sector norte del paso Drake. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(1): 243-251. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100025>
- Reyes, R., Peña, E.A., Belalcázar, S. 2005. Todo sobre palma de aceite. Preguntas y respuestas sobre el cultivo de palma de aceite. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Colombia. 20 p.
- Rios T.W. (2023). Efecto del tiempo de cultivo de *Elaeis guineensis* (palma aceitera) en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el distrito pólvora región San Martín (Universidad Nacional Agraria de la Selva). <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2565>
- Rivadeneira, Julio. 2014. Nutrición y fertilización mineral de palma aceitera en la Concordia - Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://www.iniap.gob.ec/web/wp-content/uploads/2017/05/10.-EXPOSICION-Y-FERTILIZACION-MINERAL-DE-PALMA-ACEITERA.pdf>.
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *RIC*. 4(Nº especial), 101-105.
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista De Iniciación Científica*, 4, 101-105. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>
- Rosas, P. G., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742
- Ruiz, R. (2015). Evaluación e identificación preliminar de la macrofauna asociada al cultivo de Piña (*Ananas Comosus*) en localidad de Poroto. *Tecnología y desarrollo* 13(1): 041 – 046. <https://1library.co/document/y8195gwz-evaluacion-cacion-Preliminar-macroFauna-aso-ciada-cultivo-comosus-localidad.html>

- Sainz R, H., Echeverria, H.E., Angelini, H. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del Suelo*. 29:29-37
- Sánchez, D. 2018. Evaluación de la macrofauna del suelo en cuatro diferentes sistemas de uso, en el distrito las Piedras, provincia de Tambopata, departamento Madre de Dios – UNAMAD. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/348>.
- Sánchez, J. 2007. Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A. 19 p.
- Sarmiento, E., Fandiño, S., y Gómez, L. (2018). Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática. *Ecosistemas*. 27(3), 130-139. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- SAGARPA. (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo*. https://www.fao-evaluacion.org.mx/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf
<https://www.agricultura.gob.mx/material-de-referencia/sagarpa-2012>
- Silva, B. C, Teixeira, R. B., Wendling, B. y Alves, C. D. (2015). Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. *Rev. Ambient. Água*. 10(01): 660-675.
<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n3/1980-993X-ambiagua-10-03-00660.pdf>
- Soil Survey Staff. (1993). Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Solsol, E. (2018). La recuperación de suelos degradados ex cicales por procesos naturales en periodos de abandono en 5, 10, 15, 20 años en el distrito de Mariano Dámaso Beraun - 2018. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva].
https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1468/SRE_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Soto D. H, 2015 “Efecto de tres niveles de fertilización con NPK en una plantación establecida de palma aceitera (*Elaeis guineensis*, jacq) en Aguaytía” - [Tesis pregrado. Universidad Nacional de Ucayali - Facultad de Ciencias Agropecuarias - Escuela Académico Profesional de Agronomía. Pucallpa-Perú].
<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2281>.
- Souza, S., Cassol, P., Baretta, D., Bartz, L., Klauberg, O., Mafra, A. y Rosa, M. (2016). Abundance and Diversity of Soil Macrofauna in Native Forest, Eucalyptus Plantations, Perennial Pasture, Integrated Crop-Livestock, and No-Tillage Cropping. *Revista brasileira de ciencia do solo*. 1-14. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150248>
- Sposito, G, (1989). La química de los suelos. Universidad de Oxford. Nueva York, Estados Unidos, 273 p.

- Tuesta, S. M.K. 2015. Evaluación de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el distrito de nuevo progreso. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1091/TS_MKTS_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y,
- Velásquez, J. 2003. El suelo. Boletines Técnicos. N° 1. Proyecto subsectorial de irrigación. 19 p. http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_boletines_el_suelo.pdf.
- Vega, M., Herrera, R., Rodríguez, G., Sánchez, S., Lamela, L., & Santana, A. (2014). Evaluación de la macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril en el Valle del Cauto, Cuba. Cuba: Revista Cuba de Ciencia Agrícola.
- Wellington, J. 1995. Abundancia, Distribuição Vertical e Fenologia da fauna de arthropoda de uma região de agua mista, próxima de Manaus, am. Brasil.
- Wooding, G. 1967. Los Suelos, Su Origen, Constitución y Clasificación, Ediciones Omega S.A. Barcelona. McGraw-Hill Interamericana quintaedición 2005 impreso en México. 731- 739 p.
- Zambrano Z. A.A. (2021). Evaluación de la macrofauna del suelo en plátano en las zonas de Santo Domingo y Esmeraldas. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. ESPESD. Sede Santo Domingo. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/25864>.
- Zavaleta, M. y Gonzales, J. (2019). Macrofauna y propiedades fisicoquímicas del suelo de cultivos de (*coffea arábica* l.), Moyobamba (Perú). *Conocimiento para el desarrollo*. 9(1): 121 – 128.
- Zavaleta, A. (1974). Descripción morfológica y los datos fisicoquímicos de algunos perfiles de suelo. En Contribución al conocimiento de los suelos del Perú Rijks universiti Gent, Bélgica
- Zerpa, G. (2006). Acción del pisoteo de la hacienda sobre la estabilidad estructural de un suelo. En: IV Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo y Reunión Internacional de Rhizosfera. 2 p. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1315/zerpaagrarias2-06.pdf

ANEXOS.

Tabla 22. Interpretación de resultados del cálculo de la densidad aparente (DA)

DA(g/cm ³)	Tipos de suelo
<1.00	Orgánicos y volcánicos
1.00-1.19	Minerales:
1.20-1.32	Arcilloso
>1.32	Franco
	Arenoso

Fuente: Navarro, (2003)

Tabla 23. Clasificación del suelo según la densidad aparente.

Densidad aparente (g/cm ³)	Clasificación
< 1.0	Muy bajo
1.0 - 1.2	Bajo
1.2 - 1.45	Medio
1.45 - 1.60	Alto
> 1.60	Muy alto

Fuente: Cairo (1995)

Tabla 24. Resistencia a la penetrabilidad del suelo

Kg/cm ²	Nivel
<1.00	Muy suave
1,00 – 2,00	Suave
2,00 – 3,00	Duro
3,00 – 4,00	Muy duro
>4,00	Extremadamente duro

Fuente: Acuña (2020)

Tabla 25. Escala de resistencia a la penetración del suelo

RP(Mpa)	Condición
0≤RP≤0.9	Sin restricciones
0.9<RP≤1.14	Leves restricciones
1.14<RP≤2.0	Moderadas a severas restricciones
RP>2.0	Restringido para el enraizamiento

Fuente: Zerpa (2006)

Tabla 26 Conductividad eléctrica

Conductividad eléctrica (dS/m)	Características
0-2	Los efectos de las sales sobre los cultivos son despreciables
2-4	El rendimiento en cultivos muy sensibles puede ser afectado
4-8	El rendimiento de muchos cultivos se reduce
8-16	Solo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
Mas de 16	Solo algunos cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente

Fuente: (IGAC, 2006)

Tabla 27. Rangos de la conductividad eléctrica

Grado de salinidad	C.E (Us/cm)
No salino	0.0 - 2.0
Ligeramente salino	2.1 - 4.0
Moderadamente salino	4.1 - 8.0
Fuertemente salino	8.1 - 16.0
Muy fuertemente salino	> 16.0

Fuente: Junta de Extremadura, (1992)

Tabla 28. Niveles de pH del suelo

Nivel	pH
Fuertemente ácidos	<5,00
Medianamente ácidos	5,00 – 6,50
Neutros	6,50 – 7,30
Medianamente alcalinos	7,30 – 8,50
Fuertemente alcalinos	≥8,50

Fuente: SAGARPA (2012)

Tabla 29. Niveles de MO del suelo

Nivel	% MO
Muy bajo	MO < 0,50
Bajo	0,50 ≤ MO < 1,50
Medio	1,50 ≤ MO < 3,50
Alto	3,50 ≤ MO < 6,00

Fuente: SAGARPA (2012)

Tabla 30. Clasificación del suelo de acuerdo con el nitrógeno total.

Rango en %	Clasificación
< 0.07	Pobre
|	Medio
> 0.15	Alto

Fuente: Quintana (1983)

Tabla 31. Niveles de fosforo en el suelo

Categoría	P (ppm)
Bajo	< 5,50
Medio	5,50-11,00
Alto	≥11,00

Fuente: SAGARPA (2012)

Tabla 32. Clasificación del suelo por el contenido de fosforo disponible.

Rango (ppm)	Clasificación
< 10	Pobre
10 - 20	Medio
> 20	Alto

Fuente: Quintana (1983)

Tabla 33. Clasificación del suelo por el contenido de potasio disponible.

Rango (ppm)	Clasificación
< 78.2	Pobre
78.2 - 117.3	Medio
>117.3	Alto

Fuente: Quintana (1983)

Tabla 34. Niveles de K+ en el suelo

Nivel	K (Cmol(+) kg-1)
Muy bajo	<0,20
Bajo	0,20 – 0,30
Medio	0,30 – 0,60
Alto	≥0,60

Fuente: SAGARPA (2012)

IDENTIFICACIÓN DE MACROFAUNA



Figura 12. Su Orden: Haplotaxida. Familia: Lumbricidae, Nombre común: Lombriz de tierra.



Figura 13. Orden: Hirnenoptera, Familia: Formicidae, Nombre común: Hormiga



Figura 14. Orden: Coleoptera, Familia: Scarabaeidae, Nombre comun: Larva



Figura 15. Orden: Arachnida, Familia: Lycosidae, Nombre Comun: Araña



Figura16. Orden: Arachnida, Familia: Linyphiidae, Nombre comun: Araña



Figura 17. Orden: Arachnida, Familia: Pisauridae, Nombre Comun: Araña



Figura 18. Orden: Arachnida, Familia: Tetragnathidae, Nombre comun: Araña



Figura 19. Orden: Arachnida, Familia: Pholcidae, Nombre comun: Araña



Figura 20. Orden: Arachnida, Familia: Theridiidae, Nombre comun: Araña



Figura 21. Orden: Lepidoptera, Familia: Limacodidae, Nombre: Sibine Sp. Nombre Comun: Sibine, Monturita



Figura 22. Orden: Isoptera, Familia: Termitidae, Nombre común: Comejen



Figura 23. Orden: Blatodea, Familia: Blateridae, Nombre Comun:Cucacacha



Figura 24. Orden: Isópoda, Familia: Armadilliidae, Nombre común:Chanchito de humedad



Figura 25. Orden: Anura, Familia: Lissamphibia, Nombre científico: Sapo



Figura26. Orden: Pulmonata, Familia: Helicidae, Nombre Común

PANEL FOTOGRAFICO



Figura 27. Colocación del letrero de la Tesis en el Fundo Herrera en la hectárea de palmera.



Figura 28. Palma Aceitera de 18 años



Figura 29. Midiendo la profundidad de 10 centímetros del cubo de tierra.



Figura 30. Recolección de la macrofauna en los 10 centímetros de profundidad.



Figura 31. Midiendo los 20 centímetros de profundidad.



Figura 32. Recolección de macrofauna de los 20 centímetros de profundidad.



Figura 33. Midiendo la profundidad de 30 centímetros.



Figura 34. Recolección de macrofauna en los 30centímetros de profundidad.



Figura 35. Colocación de alcohol en los envases de plásticos con la macrofauna encontrada.



Figura 36. Enumeración de los envases de plásticos con la macrofauna según el subtransecto realizado.



Figura 37. Recolección de muestras de suelos por cada centímetro.



Figura 38. Recolección de la macrofauna y muestras de suelos.



Figura 39. Extracción del suelo para la recolección de macrofauna y muestra de suelo



Figura 40. Recolección de macrofauna



Figura 41. Recolección de la macrofauna



Figura 42. Letrero de mi tesis en el área de cultivo de Cacao



Figura 43. Extrayendo el suelo del área con cultivo de cacao.



Figura 44. Recolectando macrofauna dentro del área con cultivo de cacao.



Figura 45. Secando las muestras de suelos de cada transecto.



Figura 46. Tamizando la muestra de suelo seco.



Figura 47. Pesando 1kg por muestra de suelo.



Figura 48. Muestras de suelos seco por cada transecto.



Figura 49. Muestras de macrofauna en el laboratorio



Figura 50. Identificando el orden y la familia de la muestra de macrofauna.



Figura 51. Muestra de macrofauna del fundo Herrera



Figura 52. Con la ayuda de mi coasesor Blgo. M. Sc. José Luis Gil Bacilio estamos identificando su clasificación taxonómica de la muestra de macrofauna

