

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



**EFFECTO DEL ESCOBAJO EN LAS PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y
BIOLOGICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO (*Elaeis guineensis*, jacq) PALMA
ACEITERA, DISTRITO NESHUYA, PROVINCIA PADRE ABAD - UCAYALI**

Tesis

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

PRESENTADO POR:

DANIEL VILLACORTA JARA

Tingo María – Perú

2026



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 023-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 20 de noviembre de 2025, a horas 06:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EFECTO DEL ESCOBAJO EN LAS PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO (*Elaeis guineensis, jacq*) PALMA ACEITERA, DISTRITO NESHUYA, PROVINCIA PADRE ABAD - UCAYALI

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

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

Tingo María, 18 de febrero de 2026

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
PRESIDENTE

Ing. MSc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
MIEMBRO



Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

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

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 089 - 2026 - CS-RIDUNAS

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

CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Table with 2 columns: Tipo de documento, Tipo de documento. Row 1: Tesis, X, Trabajo de Suficiencia Profesional

Table with 4 columns: TÍTULO, AUTOR, SIMILITUD, CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL. Row 1: EFECTO DEL ESCOBAJO EN LAS PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO (Elaeis guineensis, jacq) PALMA ACEITERA, DISTRITO NESHUYA, PROVINCIA PADRE ABAD - UCAYALI, DANIEL VILLACORTA JARA, 15 % Quince, Menor a 20 %

Tingo María, 20 de marzo de 2026.

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

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



EFFECTO DEL ESCOBAJO EN LAS PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y
BIOLOGICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO (*Elaeis guineensis*, jacq)
PALMA ACEITERA, DISTRITO NESHUYA, PROVINCIA PADRE ABAD –
UCAYALI

Autor : Daniel Villacorta Jara

Asesor : Ing. MSc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo

Programa de Investigación : Ciencias Básicas

Grupo de Investigación : Ciencias Básicas

Línea (s) de Investigación : Física y química de suelos

Lugar de Ejecución : Distrito Neshuya - Ucayali

Financiamiento : Propio

Duración : 6 meses

Fecha de Inicio : 01/02/2020

Término : 12/02/2021

FEDU : NO

Propio : S/. 1 925.30

Otros : NO

DEDICATORIA

A Dios quién supo guiarme por el camino correcto, enseñándonos a sobresalir de los obstáculos sin perder nunca la fe, ni desfallecer en el intento.

El es mi protección.

A mis queridos padres Zósimo Villacorta Otárola y Deysi Jara Arce; por el amor incondicional que siempre dieron, heredarme el tesoro más preciado que es la educación y haberme forjado en la persona que soy; con el apoyo incondicional, y por sus grandes esfuerzos que hiciera posible mi formación como profesional.

A mi hermana Susana Villacorta Jara que fue el motor y motivo para seguir adelante con mis grados de estudio y culminar uno de mis propósitos en la vida y profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que me acogió en sus aulas; y así lograr estudiar la carrera que me gusta, logrando culminar con éxito mi formación profesional.

A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en especial a los docentes de la carrera de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, quienes contribuyeron en mi formación académica.

A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. MSc. José Lévano Crisóstomo, Dr. Roberto Obregón Peña; Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo y al Ing. M.Sc. José Víctor Quiróz Ramírez; por el tiempo tomado para la evaluación de mi tesis.

Al Ing. M.Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, asesor del presente trabajo, por su función como mentor y formador, amistad y la desinteresada asistencia en la presente tesis.

A mi familia; por ser los principales promotores de mí sueño; gracias a ellos por confiar, creer y las palabras de aliento; gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada momento de mi vida, estando en las largas y agotadoras noches con una taza de café.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco conceptual.....	3
2.1.1. Características de la palma aceitera	3
2.1.2. Origen y expansión	3
2.1.3. Rendimiento del cultivo	3
2.1.4. Aprovechamiento de los residuos de palma aceitera Malasia e Indonesia.....	3
2.1.5. Residuos de palma aceitera	4
2.1.6. Parámetros del suelo	4
2.1.7. Indicadores físicos.....	5
2.1.7.1. Textura del suelo.....	6
2.1.7.2. Densidad aparente del suelo.....	6
2.1.7.3. Porosidad	7
2.1.7.4. Resistencia a la penetración.....	7
2.1.8. Indicadores químicos	8
2.1.8.1. Reacción del suelo (pH).....	8
2.1.8.2. Materia orgánica	9
2.1.8.3. El nitrógeno en el suelo	9
2.1.8.4. El fósforo en el suelo	10
2.1.8.5. El potasio en el suelo	10
2.1.8.6. Capacidad de intercambio catiónico	10
2.1.8.7. Calcio intercambiable	11
2.1.8.8. Magnesio intercambiable.....	11
2.1.8.9. Potasio intercambiable.....	12
2.1.8.10. Sodio intercambiable	12
2.1.8.11. Porcentaje de saturación de bases	12
2.1.8.12. Capacidad de intercambio catiónico	13
2.1.8.13. Conductividad eléctrica	13
2.1.9. La toxicidad del aluminio en suelos ácidos.....	14

2.1.10. Indicadores biológicos.....	14
2.1.10.1. Macrofauna del suelo.....	15
2.1.10.2. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia funcional.....	16
2.1.10.3. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo.....	17
2.1.11. Diversidad de especie.....	18
2.1.11.1. Riqueza biológica.....	19
2.1.11.2. Diversidad alfa.....	19
2.2. Antecedentes.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Lugar de ejecución.....	22
3.1.1. Ubicación geográfica.....	22
3.1.2. Clima.....	22
3.1.3. Zona de vida.....	22
3.1.4. Suelo.....	22
3.1.5. Fisiografía.....	22
3.1.6. Hidrografía.....	23
3.1.7. Accesibilidad.....	23
3.2. Materiales y equipos.....	23
3.2.1. Materiales.....	23
3.2.2. Equipos.....	23
3.3. Método y diseño de la investigación.....	23
3.3.1. Enfoque metodológico de la investigación.....	23
3.3.2. Tipo de investigación.....	23
3.3.3. Nivel de la investigación.....	24
3.3.4. Diseño de la investigación.....	24
3.4. Metodología.....	24
3.4.1. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades físicas del suelo con cultivo de <i>E. guineensis</i> (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad – Ucayali.....	24
3.4.2. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades químicas del suelo con cultivo de <i>E. guineensis</i> (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad - Ucayali.....	25
3.4.3. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades biológicas del suelo con cultivo de <i>E. guineensis</i> (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre	

Abad - Ucayali.....	26
3.5. Análisis estadístico.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades físicas del suelo con cultivo de <i>E. guineensis</i> distrito Neshuya, provincia Padre Abad - Ucayali	29
4.2. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades químicas del suelo con cultivo de <i>E. guineensis</i> (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad - Ucayali	31
4.3. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades biológicas del suelo con cultivo de <i>E. guineensis</i> (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad - Ucayali	42
V. CONCLUSIONES.....	45
VI. PROPUESTAS A FUTURO	46
VII. REFERENCIAS	47
ANEXO	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Tamaño de las partículas del suelo.....	6
2. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular en base a la textura del suelo.	6
3. Escala de resistencia a la penetración del suelo	8
4. Niveles de pH del suelo.....	8
5. Niveles de la MO.....	9
6. Niveles de contenido de N.	9
7. Niveles de contenido de P (Método de Olsen).....	10
8. Niveles de contenido de potasio.....	10
9. Niveles de la CIC (pH > 5.5).....	11
10. Niveles de la CIC (pH < 5.5).....	11
11. Rangos interpretativos para Ca ²⁺	11
12. Rangos interpretativos para Mg ²⁺	11
13. Rangos interpretativos para K ⁺	12
14. Rangos interpretativos para sodio intercambiable.	12
15. Rangos interpretativos para la CIC.....	13
16. Rangos interpretativos para la CE.....	13
17. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la Macrofauna.....	15
18. Fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.	17
19. Coordenadas UTM del Datum WSG84 de la zona 18 L del Fundo “El Gran Chaparral”.	22
20. Métodos para determinar las propiedades físicas.....	25
21. Métodos para determinar los parámetros químicos.	26
22. Descripción de los tratamientos en estudio.....	27
23. Modelo del ANVA.....	28
24. Comportamiento de la textura del suelo al inicio y al final en las parcelas evaluadas..	29
25. Análisis de variancia para la porosidad del suelo	29
26. Valores promedio de la porosidad del suelo en las evaluaciones inicial y final.	30
27. Análisis de variancia para la variable resistencia a la penetración del suelo.	30
28. Valores promedio para la resistencia a la penetración del suelo en las evaluaciones...	31
29. Análisis de variancia del pH del suelo.	32

30.	Valores promedio del pH del suelo en las evaluaciones inicial y final.....	32
31.	Análisis de variancia de la materia orgánica (%) del suelo.....	33
32.	Valores promedio de la MO (%) en las evaluaciones inicial y final.....	34
33.	Análisis de variancia del nitrógeno disponible (%) del suelo.....	34
34.	Valores promedio del nitrógeno disponible (%) en las evaluaciones inicial y final.....	35
35.	ANVA del fósforo disponible (ppm) del suelo.....	35
36.	Valores promedio del fósforo disponible (ppm) en las evaluaciones inicial y final.....	36
37.	ANVA del K disponible (kg/ha) del suelo.....	36
38.	Valores promedios del potasio disponible (kg/ha) del suelo en las evaluaciones inicial y final.....	37
39.	Análisis de variancia de la CIC (meq/100 g de suelo) del suelo.....	37
40.	Valores promedios de la CIC (meq/100 g de suelo) en las evaluaciones inicial y final.....	38
41.	Análisis de variancia del calcio (meq/100g suelo) del suelo.....	39
42.	Valores promedio del calcio del suelo (meq/100g suelo) en las evaluaciones inicial y final.....	39
43.	Análisis de variancia del magnesio del suelo (meq/100g suelo).....	40
44.	Valores promedio del magnesio del suelo (meq/100g suelo) en las evaluaciones inicial y final.....	40
45.	Análisis de variancia del aluminio (meq/100g) del suelo.....	41
46.	Valores promedio del aluminio del suelo (meq/100g) en las evaluaciones inicial y final.....	42
47.	Densidad de la macrofauna del suelo por tratamiento aplicado en el cultivo de <i>E. guineensis</i>	42
48.	Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna.....	44
49.	Valores de los indicadores físicos del suelo.....	53
50.	Valores de los indicadores químicos del suelo, primera evaluación.....	54
51.	Valores de los indicadores químicos del suelo segunda evaluación.....	54
52.	Valores de los indicadores químicos del suelo, tercera evaluación.....	56
53.	Valores de los análisis de suelos.....	56
54.	Propuesta de abonamiento.....	59
55.	Escobajo de <i>E. guineensis</i> en la porosidad del suelo (%) inicio.....	59
56.	Escobajo de <i>E. guineensis</i> en la porosidad del suelo (%) final.....	59
57.	Escobajo de <i>E. guineensis</i> en la resistencia a la penetración del suelo (kg/m ²) inicio.....	59

58. Escobajo de *E. guineensis* en la resistencia a la penetración del suelo (kg/m²) final ...60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Tamaño de la fauna edáfica Fuente: (Blair <i>et al.</i> , 1996).....	18
2. Metodología de muestreo para macrofauna del suelo ((TSBF,IUBS/UNESCO).	26
3. Macrofauna del suelo en respuesta a la aplicación de escobajo de palma aceitera.	43
4. Plateado de palma aceitera.....	61
5. Plantación de palma aceitera en producción con cobertura.....	61
6. Colecta de muestras de suelos.	62
7. Palma aceitera con síntomas de marchitez.....	62
8. Vista panorámica de la parcela de 10 años.....	63
9. Georreferenciación del terreno	63

RESUMEN

El estudio, realizado en el fundo “El Gran Chaparral” (caserío “La Villa”, distrito Neshuya, provincia Padre Abad, región Ucayali), evaluó el efecto del escobajo en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo cultivado con *Elaeis guineensis*. Se determinó el efecto del escobajo en dichas propiedades mediante un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 50 kg (T1), 150 kg (T2) y 250 kg (T3) de escobajo de *E. guineensis*, además de un tratamiento testigo sin aplicación. Los resultados indicaron que los suelos presentan una textura franco arcilloso. La porosidad fue mayor en el tratamiento Testigo (52.83% inicial y 53.56% final). La resistencia a la penetración del suelo fue de moderada a severa para el enraizamiento en T2 y T3 (2.00 g/cm² en ambos casos). Químicamente, T2 mostró un pH fuertemente ácido (inicial y final), materia orgánica alta (inicial y final) y nitrógeno medio (inicial) a alto (final). T3 presentó un nivel normal de fósforo (inicial), mientras que el testigo mostró un nivel bajo (final). El potasio fue bajo (inicial) en T1 y bajo (final) en T3. La CIC fue media (inicial y final). El calcio en T1 fue medio (inicial y final), el magnesio en el testigo fue medio (inicial y final), y el aluminio en T3 fue tóxico (inicial y final). Biológicamente, T3 mostró la mayor abundancia de individuos (116 ind.m⁻² inicial y 245 ind.m⁻² final).

Palabras clave: Propiedades, físicas, químicas, biológicas, escobajo, enraizamiento del cultivo.

ABSTRACT

The study, conducted at the “El Gran Chaparral” farm (La Villa hamlet, Neshuya district, Padre Abad province, Ucayali region), evaluated the effect of bark on the physicochemical and biological properties of soil cultivated with *Elaeis guineensis*. The effect of the bark on these properties was determined using a randomized complete block design with three replications. The treatments consisted of the application of 50 kg (T1), 150 kg (T2), and 250 kg (T3) of *E. guineensis* bark, in addition to a control treatment with no application. The results indicated that the soils have a clay loam texture. Porosity was higher in the control treatment (52.83% initially and 53.56% final). Soil penetration resistance was moderate to severe for rooting in T2 and T3 (2.00 g/cm² in both cases). Chemically, T2 showed a strongly acidic pH (initial and final), high organic matter (initial and final), and medium (initial) to high (final) nitrogen. T3 presented a normal level of phosphorus (initial), while the control showed a low level (final). Potassium was low (initial) in T1 and low (final) in T3. CEC was medium (initial and final). Calcium in T1 was medium (initial and final), magnesium in the control was medium (initial and final), and aluminum in T3 was toxic (initial and final). Biologically, T3 showed the greatest abundance of individuals (116 individuals m⁻² initial and 245 individuals m⁻² final).

Keywords: Properties, physical, chemical, biological, stalk, crop rooting.

I. INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*), originaria del Golfo de Guinea, es un cultivo oleaginoso de alto valor productivo y económico. Actualmente, se cultiva como monocultivo en regiones tropicales de todo el mundo, ofreciendo a los agricultores una alternativa para mejorar sus ingresos y bienestar social, con grandes expectativas a futuro. Esta especie produce entre 12 y 22 tn métricas de racimo de fruta fresca por ha al año (dependiendo del empleo del cultivo). El escobajo de la palma, un residuo orgánico de la agroindustria del aceite crudo de palma es a menudo subutilizado debido a la falta de información disponible.

El escobajo puede ser utilizado como un insumo que aporta nutrientes al suelo en % no muy altos, pero sí altamente ecológicos y no contaminantes al medio ambiente. Es un material útil para múltiples beneficios para el agricultor y medio ambiente tales como: Control de las malezas, Retención de humedad en el suelo, Aporte de materia orgánica a la propia plantación de palma aceitera. Un problema es que los suelos en donde se instaló el cultivo de palma aceitera son suelos usados anteriormente por la ganadería y ex cocales en donde las características del suelo tienden a reducir su calidad y posteriormente en el rendimiento de la producción; por ello es muy necesario la incorporación del escobajo para corregir y mejorar las características fisicoquímicas y biológicas de suelos con vocación agrícola, Con el fin de incrementar su eficiencia.

Se aplicará la siguiente interrogante ¿cuál será el efecto del escobajo en las características fisicoquímicas y biológicas del suelo antes y después de su aplicación en el cultivo de *E. guineensis*? Planteándose para ello la hipótesis: El escobajo tiene un efecto positivo en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Formulándose para ello los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del escobajo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el cultivo de *E. guineensis* (Palma aceitera), distrito Neshuya, provincia Padre Abad – Ucayali.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades físicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad – Ucayali.

- Determinar el efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades químicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad – Ucayali.
- Determinar el efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades biológicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad – Ucayali.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Características de la palma aceitera

El cultivo de palma aceitera en Perú comenzó en las décadas de 1960 y 1970, impulsado por el gobierno mediante del Proyecto de Colonización Tingo María-Tocache-Campanilla del Ministerio de Agricultura. Como parte de este proyecto, se definió una plantación piloto de 200 ha en Tananta, distrito y provincia de Tocache, departamento de San Martín. Gracias a la exitosa adaptación de la palma aceitera al clima y suelo de la región, se amplió el área y se fundó la empresa estatal de desarrollo de la palma aceitera- EMDEPALMA instaló una planta extractora de aceite con una capacidad de 20 tn de racimos de fruta fresca (FFB) por hora en 5250 hectáreas.

2.1.2. Origen y expansión

La palma aceitera se originó en África Occidental, con evidencia documentada y fosilizada. Su origen se atribuye específicamente a la costa del Golfo de Guinea, desde donde llegó a América por personas esclavizadas traídas al continente. El fruto de la palma era un alimento básico en la dieta de muchos africanos tropicales, quienes lo trajeron consigo a América, dando origen a los primeros palmerales. San Salvador, Brasil, parece haber sido el centro inicial de la adaptación y propagación espontánea de la palma aceitera (Fedepalma, 2005).

2.1.3. Rendimiento del cultivo

El rendimiento del aceite de palma aceitera es mejor que cualquier otro cultivo oleaginoso, produciendo 2,5 tn de aceite por ha/año hasta 5 tns. El rendimiento de las palmas semi-silvestres varía ampliamente, generalmente entre 1,2 y 5 toneladas por año en toneladas métricas de racimos por hectáreas. Se pueden extraer alrededor de 80 kg de aceite de una tonelada métrica de aceite mediante prensado manual o 180 kg mediante prensado hidráulico. El rendimiento de la fruta varía mucho de una región geográfica a otra.

2.1.4. Aprovechamiento de los residuos de palma aceitera Malasia e Indonesia

Son el mayor productor de aceite de palma del mundo y han realizado varios estudios sobre el uso de los residuos de extracción de aceite de palma para energía. En el año 2000 Mahlia TMI: Abdulmuin MZ.; Alamsyah TMI: Muhlishien D. estudiaron las fibras y cáscaras de palma obtenidas mediante la conversión del aceite de palma se han estudiado para su uso como combustible. En el año 2002, Husain, Z.A. presentado por Zainal, MZ Abdullah Análisis de biomasa residual basado en cogeneración para prensa de aceite de palma. El estudio

se llevó a cabo en siete productores de palma aceitera en el estado malasio de Perak. El objetivo esencial del estudio es definir la eficiencia de la caldera y la turbina, la utilización de energía, la tasa de recuperación de aceite y la tasa de calor energía para diferentes máquinas de extracción de aceite de palma que operan en condiciones normales y utilizan el mismo proceso

2.1.5. Residuos de palma aceitera

Los residuos de biomasa de la extracción de aceite de palma, que representan hasta el 42% del peso del racimo de fruta fresca (RFF) (Jaramillo, 2012), se componen principalmente de fibras, cuescos y racimos vacíos de fruta (EFB).

- **Escobajo:**

El raquis, que sostiene el fruto de la palma, posee una textura dura e impermeable, dificultando su corte debido a su alto contenido de humedad y aceite residual. Su gran tamaño y tronco robusto soportan el peso de los frutos. Los raquis de palma aceitera se desechan diariamente, terminando en vertederos, riberas de ríos y arroyos, o dispersos entre los campos de palma. Esta paja se descompone en estos lugares o es quemada, con solo una mínima parte utilizada como componente orgánico. Los agricultores que la emplean como tal obtienen beneficios como la retención de humedad en el suelo, el control de malezas y la reducción en el uso de fertilizantes (Miranda & Panduro, 2014).

- **Fibra**

Es obtenido del material de deshoje que sale de la prensa, comúnmente llamado torta, que se compone principalmente de fibras, nueces y humedad. Tras el secado, la torta entra en el proceso de craqueo, donde se arrancan las fibras por corriente de aire y se separan los frutos secos, sometiéndolos a una fase de acondicionamiento y triturado para recuperar la almendra o palmiste. (ALNICOLSA, 2015).

La paja de palma aceitera es un componente orgánico obtenido durante el proceso de producción para extraer el aceite crudo de los racimos de palma aceitera. Actualmente existen 5 plantas de producción y procesamiento de frutos de palma, alrededor de 200 toneladas de paja de palma de aceite salen de las plantas todos los días, y el material orgánico se desvía a vertederos, rellenos sanitarios, riberas de ríos y arroyos, y en algunos casos puestos en las parcelas de palmeros de la zona. Esta paja se descompone donde se tira, los agricultores también la queman y una mínima parte se utiliza como compuesto orgánico. Estos agricultores que actualmente usan paja como ingrediente orgánico en sus plantas obtienen muchos beneficios, como mantener y almacenar la humedad del suelo debajo de la paja, controlar las malezas y usar fertilizantes mínimos en todo momento del año.

2.1.6. Parámetros del suelo

La calidad del suelo puede evaluarse por parámetros que reflejan los cambios en su capacidad y función (Dalurzo et al., 2002, citado en Acevedo et al., 2005). Estas propiedades, que dependen del ecosistema específico, deben seleccionarse con base en características que indiquen sostenibilidad.

Los parámetros directos comunes incluyen características fisicoquímicas y biológicas del suelo. La capacidad productiva de la tierra se estima indirectamente mediante la evaluación del funcionamiento del sistema (agricultura, silvicultura, ganadería). Según el NRCS (2004), los parámetros de calidad del suelo cumplirán ciertas condiciones:

- Ser fáciles de medir.
- Medir los cambios en las funciones del suelo.
- Abarcar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Ser accesibles a los evaluadores y aplicables en condiciones de campo.
- Ser sensibles a las variaciones climáticas y de manejo.

Los indicadores de calidad del suelo facilitan el estudio del estado actual y determinar puntos clave sobre la sostenibilidad de la tierra como medio de producción o recurso natural primordial para mejorar la calidad de vida y preservar la biodiversidad; además, ayuda al análisis de impactos potenciales previo a la intervención; y ayuda a definir si emplear los recursos es sostenible. Hünemeyer (1997), citado en Acevedo et al. (2005). Las mediciones de Moscatelli et al. (2005), son profundidad superficial, contenido de MO, acidez, contenido de P asimilable, respiración microbiana, DA, resistencia osmótica y permeabilidad.

Las características del suelo pueden ser cualitativas (p. ej., exposición del subsuelo, canales de erosión, inundaciones) o cuantitativas (p. ej., tasa de infiltración, CIC, pH, recuento de nematodos). El estudio de la calidad del suelo puede ser comparativa, ya sea longitudinalmente (comparando el mismo sistema a lo largo del tiempo) o transversalmente (comparando diferentes sistemas de manejo simultáneamente), según Masera et al. (1999), citado por Acevedo et al. (2005).

2.1.7. Indicadores físicos

Los indicadores físicos de la calidad del suelo varían según las propiedades específicas del sitio (Tabla 1). Chen (2000) sugiere que la textura, la profundidad, la tasa de infiltración de agua, la densidad aparente y la capacidad de retención de agua son indicadores clave. De igual manera, Doran y Lincoln (1999) destacan la textura, la estructura, la DA, la profundidad de la capa superficial del suelo, la estabilidad de los agregados, la temperatura y la permeabilidad.

Los parámetros físicos más útiles identificadas por la Universidad de Chile

como indicadores de la calidad de la tierra son los vinculados a la disposición de partículas y poros, así como la estabilidad de los agregados. Estas propiedades reflejan la capacidad de la tierra para absorber, retener y proporcionar agua a las plantas, así como su influencia en el crecimiento de plántulas y raíces. (Bautista et al., 2004).

2.1.7.1. Textura del suelo

Diferentes proporciones de arena, limo y arcilla definen la estructura de cada horizonte (Guerrero, 2000). El suelo de cultivo recomendado es un suelo ligero que se infiltra en las raíces; aireado, buen drenaje y buena retención de agua y nutrientes para todas las estructuras de suelo, desde arcilla hasta marga. (Crespo, 1997).

Tabla 1. Tamaño de las partículas del suelo

Nombre del compuesto	Diámetro (mm)
Arena gruesa	2.00-1.00
Arena media	0.50-0.25
Arena fina	0.25-0.10
Arena muy fina	0.10-0.05
Limo	0.05-0.002
Arcilla	menos de 0.002

Fuente: Sistema de clasificación USDA - Laboratorio de suelos UNAS

Los suelos arenosos tienen buen drenaje y aireación, estos suelos no son particularmente fértiles por los rápidos cambios de temperatura; pero en la mayoría de los casos el suelo arenoso no es muy fértil (Navarro, 2003).

2.1.7.2. Densidad aparente del suelo

Influenciada por la porosidad del suelo (Sánchez, 2007) y las características del material (Cairo, 1995), es útil para estimar la profundidad. Doran y Parkin (1996) sugieren que la densidad aparente indica la penetración del suelo y la limitación del desarrollo de las raíces, lo que indirectamente afecta la permeabilidad y el estado del suelo. El rango de densidad aparente y su relación con el desarrollo de raíces se muestra en la Tabla 1.

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

Textura	Ideal (g cm ⁻²)	Aceptable (g cm ⁻²)	Afectaría el crecimiento de raíces (g cm ⁻²)	Limita el crecimiento de raíces (g cm ⁻²)
Arena, areno- franca	Dap < 1.6	1.6 < Dap < 1.69	1.69 < Dap < 1.80	Dap > 1.80

Franco-arenoso, franco	Dap<1.4	1.4<Dap<1.63	1.63<Dap<1.80	Dap>1.80
Franco-arcilla- arenoso, franco- arcilloso	Dap<1.4	1.4<Dap<1.60	1.60<Dap<1.75	Dap>1.70
Limoso	Dap<1.3	1.3<Dap<1.60	1.60<Dap<1.75	Dap>1.75
Franco-limoso, franco-arcillo- limoso	Dap<1.4	1.4<Dap<1.55	1.55<Dap<1.65	Dap>1.65
Arcillo-arenoso, arcillo-limoso	Dap<1.1	1.1<Dap<1.39	1.39<Dap<1.58	Dap>1.58
Arcilloso (>45% arcilla)	Dap<1.1	1.1<Dap<1.39	1.39<Dap<1.47	Dap>1.47

Fuente: Sagarpa (2012).

2.1.7.3. Porosidad

La fracción agua/gas en el suelo se refiere a los espacios entre las partículas sólidas que contienen agua y aire, los dos principales componentes inorgánicos. El agua, el líquido principal del suelo, disuelve minerales, O₂ y CO₂, mientras que la fase gaseosa representa el aire. La ocupación de los poros cambia según el nivel de humedad de la tierra, alternando entre agua y aire. (Aguilera, 1989, citado por Gonzales, 2014).

2.1.7.4. Resistencia a la penetración

Es la fuerza que ejerce el suelo al introducir una herramienta de sondeo, indicando su dureza bajo condiciones específicas. Este valor, un índice integrado de compactación, humedad, textura, tipo de arcilla, proporción de MO y composición del suelo (Navarro, 2003), se mide comúnmente con el penetrómetro de punta cónica de 30° (Asabe, 2008), que utiliza puntas cónicas de 20.27 o 12.83 mm de diámetro (Ortizcañavate y Hernanz, 1989). El penetrómetro determina el índice de cono (IC), definido como la fuerza por unidad de zona necesaria para introducir el instrumento a una profundidad específica (Asabe, 2008).

El IC, influenciado por las variables mecánicas del suelo, disminuye al aumentar la humedad y se relaciona con la cohesión molecular, incrementando con la compresión. Existe una fuerte correlación entre el IC y el desarrollo radicular, con un valor crítico de 2 MPa que limita significativamente la penetración de las raíces (Silva et al., 2000).

La compactación de la tierra, que reduce el espacio poroso y aumenta la densidad aparente, también restringe el desarrollo radicular, observándose una relación

directa entre la compactación de las raíces, la densidad de la tierra y la resistencia osmótica (Bengough y Mullins, 1991). Zerpa (2006) propuso una escala para clasificar las condiciones de tierra para el desarrollo de la rizosfera según la capa de suelo.

Tabla 3. Escala de resistencia a la penetración del suelo

RP (MPa)	Condición
$0 \leq RP \leq 0,9$	Sin limitaciones:
$0,9 < RP \leq 1,14$	Leves limitaciones
$1,4 < RP \leq 2$	Moderadas a severas limitaciones
$RP > 2$	Limitaciones para el enraizamiento

Fuente: Zerpa (2006)

2.1.8. Indicadores químicos

Influyen en la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora, agua y nutrientes disponibles para cultivos y microorganismos (Acevedo et al., 2005). Entre estos indicadores, Chen (2000) destaca la MO, C, N, pH, CE y la disponibilidad de N, P y K, parámetros cruciales para la fertilidad del suelo y la productividad de plantas.

2.1.8.1. Reacción del suelo (pH)

Probablemente es el indicador físico primordial del suelo como medio de crecimiento vegetal expresada en pH. Lo que es más importante, este efecto es indirecto ya que daña significativamente la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes y los parámetros químico y biológicos de la tierra (Fassbender, 1987).

El pH, que representa la concentración de iones de hidrógeno (H) en suelos y soluciones acuosas, se mide en una escala logarítmica negativa para simplificar la expresión de estas pequeñas fracciones equivalentes por litro. Esta escala se basa en la ecuación del logaritmo del recíproco de la actividad de los iones H en la solución.

La escala de pH abarca valores del 0 al 14, donde 7 indica una solución neutra. A la izquierda de este valor, la acidez aumenta, mientras que en el suelo se han observado pH entre 3.5 y 10. La Tabla 4 presenta conclusiones generales y valores de pH, pero estas se ven alteradas debido a la relevancia de la acidez en el manejo del suelo y el nivel de alcalinidad. (Zavaleta, 1992).

Tabla 4. Niveles de pH del suelo

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

Moderadamente alcalino

7.4-8.5

Fuertemente alcalino

Mayor de 8.5

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS

El pH óptimo para el desarrollo de los cultivos se sitúa entre 6.5 y 7.5; valores fuera de este rango ocasionaría toxicidad. La tierra con pH entre 5.8 y 7.5 son más propensos a presentar problemas que aquellos con pH más extremos. Un pH inferior o igual a 5.0 indica deficiencia de compuestos como Ca^{2+} , Mg^{2+} y H^{+} , o puede señalar la presencia de compuestos dañinos como Zn^{2+} , Al^{3+} y Ni^{2+} (Fassbender y Bornemisza, 1987).

2.1.8.2. Materia orgánica

Los autores utilizan los términos materia orgánica y humus de manera intercambiable para referirse a la parte orgánica que es fundamental en el suelo. No hay consenso entre los especialistas sobre una definición única de humus; sin embargo, se entiende generalmente como "sustancias orgánicas diversas, de color marrón oscuro, resultantes del desgaste de MO de origen vegetal". Cuenta con un 5% de N, lo que permite analizar su valor en la tierra multiplicando su proporción total de N por 20 (Navarro, 2003).

Tabla 5. Niveles de la MO

Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	< de 2
Medio	2 – 4
Alto	> de 4

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

El contenido de MO varía considerablemente, siendo relevante a nivel regional. Por ejemplo, los valles aluviales costeros presentan un nivel alto del 2%, mientras que las regiones montañosas y amazónicas bajas tienen un promedio bajo. Por lo tanto, los niveles bajo, medio y muy alto deben analizarse de manera regional y ajustarse a cultivos específicos.

2.1.8.3. El nitrógeno en el suelo

La mayor parte del N en tierras minerales está presente en la MO generada por la descomposición de microorganismos y plantas. En esta forma, el nitrógeno no es utilizable por las plantas. Además, su proporción en la tierra varía más que la de otros elementos esenciales para el desarrollo vegetal (Navarro, 2003).

Tabla 6. Niveles de contenido de N.

Nivel	Nitrógeno (%)
-------	---------------

Bajo	Menor 0.1
Medio	0.1 – 0.2
Alto	Mayor de 0.2

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.1.8.4. El fósforo en el suelo

Después del nitrógeno, la disponibilidad de macronutrientes influye significativamente en el rendimiento, ya que son esenciales para diversos procesos bioquímicos en las plantas. El fósforo solo ingresa al sistema mediante fertilización, mientras que sus salidas provienen de la cosecha del grano, la erosión, la escorrentía y, en menor medida, la lixiviación. (Navarro, 2003).

Tabla 7. Niveles de contenido de P (Método de Olsen)

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

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.1.8.5. El potasio en el suelo

Es un componente esencial para los organismos vivos, especialmente para los vegetales, en proporciones similares al nitrógeno. Es crucial para activar más de 60 enzimas implicadas en fases metabólicas clave como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y carbohidratos, el balance hídrico y el desarrollo meristemático. El K también ayuda al desarrollo vegetativo, fructificación, maduración y calidad de los frutos.

Tabla 8. Niveles de contenido de potasio

Nivel	Potasio Kg/ha
Muy Bajo	< de 300
Medio	300 – 600
Alto	> de 600

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.1.8.6. Capacidad de intercambio catiónico

Es fundamental en el suelo, permitiendo la retención de cationes gracias a las cargas negativas del complejo coloidal. La CIC se correlaciona positivamente con la textura fina del suelo y reduce en tierras de textura gruesa, como arenas y margas arenosas, pobres en arcilla coloidal y humus (Fassbender, 1987).

Los cationes más importantes para la evolución de las plantas son Ca,

Mg, K, NH₄⁺, Na e H. Los cuatro primeros son nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, mientras que Na e H influyen en la disponibilidad de nutrientes y humedad. En tierras ácidos, H y Al constituyen una proporción importante de los cationes.

Tabla 9. Niveles de la CIC (pH > 5.5)

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	< de 12
Medio	12 – 20
Alto	> de 20

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

Tabla 10. Niveles de la CIC (pH < 5.5)

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	< de 4
Medio	10 - 20
Alto	> de 30

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.1.8.7. Calcio intercambiable

SAGARPA (2012) sugiere que es un componente relativamente cuantioso, especialmente en tierra de zonas semiáridas. Por lo que, generalmente es menos soluble y, por lo tanto, menos disponible para el tratamiento de la contaminación.

Tabla 11. Rangos interpretativos para Ca²⁺

Clase	Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	Ca <2
Bajo	2 ≤ Ca <5
Medio	5 ≤ Ca <10
Alta	Ca ≥ 10

Fuente: SAGARPA (2012).

2.1.8.8. Magnesio intercambiable

SAGARPA (2012) muestra que este componente es particularmente convincente porque es importante para el átomo de clorofila, por lo que está involucrado en la fotosíntesis. La deficiencia de Mg es anormalmente normal en tierras arenosas con un límite de CIC bajo.

Tabla 12. Rangos interpretativos para Mg²⁺

Clase	Mg (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) Muy baja
-------	-----------------------------------------------------

Muy bajo	$Mg < 0.5$
Bajo	$0.5 \leq Mg < 1.3$
Medio	$1.3 \leq Mg < 3.0$
Alta	$Mg \geq 3.0$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.1.8.9. Potasio intercambiable

El K de la labranza representa una pequeña fracción del potasio absoluto (Fassbender, 1984). El potasio se encuentra moderadamente en la Tierra. Su sustancia es K_2O en base a su superficie. La parte arcillosa es la que tiene la mayor cantidad de materia, por lo que la arcilla y el limo son más lujosos que el limo y la arena. (Cairo, 1995).

Tabla 13. Rangos interpretativos para K^+

Clase	K ($Cmol^{(+)} kg^{-1}$)
Muy bajo	$K < 0.2$
Bajo	$0.2 \leq K < 0.3$
Medio	$0.3 \leq K < 0.6$
Alta	$K \geq 0.6$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.1.8.10. Sodio intercambiable

Se entiende que el Na, aunque no se demostró que sea un suplemento importante, a veces reemplaza al Na. Muchas especies de cultivos tienen sistemas que disminuyen la retención y el movimiento de Na en las hojas para que no tengan efectos secundarios tóxicos al acumularse en tallos, troncos y raíces. Los signos de Na dañino en las hojas son manchas necróticas entre las venas. En cualquier caso, un exceso de sodio provoca una deficiencia de varios cationes como el K, el Ca y el Mg, (SAGARPA 2012).

Tabla 14. Rangos interpretativos para sodio intercambiable.

Clase	Na ($Cmol^{(+)} /kg$)
Muy bajo	$0.0 \leq Na < 0.3$
Bajo	$0.3 \leq Na < 0.6$
Medio	$0.6 \leq Na < 1$
Alto	$1 \leq Na < 1.5$
Muy alto	$Na \geq 1.5$

2.1.8.11. Porcentaje de saturación de bases

Comprensiblemente, aunque no se ha demostrado que el sodio se complementa, a veces puede reemplazar el potasio. Muchos tipos de plantas tienen un sistema que reduce la preservación y el movimiento de las hojas de sodio para que no muestren los

efectos secundarios del envenenamiento (FAO, 2015).

2.1.8.12. Capacidad de intercambio catiónico

El CIC, considerado un ciclo reversible en el que las partículas fuertes de tierra adsorben partículas de la fase líquida mientras desorben simultáneamente diferentes cationes del mismo tamaño, estableciendo una igualdad entre las dos fases (Fassbender, 1975).

Sánchez (1981) sugirió que la restricción del comercio de cationes estaba asociada con mejoras en la construcción de terrenos que promovían la circulación del aire, el almacenamiento hídrico, el movimiento microbiano y la fertilidad de la tierra. Por lo tanto, se espera que una CIC de alrededor de 7 Cmol (+) kg⁻¹ prevenga la lixiviación de la mayoría de los cationes.

Se identificó que limitar el intercambio de cationes mejora la estructura del suelo, promoviendo la circulación del aire, el almacenamiento hídrico, el movimiento microbiano y la fertilidad de la tierra. La Tabla 18 muestra el rango de interpretación de CIC. (SAGARPA, 2012).

Tabla 15. Rangos interpretativos para la CIC.

Clase	CIC (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy alto	CIC _≥ 40
alto	25 _≤ CIC<40
Medio	15 _≤ CIC<25 Baja
Bajo	5 _≤ CIC<15
Muy bajo	CIC<5

Fuente: SAGARPA (2012).

2.1.8.13. Conductividad eléctrica

USDA (1999) menciona que todo suelo contiene algo de sal, que es esencial para el desarrollo de cultivos. Sin embargo, demasiada sal puede afectar el equilibrio hídrico del suelo, lo que puede inhibir el crecimiento de cultivos. En general, la aparición de suelos excesivamente salinos también está relacionada con el uso y la acumulación de la tierra.

Tabla 16. Rangos interpretativos para la CE

CE (dS . m ⁻¹) a 25°C	Efectos sobre el suelo
CE<1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.0 _≤ CE<2.0	Suelos muy ligeramente salina
2.0 _≤ CE<4.0	Suelo moderadamente salina
4.0 _≤ CE<8.0	Suelo salina
8.0 _≤ CE<16	Suelo fuertemente salina
CE _≥ 16	Suelo muy fuertemente salina

Fuente: SAGARPA (2012).

2.1.9. La toxicidad del aluminio en suelos ácidos

Los suelos con alto contenido de aluminio con un pH inferior a 5,5 pueden ser perjudiciales para los cultivos debido a la toxicidad de uno de estos elementos, y por debajo de 4,0 pueden ser perjudiciales para los cultivos debido al exceso de iones de hidrógeno.

Las plantas intoxicadas por pH bajo muestran un desarrollo deficiente de sus raíces, especialmente debido a la toxicidad por aluminio. Esto afecta procesos metabólicos esenciales para su crecimiento y producción, como la replicación del ADN, la respiración radicular y la absorción, transporte y utilización de nutrientes clave como calcio, magnesio, fósforo y nitratos. Como resultado, las plantas pierden vigor y son más vulnerables a ataques de fitopatógenos (DICTA, 2016).

Para quienes se dedican a la agricultura, existen dos formas factibles y económicas de reducir los altos niveles de Al de la tierra, como encalar con cal y agregar enmiendas como estiércol (DICTA, 2016).

El principal beneficio del encalado en tierras ácidas es la disminución de la solubilidad del Al y Mn, compuestos dañinos para la mayoría de las plantas, incluso en bajas concentraciones. El exceso de aluminio afecta la división celular de las raíces, causando atrofia en muchas de ellas, y su alta concentración inhibe la absorción de Ca y Mg por los cultivos. (Navarro & Navarro, 2013).

2.1.10. Indicadores biológicos

La fauna excavada tritura y mezcla el material del suelo, ayudando a estructurar y promueve la formación, permeabilidad y aireación de la capa Bw. Su impacto sobre horizontes preexistentes puede hacer que algunas de sus características desaparezcan debido a efectos de turbación faunística (Blair et al., 1996).

Cuando domina un tipo particular de fauna, la carga de trabajo de la fauna suele estabilizarse, resultando diferencias muy marcadas con respecto al material original (Blair et al., 1996).

Una intensa actividad biológica puede provocar variaciones significativas en el epipedión, incrementando su grosor y formándolo casi completamente por deyecciones y galerías llenas. Las tierras con esta forma de horizonte, comúnmente un epipedión móllico, se identifican con el prefijo Verm- (como en Verudoll o Vermustoll) (Blair et al., 1996).

La macrofauna más abundante consiste en artrópodos, especialmente colémbolos, que habitan en los primeros 5 cm de suelo, encargándose de descomponer la MO, lo que incrementa su superficie (Blair et al., 1996).

Los indicadores biológicos forman parte de un gran número de causas que influyen la fertilidad de la tierra, como la proporción y derivados de los macroinvertebrados (Karlen *et al.*, 1997), incluyendo funciones como la frecuencia respiratoria, los índices de descomposición vegetal, el N y C de la biomasa de microorganismos (SQI, 1996; Karlen *et al.*, 1997, citado por Rivero, 2022).

La biología de los suelos es dinámica y puede indicar tempranamente la degradación o mejora del suelo. Chen (2000) propuso el C y el N en la biomasa microbiana, el N potencialmente mineralizable y la respiración de la tierra como biomarcadores. El número de lombrices y el rendimiento de las plantas son considerados parámetros biológicos; estos son valiosos para entender la dinámica de la conversión de MO y desechos, así como para responder rápidamente a las variaciones en el uso de la tierra y mostrar sensibilidad al estrés ambiental (Bandick y Dick, 1999, citado por Acevedo *et al.*, 2005).

2.1.10.1. Macrofauna del suelo

Ramírez y Gonzales (1999) afirman que la megafauna está conformada por organismos entre 2 mm y 20 mm de longitud. Los animales grandes se mueven activamente en la parcela de tierra y pueden crear galerías donde viven. A este grupo pertenecen isópodos, ciempiés, mirlos, arácnidos, moluscos y hormigas, isópteros, coleópteros y oligoquetos (lombrices de tierra).

Porta *et al.* (1999) afirmaron que los organismos visibles a simple vista varían en tamaño y se incorporan a la fracción orgánica de la tierra junto con otros organismos, cultivos secos y restos animales; llamados macroinvertebrados, Coyne (2000) agregó que incluyen organismos mayores de 2 mm de diámetro y entre 10 y 200 mm de longitud.

Este grupo incluye animales de diversos géneros, clases y órdenes, con un ancho corporal superior a 2 mm.

Tabla 17. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la Macrofauna.

Filo	Clase	Sub-Clase	Orden
Annélida	Clitellata	-	Oligochaeta
	Arachnida	-	Aránea
Arthropoda	Insecta	-	Coleóptera
			Díptera
			Hemíptera
			Hymenoptera
			Isóptera

			Orthóptera
	Crustacea	-	ispóda
	Myriapoda	Chilopoda	
		Diplopoda	
Nemátoda	Adenophorea	-	Mermithida
Mollusca	Gastropoda	-	

Fuente: (Curry y Good, 1992)

La actividad y diversidad de los organismos edáficos influyen en la distribución del agua, la erosión, el desarrollo de cultivos y dispersión de gases (Curry y Good, 1992). Estos organismos suelen preferir ambientes húmedos, por lo que, en estado de déficit hídrico, migran a niveles más profundos y se racionan de forma agregada (Verhoef y Van Selm, 1983, citado por Rivero 2022). De hecho, la humedad es un factor determinante: la macrofauna es más abundante en suelos pobres en nutrientes pero húmedos que en suelos ricos pero secos (Luizão et al., 2002).

- **Importancia de la macrofauna del suelo**

La biota de la tierra influye notablemente en el funcionamiento de los nutrientes, ya que sus valores tróficos descomponen los residuos orgánicos, facilitando el reciclaje de nutrientes. Además, estos organismos afectan las características físicas del suelo al formar túneles y galerías que incrementan la porosidad, mejoran la inducción del agua y cambian los agregados (Lok, 2005).

2.1.10.2. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia funcional

La fauna edáfica, que incluye organismos que habitan en la superficie terrestre, troncos en descomposición, hojarasca y el subsuelo (Lavelle et al., 1992, citados por Brown et al., 2000), varía desde microorganismos hasta vertebrados medianos. Adaptados a ambientes compactos con baja concentración de oxígeno y luz, espacios limitados y fluctuaciones microclimáticas, estos organismos enfrentan escasa disponibilidad y calidad de alimento. En los trópicos, la macrofauna (invertebrados >2 mm), como termitas, lombrices de tierra, escarabajos, arañas, larvas de moscas y mariposas, caracoles, milpiés, ciempiés y hormigas, es particularmente abundante. Si bien los escarabajos son diversos en especies, las termitas y hormigas predominan en abundancia, y las lombrices de tierra en biomasa. La macrofauna alcanzaría millones de ind/ha y varias toneladas en biomasa. En ecosistemas complejos como la selva tropical, la diversidad de especies puede superar las mil, aunque se necesitan más datos sobre la composición específica de la macrofauna edáfica en diferentes

ecosistemas.

Lavelle (1997), citado en Brown et al. (2000) mostraron que la macrofauna también se divide en grupos epífitos, endófitos y abióticos, y cada categoría juega una función distinta en el funcionamiento de los ecosistemas del suelo, aunque pertenezcan a la misma categoría (por ejemplo, compactación y aflojamiento del suelo). Epigea vive y comen en la superficie de la tierra; la mayoría se alimenta de hojas caídas (grandes artrópodos, pequeñas lombrices de colores), otros se alimentan de plantas vivas (orugas de mariposa, caracoles) y algunos (arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos) son depredadores de otra fauna. El rol principal de Epigea es descomponer los desechos y promover su desgaste.

2.1.10.3. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo

La fauna excavada muele y mezcla el material de la tierra, lo que ayuda a estructurar y promueve la formación, permeabilidad y aireación de la capa Bw. Su impacto sobre horizontes preexistentes puede hacer que algunas de sus características desaparezcan debido a efectos de turbación faunística. Cuando domina un tipo particular de fauna, la carga de trabajo de la fauna suele estabilizarse, resultando diferencias muy marcadas con respecto al material original. Una intensa actividad biológica puede provocar variaciones significativas en el epipedión, incrementando su grosor y formándolo casi completamente por deyecciones y galerías llenas. Las tierras con esta forma de horizonte, comúnmente un epipedión móllico, se identifican con el prefijo Verm- (como en Verudoll o Vermustoll) (Blair et al., 1996) citado por Rivero, 2022.

La macrofauna predominante son los artrópodos, especialmente los colémbolos, que viven en los primeros 5 cm de tierra y descomponen la MO, incrementando su superficie. Las lombrices de tierra son esenciales, ya que mezclan la MO con minerales. Se puede estimar que hay un promedio de 10 toneladas de lombrices por 0.4 ha al año, y en 50 años, llevan a la superficie el volumen de suelo de los primeros 22 cm.

Tabla 18. Fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.

Categoría	Ciclaje de nutrientes	Estructura del suelo
Microfauna (4 µm– 100 µm)	Regulan las poblaciones de bacterias y hongos. Alteran el ciclaje de nutrientes	Afectaría la composición del suelo mediante interacciones con la microflora.
Mesofauna (100 µm – 2 mm)	Regulan las poblaciones de hongos y de la microfauna. Alteran el ciclo de nutrientes. Fragmentan detritos vegetales.	Producción de pelotas fecales. Crean bioporos. Promueven la humificación.
		Descomponen partículas orgánicas y minerales

Macrofauna (2 mm – 20 mm)	Regulan los hongos y la microfauna. Estimulan la actividad microbiana.	Redistribuyen la MO y microorganismos Promueven la humificación. Producción de pelotas fecales.
------------------------------	---------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Correia (2000)

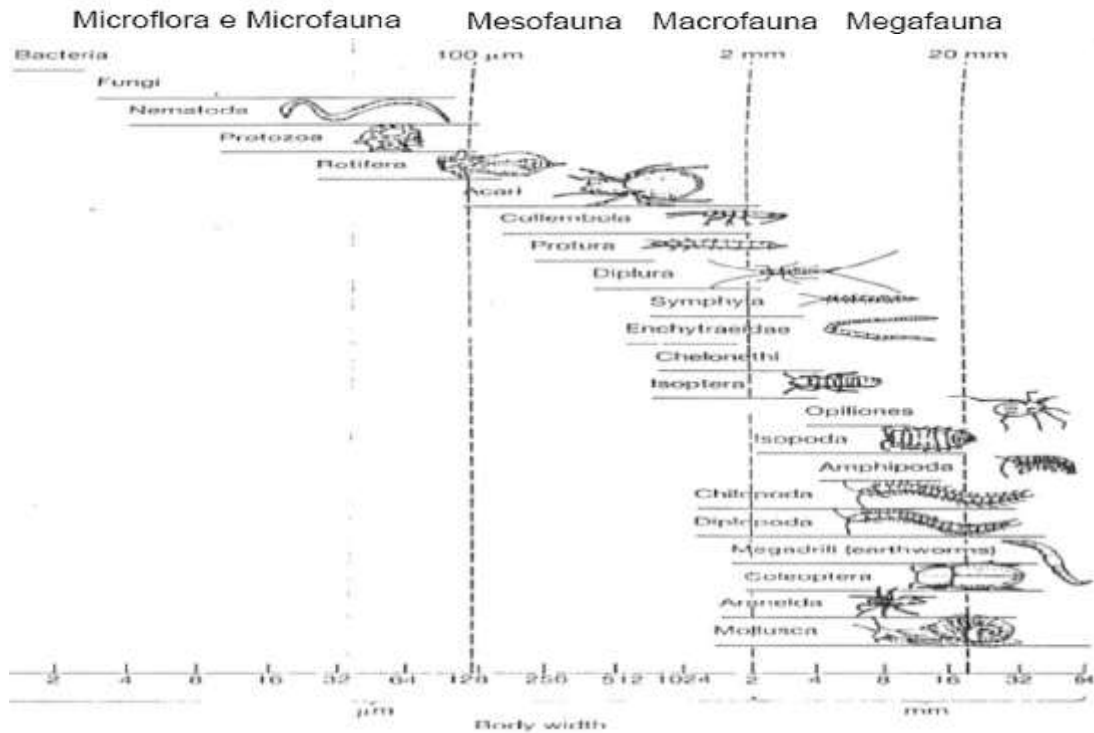


Figura 1. Tamaño de la fauna edáfica Fuente: (Blair *et al.*, 1996).

2.1.11. Diversidad de especie

La macrofauna terrestre incluye organismos invertebrados macroscópicos que habitan principalmente en el suelo o su superficie, con más de 1000 especies como gusanos, termitas, insectos, ciempiés, arácnidos, gorgojos, grillos, cigarras, caracoles, escorpiones, chinches, moscas pequeñas y mariposas. Estas especies pueden alcanzar densidades superiores a 1.000.000 y una biomasa de más de una tonelada por hectárea, desempeñando diversas funciones en los ecosistemas y clasificándose según diferentes criterios (Etter, 1991). Franco (1989) destacó la abundancia de estudios sobre la variedad en zonas locales, señalando que aquellos basados en suposiciones son los más influyentes, a pesar de las limitaciones del índice de Shannon-Weiner y la heterogeneidad de Simpson, esta última estima la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar en un área local sean del mismo tipo. Se enfatiza la necesidad de utilizar archivos que analicen menos especies, especialmente las raras, ya que la conservación debe centrarse en la rica diversidad de especies, aplicando el índice de Shannon-Weiner.

2.1.11.1. Riqueza biológica

Franco (1989) confirmó que se relaciona a las ideas reales, definiéndola como la proporción de especies en relación con un número específico de personas o territorios, siendo su valor independiente del tamaño de la muestra.

2.1.11.2. Diversidad alfa

Halfpter y Col. (2001) sugieren que las especies en regiones locales son homogéneas. Con un enfoque equilibrado, limitamos el término variación alfa a arreglos de tipos de conjuntos de marcadores en un espacio uniforme. Esta área sirve como unidad de prueba, representando una porción de vegetación muestreada del área local. Aunque Franco (1989) menciona que se han utilizado diversas medidas para analizar la diversidad, contamos con medidas que consideran la heterogeneidad.

- Índice de diversidad de Shannon - Wiener (H')

Es la vulnerabilidad promedio esperada para un individuo aleatorio de la especie en el área local. Esta vulnerabilidad tiene un valor base si todas las especies tienen una distribución similar de individuos, y aumenta si cada especie tiene un número similar de individuos.

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

Los valores de este índice varían entre 1.5 y 3.5, rara vez excediendo 4.5. Su sensibilidad a la riqueza de especies poco comunes lo hace útil para la conservación de la naturaleza (Moreno, 2001).

- Índice de Equitatividad

Para determinar el resultado del tamaño de masa de 0 a 1, se emplea el índice de equidad, cuya ecuación es la siguiente:

$$E = J = \frac{H'}{H_{MAX}}$$

2.2. Antecedentes

Según un estudio realizado por Miranda y Panduro (2014) en el distrito de Ucayali, provincia de Coronel Portillo, distrito de Campo Verde, Pucallpa - Lima Carretera Federico Basadre km 47, dentro de 3 km del lado izquierdo, determinaron que *Elaeis guineensis*, jacq (aceite de palma) A medida que los tallos se descomponen, revelan un suelo fértil con un pH ligeramente ácido y MO moderada. Aplique tallos de palma aceitera en los bordes de las plantas

de palma aceitera. Cada tratamiento se divide en 4 bloques, cada bloque contiene 12 plantas y se prueban un total de 48 plantas. La proporción de tallos utilizados en cada grupo de plantas es la siguiente: el primer grupo utiliza 100 kg de escobajo, pero el segundo grupo usa tallos de 100 kg, tallos de 200 kg, tallos de palma de 300 kg para el tercer grupo hasta tallos de 1600 kg para el grupo 16.

Se encontró que los racimos de troncos debajo del primer racimo estaban degradados en un 80%, mientras que los tallos de palma aceitera arriba estaban degradados en menos del 50%. Las dosis de tallos de palma aceitera superiores a 500 kg por planta son las que más materia orgánica aportan a la planta en un periodo de 6 meses, ya que contienen más racimos que se trituran y desmenuzan más. El uso de paja de palma aceitera semielaborada también tiene otros efectos positivos, como inhibir el crecimiento de malezas en los bordes de los cultivos, mantener la humedad durante los 6 meses, fertilizar estos tallos en cualquier época del año dependiendo el estado del suelo. Otra gran ventaja de usar los tallos es que la palma puede identificar rápidamente qué racimo cosechar debido a los frutos desprendidos visibles.

Según Zevallos (2015), en su estudio a lo largo de la Carretera Federico Basadre (C.F.B.) entre las provincias de Coronel Portillo y Padre Abad; el objetivo fue determinar la biomasa residual derivada del potencial energético de la extracción de aceite de palma. La población los conforman las plantas procesadoras de palma aceitera ubicadas en las zonas de Coronel Portillo y Padre Abad, entre el km 12 y el km 178 de la carretera Federico Basadre, el método utilizado es prospectivo descriptivo, recolectando información secundaria de producción relacionada con la palma cosechada y rendimiento de cultivo de palma y factores de generación residual. Se utiliza una fórmula matemática para definir la energía potencial. Los resultados mostraron que el 41% de cada tonelada de RFF eran residuos sólidos: 18.044. Coronel Portillo tiene 64 toneladas por año y Padre Abad tiene 42,361.81 toneladas por año; por poder calorífico, tallos obtenidos con 382 Kcal, fibras 421 Kcal y Cuesco 443 Kcal; las fibras y las piedras son adecuados para su uso como combustible debido a su alto contenido de humedad. Así, excluyendo la paja, Ucayali puede generar 303,88 TJ de potencial energético al año, lo que equivale a 20,21 MW de energía de sólidos de palma aceitera obtenidos a partir de residuos, lo que cubrirá el 37% de las necesidades energéticas de la ciudad de Pucallpa; todos utilizando biomasa de palma aceitera.

Eugenio (2016) investigó la fuente y cantidades óptimas de tres materiales orgánicos para producir plantones de palma aceitera, analizando la rentabilidad de los tratamientos. Utilizó híbridos Deli x La Mé de CIRAD – Benín, empleando tres fuentes de MO (estiércol de ave, vacuno y escobajo desgastado de palma aceitera) en tres cantidades (10, 20 y 30%),

comparándolos con un testigo de suelo franco arcilloso. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3x3 (nueve tratamientos) más un testigo, con cuatro repeticiones y 25 plantas por unidad experimental. El pre-vivero se instaló con suelo agrícola adicionado con 10% de arena fina. Tras la germinación, las plúmulas y radículas diferenciadas se sembraron en bolsas de polietileno negro de 6x9 pulgadas bajo sombra, con riego continuo y deshierbos manuales cada 21 días. Desde el primer mes, fue aplicado urea foliar cada 15 días (0.10-0.15% de solución) hasta los tres meses, y luego cada 30 días hasta el trasplante al vivero. Los sustratos se prepararon al mezclar homogéneamente las fuentes y contenido de MO, se colocaron en bolsas de 17x17" (6 micrones de espesor) y se adicionaron 5 g de fertilizante compuesto 20-20-20 por bolsa, incluido el testigo. Bolsas grandes trasplantadas 4 Realizar cuando tenga un mes, llenar la bolsa con sustrato en el hueco e inmediatamente regar manualmente, y regar con sistema de riego por goteo a los dos meses. Fertilice todos los tratamientos de manera uniforme según lo recomendado por los expertos y fertilice de la siguiente manera: 10g urea, 10g SPTCa, 10g KCl, 10g keiserita y 10g keiserita/granubor 1g el 1 de octubre, 20g urea el 15 de diciembre, 10g, KCl en cada bolsa; 1 de abril Urea 20 g, SPTCa 20 g, KCl 10 g/bolsa en preparación para el trasplante final in situ. La altura de la planta, el diámetro y el número de hojas se evaluaron mensualmente para las plántulas y la longitud, el volumen de la raíz y la materia sea se midieron al final del experimento. La evaluación de rentabilidad se realizó mediante un estudio comparativo de ingresos y costos de producción. El estiércol de vacuno promovió la mayor altura de planta, superando estadísticamente a otras fuentes de MO, aunque parecido al escobajo de palma en diámetro de bulbo, número de hojas y materia seca. La proporción más alta de MO (30%) resultó en mayor altura de planta, número de hojas y materia seca, superando tratamientos con menor proporción, con el testigo en último lugar. La menor proporción de materia orgánica mostró índices de rentabilidad similares al testigo, sin diferencias económicas significativas con el resto de los tratamientos, que variaron de 0.13 a 0.31.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Realizado en el distrito de Neshuya, provincia de Padre Abad, Región Ucayali, ubicada en el caserío “La Villa” fundo “El Gran Chaparral” perteneciente al Sr. Zósimo Villacorta Otárola, en un área establecida de 10 ha, con un tiempo establecido de 10 años, cuyas coordenadas Geográficas son:

Tabla 19. Coordenadas UTM del Datum WSG84 de la zona 18 L del Fundo “El Gran Chaparral”.

Sector	Coordenadas		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
La Villa	493564	9057638	181

El área de investigación es una parcela de *E. guineensis* de 10 años de edad de la variedad CIRAD que tiene una producción de 12 tn/ha, instalada en febrero del año 2012, toda el área tiene una extensión de 100 ha, casi toda el área presenta suelos con un nivel de degradación moderada.

3.1.1. Ubicación geográfica

El lugar donde se ejecutó el estudio se ubica a 08° 38' 21" de latitud Sur, 74° 57' 52" de Longitud Oeste y una altitud de 204 msnm.

3.1.2. Clima

Posee un clima cálido, lluvioso, que por su ubicación corresponde a selva baja, caracterizada por presentar precipitaciones promedias anuales de 1 925.30 mm, con temperatura promedio de 27.5 °C o más sin cambio térmico invernal definido, humedad relativa de 85.20%.

3.1.3. Zona de vida

Según el diagrama bioclimático y de formaciones del mundo Holdridge (1987) el área de investigación está en la zona de vida bosque húmedo subtropical (bh-ST).

3.1.4. Suelo

Los suelos del Fundo “El Gran Chaparral” se caracterizan ya que presentan pH con niveles de extremadamente a fuertemente ácidos, bajos contenidos de MO, P, K y capacidad de cambio, con textura media, de clase textural franco. (Miranda y Panduro, 2014).

3.1.5. Fisiografía

De esta manera general la zona esta caracterizada por una unidad de fisiografía de terraza plana no inundable, con una pendiente de 0% a 4%.

3.1.6. Hidrografía

Está representada por riachuelos y quebradas que desembocan al río Neshuya que es tributario del río Ucayali.

3.1.7. Accesibilidad

Por vía terrestre a través de una carretera asfaltada de Tingo María hasta el km 60 de la carretera Federico Basadre – Neshuya en un tiempo aproximado de 4 horas en auto, del km 60 doblando a la margen izquierda por una carretera afirmada a 18 km de recorrido en auto en un tiempo de una hora aproximadamente con dirección a Curimana, se llega hasta la parcela donde se realizó la investigación, siendo el límite del distrito de Neshuya con el distrito de Curimaná.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Se utilizaron los siguientes materiales de campo: una libreta y fichas de campo, buguis para transportar escobajo y pala recta, un cuadrado muestreador de 25 x 25 cm, un costal de yute para el suelo destinado al muestreo de Macrofauna.

Wincha de 5 m, eclímetro, bolsas plásticas, lampas, picos, etiquetas para las muestras, lapiceros y machete.

También se emplearon tamices, balanza analítica, pipetas, picetas, termómetro, ácido clorhídrico, peachímetro y reactivos para estudios de suelos, que incluyeron agua destilada, cloroformo, alcohol y ácido clorhídrico.

3.2.2. Equipos

Laptop Toshiba y programa ArcGis, balanza de precisión, una estufa, pH metro, cámara fotográfica, GPS navegador que sirvió para ubicar las coordenadas del lugar de la investigación.

3.3. Método y diseño de la investigación

Descriptivo – comparativo y explicativo, ya que se describieron y realizaron una comparación de las distintas unidades en evaluación.

3.3.1. Enfoque metodológico de la investigación

Se ejecutó durante 11 meses en un cultivo de *Elaeis guineensis* (palma aceitera) de 10 años, con una densidad de siembra de 9 x 9 m y sin manejo tecnificado. Durante este tiempo, se llevaron a cabo actividades para cumplir con los objetivos establecidos.

3.3.2. Tipo de investigación

Es descriptiva que analiza el impacto del escobajo como fuente orgánica en los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo, con el fin de mejorar su rendimiento y

calidad en la producción de *Elaeis guineensis* (palma aceitera).

3.3.3. Nivel de la investigación

Es probabilístico porque se basa en un muestreo para obtener datos representativos.

3.3.4. Diseño de la investigación

El diseño fue transversal (Hernández et al., 2006), ya que los datos fueron recolectados en un solo momento por un muestreo y estudio de suelo, analizando las parámetros físicos, químicos y biológicos, así como las actividades realizadas durante el periodo de ejecución.

3.4. Metodología

La presente investigación tiene la siguiente metodología

3.4.1. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades físicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad – Ucayali

- Ubicación de la parcela

La coordinación se realizó con el fin de visitar las plantaciones de *E. guineensis* de 10 años en el fundo “El Gran Chaparral” en el caserío “La Villa” con la finalidad de definir el área específica de investigación y las demás actividades que se realizarían.

- Georreferenciación de los sistemas de plantaciones

Fue georreferenciado la parcela con cultivo de *E. guineensis* de 10 años para ejecutar el trabajo de campo según la metodología propuesta.

- Obtención del escobajo de *E. guineensis*

El escobajo se retiró de la planta (fabrica) con volquetes hacia la parcela de investigación. Una vez puesto en la parcela se incorporó en el plato de la planta de manera uniforme.

- Aplicación del escobajo de *E. guineensis*

Se aplicó el escobajo de acuerdo con los tratamientos de análisis propuestos en la investigación.

- Muestreo de suelos

Se recolectaron del plateo de la planta a 2.0 m de la base del tallo y a 30 cm de profundidad, utilizando un tubo muestreador de suelo. Estas muestras se depositaron en un costal de yute para homogenizarlas y conseguir un kilogramo que se envió al Laboratorio de Análisis de Suelos de la UNAS para ser estudiadas. Al finalizar el experimento, también se

analizó el sustrato.

Las muestras se tomaron de las cuatro parcelas plantadas con *E. guineensis* de 10 años en el Fundo “El Gran Chaparral”, donde se determinaron algunas propiedades in situ y las demás se trasladaron al Laboratorio de Suelos para su análisis correspondiente.

- Efecto del escobajo en las propiedades físicas del suelo con cultivo de *E. guineensis*

Las características físicas de la tierra se definieron según la metodología detallada en la Tabla 20:

Tabla 20. Métodos para determinar las propiedades físicas.

Indicadores físicos	Método
Textura del suelo	Método del hidrómetro de bouyoucos
Dap	Volumen, peso húmedo y seco del suelo
Rps	Penetrómetro (análogo)

Fuente: (Moscatelli *et al.*, 2005); (Acevedo *et al.*, 2005)

- Densidad aparente

Para determinar el espesor del claro, se limpiaron áreas de 40 x 40 cm alrededor de los focos examinadores. Se introdujo una cámara metálica (protegida en su superficie) con un mazo, se extrajo con la muestra de tierra, y se fijaron los bordes con una cuchilla. La muestra se transportó al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, donde se registraron el peso de la cámara y el peso del suelo húmedo. Tras secar la muestra en una estufa a 105 °C durante 72 horas y registrar el peso seco, se calculó el espesor del claro mediante la Ecuación.

$$\text{Densidad aparente} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen del suelo}}$$

- Resistencia a la penetración del suelo

Se ubicaron los puntos de muestreo, el área fue limpiada y se hizo un corte en la tierra para introducir el penetrómetro horizontalmente. Posteriormente, se registraron las lecturas en kg/m².

Las evaluaciones de las propiedades físicas se dieron al inicio y al final de la incorporación del escobajo – en la zona del plateo, luego de un (01) año los datos nos permitieron determinar con el análisis estadístico que propiedad física tuvo mejores valores.

3.4.2. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades químicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia

Padre Abad - Ucayali

El muestreo se realizó a la profundidad efectiva de cada punto de evaluación. Los parámetros analizados en laboratorio incluyeron: MO, CIC, pH, N, P, y los cationes intercambiables: Ca, Mg, K y Na, así como el total de bases intercambiables y la acidez intercambiable. La metodología para evaluar la fertilidad de tierras se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21. Métodos para determinar los parámetros químicos.

Indicadores químicos	método
MO	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo o pH	Método del potenciómetro
N Total	Método de Kjeldahl
P disponible	Método de Olsen
K disponible	Método del Ácido sulfúrico
C.I.C	Método del Acetato

Fuente: (Moscatelli *et al.*, 2005); (Acevedo *et al.*, 2005)

Las evaluaciones de los parámetros químicos se dieron al inicio y al final de la incorporación del escobajo – en zona del plato, luego de un (1) año los datos nos permitieron determinar con el análisis estadístico que propiedad química tuvo mejores valores.

3.4.3. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades biológicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad - Ucayali

El muestreo de la macrofauna del suelo se realizó según la metodología del Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993). Se extrajo un monolito de 25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidad como unidad de muestreo a lo largo de un transecto seleccionado aleatoriamente dentro del sistema. (Figura 2).

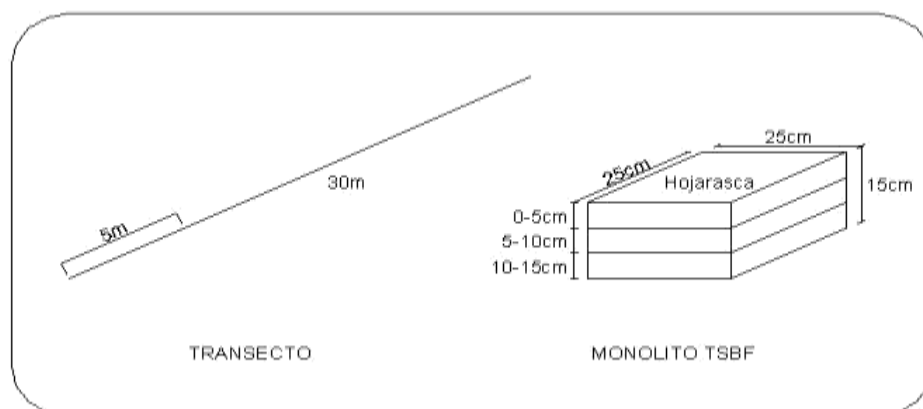


Figura 2. Metodología de muestreo para macrofauna del suelo ((TSBF,IUBS/UNESCO).

Para evaluar la densidad individual (ind/m²) y la biomasa (g/m²) en cada

parcela, se tomaron tres muestras (monolitos), lo que resultó en un total de doce puntos de muestreo. Cada muestra representó un monolito, y los individuos se separaron en dos capas sucesivas (hojarasca, 0-10 cm), como observamos en la Figura 1. La macrofauna se definió como individuos mayores de 2 mm. Los artrópodos recolectados se preservaron en alcohol al 70% y las lombrices de tierra en formalina al 4%. En el laboratorio, se contaron, pesaron e identificaron los macroinvertebrados hasta el nivel taxonómico de orden.

- **Densidad**

La densidad (número de individuos/m²) se estimó cuantitativamente por capa (hojarasca, 0-10 cm) según el método de instalación de la palma aceitera. Ya que cada muestreo se realizó en un cuadrado de 25 cm (1/16 m²), el dato de cada punto fueron multiplicados por 16 para conseguir el número de ind/m² (Correia y Oliveira, 2000).

- **Biomasa**

La densidad (número de ind/m²) se estimó por capa (hojarasca, 0-10, 10-20 y 20-30 cm) siguiendo el método de instalación de palma aceitera. Para cada muestreo, se usó un cuadrado de 25 cm (1/16 m²), por lo que el dato de cada punto fueron multiplicados por 16 para calcular el número de ind/ m² (Correia y Oliveira, 2000).

Las evaluaciones de las propiedades biológicas se dieron al inicio y al final de la incorporación del escobajo – en {a zona del plateo, luego de un (01) año los datos nos permitieron determinar con el análisis estadístico que propiedad biológica tuvo mejores valores.

3.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la investigación fueron establecidos por el diseño bloque completo al azar (DBCA). El elemento en análisis es la “aplicación de escobajo de *E. guineensis*” con sus niveles de 50 kg, 150 kg y 250 kg, más un tratamiento testigo que no tuvo ninguna aplicación del escobajo que nos sirvió como base de comparación, con tres bloques que son las repeticiones de una ha de extensión. La unidad experimental lo conformaron por 50 plantas de *E. guineensis* en una zona experimental de diez ha. Se realizó el ANVA y la prueba de Fisher a un nivel de α : 0.05 y comparación de medias a través de la prueba de Duncan también a un nivel de α : 0.05.

Tabla 22. Descripción de los tratamientos en estudio.

Descripción	Tratamiento
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2
250 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3
Sin aplicación	T0

Tabla 23. Modelo del ANVA.

FV	GL	SC	CM	Fc
Bloques	b-1	SC_{BLOQ}	$CM_{BLOQ} = SC_{BLOQ}/b-1$	CM_{BLOQ} / CM_E
Escobajo de <i>E. guineensis</i>	t - 1	SC_{TR}	$CM_{TR} = SC_{TR}/t-1$	CM_{TR} / CM_E
Error	T-t	SC_E	$CM_E = SC_E/T-t$	
Total	T - 1	SC_T		

Donde:

$$Y_{ij} = \mu + T_i$$

+ ξ_{ij} Dónde:

Y_{ij} : Respuesta del i – ésimo tratamiento en la j – ésimo observación.

μ : Efecto de la media general.

β : Efecto de los bloques.

T_i : Efecto de la i - ésimo tratamiento.

ξ_{ij} : Efecto aleatorio del error experimental.

Para:

i = 1, 2,... y 4 tratamientos.

j = 1, 2,...y 15 repeticiones (observaciones).

Para identificar diferencias estadísticas en las unidades exploratorias (antes y después de la incorporación del escobajo) con respecto a las variables dependientes, se aplicó la prueba t para inferencia basada en dos muestras.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades físicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* distrito Neshuya, provincia Padre Abad - Ucayali

4.1.1. Textura del suelo

En las parcelas tratadas con escobajo de *E. guineensis* en el fundo "El Gran Chaparral" se mantuvo sin cambios durante la investigación, variando de franco a franco arcilloso en todos los tratamientos. Según Donahue et al. (1999), la textura del suelo se clasifica como arenosa, arcillosa o limosa según el predominio de arena, arcilla o limo, respectivamente. La clase textural varía en función de la proporción de cada componente.

Tabla 24. Comportamiento de la textura del suelo al inicio y al final en las parcelas evaluadas.

Tratamientos	Inicio	Final
50 kg de escobajo	Franco arcillo arenoso	Franco Arcillo arenoso
150 kg escobajo	Franco arcilloso	Franco arcilloso
250 kg de escobajo	Franco	Franco
0 kg escobajo	Franco arcilloso	Franco arcilloso

4.1.2. Porosidad del suelo

El ANVA para el efecto del escobajo de *E. guineensis* en la variable porosidad de la tierra (tabla 25) realizado a un nivel de confianza $p < 0.05$, muestra que los niveles en peso no presentaron diferencias estadísticas significativas para los bloques, pero presentaron diferencias estadísticas significativas entre los niveles en peso para el escobajo de *E. guineensis*. El coeficiente de variación indica un valor de 5.31% para la evaluación inicial y de 5.15% para la evaluación final, esto indica que la influencia ambiental fue muy baja.

Tabla 25. Análisis de variancia para la porosidad del suelo

Evaluación	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	64.19	32.10	4.60	0.062	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	105.09	35.03	5.02	0.045	*
	Error experimental	6	41.89	6.98			
Final	Bloques	2	2.07	1.03	0.16	0.857	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	88.03	29.34	4.51	0.056	NS
	Error experimental	6	39.04	6.51			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 5.31%, 5.15%

Mediante la prueba de relación de promedios de Duncan mostrado en la tabla 8, indican que el Testigo aquellas plantas sin aplicación de escobajo tuvo los mejores valores en cuanto a la porosidad del suelo, con 52.83% en la evaluación inicial y 53.56% en la evaluación final, seguido del tratamiento dos que es la aplicación de 150 kg de escobajo de *E. guineensis* con valores de 51.81% en la evaluación inicial y 50.26% en la evaluación final. La FAO (2006) indica que el espacio poroso del suelo representa el porcentaje del volumen no ocupado por sólidos. Este volumen está compuesto en un 50% por materiales sólidos (45% minerales y 5% MO) y en un 50% por espacio poroso, el cual se divide en macroporos y microporos que permiten la circulación o retención de agua, nutrientes, aire y gases. Por ello, es una variable importante que evaluar.

Según Quesada (1997), el cultivo de *E. guineensis* prospera en tierras bien drenadas que previenen la erosión y la lixiviación de nutrientes. Por lo tanto, son preferibles las zonas con pendientes suaves (hasta un 25%), ya que las pendientes pronunciadas ayudan a la erosión por escorrentía y dificultan el empleo del cultivo. Una porosidad adecuada del suelo también es necesaria para asegurar un drenaje adecuado. En consecuencia, los mejores suelos para *E. guineensis* presentan buena porosidad y disponibilidad de nutrientes.

Tabla 26. Valores promedio de la porosidad del suelo en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T ₁	45.17 ^b	46.23 ^b
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T ₂	51.81 ^a	50.26 ^{ab}
250 de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T ₃	49.17 ^{ab}	48.23 ^b
Sin aplicación	T ₀	52.83 ^a	53.56 ^a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.1.3. Resistencia a la penetración del suelo

El ANVA del efecto escobajo en los parámetros físicos del suelo se genera para la variable resistencia a la inserción de la tierra en la Tabla 27, indica que al nivel de confianza del 95%, existe evidencia estadística que confirma que los valores promedio que se obtuvo en cada nivel son distintos, también podemos observar que no existe diferencia estadística para la masa. Los coeficientes de variación en los estudios inicial y final fueron muy bajos, 2,09% y 3,57%, respectivamente.

Tabla 27. Análisis de variancia para la variable resistencia a la penetración del suelo.

Evaluación	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	0.0025	0.0013	0.87	0.466	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	0.39	0.13	88.70	0.00001	*
	Error experimental	6	0.01	0.0016			
Final	Bloques	2	0.0036	0.0018	0.43	0.671	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	1.04	0.35	81.54	0.00001	*
	Error experimental	6	0.03	0.0042			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 2.09% , 3.57%

La prueba de semejanza de promedios de Duncan (tabla 28) a la variable resistencia a la infiltración de la tierra por efecto del escobajo de *E. guineensis* muestra que los niveles 150 kg y 250 kg de aplicación tuvieron los mejores valores con 2.00 g/cm² para ambos casos, es decir estadísticamente son diferentes.

Tabla 28. Valores promedio para la resistencia a la penetración del suelo en las evaluaciones.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	1.60 ^c	1.50 ^c
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	2.00 ^a	2.30 ^a
250 de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	2.00 ^a	1.80 ^b
Sin aplicación	T0	1.70 ^b	1.70 ^b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

La compactación de tierra, reflejada en un índice integrado que considera compactación, humedad, textura, tipo de arcilla, materia orgánica y estructura (Navarro, 2003), restringe el enraizamiento cuando supera 1,4 g/cm² para ciertos cultivos (Zerpa, 2006). Esta compactación disminuye el espacio poroso, limitando el desarrollo radical (Bengough y Mullins, 1991).

4.2. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades químicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad - Ucayali

4.2.1. El pH

A un nivel de confianza del 95% podemos afirmar que hay diferencias estadísticas significativas entre los niveles en peso del escobajo de *E. guineensis* con respecto a la variable pH en el suelo en los dos análisis realizados, no existiendo diferencias estadísticas significativas en los bloques, así mismo presenta una baja influencia ambiental en las dos

evaluaciones con valores de 4.60% y 3.70% en el coeficiente de variación.

Tabla 29. Análisis de variancia del pH del suelo.

Etapa	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	0.01	0.01	0.17	0.844	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	1.80	0.60	15.00	0.0034	*
	Error experimental	6	0.24	0.04			
Final	Bloques	2	0.0045	0.0022	0.09	0.9148	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	1.18	0.39	15.93	0.0029	*
	Error experimental	6	0.15	0.02			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 4.60%, 3.70%

Según Fassbender (1987), el pH es un parámetro químico de gran importancia edáfica, influyente en la disponibilidad de nutrientes y en las características físicas y biológicas del suelo. La prueba de Duncan (tabla 29, 95% de confianza) mostró que la aplicación de 150 kg de raquis de *E. guineensis* resultó en el mejor valor de pH (4.93) tanto al inicio como al final del estudio, siendo significativamente superior a los demás niveles, seguido por la aplicación de 50 kg de raquis de *E. guineensis*, aunque con una diferencia jerárquica respecto al primero.

Según los rangos de pH de la tabla, 150 kg de residuos de *E. guineensis* indican un suelo fuertemente ácido (UNAS, 2022). Fassbender y Bornemisza (1987) afirman que el pH favorable para el desarrollo vegetal se encuentra entre 6,5 y 7,5; valores fuera del rango causarían problemas de toxicidad. Los cuatro tratamientos aplicados no modificaron significativamente el pH; en algunos casos, los valores disminuyeron, siendo el mejor resultado de la evaluación final un pH de 4,58 en el mismo tratamiento.

Tabla 30. Valores promedio del pH del suelo en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	4.45 ^b	4.53 ^a
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	4.93 ^a	4.58 ^a
250 de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	2.00 ^c	3.88 ^b
Sin aplicación	T0	3.98 ^c	3.99 ^b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.2.2. Materia orgánica

Con un nivel de confianza del 95%, se confirma la existencia de diferencias estadísticas significativas en los niveles de peso del escobajo de *E. guineensis* con respecto a la

MOS entre las dos evaluaciones. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en los bloques, y la influencia ambiental es baja en ambas evaluaciones, con coeficientes de variación de 4.14% y 4.63%.

Tabla 31. Análisis de variancia de la materia orgánica (%) del suelo.

Etapa	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	0.0036	0.0018	0.12	0.88944	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	10.67	3.56	237.02	0.00001	*
	Error experimental	6	0.09	0.02			
Final	Bloques	2	0.0045	0.0022	0.09	0.9148	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	1.18	0.39	15.93	0.0029	*
	Error experimental	6	0.15	0.02			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 4.14%, 4.63%

La prueba de semejanza de medias de Duncan aplicada a los niveles en peso de escobajo de *E. guineensis* a un nivel de confianza del 95% para la variable materia orgánica en dos evaluaciones, inicial y final nos detalla que, el nivel 150 kg de escobajo de *E. guineensis* presentó el mejor valor con 4.23% en la evaluación inicial y 4.58% en la evaluación final, este valor según Soil Survey Staff (1993) el nivel 150 kg de escobajo de *E. guineensis* contiene un nivel alto de materia orgánica para las dos evaluaciones, aumentando en 0.35% en la última evaluación, estos valores demuestran resultados esperables por el gran aporte de materia que significa aplicar escobajo de palma a cada individuo de la misma especie.

Graetz (1997) sostiene que la MO influye en los parámetros físicos de la tierra al formar agregados y proporcionar consistencia estructural. Se une a las arcillas, crea el complejo de variación y facilita la compactación y almacena del agua, disminuye la erosión y favorece el intercambio gaseoso. Estas características son esenciales para desarrollo favorable de las especies. Además, en el ámbito químico, incrementa la CIC, almacenamiento de nutrientes para los cultivos y la capacidad tampón del suelo, lo que potencia la acción de los abonos minerales y su absorción mediante las membranas celulares de las raíces.

Zavaleta (1992) indica que la MO es crucial para la calidad del suelo. La adición de compost mejora los suelos arenosos, mientras que en suelos arcillosos, la materia orgánica los vuelve más ligeros y suaves. Sin embargo, como señala Navarro (2003), el contenido de MO varía significativamente según la región: un 2% puede ser alto en un valle aluvial costero, bajo en la sierra y medio en la Amazonía baja. Por lo tanto, la evaluación de los niveles de materia orgánica (bajo, medio, alto, muy alto) debe realizarse regionalmente y considerando las necesidades específicas del cultivo.

Tabla 32. Valores promedio de la MO (%) en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	1.61 ^d	4.30 ^a
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	4.23 ^a	4.58 ^a
250 de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	2.76 ^c	3.58 ^b
Sin aplicación	T0	3.23 ^b	3.77 ^b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.2.3. Nitrógeno disponible

El ANVA para la variable nitrógeno disponible por efecto del escobajo de *E. guineensis* realizada a un nivel de confianza del 95% muestra existencia de diferencias estadísticas significativas entre los niveles en peso del escobajo de *E. guineensis* en los dos estudios realizados, no existiendo diferencias estadísticas significativas en los bloques, así mismo presenta una baja influencia ambiental en las dos evaluaciones con valores de 7.15% y 5.69% en el coeficiente de variación.

Tabla 33. Análisis de variancia del nitrógeno disponible (%) del suelo.

Etapas	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	0.00012	0.00005	0.51	0.623	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	0.03	0.01	81.63	0.0001	*
	Error experimental	6	0.00068	0.00011			
Final	Bloques	2	0.00022	0.00011	0.76	0.506	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	0.0038	0.0013	9.00	0.0122	*
	Error experimental	6	0.00085	0.00014			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 7.15%, 5.69%

La prueba de semejanzas de promedios de Duncan realizado a los niveles en peso de escobajo de *E. guineensis* a un nivel de confianza del 95% para la variable nitrógeno disponible en dos evaluaciones (tabla 34), inicial y final nos muestra que, el nivel 150 kg de escobajo de *E. guineensis* presentó el mejor valor con 0.20% en la evaluación inicial y 0.23% en la evaluación final, este valor según Soil Survey Staff (1993) el nivel 150 kg de escobajo de *E. guineensis* contiene un nivel medio de nitrógeno disponible para las dos evaluaciones, aumentando en 0.03% en la última evaluación. El resultado que se obtuvo en este trabajo, aunque el mejor valor presente valores medios se puede explicar por el aporte de materia orgánica, en este caso restos de escobajo de *E. guineensis*, Navarro (2003) menciona que gran parte del N existente en tierras minerales se encuentran formando parte de la MOS.

Fernández (2006) indica que el N se incorpora a la tierra a través de la MO. La

escasez de este macronutriente, sumada al tiempo de aplicación y lenta liberación, explicaría los niveles medios de N en el suelo, lo cual concuerda con Sánchez (2007), quien señala que la dinámica y el ciclo biogeoquímico del N limitan su presencia en muchos suelos.

Tabla 34. Valores promedio del nitrógeno disponible (%) en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	0.08 ^d	0.20 ^b
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	0.20 ^a	0.23 ^a
250 de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	0.14 ^c	0.23 ^a
Sin aplicación	T0	0.18 ^b	0.19 ^b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.2.4. Fósforo disponible

El ANVA para la variable P disponible por efecto del escobajo de *E. guineensis* realizada a un nivel de confianza del 95% detalla no existe diferencia estadística significativa entre los niveles en peso del escobajo de *E. guineensis* en los dos estudios, no existiendo diferencias estadísticas significativas para los efectos en la fuente de variación de los bloques, así mismo presenta una muy baja influencia ambiental en las dos evaluaciones con valores de 1.68% y 0.91% en el coeficiente de variación, que refleja una acción mínima de este.

Tabla 35. ANVA del fósforo disponible (ppm) del suelo.

Etapa	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	0.21	0.11	3.16	0.116	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	159.91	53.30	1584.19	0.0001	*
	Error experimental	6	0.20	0.03			
Final	Bloques	2	0.03	0.01	1.84	0.239	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	65.23	21.74	2991.22	0.0001	*
	Error experimental	6	0.04	0.01			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 1.68%, 0.91%

La prueba de semejanza de promedios de Duncan realizado a los niveles en peso de escobajo de *E. guineensis* a un nivel de confianza del 95% para la variable P disponible en dos evaluaciones (tabla 36), inicial y final nos muestra que, el nivel 250 kg de escobajo de *E. guineensis* presentó el mejor valor con 15.73% en la evaluación inicial y el nivel sin aplicación que funge como testigo tuvo 13.10% como el mejor valor en la evaluación final, estos valores obtenidos según la Soil Survey Staff (1993) son niveles de proporción de P alto

tanto para la aplicación de 250 kg de escobajo de *E. guineensis* así como en el testigo.

Lok (2005) indica que el contenido total de P en el suelo, expresado como P₂O₅, raramente excede 7 ppm debido a que gran parte no es asimilable. Valores más altos podrían originarse de fertilizaciones fosfatadas previas en el cultivo de *E. guineensis* y, según Wild (1992), dependen de la acidez, MO y la textura del suelo, sugiriendo un efecto del manejo agronómico. Navarro (2003) añade que la fertilización fosfatada es la principal fuente de P en el suelo, mientras que las pérdidas ocurren por la extracción durante la cosecha, la erosión y, en menor medida, la lixiviación.

Tabla 36. Valores promedio del fósforo disponible (ppm) en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	6.51 ^d	6.83 ^d
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	8.36 ^c	8.23 ^c
250 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	15.73 ^a	9.11 ^b
Sin aplicación	T0	12.95 ^b	13.10 ^a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.2.5. Potasio disponible

El ANVA (95% de confianza) para K disponible, influenciado por el raquis de *E. guineensis*, indica diferencias estadísticas significativas entre los niveles de peso del raquis en las dos evaluaciones. No existen diferencias significativas en los bloques, y la influencia ambiental fue baja en ambas evaluaciones, con coeficientes de variación de 1.17% y 2.87%.

Tabla 37. ANVA del K disponible (kg/ha) del suelo.

Etapa	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	2.68	1.34	0.78	0.502	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	4646.07	1548.69	896.48	0.0001	*
	Error experimental	6	10.37	1.73			
Final	Bloques	2	41.35	20.68	1.06	0.4040	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	5152.69	1717.56	87.90	0.0001	*
	Error experimental	6	117.24	19.54			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 1.17%, 2.87%

La prueba de semejanza de promedios de Duncan realizado a los niveles en peso de escobajo de *E. guineensis* a un nivel de confianza del 95% para la variable potasio disponible en dos evaluaciones (tabla 38), inicial y final nos muestra que, el nivel 50 kg de escobajo de *E. guineensis* presentó el mejor valor con 139.92 kg/ha en la evaluación inicial y

el nivel 250 kg de escobajo de *E. guineensis* tuvo 179.19 kg/ha como el mejor valor en la evaluación final, estos valores obtenidos según la Soil Survey Staff (1993) son niveles de proporción de K bajo para los dos niveles de aplicación de escobajo de *E. guineensis*. Lok (2005) menciona que el K en la tierra es encontrada en proporciones relativamente grandes y son los suelos arcillosos y limosos los que presentan un contenido mayor, los valores bajos encontrados puedan deberse a la extracción del nutriente por parte del cultivo y la aplicación del escobajo *E. guineensis* aporta potasio porque observamos en cada nivel tomado como tratamiento un incremento en los valores obtenidos en la evaluación final.

El escobajo aporta potasio, un macronutriente esencial para los vegetales en cantidades similares al nitrógeno, como indica Navarro (2003). El potasio activa numerosas enzimas (más de 60), cruciales en etapas metabólicas como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y carbohidratos, y el balance hídrico. Lok (2005) añade que este nutriente facilita el desarrollo vegetativo, fructificación, maduración y calidad de los frutos.

Tabla 38. Valores promedios del potasio disponible (kg/ha) del suelo en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	139.92 ^a	155.51 ^b
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	100.91 ^c	159.11 ^b
250 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	87.88 ^d	179.19 ^a
Sin aplicación	T0	120.02 ^b	121.52 ^c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico del suelo

El análisis de varianza (95% de confianza) de la CIC de la tierra, influenciada por el escobajo de *E. guineensis*, reveló diferencias estadísticas significativas entre los niveles de peso del escobajo en los dos estudios. No existen diferencias significativas en los bloques, y la influencia ambiental fue baja en ambas evaluaciones, con coeficientes de variación del 4.43% y 4.99%.

Tabla 39. Análisis de variancia de la CIC (meq/100 g de suelo) del suelo.

Etapa	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	0.73	0.36	2.17	0.196	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	21.30	7.10	42.39	0.0002	*
	Error experimental	6	1.01	0.17			
Final	Bloques	2	0.07	0.04	0.10	0.906	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	34.3	11.44	32.58	0.0004	*
	Error experimental	6	2.11	0.35			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 4.43%, 4.99%

La prueba de semejanza de promedios de Duncan realizado a los niveles en peso de escobajo de *E. guineensis* a un nivel de confianza del 95% para la variable capacidad de intercambio catiónico en dos evaluaciones (tabla 40), inicial y final nos muestra que, el nivel 50 kg de escobajo de *E. guineensis* presentó el mejor valor con 10.83% en la evaluación inicial y el nivel 250 kg de escobajo de *E. guineensis* tuvo 13.53% como el mejor valor en la evaluación final, estos valores obtenidos según la Soil Survey Staff (1993) a $\text{pH} > 5.5$ son niveles de CIC bajo para los dos niveles de aplicación de escobajo de *E. guineensis* y a $\text{pH} < 5.5$ niveles medios, según Fassbender (1987) la CIC es una de los parámetros con mayor importancia del suelo, refiriéndose a su capacidad para retener cationes positivos, debido a que el complejo coloidal de la tierra tiene cargas negativas.

Según Cepeda (1991), los cationes más importantes relacionados con el desarrollo vegetal son el Ca, el Mg, el K, el NH_4 , el Na y el H. Los cuatro primeros son nutrientes directamente implicados en el crecimiento vegetal, mientras que el Na y el H afectan significativamente la disponibilidad de nutrientes y la humedad. En tierras ácidas, el hidrógeno y el aluminio son los cationes predominantes. Con respecto a los valores bajos y medios obtenidos en función del pH del suelo, Fassbender (1987) señala que la CIC se ve afectada por el tamaño de partícula: las partículas más pequeñas resultan en una mayor capacidad de intercambio. También son importantes el tipo de cationes intercambiables (monovalentes, divalentes, grandes, etc.) y, en consecuencia, el pH. En general, con base en los valores encontrados, las parcelas donde se aplicaron estos niveles de racimos de *E. guineensis* permiten un desarrollo medio de la especie, debido a la importancia de esta variable en el control, según Cepeda (1991), de la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , entre otros.

Tabla 40. Valores promedios de la CIC (meq/100 g de suelo) en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	10.83 ^a	12.92 ^{ab}
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	9.18 ^b	11.92 ^b
250 de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	9.76 ^b	13.53 ^a
Sin aplicación	T0	7.17 ^c	9.12 ^c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.2.7. Calcio del suelo

El ANVA para la variable calcio de la tierra por efecto del escobajo de *E. guineensis* realizada a un nivel de confianza del 95% define que existen diferencias estadísticas

significativas entre los niveles en peso del escobajo de *E. guineensis* en los dos estudios realizados, no existiendo diferencias estadísticas significativas en los bloques, así mismo presenta una baja influencia ambiental en las dos evaluaciones con valores de 6.16% y 1.56% en el coeficiente de variación.

Tabla 41. Análisis de variancia del calcio (meq/100g suelo) del suelo.

Etapa	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	0.04	0.02	0.23	0.805	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	12.29	4.10	41.84	0.0002	*
	Error experimental	6	0.59	0.10			
Final	Bloques	2	0.01	0.0034	0.43	0.6706	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	4.79	1.60	198.58	0.0001	*
	Error experimental	6	0.05	0.01			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 6.16%, 1.56%

La prueba de semejanza de medias de Duncan de los niveles de aplicación de escobajo de *E. guineensis* al del 95% de confianza para la variable calcio de la tierra en dos evaluaciones (tabla 42), inicial y final nos muestra que, el nivel 50 kg de escobajo de *E. guineensis* presentó los mejores valores teniendo 6.66 meq/100g en la evaluación inicial y de 6.76 meq/100g como el mejor valor en la evaluación final, Fassbender (1987) menciona que los valores de referencia para la existencia de Ca en el suelo en forma de Ca^{2+} se encuentran entre 9 -10.5 meq/100 g suelo, los valores obtenidos están por debajo de los valores referenciados, acto que ameritaria un abonamiento a base de cal agrícola para elevar estos valores que según estos datos suponen que el escobajo de *E. guineensis* no aporta calcio al suelo de manera importante, aunque todo abonamiento sigue un plan y sobre todo un análisis foliar para conocer el requerimiento nutricional de la especie, porque según Sánchez y Dios Vidal (1976) las especies vegetales tienen notables diferencias en cuanto a sus necesidades de Ca.

Brady y Weil (2002), el Ca es básico para la composición del suelo. En suelos no ácidos, o donde el Al no es el catión dominante, el Ca es el catión predominante en el complejo de intercambio del suelo. Cuando el calcio alcanza un nivel crítico, la concentración de metales como Mg, Mn y Zn aumenta en la solución del suelo, alcanzando potencialmente niveles tóxicos que inhiben el crecimiento de los cultivos.

Tabla 42. Valores promedio del calcio del suelo (meq/100g suelo) en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	6.66 ^a	6.76 ^a

150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	4.19 ^c	5.72 ^b
250 de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	4.20 ^c	5.46 ^c
Sin aplicación	T0	5.27 ^b	5.05 ^d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.2.8. Magnesio del suelo

El ANVA para la variable magnesio de la tierra por efecto del escobajo de *E. guineensis* realizada a un nivel de confianza del 95% define que existen diferencias estadísticas significativas entre los niveles en peso del escobajo de *E. guineensis* en los dos estudios realizados, no existiendo diferencias estadísticas significativas en los bloques, así mismo presenta una relativa influencia ambiental en las dos evaluaciones con valores de 8.90% y 1.87% en el coeficiente de variación.

Tabla 43. Análisis de variancia del magnesio del suelo (meq/100g suelo).

Etapa	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
	Bloques	2	0.13	0.07	3.33	0.1206	NS
Inicial	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	2.01	0.67	34.02	0.0009	*
	Error experimental	6	0.10	0.02			
	Bloques	2	0.01	0.0048	3.14	0.117	NS
Final	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	0.10	0.03	22.14	0.0012	*
	Error experimental	6	0.01	0.0015			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 8.90%, 1.87%

El análisis de Duncan (95% de confianza) para los niveles de aplicación de escobajo de *E. guineensis* y su efecto en el magnesio del suelo (Tabla 44) reveló que el testigo (sin aplicación) presentó los mejores valores: 2.10 meq/100g (inicial) y 2.24 meq/100g (final). Vistoso y Martínez (2020) señalan que el magnesio, un macronutriente frecuentemente subestimado en la fertilización, puede limitar el desarrollo, evolución y la producción de plantaciones. Una fertilización eficaz debe considerar: i) el potasio disponible del suelo (suministro de Mg), ii) la capacidad de adsorción de magnesio del suelo, iii) la absorción de magnesio por el cultivo, iv) la utilización del cultivo, v) el historial de fertilización, vi) las características edafoclimáticas locales y vii) el balance con las dosis de potasio y calcio. Ross (2004) indica que, en palma aceitera, el Mg es el tercer nutriente con mayor importancia después del K y el N, con una absorción aproximada de 98 kg MgO/ha en plantaciones que rinden 24 t/RFF ha, en comparación con solo 62 kg/ha de P205 para la misma producción.

Tabla 44. Valores promedio del magnesio del suelo (meq/100g suelo) en las evaluaciones

inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	1.94 ^a	1.99 ^c
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	1.23 ^b	2.12 ^b
250 de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	1.13 ^b	2.04 ^b
Sin aplicación	T0	2.10 ^a	2.24 ^a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.2.9. Aluminio del suelo

El ANVA para la variable aluminio de la tierra por efecto del escobajo de *E. guineensis* realizada a un nivel de confianza del 95% define la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los niveles en peso del escobajo de *E. guineensis* en los dos estudios realizados, no existiendo diferencias estadísticas significativas para los bloques, así mismo presenta una muy baja influencia ambiental en las dos evaluaciones con valores de 3.88% y 1.13% en el coeficiente de variación.

Tabla 45. Análisis de variancia del aluminio (meq/100g) del suelo.

Etap	Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	Sig 0.05
Inicial	Bloques	2	0.005	0.0025	0.24	0.7928	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	4.92	1.64	158.38	0.0001	*
	Error experimental	6	0.06	0.01			
Final	Bloques	2	0.0006	0.0003	0.42	0.6739	NS
	Escobajo <i>E. guineensis</i>	3	1.06	0.35	495.82	0.0001	*
	Error experimental	6	0.0043	0.0071			

GL: Grados de libertad, SC: Suma cuadrada, CM: Cuadrado medio, Fc: F calculado, Ft: F tabulado ($p < 0.05$) *Significación, CV: 3.88%, 1.13%

La prueba de comparación de promedios de Duncan realizado a los niveles de aplicación de escobajo de *E. guineensis* a un nivel de confianza del 95% para la variable aluminio de la tierra en dos evaluaciones (tabla 46), inicial y final nos muestra que, el nivel 250 kg de escobajo *E. guineensis* presentó los mejores valores teniendo 3.49 meq/100g en la evaluación inicial y de 2.67 meq/100g como el mejor valor en la evaluación final.

El Al es el principal elemento limitante del desarrollo y la productividad en los suelos ácidos, que representan más del 40% de la superficie agrícola mundial (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2007). La adición de MO que proviene del escobajo de *E. guineensis* reduce la presencia de aluminio en el suelo. En suelos ácidos con pH inferior a 5,5, el aluminio ocupa una gran cantidad de los lugares de intercambio de las arcillas, reemplazando cationes como Mg^{2+} y Ca^{2+} y adsorbiéndose a los fosfatos (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño,

2007). Por lo tanto, la materia orgánica producida en los cultivos de *E. guineensis* puede utilizarse para disminuir la concentración de aluminio en el suelo. En suelos ricos en materia orgánica, la mayoría de los iones de Al forman complejos no tóxicos con compuestos húmicos (Ma, 2000), lo que reduce la toxicidad del aluminio, que está relacionada con el contenido de nutrientes en la tierra.

Tabla 46. Valores promedio del aluminio del suelo (meq/100g) en las evaluaciones inicial y final.

Tratamientos	Código	Evaluaciones	
		Inicial	Final
50 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T1	2.89 ^b	2.57 ^b
150 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T2	2.34 ^c	2.27 ^c
250 kg de escobajo de <i>E. guineensis</i>	T3	3.49 ^a	2.67 ^a
Sin aplicación	T0	1.76 ^d	1.90 ^d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), según prueba de Duncan

4.3. Del efecto del escobajo al inicio y final de las propiedades biológicas del suelo con cultivo de *E. guineensis* (palma aceitera) distrito Neshuya, provincia Padre Abad - Ucayali

En las propiedades biológicas (tabla 47 y figura 3) se observa que la aplicación de 250 kg de escobajo de *E. guineensis* mostró los mejores valores en abundancia de individuos tanto en la etapa inicial con 116 ind.m⁻² como en la etapa final con 245 ind.m⁻², destacándose los órdenes Hymenóptera, Hemíptera, Coleóptera y Lepidóptera, seguida de la aplicación en el nivel de 150 kg de escobajo de *E. guineensis* con 110 ind.m⁻² en la etapa inicial y 233 ind.m⁻² la etapa final, destacándose los órdenes Hymenoptera, Isopoda, Lepidoptera y los Miriapodos.

Tabla 47. Densidad de la macrofauna del suelo por tratamiento aplicado en el cultivo de *E. guineensis*.

Clase – Orden	50 kg (ind.m ⁻²)		150 kg (ind.m ⁻²)		250 kg (ind.m ⁻²)		Sin aplicar (ind.m ⁻²)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Araneae	12	24	13	18	12	19	12	12
Coleoptera	5	16	6	19	13	27	14	14
Gasteropoda	17	26	18	17	4	7		
Miriapodos	7	18	7	21	2	9		
Haplotaxida	8	22	6	19	9	23	8	8
Hemiptera	6	17	5	18	14	35	15	15

Hymenoptera	12	26	13	28	18	38	16	22
Isopoda	9	19	15	28	16	21	17	19
Isoptera	7	23	7	18	2	16	0	0
Lepidoptera	11	26	12	28	12	27		
Orthoptera	9	17	8	19	15	23	15	16
Total	103	234	110	233	116	245	98	106

Las comunidades de macrofauna del suelo responden a factores como el clima, tipo de tierra, vegetación, tipo de cultivo y empleo, como señalaron Lavelle y Spain (2001). En este estudio, la aplicación de 250 kg de escobajo de *E. guineensis* resultó en el mayor número de individuos de los órdenes mencionados, tanto al inicio como al final. En contraste, Villalobos et al. (2000) hallaron que *Oligochaeta* (lombrices de tierra) y *Coleoptera* fueron los grupos más abundantes en un cultivo de maíz, aunque su fue realizado en época seca.

Pashanasi (2001) indica que la estructura, riqueza y diversidad de las comunidades de macrofauna varían según el grado de perturbación de la tierra provocado por el cambio en el empleo del suelo.

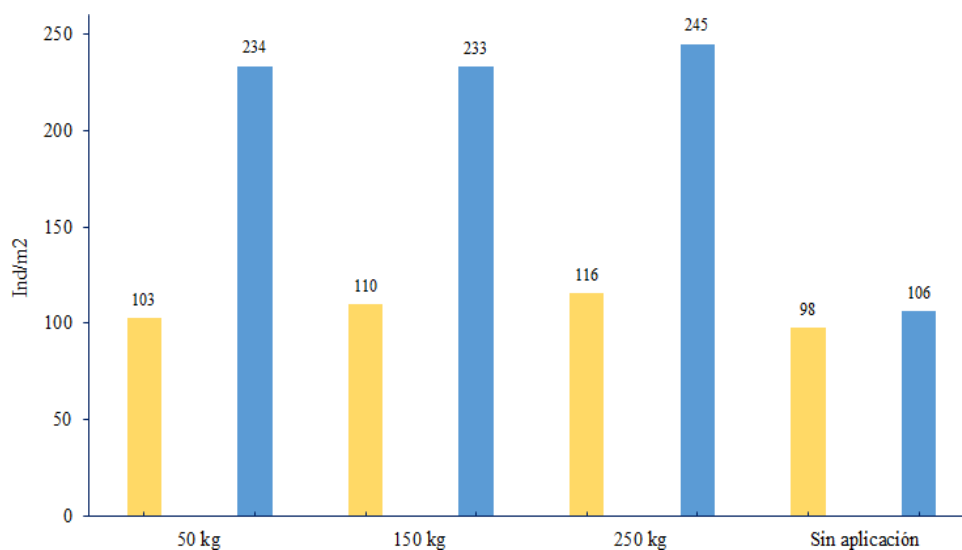


Figura 3. Macrofauna del suelo en respuesta a la aplicación de escobajo de palma aceitera.

La relación entre los parámetros fisicoquímicos de la tierra y la incorporación de escobajo revela una correlación positiva y significativa ($r = 0.96$, $p = 0.035290$) entre la macrofauna del suelo y el incremento de K, indicando que la densidad de macrofauna aumenta proporcionalmente con K. Asimismo, la correlación entre la aplicación de escobajo y el K₂O de la tierra es fuerte y altamente significativa ($r = +1$, $p = 0.001773$), sugiriendo que el escobajo incrementa el K₂O en el suelo. Sin embargo, los demás parámetros de la tierra no mostraron

significancia con respecto a las propiedades químicas.

Tabla 48. Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna.

propiedades biológicas	propiedades físicas	coef. de Pearson	p - valor	significancia
Densidad macrofauna	k ₂₀	0.96	0.035290	*
Escobajo palma aceitera	k ₂₀	+1	0.001773	*

5% de nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y una probabilidad del 95% estadísticamente se encontró correlación entre las variables de estudio, significativo).

V. CONCLUSIONES

- En las propiedades físicas por efecto de la aplicación de escobajo de *E. guineensis* mostró que los suelos presentan textura franco arcillosos, la porosidad tuvo mejores valores en el tratamiento Testigo con 52.83% en la evaluación inicial y 53.56% en la evaluación final y la Rps los niveles 150 kg y 250 kg con una condición de moderadas a severas restricciones para el enraizamiento del cultivo con valores de 2.00 g/cm² para ambos casos.
- En las propiedades químicas por efecto de la aplicación de escobajo de *E. guineensis* el T₂ con 150 kg mostró los valores de pH, fuertemente ácido al inicio y final, de la evaluación, materia orgánica con un nivel alto al inicio y final, nitrógeno con niveles medio al inicio y alto al final, el T₃ con 250 kg presentó en el fósforo un nivel normal al inicio y el testigo un nivel bajo al final, el T₁ con 50 kg presentó en el potasio un nivel bajo al inicio y el T₃ con 250 kg presentó un nivel bajo al final, el CIC presentó un nivel medio al inicio y final, el calcio en T₁ con 50 kg presentó niveles medio al inicio y final, el magnesio para el testigo presentó nivel medio al inicio y final, el aluminio en el T₃ con 250 kg presentó un nivel toxico al inicio y final de la evaluación.
- En las propiedades biológicas por efecto de la aplicación de escobajo de *E. guineensis* el T₃ con 250 kg de escobajo de *E. guineensis* mostró los mejores valores en abundancia de individuos en la etapa inicial con 116 ind.m⁻² y en la etapa final con 245 ind.m⁻²

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Realizar estudios que incluyan más parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo en épocas seca y de estiaje, para compararlos con este trabajo de investigación y generar indicadores que permitan evaluar el efecto de la aplicación de MO en esta especie.
- Realizar estudios ulteriores con la finalidad de determinar el incremento poblacional de la macrofauna en cada uno de los niveles en peso de escobajo aplicados.
- Realizar el control de malezas con especies que cumplan doble finalidad como el kudzu o la mucuna que recuperan el suelo a través del aporte de hojarasca, la fijación de nitrógeno atmosférico y copar el área eliminado malezas.

VII. REFERENCIAS

- Acevedo, E; Carrasco, A; Leon, O; Silva, P; Castillo, G; Borie, G; Martinez, E; González, S; Ahumada, I. (2005). Criterios de calidad de suelo agrícola. http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/.
- ALNICOLSA. (2015). Aceite de palma: usos, orígenes e impactos. Obtenido de Desfibración de la Torta y Recuperación de las Nueces: <http://taninos.tripod.com/aceitepalma.htm>
- Asabe, (2008). Soil fauna and soil structure. *Aust. J. Soil Res.* 29: 745-775.
- Bautista, C; Etchevers, B; Del Castillo, R; Gutiérrez, C. (2004). La calidad de los suelos y sus indicadores. <http://www.aet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>.
- Bengough, O., Mullins, Q. (1991). *Ecología y Cultura: Cambio ambiental, evolución biológica y evolución cultural*. Politeia, (28).
- Blair, JM; Bohlen, PJ; Freckman, Dw. (1996). Soil invertebrates as indicators of soil quality. *In: Methods for assessing soil quality*. Madison, WI. USA. Soil Science Society of America.
- Brady, N and Weil, R. (2002). Soil acidity: Calcium and Magnesium as plant nutrients Cap 9:11 pg. 404- 410.
- Brown, S. (1995). Forest resources assessment 1990 global synthesis. FAO forestry Paper 134, Rome Italy.
- Brown, G.G., I. Barois, Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol.* 36: 177 – 198.
- Brown, G.G., Fragoso, I., Barois, P., Rojas, J., Patrón, J., Bueno, A., Moreno, P. (2001). *Diversidad y Rol Funcional de la Macrofauna Edáfica en los Ecosistemas Tropicales Mexicanos*. México.
- Cairo, P. (1995). *La fertilidad física de suelos y la agricultura orgánica en el trópico*. Universidad Nacional Agraria, Managua.
- Casierra-Posada, F., Aguilar-Avendaño, O. (2007) Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas - Vol. 1 - No.2 - pp. 246-257*.
- Cepeda, D. (1991). *Química de Suelos*. 2 ed. Trillas S.A., México. 167 p.
- Crespo, G. (1997). *El Reciclaje de Nutrientes y su impacto en sistemas ganaderos en el occidente de Cuba*. [Tesis de Doctorado]. Instituto de Ciencia Animal. Universidad Agraria de La Habana (UNAH).

- Correia, M.E.F., Oliveira, L.C.M. (2000). De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapa agrobiología.
- Correa, P. (2011). Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en el predio Tulumayo – UNAS - Tingo María. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Coyne, M. (2000). Microbiología del suelo: Un enfoque exploratorio. Madrid, España, Paraninfo.
- Curry, J.P.; Good, J.A. (1992). Soil faunal degradation and restoration. *Advances in Soil Science* 17: 171-215.
- Chen, Z. (2000). Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. <http://www.ffc.agnet.org/library/article/tb149.html>, Artículo.
- Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de honduras (Primera ed). <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf;jsessionid=C25292A05B0013281E3291AFE3C6BF93?sequence=1>
- Doran, J; Lincoln, N. (1999). Guía para la evaluación de la calidad del suelo. USDA <http://soils.usda.gov/sqi>.
- FAO (2006) Propiedades físicas del suelo. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
- Fao. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo. (<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/es/>).
- Fassbender, H. (1975). Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2ed. IICA. San José, Costa Rica.
- Fassbender, H. W. (1984). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Cuarta edición. Editorial IICA, San José. 398 p.
- Fassbender, O. Bornemisza, I. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA, San José, Costa Rica.
- Fedepalma. (2005). Anuario Estadístico. La Agroindustria de la palma aceitera en Colombia y el Mundo, 2000-2004. 121 p.
- Graetz, H. A., (1997). Suelos y Fertilización. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México. 80 p.
- Gonzales, V. (2014). Estabilidad estructural de agregados en tres sistemas de uso de suelo en el sector Venenillo, distrito Rupa Rupa. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales

- Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 80 p.
- Guerrero, A. (2000). Diseño de programas de conservación del suelo y agua a nivel de finca, usando modelos de simulación de erosión y su análisis financiero. In: J. F. Ruiz F. (ed.). Evaluación de tierras para una agricultura sostenible en México. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx., México.
- Husain, Z.A. Zainal, M.Z Abdullah. (2003). Analysis of biomass-residue-based cogeneration system in palm oil mills. *Biomass and Bioenergy* 24, Pag. 117- 124
- Jaramillo, R. (2012). Ventajas Económicas y Ambientales de Industrializar los desechos de palma aceitera. 11 Congreso Internacional de Palma Aceitera. Tingo María. Perú.
- Lavelle, P.; Spain, A.V. (2001). *Soil Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Lok, S. (2005). Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción del ganado vacuno. [Tesis de Doctorado]. Instituto de ciencia animal. Cuba.
- Luizão, R.C.C.; Barros, E.; Luizão, F.J.; Alfaia, S.S. (2002). Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry system in Rondônia, Amazônia, Brasil. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystem for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja.
- Ma, J.F. (2000). Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 41(4), 383-390.
- Miranda, E. y Panduro, G. (2014). Determinación del tiempo de descomposición del escobajo de palma aceitera (*Elaeisguineensis*, jacq), bajo condiciones ambientales en el distrito de Campo Verde- Provincia de Coronel Portillo. - Rev. Tzhoecoen VOL. 61 N° 1, ISSN: 1997-3985/2014.
- Moscatelli, G; Sobral, R; Nakama, V. (2005). Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos.
- National Resource Conservation Soil (NRCS) (2004). What is soil quality. USDA (http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/).
- Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 Ed. Mundi Prensa, España.
- Navarro, O. (2003). Architectural features of agricultural habitats and their impact on spider inhabitants. *Journal of Arachnology* 27:371-377.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3ra Edip. Mundi Prens, España.
- Ortiz-Cañavate, J., Hernanz. A. (1989). Técnica de la Mecanización Agraria. (3ª Ed.) Ed.

Mundi-Prensa, Madrid.

- Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica*. Lima, Perú. 12(1-2): 75-797.
- Porta, M., López, A., Roquero, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España. 622 p.
- Quezada, G. (1997) Tecnologías de palma aceitera. Cultivo e industria de la palma aceitera. INTA. Ministerio de Agricultura ganadería. Costa Rica. Fecha consulta: https://mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_palma.pdf
- Ramírez, y Gonzáles, A. (1999). Ecología Aplicada. Fundación Universidad de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Rivero, F. (2022). Calidad del suelo en cuatro sistemas de cultivos en el sector Aserradero, distrito Castillo Grande. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 91 p.
- Sagarpa. (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. SMYE, ([http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico suelos.pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf)).
- Sánchez, P. (1981). Suelos del trópico. Características y manejo. Traducido por Edilberto Camacho, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.
- Silva, H; Fonseca, R., Guedes Filho, R. (2000). Características productivas y digestibilidad de la harina de hojas de yuca en dietas para pollos de engorde con o sin adición de enzimas. *Rev. Bras. Zootec.*, 29 (3): 823-829
- Soil Survey Staff. (1993). Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- T.M.I Mahlia, M.Z. Abdulmuin, T.M.I. Alamsyah, D. Mukhlisien. (2001). An alternative energy source from palm wastes industry for Malasia and Indonesia. *Energy Conversion and Management* Tomo 42. Pag. 2109- 2118.
- United States Department of Agriculture. [USDA]. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Departamento de agricultura de los Estados Unidos.
- Verhoef, H.; Van Selm, A.J. (1983). Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology* 6:387:394.
- Villalobos, F.J.; Pulido, R.O.; Moreno, C.; Pavón, N.P.; Hernández Trejo, H.; Bell, J. &

- Montiel, S. (2000). Patrones de la macrofauna edáfica en un cultivo de *Zea maiz* durante la fase postcosecha en La Mancha, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 80:167.
- Vistoso E., Martínez-Lagos, J. (2020). Magnesio disponible y fertilización en suelos de la Región de Los Ríos. Instituto De Investigaciones Agropecuarias - Informativo N° 261 - <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67254/NR42460.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Zavaleta, G. (1992). Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. Lima, Perú.
- 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.

ANEXO

Anexo 1. Tabulación de datos**Tabla 49.** Valores de los indicadores físicos del suelo

Área de estudio	Tratamientos Kg Escobajo	Densidad	Resistencia a la	Temperatura del suelo	Velocidad de	Textura del suelo
		aparente g/cm ³	penetración Kg/cm ²	°C	infiltración cm/h	
Cultivo Palma	50 kg	1.40	1.45	26.20	17.4	Franco
	150 kg	1.45	1.50	26.50	19.5	Franco
	250 kg	1.50	1.60	24.10	16.8	Franco
	0 kg	1.30	2.35	25.30	17.3	Arcilloso

Tabla 50. Valores de los indicadores químicos del suelo, primera evaluación

Área de estudio	Tratamientos	Potasio disponible	Potencial de hidrógeno	Fósforo disponible P	Materia orgánica	Nitrógeno total	Calcio intercambiable Ca	Magnesio intercambiable Mg	Capacidad de intercambio catiónico
	Escobajo kg	K(ppm)	(pH)	(ppm)	MO (%)	N (%)	(Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	(Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	
Cultivo de cacao	50 kg	433.00	5.36	28.03	2.97	0.17	2.71	0.30	17.12
	150 kg	292.70	5.21	15.60	1.48	0.10	6.02	0.80	16.75
	250 kg	290.70	5.13	15.20	1.27	0.08	6.62	0.50	16.70
	0 kg	252.00	4.49	12.20	2.49	0.07	3.11	0.40	16.65

Tabla 51. Valores de los indicadores químicos del suelo segunda evaluación

Área de estudio	Tratamientos	Potasio disponible	Potencial de hidrógeno	Fósforo disponible P	Materia orgánica	Nitrógeno total	Calcio intercambiable Ca	Magnesio intercambiable Mg	Capacidad de intercambio catiónico
	Escobajo kg	K(ppm)	(pH)	(ppm)	MO (%)	N (%)	(Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	(Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	
Cultivo de cacao	50 kg	141.53	4.38	6.51	1.64	0.07	5.36	1.98	11.53
	150 kg	99.89	5.01	8.51	4.29	0.21	4.28	1.19	9.13
	250 kg	87.69	3.82	15.84	2.72	0.14	4.18	1.11	9.73
	0 kg	120.72	4.30	13.41	3.09	0.18	5.83	2.28	7.88

2

M1					4.84	4.35	0.19	8.15	101.21	9.13	4.19	1.26	2.38
M2					5.01	4.29	0.21	8.51	99.89	9.13	4.28	1.19	2.28
M3					4.93	4.05	0.21	8.41	101.63	9.29	4.09	1.24	2.37

2

					250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg
M1					3.95	2.75	0.13	15.65	88.03	9.82	4.21	1.14	3.55
M2					3.82	2.72	0.14	15.84	87.69	9.73	4.18	1.11	3.52
M3					4.18	2.81	0.14	15.71	87.91	9.74	4.22	1.15	3.39

2

					0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg
M1					3.96	3.28	0.17	12.75	121.44	6.48	4.98	2.22	1.64
M2					4.30	3.09	0.18	13.41	120.72	7.88	5.83	2.28	1.86
M3					3.74	3.32	0.19	12.69	117.91	7.15	4.99	1.81	1.78

2

					50 kg	50 kg	50 kg	50 kg	50 kg	50 kg	50 kg	50 kg	50 kg
M1					4.46	4.24	0.22	6.79	159.52	12.58	6.87	1.98	2.55
M2					4.68	4.39	0.19	6.87	145.53	12.49	6.66	1.99	2.58
M3					4.44	4.27	0.18	6.83	161.49	13.69	6.75	2.01	2.57

2

					150 kg	150 kg	150 kg	150 kg	150 kg	150 kg	150 kg	150 kg	150 kg
M1					4.81	4.48	0.23	8.17	158.17	11.58	5.74	2.15	2.28

M2					4.51	4.59	0.22	8.31	160.04	12.49	5.69	2.08	2.29
M3					4.43	4.68	0.23	8.21	159.12	11.69	5.72	2.12	2.25

Análisis final 250 Kg de escobajo T3 - final					250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg
	M1				3.82	3.09	0.23	9.10	179.78	13.92	5.40	2.09	2.71
	M2				3.79	3.79	0.23	9.13	177.52	13.72	5.47	1.99	2.63
	M3				4.03	3.87	0.22	9.11	180.27	12.95	5.51	2.04	2.66

Análisis final 0 Kg de escobajo T0 - final					0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg
	M1				3.96	3.68	0.18	13.19	122.08	9.48	5.11	2.32	1.91
	M2				4.03	3.89	0.19	13.21	121.81	9.12	5.12	2.21	1.89
	M3				3.97	3.75	0.19	12.91	120.68	8.75	4.92	2.18	1.91

Tabla 54. Propuesta de abonamiento

ESCOBAJO DE PALMA ABONO				
BLOQUES	50	150	250	0
	KG	KG	KG	KG
	T1	T2	T3	T0
BI	50	50	50	50
BII	50	50	50	50
BIII	50	50	50	50

Tabla 55. Escobajo de *E. guineensis* en la porosidad del suelo (%) inicio

2

Porosidad del suelo (%) I

	50 kg	150 kg	250 kg	0 kg
M1	46.27	55.59	48.24	55.46
M2	49.38	50.21	51.11	54.79
M3	39.87	49.64	48.15	48.24

Tabla 56. Escobajo de *E. guineensis* en la porosidad del suelo (%) final

Porosidad del suelo (%)

	50 kg	150 kg	250 kg	0 kg
M1	44.58	52.91	46.92	55.61
M2	45.73	48.21	50.03	54.82
M3	48.38	49.67	47.75	50.25

Tabla 57. Escobajo de *E. guineensis* en la resistencia a la penetración del suelo (kg/m²) inicioEscobajo de *E. guineensis*Resistencia a la penetración
(kg/m²)

	50 kg	150 kg	250 kg	0 kg
M1	1.59	2.01	2.03	1.68
M2	1.67	2.00	2.00	1.69
M3	1.54	1.98	1.98	1.72

Tabla 58. Escobajo de *E. guineensis* en la resistencia a la penetración del suelo (kg/m²) final

Escobajo de <i>E. guineensis</i> Resistencia a la penetración (kg/m ²)

	50 kg	150 kg	250 kg	0 kg
M1	1.50	2.29	1.92	1.68
M2	1.48	2.28	1.78	1.72
M3	1.51	2.32	1.69	1.71

Tabla 59. Tipo de cultivo Temperatura (°C)

Tipo de cultivo Temperatura (°C)

	50 kg	150 kg	250 kg	0 kg
M1	23.40	23.80	24.40	23.20
M2	22.60	25.10	24.50	24.20
M3	24.50	22.50	23.70	22.50

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 4. Plateado de palma aceitera.



Figura 5. Plantación de palma aceitera en producción con cobertura.



Figura 6. Colecta de muestras de suelos.



Figura 7. Palma aceitera con síntomas de marchitez.



Figura 8. Vista panorámica de la parcela de 10 años



Figura 9. Georreferenciación del terreno