

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Influencia del suelo agrícola y forestal en la diversidad de la
macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomayquichua
– departamento Huánuco”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: Mallma Marchan, Rodrigo Maximo

ASESOR: Cámara Ilanos, Frank Erick

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (☒)
- Trabajo de Suficiencia Profesional(☐)
- Trabajo de Investigación (☐)
- Trabajo Académico (☐)

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Educación Ambiental y Ecoeficiencia

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ciencias Agrícolas

Sub área: Agrícola, Silvicultura, pesquería

Disciplina: Ciencia del suelo

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (☒)
- UDH (☐)
- Fondos Concursables (☐)

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73937061

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44287920

Grado/Título: Doctor en ciencias de la salud

Código ORCID: 0000-0001- 9180- 7405

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Vasquez Baca, Yasser	Maestro en planificación territorial y gestión ambiental	42108318	0000-0002-7136-697X
2	Cajahuanca Torres, Raul	Maestro en gestión pública	22511841	0000-0002-5671- 1907
3	Córdova Antaurco, Miller Harvin	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en gerencia de sistemas y tecnologías de información	44114162	0009-0006-9014-7437

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:30 horas del día 22 del mes de julio del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Mg. Yasser Vasquez Baca (Presidente)
- Mg. Raul Cajahuanca Torres (Secretario)
- Mg. Miller Harvín Córdova Antaurco (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1290-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"Influencia del suelo agrícola y forestal en la diversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomayquichua – departamento Huánuco"**, presentado por el (la) Bach. **MALLMA MARCHAN, RODRIGO MAXIMO** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) aprobado. Por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 13 y cualitativo de bueno (Art. 47)

Siendo las 16:31 horas del día 22 del mes de julio del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Yasser Vasquez Baca
DNI: 42108318
ORCID: 0000-0002-7136-697X
Presidente


Mg. Raul Cajahuanca Torres
DNI: 22511841
ORCID: 0000-0002-5671-1907
Secretario


Mg. Miller Harvín Córdova Antaurco
DNI: 44114162
ORCID: 0009-0006-9014-7437
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **RODRIGO MAXIMO MALLMA MARCHAN**, de la investigación titulada **"INFLUENCIA DEL SUELO AGRÍCOLA Y FORESTAL EN LA DIVERSIDAD DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN EL RECREO VILLA EL MILAGRO, TOMAYQUICHUA - DEPARTAMENTO HUÁNUCO"**, con asesor(a): **FRANK ERICK CAMARA LLANOS**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 0183-2025-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **11 %** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 26 de junio de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

Nota: La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 26 de octubre de 2026.

Jr. Hermilio Valdizán N° 871 - Jr. Progreso N° 650 - Teléfono: 952 069 844
Huánuco - Perú

121. RODRIGO MAXIMO MALLMA MARCHAN.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	11 %	2 %	2 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

- 1** repositorio.upse.edu.ec
Fuente de Internet
- 2** www.rufford.org
Fuente de Internet
- 3** hdl.handle.net
Fuente de Internet
- 4** repositorio.unas.edu.pe
Fuente de Internet
- 5** repositorio.udh.edu.pe
Fuente de Internet
- 6** api-repositorio.unapiquitos.edu.pe
Fuente de Internet
- 7** repository.unad.edu.co
Fuente de Internet
- 8** www.campustudionline.com
Fuente de Internet
- 9** amanglana.unag.edu.hn
Fuente de Internet
- 10** www.coursehero.com
Fuente de Internet



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Agradezco profundamente la vida, la salud física y mental que me permitieron culminar este trabajo. Lo dedico con cariño a las personas que confían y los que siguen confiando en mí, agradezco especialmente a mi madre.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero reconocimiento a mi asesor que, por su acompañamiento permanente, los conocimientos compartidos y su dedicación profesional brindada en el transcurso de la presente investigación. Del mismo modo, manifiesto mi profundo agradecimiento especialmente a mi familia por la confianza que pusieron en mí y por su respaldo incondicional en cada etapa de este proceso.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
INDICE DE TABLAS	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCION	XII
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. JUSTIFICACIÓN	16
1.5. LIMITACIONES.....	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. ANTECEDENTES	20
2.1.1 INTERNACIONALES.....	20
2.1.2. NACIONALES	22
2.1.3. LOCALES	24
2.2. BASES TEÓRICAS.....	26
2.2.1. MACROFAUNA	26
2.2.2. EL SUELO	51
2.3. BASES CONCEPTUALES.....	63
2.3.1.SUELO AGRÍCOLA.....	63
2.3.2. SUELO FORESTAL	63
2.3.3. MACROFAUNA EDÁFICA.....	64

2.3.4. DIVERSIDAD BIOLÓGICA	64
2.3.5. INFLUENCIA DEL SUELO	64
2.3.6. FUNCIÓN ECOLÓGICA DE LA MACROFAUNA EDÁFICA.....	65
2.3.7. ÍNDICES DE DIVERSIDAD	65
2.3.8. PERTURBACIÓN ANTRÓPICA	65
2.3.9.COMUNIDAD EDÁFICA	66
2.3.10. HOJARASCA.....	66
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	67
2.5. VARIABLES	67
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	67
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	67
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	68
CAPÍTULO III	69
METODOLOGÍA	69
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	69
3.1.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.....	69
3.1.2. ENFOQUE.....	69
3.1.3. NIVEL O ALCANCE DEL ESTUDIO.....	69
3.1.4. DISEÑO	70
3.1.5. POBLACIÓN.....	70
3.1.6. MUESTRA	70
3.2. TÉCNICAS DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS..	73
3.2.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	73
3.2.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	75
3.2.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	75
CAPÍTULO IV.....	77
RESULTADOS.....	77
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	77
4.2. RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MACROFAUNA EDÁFICA.....	85
CAPITULO V.....	95
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
CONCLUSIONES	100

RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS.....	112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Macrofauna del suelo y los grupos que lo componen	29
Tabla 2 Cuadro normativo sobre suelos y fauna en el Perú	63
Tabla 3 Operacionalización de Variables: “Influencia del suelo agrícola y forestal en la diversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco”	68
Tabla 4 Coordenadas de ubicación	70
Tabla 5 Puntos de muestra del suelo forestal	71
Tabla 6 Puntos de muestra del suelo forestal	72
Tabla 7 Técnicas e Instrumento de recolección de datos	73
Tabla 8 Macrofauna edáfica encontrada en suelo forestal	80
Tabla 9 Resumen de parámetros básicos para el cálculo de índices de diversidad en suelo forestal	81
Tabla 10 Macrofauna edáfica encontrada en suelo agrícola	83
Tabla 11 Resumen de parámetros básicos para el cálculo de índices de diversidad en suelo agrícola	84
Tabla 12 Índices de biodiversidad: medias y error estándar según el tipo de suelo	92
Tabla 13 Resultados estadísticos descriptivos de los índices de biodiversidad de macrofauna según el tipo de suelo	93
Tabla 14 Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y comparación de medias (Mann-Whitney U) entre los tipos de suelo	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Araña (Araneae)	30
Figura 2 Caracol (Gastropoda)	30
Figura 3 Chinche (Hemíptera).....	31
Figura 4 Saltahojas (Hemíptera).....	31
Figura 5 Ciempiés (Chilopoda)	32
Figura 6 Cochinilla (Isopoda)	33
Figura 7 Cucaracha (Dictyoptera).....	33
Figura 8 Escarabajo (Coleóptera).....	34
Figura 9 Grillo (Orthoptera).....	34
Figura 10 Hormiga (Formicidae)	35
Figura 11 Lombriz de tierra (Haplotaxida).....	36
Figura 12 Oruga (Lepidoptera).....	36
Figura 13 Milpiés (Diplopoda)	37
Figura 14 Mosca (Díptera)	38
Figura 15 Termita (Isóptera)	39
Figura 16 Tijereta (Dermáptera).....	39
Figura 17 Los estratos del suelo	53
Figura 18 Meteorización de la roca como etapa inicial en la formación del suelo	55
Figura 19 Clases textuales del suelo	56
Figura 20 Triangulo Moebius	58
Figura 21 Mapa de cobertura y uso de suelos del departamento de Huánuco	62
Figura 22 Mapa de capacidad de uso mayor del suelo del departamento de Huánuco	62
Figura 23 Puntos de Muestras en Suelo Forestal para la evaluación de macrofauna edáfica	71
Figura 24 Puntos de muestras en suelo agrícola para la evaluación de macrofauna edáfica	72
Figura 25 Cobertura vegetal interna del suelo forestal	78
Figura 26 Cobertura vegetal externa del suelo forestal	79

Figura 27 Distribución de macrofauna encontrada por cada punto de muestreo en suelo forestal.....	81
Figura 28 Área de cultivo de maíz (Zea mayz) en el suelo forestal	82
Figura 29 Distribución de macrofauna encontrada por cada punto de muestreo en suelo agrícola.....	84
Figura 30 Índice Shannon H	85
Figura 31 Índice Simpson 1-D.....	85
Figura 32 Índice Margalef	86
Figura 33 Índice Berger Parker	86
Figura 34 Índice de Pielou J	86
Figura 35 Individuos.....	87
Figura 36 Índice Taxa S.....	87
Figura 37 Índice Dominancia D.....	87
Figura 38 Índice Chao-1	88
Figura 39 Índice iChao-1.....	88
Figura 40 Índice ACE.....	88
Figura 41 Índice de Equidad e^H/S	89
Figura 42 Índice Fisher alpha.....	89
Figura 43 Índice Brillouin	89
Figura 44 Índice Menhinick	90
Figura 45 Variación media de los indicadores de biodiversidad de macrofauna según el tipo de suelo	91

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo entre ellos un propósito principal evaluar si existen diferencias significativas en la macrofauna edáfica entre el suelo agrícola y suelo forestal del recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco.

Los objetivos fueron estimar la abundancia, riqueza de especies, diversidad y la desigualdad de la macrofauna edáfica de 2 variables suelo agrícola y forestal donde se aplicó un enfoque cuantitativo con diseño descriptivo comparativo, no experimental y transversal donde se utilizaron 9 monolitos de 25cm x 25cm de ancho y 30cm de profundidad por cada suelo de acuerdo al Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), (Ruiz, 2008), donde se obtuvo las muestras donde se evaluó los índices de biodiversidad de Shannon, Simpson, Margalef, Berger Parker, Pielou, entre otros.

Entre los resultados registrados del suelo agrícola presento una mayor diferencia de abundancia, diversidad, riqueza de especies y desigualdad ante el suelo forestal. Se evaluó cada índice y, posteriormente, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, Entre los resultados obtenidos evidenciaron una distribución no normal en las variables analizadas. Posteriormente, se aplicó el método estadístico no paramétrico de Mann-Whitney, donde nos dio entre ellos un resultado de Índices significativamente influenciados ($p < 0.05$): Taxa S ($p = 0.034$), Chao-1 ($p = 0.037$), Margalef ($p = 0.010$), Menhinick ($p = 0.024$), iChao-1 ($p = 0.018$), Berger-Parker ($p = 0.006$), Brillouin ($p = 0.037$), Pielou J ($p = 0.001$), Equidad (e^H/S) ($p = 0.003$), Shannon H ($p = 0.018$), Simpson 1-D ($p = 0.003$). Y los índices No significativamente Influenciados ($p > 0.05$): ACE ($p = 0.071$), Dominancia D ($p = 0.724$), Fisher alpha ($p = 0.615$) e individuos ($p = 0.172$).

En conclusión, se supo que existen diferencias significativas en 11 de los 15 índices de biodiversidad lo que refleja que existe influencia del tipo de suelo en la macrofauna edáfica.

Palabras clave: macrofauna, edafico, monolitos, índices de biodiversidad, diferencias significativas.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate whether significant differences exist in soil macrofauna between agricultural and forest soils in the Villa El Milagro recreation area, Tomayquichua, Huánuco Department.

The objectives were to estimate the abundance, species richness, diversity, and inequality of soil macrofauna in two soil types: agricultural and forest. A quantitative approach with a descriptive, comparative, non-experimental, and cross-sectional design was used. Nine monoliths, 25cm x 25cm wide and 30cm deep, were used for each soil type, according to the Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) Program (Ruiz, 2008). Samples were obtained from these monoliths and used to evaluate biodiversity indices such as Shannon, Simpson, Margalef, Berger Parker, and Pielou, among others.

The results showed that the agricultural soil exhibited a greater difference in abundance, diversity, species richness, and inequality compared to the forest soil. Each index was evaluated, and subsequently, the Shapiro-Wilk normality test was applied. The results showed a non-normal distribution in the analyzed variables. Subsequently, the non-parametric Mann-Whitney statistical method was applied, which yielded the following significantly influenced indices ($p < 0.05$): Taxa S ($p = 0.034$), Chao-1 ($p = 0.037$), Margalef ($p = 0.010$), Menhinick ($p = 0.024$), iChao-1 ($p = 0.018$), Berger-Parker ($p = 0.006$), Brillouin ($p = 0.037$), Pielou J ($p = 0.001$), Equity (e^H/S) ($p = 0.003$), Shannon H ($p = 0.018$), and Simpson 1-D ($p = 0.003$). And the indices Not Significantly Influenced ($p > 0.05$): ACE ($p = 0.071$), Dominance D ($p = 0.724$), Fisher alpha ($p = 0.615$), and individuals ($p = 0.172$).

In conclusion, significant differences were found in 11 of the 15 biodiversity indices, reflecting the influence of soil type on soil macrofauna.

Keywords: macrofauna, edaphic, monoliths, biodiversity indices, significant differences.

INTRODUCCION

La macrofauna del edáfica es un indicador importante del estado de conservación del suelo, debido a que presenta sensibilidad frente a las alteraciones ambientales originadas condicionado por el manejo edáfico, incluyendo sus propiedades físicas. y químicas, así entre ellos la diversidad de especies cultivadas. (Batista et al., 2023).

En diferentes regiones del país, los suelos agrícolas y forestales presentan características distintas que influyen en la composición y presencia de la macrofauna. Los sistemas forestales suelen ser más estables, mientras que los agrícolas están más expuestos a alteraciones por el manejo. Sin embargo, aún existen pocos estudios que comparen la biodiversidad edáfica entre ambos tipos de suelo.

Este es el caso en la zona del recreo Villa el Milagro, donde no se han realizado investigaciones que evalúen la macrofauna edáfica ni su variación entre suelos agrícolas y forestales. Esta ausencia de información representa una limitación para comprender el estado en ecosistemas locales y para generar bases de conocimiento que contribuyan a una gestión adecuada del suelo. Ante esta necesidad, se planteó un estudio comparativo que permita aportar datos relevantes sobre la diversidad de organismos en las propiedades edáficas de esta zona.

La presente investigación evaluó cómo la naturaleza del suelo repercute en la biodiversidad de la macrofauna edáfica. Para ello, se aplicó el método de monolitos para la recolección estandarizada de organismos y se evaluaron indicadores entre ellos la abundancia, riqueza y diversidad. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias significativas entre ambos suelos, destacando que el suelo agrícola presentó mayor abundancia, diversidad, riqueza de especies y desigualdad en comparación con el suelo forestal donde mostro valores atípicos.

La información generada en este estudio significa un aporte relevante en torno a la macrofauna del suelo de la zona y brinda un sustento para futuras indagaciones y estrategias de conservación y manejo sostenible del recurso edáfico. Donde no siempre el suelo forestal mantendrá un sistema más estable.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La diversidad biológica presente en el suelo cumple una función fundamental en la dinámica en ecosistemas terrestres, que influye directamente en la fertilidad edáfica, la descomposición en la materia orgánica y los ciclos biogeoquímicos. Dentro de esta biodiversidad, la macrofauna edáfica constituye un componente esencial debido a su contribución en la aireación, la recuperación de la organización física del suelo. Los invertebrados de la macrofauna edáfica incluyen, artrópodos, moluscos y los invertebrados que desempeñan funciones vitales en el mantenimiento del estado de preservación del suelo. Su acción favorece la disponibilidad de nutrientes y promueve la interacción con microorganismos beneficiosos, lo que mejora el equilibrio ecológico del suelo y favorece la regeneración de ecosistemas degradados.

En el Perú, las condiciones edáficas se clasifican principalmente según su grado de desarrollo. Los suelos con escaso desarrollo, dentro de los cuales los del perfil AC y fluvisoles, representan aproximadamente el 37.2% del territorio nacional. Estos son suelos jóvenes o de origen reciente, comunes en zonas de relieve accidentado o riberas de ríos. Los suelos con desarrollo moderado, con perfil AC o ABC, abarcan un 20.65%, mientras que los más desarrollados, con perfil ABC y buena capacidad agrícola pero asimismo susceptibles a la erosión, comprenden el 22.4% de la superficie. Los suelos hidromórficos, que se encuentran saturados de agua y son adecuados para cultivos dentro de los cuales el arroz, cubren el 9.58%. Finalmente, los suelos orgánicos, ricos en materia vegetal en plena descomposición y ubicados principalmente en zonas pantanosas o altoandinas, constituyen alrededor del 2.7% del país (INEI, 2000).

En el departamento de Huánuco, el suelo se distribuye según su aptitud de uso más que por su perfil. Se estima que un 10% de la superficie es apta para cultivo, mientras que un 22% es adecuada para pastos naturales. Un 19% está destinado a protección forestal, debido a su cobertura boscosa y a su pendiente pronunciada, y el 49% restante corresponde a tierras de

protección general, que incluyen áreas montañosas, zonas de riesgo o de conservación. Atribuido al censo agropecuario, del total de tierras utilizadas en actividades agropecuarias en Huánuco, el 29.1% está en uso agrícola activo, el 36.8% corresponde a pastos naturales, el 23.9% a montes y bosques, y el 10.2% a otros usos. Esta distribución evidencia un predominio de áreas no cultivables o de uso limitado para la agricultura intensiva en la región (CENAGRO III, citado en Slideshare, s.f.).

El estudio de estos organismos constituye un aspecto clave para entender el efecto que diferentes tipos de suelo tienen en la biodiversidad edáfica y cómo su distribución puede estar relacionada con factores climáticos y antrópicos. La macrofauna edáfica no solo actúa como un bioindicador del estado de preservación del suelo, sino que asimismo funciona de manera vital en la formación de su estructura, la acumulación de humedad y el almacenamiento de carbono, por lo que se considera un elemento indispensable en el equilibrio ecológico terrestre (Cabrera 2021).

En el departamento de Huánuco, específicamente en el recreo villa el milagro, existen tipos de suelos que presentan variaciones en su composición y estructura. Estas diferencias podrían influir en la diversidad y distribución de la macrofauna edáfica, afectando los procesos ecológicos y la productividad del suelo. A pesar de la importancia de estos organismos, existen pocos estudios locales que analicen la correspondencia entre la comunidad macro edáfica y los atributos del suelo en esta zona, lo que genera un vacío de conocimiento que dificulta la toma de decisiones en el control sostenible en suelos.

Por lo tanto, es crucial realizar investigaciones que permitan determinar la constitución de la macro edáfica y evaluar su comportamiento en suelos con diferentes características para generar estrategias adecuadas de conservación y aprovechamiento en recursos edáficos. Un mejor conocimiento de la macrofauna edáfica en la zona permitiría reconocer la relación presente entre la biodiversidad edáfica y su capacidad productiva constituye un aspecto relevante, debido a que favorece la adopción de estrategias enfocadas en la recuperación de áreas degradadas y en el perfeccionamiento de las labores agrícolas.

La macrofauna edáfica presenta una alta sensibilidad frente a las alteraciones en las propiedades del suelo, por lo que constituye un indicador biológico útil para determinar el estado de conservación del ecosistema. En el recreo Villa El Milagro se distinguen al menos dos tipos de suelo, correspondientes al uso agrícola y forestal. No obstante, existe limitada información comparativa respecto a la diversidad y comportamiento de la macrofauna existente en ambos ambientes, lo cual restringe el conocimiento de la influencia que estos ejercen sobre la estabilidad ecológica y la productividad del área.

La escasa información referente a la diversidad macro edáfica en distintos tipos de suelo restringe la adopción de prácticas adecuadas de conservación y manejo edáfico. Del mismo modo, las actividades antrópicas, entre ellas la agricultura y el pastoreo, podrían estar generando modificaciones en composición de estos organismos, sin contar aún con evidencia precisa de sus efectos. Frente a ello, resulta pertinente desarrollar una evaluación comparativa en la macrofauna edáfica en diferentes suelos presentes en la zona, a fin de reconocer patrones de distribución y posibles variaciones en la biodiversidad del suelo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Existe una influencia en la diversidad biológica de la macrofauna edáfica entre los suelos agrícolas y forestales en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son las especies existentes entre el tipo de suelo para la macrofauna edáfica entre los suelos agrícolas y forestales en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco?

¿Cuál son la abundancia existente entre el tipo de suelo para la macrofauna edáfica entre los suelos agrícolas y forestales en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco?

¿Cuál es la diversidad existente entre el tipo de suelo para la macrofauna edáfica entre los suelos agrícolas y forestales en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco?

¿Cuáles son las desigualdades existentes entre el tipo de suelo para la macrofauna edáfica entre los suelos agrícolas y forestales en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar como el tipo de suelo (agrícola y forestal) influye en la biodiversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la abundancia de individuos de la macrofauna edáfica.

Evaluar la diversidad de la macrofauna edáfica.

Evaluar las especies de individuos de la macrofauna edáfica.

Evaluar la desigualdad existente entre el tipo de suelo para la macrofauna edáfica.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La investigación desarrollada amplía el conocimiento ecológico en el departamento de Huánuco, debido a que generará información sobre la relación existente entre la diversidad de la macrofauna edáfica y las características del suelo agrícola y forestal en el recreo Villa El Milagro, Tomayquichua. La información obtenida será de utilidad para promover estrategias orientadas a la preservación y al manejo sostenible del suelo, contribuyendo de este modo al resguardo de la biodiversidad suelo y al mejoramiento de conservación del recurso suelo.

La macrofauna edáfica juega una función relevante en los ecosistemas, por lo cual facilita la degradación de materia orgánica, la recirculación de nutrientes y la preservación de la estructura suelo. En ese sentido, el conocimiento de su distribución y diversidad en distintos tipos de suelo permitirá reconocer las condiciones ecológicas del recurso edáfico y aportar información útil para la formulación de prácticas agrícolas sostenibles.

Asimismo, los agricultores podrán contar con evidencia que favorezca la adopción de medidas orientadas a reducir las alteraciones ocasionadas por las actividades humanas acerca de la biodiversidad edáfica y maximicen la productividad del suelo.

Asimismo, la investigación hará posible reconocer las especies de macrofauna edáfica predominantes en la zona, aportando información para la elaboración de un inventario de biodiversidad edáfica en el departamento de Huánuco. Dicho registro constituirá un referente para posteriores estudios relacionados con la interrelación entre el cambio climático y la dinámica en organismos del suelo, además de servir de sustento para la propuesta de políticas ambientales orientadas a la protección del recurso suelo y de su biodiversidad.

De igual manera, los resultados de la investigación podrán ser considerados en la formulación de programas ambientales orientados a sensibilizar a la comunidad local respecto a la relevancia de la biodiversidad edáfica y su función dentro de la sostenibilidad de ecosistemas. En consecuencia, se favorecerá una mayor participación comunitaria en el mantenimiento del equilibrio ambiental y en la adopción de acciones de manejo del suelo que contribuyan a la conservación de la biodiversidad edáfica.

1.5. LIMITACIONES

La investigación se desarrollará exclusivamente en el recreo Villa El Milagro, ubicado en Tomayquichua, departamento de Huánuco, sin considerar otras zonas aledañas. Esta delimitación espacial podría restringir la extrapolación de la información obtenida hacia otros ecosistemas que presenten condiciones edáficas distintas; no obstante, los datos recolectados podrán constituir un referente para estudios posteriores en áreas con características similares.

Asimismo, la investigación se realizará en un periodo específico, aspecto que podría influir en la variabilidad de los resultados debido a fluctuaciones climáticas relacionadas con la temperatura, humedad y actividad biológica del suelo. En consecuencia, ello podría limitar la generalización de los hallazgos durante las diferentes épocas del año. Del mismo modo, la investigación estará enfocada únicamente en la diversidad y comportamiento de la

macrofauna edáfica, sin considerar microorganismos, mesofauna u otros organismos del suelo que también intervienen en la dinámica ecosistémica. Si bien estos componentes cumplen funciones importantes en la fertilidad y estado de conservación del suelo, su exclusión responde a limitaciones metodológicas y a los objetivos específicos planteados en el estudio.

Para la recolección y estudios de la macrofauna edáfica se emplearán métodos de muestreo específicos, situación que podría limitar la identificación de ciertos organismos que demanden técnicas más avanzadas o de mayor duración, tales como análisis genéticos o el uso de trampas especializadas a largo plazo. Asimismo, los procedimientos aplicados pueden presentar cierto margen de error en la cuantificación y clasificación de las especies registradas. De igual manera, la investigación estará sujeta a la disponibilidad de equipos y materiales para el análisis del suelo y el reconocimiento de la macrofauna, lo cual podría restringir la profundidad del estudio ante la ausencia de herramientas especializadas y el tiempo destinado a la obtención de información que podrían influir en el límite de la investigación y en la precisión en resultados obtenidos.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es realizable a causa de los recursos humanos, materiales y metodologías indispensables para su adecuado desarrollo. La zona de estudio presenta condiciones accesibles que permitirán efectuar la recolección de muestras sin mayores inconvenientes logísticos, facilitando el desplazamiento y la ejecución del trabajo de campo. Del mismo modo, se cuenta con la participación y orientación de especialistas e instituciones académicas vinculadas al área ambiental, lo cual favorecerá el análisis, procesamiento de la información obtenida. Asimismo, la metodología de muestreo seleccionada se sustenta en técnicas previamente validadas y de fácil replicabilidad, garantizando la confiabilidad en procedimientos empleados durante la investigación.

Por otro lado, el estudio es posible de ejecutar bajo condiciones técnicas y económicas de herramientas y equipos necesarios para la identificación de la macrofauna edáfica y para el análisis básico de las características del suelo. A ello se suma la disponibilidad de materiales de laboratorio, reactivos y técnicas de evaluación que contribuirán a obtener datos precisos y

consistentes. De igual manera, los costos requeridos para la ejecución del trabajo se encuentran dentro del presupuesto establecido, esto permite prever su desarrollo sin contratiempos financieros significativos. Finalmente, la importancia científica y ambiental del estudio respalda plenamente su realización, debido a que la información generada constituirá un sustento para futuras tácticas de manejo sostenible y cuidado edáfico en áreas con condiciones similares.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. INTERNACIONALES

Pozo (2020) presentó un estudio titulado “Caracterización de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto de dos usos de la tierra en el Centro de Apoyo Manglaralto”, cuyo **objetivo** fue evaluar el estado ecológico en suelos correspondientes a áreas con cultivo de ciclo corto y compararlos con zonas de bosque seco nativo pertenecientes al Centro de Apoyo Manglaralto, mediante el análisis de la macrofauna edáfica. En cuanto a la **metodología**, para el procesamiento estadístico se empleó el método no paramétrico de Kruskal-Wallis, también conocido como prueba H. Como **resultados**, en los dos usos de suelo analizados se registraron dos phylum, seis clases y catorce órdenes; asimismo, a nivel de familia se identificó la mayor parte de los organismos encontrados, alcanzando un total de 30 familias. Del mismo modo, en categorías taxonómicas inferiores se reconocieron 20 géneros y 10 especies. En sus **conclusiones**, se determinó que no existe diferencias significativas en la macrofauna del suelo data de las fechas de muestreo al inicio del período lluvioso, lo que permitió el análisis conjunto de sendos muestreos.

Gonzales (2024) en su tesis “*Caracterización de la macrofauna edáfica del suelo como bioindicador en el Centro de Apoyo Río Verde*” tuvo como **objetivo** determinar cómo la intensidad del uso del suelo afecta la macrofauna edáfica, comparando el bosque seco tropical (BSTr) y los cultivos de ciclo corto (CCC). Respecto a la **metodología**, se recolectaron 16 monolitos de suelo y los macroinvertebrados fueron detectados al nivel de familia, evaluándose la riqueza, abundancia y diversidad. Como **resultados**, se evidenció una mayor riqueza y diversidad en el bosque, registrándose 29 familias con predominio de hormigas y termitas, mientras que en los cultivos se identificaron 20 familias con predominio de tijeretas y cochinillas. En sus **conclusiones**, se estableció que la macrofauna constituye un bioindicador confiable del

estado de fiabilidad del suelo y se resalta la necesidad de implementar tácticas sostenibles en la agricultura.

Cabrera et al (2022) en su artículo *“Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo”*, el objetivo estuvo orientado a reunir y analizar información relevante sobre la macrofauna del suelo, considerando principalmente estudios desarrollados en la región neotropical. Respecto a la **metodología**, el estudio se basó en una revisión documental exhaustiva de publicaciones científicas periódicas, libros y tesis elaboradas en Cuba, donde se reportarán aportes relacionados con la macrofauna edáfica en función del uso y la calidad del suelo. De igual manera, para complementar con evidencias de alcance internacional, se efectuó una búsqueda bibliográfica a través de Google Académico. Como **resultado**, los antecedentes consultados como en el ámbito nacional como internacional mostraron de forma coincidente que las modificaciones y la mayor intensidad en el aprovechamiento de la tierra generan efectos desfavorables sobre la composición y presencia de la macrofauna edáfica. Estos hallazgos permitieron corroborar su utilidad como indicador biológico frente a procesos de perturbación ambiental. En las **conclusiones**, se señala que la evidencia recopilada confirma que los cambios en el uso del suelo y el incremento de su intervención ocasionan una disminución en la estabilidad de la macrofauna del suelo; por ello, este grupo biológico continúa siendo una herramienta confiable para evaluar y diagnosticar alteraciones en la calidad edáfica.

Paz (2022) en su artículo “Diversidad y función de la macrofauna del suelo: información clave para el estudio de la sostenibilidad de sistemas socio-ecológicos tropicales”, el **objetivo** consistió en realizar un seguimiento de la variabilidad espacio-temporal de la macrofauna, considerando la complejidad natural propia en ambientes terrestres y marinos evaluados. En cuanto a la **metodología**, se emplearon y ajustaron los procedimientos de campo considerados más adecuados para la cuantificación de la diversidad de la macrofauna presente en dichos ecosistemas, permitiendo obtener información comparativa entre

ambos medios. Como **resultado**, se encontró una marcada similitud entre la macrofauna asociada a los suelos terrestres y aquella presente en los sedimentos marinos, lo cual fue relacionado con las restricciones que enfrentan los organismos debido a su modo de vida excavador. En las **conclusiones**, se establece que la macrofauna cumple un papel fundamental en la conservación y funcionamiento de servicios ecosistémicos, debido a su participación activa en los procesos biológicos que sostienen el equilibrio ambiental.

Sierra (2024) en su tesis "*Diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales con theobroma cacao*" su **objetivo** Evaluar la diversidad taxonómica y funcional de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales con cacao (T. cacao) en el municipio de Tierralta, Córdoba, su **metodología** TSBF, colectándose 1006 individuos, clasificados en 3 *phylum*, 10 clases y 19 orden, teniendo **resultados** del 76.9% de la abundancia total de macroinvertebrados de suelo, representada por cuatro ordenes: *Opisthopora* (25.7%), *Polydesmida* (21.4%), *Hymenoptera* (20.1%) y *Blattodea* (9.7%) y **concluye** El comportamiento de la diversidad sugiere que los sistemas con mayor tiempo de establecimiento se asocian con mejores estructuras de material orgánico, proveniente e incorporado a partir de la caída de hojarasca proporcionada por los sistemas agroforestales, lo que mejora las condiciones del ecosistema del suelo.

2.1.2. NACIONALES

Ramos (2023) en su tesis "*Efectos de la contaminación del botadero municipal de Chota en la macrofauna del suelo*" tuvo como **objetivo** analizar el efecto de la contaminación del botadero municipal de Chota en la macrofauna del suelo. En relación con la **metodología**, se utilizó el método TSBF para el muestreo y extracción de macroinvertebrados. Como **resultados**, se evidenció que, en los primeros centímetros del suelo, correspondientes a la hojarasca y 10cm de profundidad, obtuvo una mayor porción de macroinvertebrados; mientras que a profundidades de 20cm y 30cm fue casi inexistente la presencia de macrofauna, en el sector afectado por contaminación como

en el sector no afectado. Finalmente, **concluye** que el botadero municipal influye en la riqueza y densidad de la macrofauna, debido a que se registraron diferencias significativas entre las condiciones de estudio; de forma similar, se verificó su influencia en el aporte de materia orgánica del suelo.

Morales et al (2021) en su artículo “*Macrofauna edáfica asociada al cultivo de maíz (Zea mays)*”, el **objetivo** fue determinar la comunidad de macrofauna del suelo y las propiedades fisicoquímicas edáficas a partir de la abundancia y riqueza de grupos presentes durante la etapa de crecimiento y la fase de post cosecha del cultivo de maíz. Respecto a la **metodología**, se establecieron dos momentos de evaluación: el primero durante el desarrollo del cultivo, correspondiente a un mes después del crecimiento del maíz, y el segundo en la etapa de post cosecha, realizada dos meses después de la recolección, con el propósito de comparar la dinámica de la macrofauna en ambos periodos. Como **resultado**, se identificó que la diversidad biológica fue inferior durante la fase de crecimiento del maíz; sin embargo, en el periodo posterior a la cosecha se registró una mayor abundancia de organismos del suelo, con predominio de hormigas, situación que fue atribuida a la capacidad de este grupo para soportar condiciones de elevadas temperaturas. En las **conclusiones**, se indica que, aunque la humedad constituye un factor limitante para el desarrollo vegetal, ciertas especies de la fauna edáfica han desarrollado adaptaciones que les permiten resistir escenarios de sequía extrema, manteniendo su permanencia dentro del ecosistema del suelo.

Morales et al (2021) En su artículo denominado “*Macrofauna edáfica y propiedades físico-químicas del suelo, en fincas cafetaleras de pequeños agricultores*”, su **objetivo** evaluar la macrofauna del suelo y las propiedades físico-químicas en cuatro fincas cafetaleras establecidas a diferentes niveles altitudinales. En relación con la **metodología**, la investigación se desarrolló en plantaciones de una hectárea, donde se efectuó el muestreo de tres monolitos de 25cm × 25cm de ancho por 30cm de profundidad en cada finca; asimismo, se recolectaron muestras de suelo por parcela para el análisis de sus

características físico-químicas. Teniendo **resultados**, se identificó una mayor cantidad de familias, registrándose una diversidad total de 159 individuos, entre los cuales destacaron las lombrices de tierra con 36 individuos y las hormigas con igual número. Finalmente, **concluye** que se determinó que las épocas del año, tanto de lluvia como de estiaje, influyen significativamente en la diversidad y abundancia de la macrofauna del suelo, destacando la presencia de organismos de la familia *Lumbricidae* en suelos con mayor humedad y de *Formicidae* en terrenos más secos y localizados a menor altitud.

Shauano (2021) se reportó una investigación bajo el título “Calidad del suelo en relación con la macrofauna edáfica en un bosque natural de terraza media en Puerto Almendra, Loreto, Perú-2021” tuvo como **objetivo** determinar la calidad del suelo de un bosque natural de terraza media en Puerto Almendra, en función de las actividades funcionales de la macrofauna edáfica. Para la **metodología**, se utilizó el TSBF. Teniendo **resultados**, en los macroinvertebrados evaluados se identificaron 16 grupos taxonómicos y 4 grupos utilitarios, distribuidos en 7 detritívoros, 1 omnívoro, 3 herbívoros y 5 depredadores. Finalmente, **concluye** que el reconocimiento de la macrofauna en cinco áreas de suelo, considerando cinco repeticiones y cuatro estratos de muestreo, permitió evidenciar una diversidad representada por 16 grupos taxonómicos y 4 grupos funcionales.

2.1.3. LOCALES

Huamán (2023) en su tesis “Diversidad de la macrofauna edáfica en el banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María – Perú, 2022”, tuvo como **objetivo** precisar la diversidad de la macrofauna edáfica en el banco de germoplasma de dicha universidad durante el año 2022. La **metodología** consideró, en parte, los lineamientos propuestos atribuido al Centro Internacional de Agricultura Tropical y el (TSBF). Dando **resultados** del sistema de manejo de cacao se registró una riqueza específica elevada (8.6), acompañada de una variación moderada entre los diferentes puntos de muestreo. Asimismo, se reportó un promedio aproximado de 25.2

individuos, aunque con una inconsistencia de 56.24% y Como **conclusión**, se afirma que el sistema cacaotal destaca por presentar mayores niveles de riqueza, diversidad y equitatividad de la macrofauna edáfica en comparación con otros sistemas evaluados.

Ruiz et al. (2023) en su artículo “*Macrofauna edáfica asociada en cuatro sistemas de producción en el distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco – Perú*”, tuvo como **objetivo** analizar la biomasa, densidad y diversidad de la macrofauna edáfica en distintos sistemas de producción del distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco, en su **metodología** se evaluaron tres áreas de conservación: bosque maduro, bosque intermedio y zona de aprovechamiento. En cuanto a los **resultados**, se determinó que la biomasa en el sistema de producción de aguaje alcanzó 29,07 g/m², mientras que en el bambú fue de 16,16 g/m², en la plantación forestal mixta 30,80 g/m² y en el pastizal 38,92 g/m². Respecto a la profundidad del suelo, se registraron valores de 48,50 g/m² en el rango de 0–10 cm, 26,50 g/m² en 10–20cm y 16,50 g/m² en 20–30 cm. En relación con la inestable densidad, el sistema de pastizal presentó 201,60 ind/m², seguido de la plantación forestal mixta con 137,60 ind/m² y **concluyo** que el pastizal fue el sistema con mayor biomasa, densidad y abundancia de macrofauna edáfica. La biomasa y densidad disminuyen con la profundidad del suelo, indicando que los organismos del suelo están más concentrados en los primeros 10 cm.

Casimiro (2022) en su tesis “Abundancia de macrofauna del suelo en dos sistemas agroforestales en el fundo Alborada, distrito Castillo Grande – provincia Leoncio Prado” su **objetivo** determinar la abundancia de macrofauna edáfica en dos sistemas agroforestales ubicados en dicho fundo. La **metodología** aplicada se basó en un diseño de muestreo con aleatorización, siguiendo las recomendaciones del TSBF. Como **resultado**, se registraron valores de densidad que oscilaron entre 63 ind/m² y 84 ind/m², así como valores de biomasa entre 7,95 g/m² y 10,78 g/m². En las conclusiones, se estableció que las propiedades físicas y químicas en sistemas agroforestales conformados por *Teobroma cacao* L. (cacao) variedad CCN-55 asociado con *Calycophyllum spruceanum* (capirona), y *Teobroma*

cacao L. variedad aromática CPM-15 asociado con Guazuma crinita (bolaina blanca), presentan sensibilidad frente al manejo agrícola, evidenciando que cualquier modificación en este influye directamente en sus características.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. MACROFAUNA

La macrofauna edáfica son los animales del suelo que miden aproximadamente un centímetro de largo o más, pero que son de menor tamaño que una lombriz de tierra. Este grupo incluye una gran variedad de macrofauna, como los gusanos de maceta, miriápodos, ciempiés, milpiés, babosas, caracoles, larvas de mosca, escarabajos, larvas de escarabajo y arañas, entre otros. Dichos organismos participan de manera significativa en la dinámica del suelo, ya que muchas especies son excavadoras, contribuyendo así a la aireación y al drenaje del suelo mediante la creación de galerías y túneles. Estas estructuras permiten la circulación del agua y los nutrientes, lo que beneficia la fertilidad del suelo y al desarrollo de las plantas (Britannica, 2025).

La macrofauna se involucra de manera activa en la descomposición de materia orgánica, ayudando a la fragmentación y transformación de restos vegetales y animales en compuestos más simples que pueden ser aprovechados por otros organismos del ecosistema. Mientras que la superioridad de estos invertebrados consume material vegetal en descomposición y residuos orgánicos, algunos grupos, como los ciempiés, ciertos insectos y arañas, son depredadores y se alimentan de otros animales del suelo, contribuyendo al control biológico de plagas y al equilibrio ecológico del ecosistema edáfico (Britannica, 2025).

Gracias a sus diversas funciones ecológicas, la macrofauna considerada un bioindicador vital para la salud del suelo, puesto que su presencia y diversidad reflejan la calidad y el estado del ecosistema subterráneo.

Dentro de la macrofauna edáfica se incluyen distintos invertebrados que desarrollan total o parcialmente cumplen sus etapas

biológicas en el suelo, en la zona superficial inmediata, junto con la hojarasca acumulada y troncos en descomposición de degradación. Estos organismos presentan un ancho corporal o diámetro superior a los 2mm largo similar o superior de 10 mm, lo que permite su observación a simple vista, desigual de otros invertebrados de menor tamaño que constituyen la mesofauna, cuyo diámetro oscila entre 0,2 y 2mm (Brown et al., 2001). En función de su papel e influencia en el suelo, así como de su nicho ecológico y tipo de alimentación, la macrofauna edáfica puede clasificarse en distintas categorías pragmáticas, tales como detritívoros, herbívoros y depredadores (Zerbino et al., 2008). Asimismo, destacan los denominados ingenieros del ecosistema, debido a su notable incidencia en los procesos de formación, dinámica y productividad del suelo. Por otro lado, considerando su función e influencia en el suelo, así como su modo de vida y tipo de alimentación, la macrofauna edáfica se clasifica en diversos grupos prácticos, entre los que destacan los detritívoros, herbívoros y depredadores (Zerbino et al., 2008). Asimismo, sobresalen los llamados ingenieros del ecosistema, debido a su papel relevante en los procesos de generación, dinámica y productividad del suelo.

Dentro de los grupos funcionales, los detritívoros se distribuyen en la hojarasca y en diferentes estratos del suelo, tanto superficiales como internos. Su principal función está relacionada con el desgaste de la materia orgánica; en particular, los invertebrados presentes en la superficie participan en la fragmentación de los residuos vegetales y animales que conforman la hojarasca. Este proceso de trituración favorece la existencia de elementos necesarios para los organismos de menor tamaño y para microorganismos, como hongos y bacterias, lo que resalta la importancia de los detritívoros en el reciclaje de nutrientes. Asimismo, la literatura especializada señala que ciertos detritívoros pueden presentar hábitos omnívoros no selectivos, consumiendo tanto material de origen vegetal como animal (Cabrera, 2012).

Otro grupo de macroinvertebrados cumple funciones como herbívoros o depredadores y se distribuye tanto en la superficie como en el interior del suelo. Los herbívoros se alimentan de tejidos vivos de

las plantas, regulando así la cantidad de material de procedencia vegetal que se deposita en el suelo. Por su parte, los depredadores se nutren de múltiples invertebrados, influyendo en la dinámica de sus poblaciones y en el equilibrio existente (Cabrera, 2012).

Los ingenieros del suelo son organismos que alteran la estructura física del suelo a través de actividades como la excavación, la bioturbación y la formación de galerías o estructuras edáficas, influyendo en las condiciones del ambiente del suelo (Jouquet et al., 2006). Los organismos habitan, en su mayoría, en el interior del suelo, donde ayudan en el desarrollo de poros en el suelo, favorecen la aireación y facilitan la infiltración del agua mediante la construcción de galerías. Asimismo, participan en la modificación de la materia orgánica a través de su interacción con diversos microorganismos. De igual manera, influyen en los procesos de agregación y en la organización física del suelo, atribuido al aporte de sus excretas, las cuales resultan de la mezcla de material mineral (arcilla y arena) y materia orgánica en su sistema digestivo, actuando como reservorios de nutrientes (Cabrera, 2012).

En la siguiente tabla se describen los principales invertebrados considerados dentro de la macrofauna edáfica y más comunes que se localizan en el suelo.

Tabla 1*Macrofauna del suelo y los grupos que lo componen*

Nombre común	Grupo taxonómico (Clase**, Orden* o Familia)	Grupo funcional
Arañas	-Araneae*	Depredadores
Arañas patonas	-Opiliones*	Depredadores
Babosas y caracoles	-Gastropoda**	Detritívoros Depredadores
Chinches y salta hojas	-Insecta** -Hemíptera*	Herbívoros
Ciempiés	-Chilopoda**	Depredadores
Cochinillas	-Isópoda*	Detritívoros
Cucarachas	-Insecta** -Dictyoptera*	Detritívoros Herbívoros Omnívoros
Escarabajos	-Insecta** -Coleóptera*	Detritívoros Herbívoros Depredadores
Falsos escorpiones	-Pseudoscorpionida*	Depredadores
Grillos y saltamontes	-Insecta** -Orthoptera*	Herbívoros
Hormigas	-Insecta** -Hymenóptera* -Formicidae	Omnívoros, Depredadores e Ingenieros del suelo
Lombrices de tierra	-Haplotaxida*	Detritívoros e Ingenieros del suelo
Mariposas y orugas	-Insecta** -Lepidóptera*	Herbívoros
Milpiés	-Diplópodo**	Detritívoros
Moscas y mosquitos	-Insecta** -Díptera*	Detritívoros Depredadores
Termitas o comejenes	-Insecta** -Isóptera*	Detritívoros e Ingenieros del suelo
Tijeretas	-Insecta** -Dermáptera*	Detritívoros Depredadores

Nota. Tomado de Cabrera-Dávila (2014.).

2.2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

Arañas (*Araneae*). Presentan el cuerpo organizado en dos regiones principales: el cefalotórax, en la parte anterior, y el abdomen, en la región posterior. En el cefalotórax se localizan entre dos y cuatro pares de ojos, así como un par de estructuras especializadas denominadas quelíceros y pedipalpos, las cuales son empleadas para la captura e inmovilización de sus presas. La

región abdominal muestra una textura lisa, aparte su cuerpo carece de segmentación visible y usualmente posee una forma globosa. En los arácnidos resulta característico encontrar cuatro pares de patas (Cabrera, 2012).

Figura 1

Araña (Araneae)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Caracoles y babosas (Gastropoda; *Helix* spp. y *Deroceras* sp.). Se caracterizan por presentar una cabeza bien diferenciada, provista de tentáculos donde se ubican los ojos, así como un pie robusto que se encuentra del suelo y facilita su desplazamiento. A diferencia de los caracoles, las babosas carecen de concha y poseen un cuerpo húmedo cubierto por una secreción mucosa que favorece su locomoción. Por su parte, los caracoles presentan una concha compuesta principalmente por carbonato de calcio, en forma ovalada o cónica, por la cual pueden retraerse, lo que les brinda protección frente a depredadores y evita la pérdida de humedad (Cabrera, 2012).

Figura 2

Caracol (Gastropoda)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Chinches y saltahojas (*Hemíptera*). Este grupo se distingue por la forma de su boca y la posición de sus alas en reposo. Presentan un aparato bucal de tipo suctor, ubicado en forma tubular y proyectado por debajo del cuerpo. En las chinches, el primer par de alas se caracteriza por estar parcialmente endurecido en la región basal y ser membranoso en la parte distal, mientras que el segundo par es completamente membranoso. Ambas alas se pliegan planas sobre el abdomen. En cambio, los salta hojas tienen alas uniformemente membranosas, que al cerrarse forman un tejado sobre el abdomen (Cabrera, 2012).

Figura 3

Chinche (Hemíptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Figura 4

Saltahoja (Hemíptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Ciempíes (*Chilopoda*). Los quilópodos comúnmente denominados ciempiés o escolopendras, presentan un cuerpo alargado, aplanado y segmentado diferenciado en dos regiones: cabeza y tronco. Su coloración es variable, predominando tonalidades azuladas, amarillas pálidas, anaranjadas u otras combinaciones. En contraste con los diplópodos, poseen un solo par de pies por cada segmento corporal y su longitud puede fluctuar entre algunos milímetros y varios centímetros de longitud. La cabeza cuenta con dos antenas generalmente largas, ubicadas en la región anterior. En el extremo posterior del cuerpo se encuentra el telson, desde el cual se proyecta un par de apéndices semejantes a patas (Cabrera, 2012).

Figura 5

Ciempíes (Chilopoda)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Cochinillas (*Isopoda*). Presentan un cuerpo de coloración que varía entre gris y negro, con forma aplanada y segmentada, dividido en cabeza, tórax y abdomen; sin embargo, estas dos últimas regiones no se distinguen claramente debido a que poseen un ancho similar. La cabeza se encuentra integrada a los primeros segmentos torácicos y cuenta con dos pares de antenas con función sensorial, siendo el primer par muy reducido y poco visible, mientras que el segundo está bien desarrollado adecuadamente. Los anillos torácicos y abdominales suelen proyectarse usualmente hacia los lados. Generalmente, poseen siete pares de patas y una estructura terminal denominada telson, la cual se encuentra fusionada, en la mayoría de los casos, al último segmento

abdominal. Como mecanismo de defensa frente a depredadores, algunas especies tienen la capacidad de enrollarse formando una esfera (Cabrera, 2012).

Figura 6
Cochinilla (Isopoda)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Cucarachas (*Dictyoptera*). Se trata de insectos con cuerpo aplanado y de forma ovalada. Presentan una cabeza pequeña de contorno triangular, de la cual emerge dos antenas largas. Sus estructuras bucales corresponden al tipo masticador y se encuentran bien desarrolladas. Algunas especies poseen alas, aunque no siempre las utilizan para volar. Se caracterizan además por tener patas largas y espinosas que les permiten desplazarse con rapidez. En el suelo pueden encontrarse tanto estados inmaduros (ninfas) como individuos adultos (Cabrera, 2012).

Figura 7
Cucaracha (Dictyoptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Escarabajos (*Coleóptera*). Poseen el tegumento rígido y mandíbulas fuertes adaptadas para la masticación. A diferencia de otros insectos, sus alas delanteras (élitros) son esclerotizadas y no funcionales para volar, actuando como un escudo protector para las alas membranosas posteriores, que permiten volar y se ocultan bajo los élitros cuando están en reposo (Cabrera, 2012).

Figura 8

Escarabajo (Coleóptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Grillos y saltamontes (*Orthoptera*). Corresponden a insectos que se distinguen por poseer patas posteriores desarrolladas, las cuales les permiten desplazarse mediante saltos, presentan un aparato bucal de tipo masticador. Se caracterizan por el desarrollo del fémur del tercer par de patas, el cual se encuentra engrosado y les permite realizar saltos. Asimismo, poseen antenas muy largas que, en algunos casos, pueden alcanzar una longitud equivalente al doble de su cuerpo (Cabrera, 2012).

Figura 9

Grillo (Orthoptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Hormigas (*Formicidae*). Se trata de insectos sociales con comportamiento gregario, estrechamente relacionados con avispa y abejas. Estas colonias presentan una organización en castas, donde cada grupo cumple funciones específicas, como los soldados encargados de la defensa del nido y las obreras responsables del cuidado y alimentación de la colonia. Las hormigas se distinguen por poseer antenas acodadas y por una marcada constricción entre el tórax y el abdomen, conocida como pedicelo (Cabrera, 2012).

Figura 10

Hormiga (Formicidae)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Lombrices de tierra (*Haplotaxida*). Se caracterizan por presentar un cuerpo segmentado, de forma cilíndrica y con una consistencia suave y húmeda. En la región anterior se localiza la boca, junto con las principales estructuras internas asociadas a los sistemas nervioso, circulatorio y reproductivo, mientras que en la región posterior se extiende del tubo digestivo que recorre gran parte del cuerpo, finalizando en el ano. Estos organismos son hermafroditas, que poseen aparatos reproductores masculino y femenino en un mismo individuo. Además, muestran de manera externa una estructura denominada clitelo, que se observa como un engrosamiento en forma de anillo alrededor de ciertos segmentos del cuerpo, indicando que el organismo ha desarrollado su madurez reproductiva y se encuentra en condiciones de reproducirse (Cabrera, 2012).

Figura 11

Lombriz de tierra (Haplotaxida)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Mariposas, polillas y orugas (*Lepidóptera*). Corresponden a insectos del phylum Arthropoda y clase Insecta. En el suelo es posible encontrar principalmente polillas adultas, las cuales, a diferencia de las mariposas, presentan tonalidades más opacas y hábitos nocturnos. También son comunes las orugas, la fase larval de los lepidópteros. Las mariposas y polillas se distinguen por su cuerpo cubierto de escamas y su boca en forma de trompa enrollada para succionar néctar. Las orugas tienen cuerpo alargado, cabeza y patas bien definidas, además de estructuras abultadas al final del cuerpo llamadas falsas patas. Se encuentran en galerías subterráneas, pastizales y otros hábitats, donde se alimentan de hojas, en vista de que son herbívoras (Cabrera, 2012).

Figura 12

Oruga (Lepidoptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Milpiés (*Diplopoda*). Son artrópodos de cuerpo cilíndrico y segmentado, provistos de numerosas patas, con variaciones en coloración —principalmente negro, marrón y gris— y en tamaño, que puede ir desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros de longitud. Su cuerpo está conformado por una cabeza y un tronco alargado de consistencia generalmente rígida, que culmina en el telson, donde se localiza la abertura anal. La cabeza presenta un par de ojos, mandíbulas bien desarrolladas y antenas cortas. Los segmentos del tronco poseen un par de patas, rasgo distintivo del grupo Diplopoda. Algunas especies de pequeño tamaño, como las pertenecientes al orden Polyxenida, presentan espinas laterales en cada segmento y un cuerpo menos endurecido. En su mayoría, estos organismos cuentan con glándulas en cada segmento que secretan sustancias repelentes como mecanismo de defensa ante amenazas. Asimismo, pueden enrollarse adoptando una forma esférica para protegerse de los depredadores (Cabrera, 2012).

Figura 13

Milpiés (Diplopoda)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Moscas y mosquitos (*Diptera*). Se presentan tanto en estado larvario como adulto; en esta última fase, los individuos cuentan con un aparato bucal de tipo suctor, configurado en forma de trompa bilobulada. A diferencia de otros insectos, solo cuentan con un par de alas plenamente funcionales para el vuelo, mientras que el segundo par se encuentra reducido para estructuras especializadas que contribuyen al equilibrio durante el desplazamiento aéreo. Asimismo, las larvas de las moscas pueden

ser fácilmente confundidas con las de algunos escarabajos debido a sus similitudes morfológicas, pero se diferencian por su forma más delgada y la ausencia de una cabeza y patas claramente visibles (Cabrera, 2012).

Figura 14

Mosca (Díptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Termitas (*Isoptera*). Las termitas. Al igual que las hormigas, son insectos sociales que se organizan en colonias estructuradas en castas con funciones específicas. La pareja reproductora, conformada por la reina y el rey, es responsable de la reproducción, mientras que las obreras se encargan de la construcción y mantenimiento del nido, y los soldados de su defensa. Presentan un cuerpo blando, generalmente de color blanquecino o incoloro, y poseen piezas bucales de tipo masticador. A diferencia de las hormigas, sus antenas son rectas y no presentan una constricción evidente entre el tórax y el abdomen. Los adultos alados, futuros reproductores, poseen alas membranosas funcionales para el vuelo y un vientre con alrededor de 10 segmentos (Cabrera, 2012).

Figura 15

Termita (Isóptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

Tijeretas (*Dermaptera*). Pueden confundirse con los escarabajos debido a su apariencia general. Presentan un cuerpo alargado y piezas bucales de tipo masticador. En la mayor parte de las especies, el primer par de alas se encuentra modificado en élitros, mientras que el segundo es membranoso y se dispone en forma de abanico. Un rasgo que los distingue es la presencia, en el extremo posterior del cuerpo, de un par de extremidades modificadas a manera de pinza o cercos. Su ciclo vital se desarrolla principalmente en el suelo, donde excavan y habitan en galerías, en muchos casos de considerable profundidad. Son organismos mayormente nocturnos y cumplen funciones tanto detritívoras como depredadoras (Cabrera, 2012).

Figura 16

Tijereta (Dermáptera)



Nota. Tomado de Cabrera Dávila (2014).

2.2.1.2. FACTORES NEGATIVOS PARA LA MACROFAUNA

Laboreo intensivo. El laboreo intensivo del suelo perjudica a la macrofauna edáfica porque modifica las características físicas del suelo, destruye espacios utilizados como refugio y reduce la materia orgánica disponible para su alimentación. Como consecuencia, disminuyen la abundancia y diversidad de organismos del suelo, afectando la estabilidad biológica y la calidad del ecosistema edáfico (Karanja et al., 2012).

Uso de agroquímicos. La aplicación de altas tasas de fertilizantes inorgánicos, herbicidas y deshierbe limpio son algunas de las prácticas agronómicas que impactan negativamente en la diversidad de la macrofauna en sistemas agrícolas intensificados (Ayuke et al., 2011)).

Fertilización nitrogenada. La utilización intensiva de fertilizantes inorgánicos, herbicidas y prácticas de deshierbe total en sistemas agrícolas provoca alteraciones desfavorables en la diversidad de la macrofauna edáfica, debido a la disminución de recursos orgánicos y al deterioro del hábitat biológico del suelo (Ayuke et al., 2011).

Contaminación por pesticidas. El uso de pesticidas genera respuestas negativas en numerosos invertebrados del suelo no objetivo, afectando procesos como la reproducción, el comportamiento, la supervivencia y la regulación biológica de sus poblaciones (Römbke et al., 2017).

Uso de fertilizantes sintéticos y salinidad. El empleo reiterado de fertilizantes sintéticos como el KCl induce un aumento en la concentración de sales del suelo, condición que altera los procesos microbianos y afecta negativamente a la fauna asociada al ambiente edáfico (Pereira et al., 2019).

2.2.1.3. FACTORES POSITIVOS PARA LA MACROFAUNA

Laboreo de conservación. Es un sistema de manejo edáfico que busca minimizar la alteración del suelo, mantener una cobertura vegetal permanente y a la vez diversificar los cultivos buscando mejorar las características edáficas y del entorno

circundante. Se encuentra sustentado en tres principios claves: alteración mecánica mínima del suelo, cobertura orgánica permanente y diversificación de cultivos. (Deleon et al., 2020).

Aporte de materia orgánica y abonos orgánicos. La adición de materiales orgánicos incrementa la actividad de lombrices de tierra, las cuales mejoran la acumulación de materia orgánica dentro del perfil edáfico y estimulan procesos biológicos que benefician a la comunidad del suelo (Sizmur et al., 2017).

Agricultura de conservación e integración de cultivos.

La agricultura de conservación es un sistema de manejo agrícola orientado a mantener la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas, promoviendo la conservación de los recursos naturales y la protección ambiental. Este enfoque se basa en tres principios fundamentales: la reducción de la alteración mecánica del suelo, el mantenimiento de una cobertura permanente mediante residuos vegetales y la diversificación de cultivos a través de rotaciones agrícolas (Mitchell et al., 2017).

Residuos vegetales y rotación de cultivos. El sistema de manejo agrícola conservacionista favoreció a las lombrices de tierra (*Oligochaeta*) y a las arañas depredadoras (*Araneae*) la capa de hojarasca es un factor muy importante proporcionando un entorno más los organismos sin columna vertebral que viven en el sustrato terrestre y y la hojarasca (Stinner et al., 1990).

Mejora de propiedades químicas y físicas del suelo. Mejora de propiedades químicas y físicas del suelo. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles, como la reducción de la labranza y el empleo de fertilizantes orgánicos tales como el compost, contribuye al mejoramiento de la las propiedades físicas, nutritivas y biológicas del suelo cuando son utilizadas de manera individual o conjunta (Sofo et al., 2020).

2.2.1.4. ÍNDICES DE RIQUEZA DE ESPECIES

Margalef (d). Es una medida de riqueza de especies ajustada al tamaño de la muestra. Es muy útil cuando se quiere evaluar cuántas especies hay sin que el número total de individuos influya demasiado (Margalef, 1958).

$$d = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

- S = número de especies
- N = número total de individuos

Menhinick. Es una medida de riqueza relativa que ajusta el S atribuido al tamaño de la muestra (el total de individuos). Es útil para comparar comunidades con diferentes tamaños de muestreo. (Kitikidou et al., 2024).

$$D_{Menhinick} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde:

- S = número de especies

N = número total de individuos

Taxa (S). Este índice simplemente cuenta cuántos taxones (especies u otras unidades de clasificación) diferentes hay en una comunidad ecológica (Magurran, 1988).

$$S = \sum_{i=1}^S 1$$

Donde:

- 1= número de especies observadas

ACE. Estima la cobertura basada en abundancia. El ACE (“estimador basado en la cobertura de abundancia”) permite estimar la riqueza específica mediante un método estadístico no paramétrico corrige la subestimación debida a especies poco frecuentes (“raras”). Se divide a las especies observadas en “raras” y “abundantes” según un umbral k , y estima cuántas especies faltan en función de la cobertura muestral de las especies raras (Chao, 1992).

$$\hat{S}_{ACE} = S_{abund} + \frac{S_{rare}}{C_{rare}} + \frac{f_1}{C_{rare}} \hat{\gamma}_{rare}^2$$

Donde:

- S_{abund} = S “abundantes” más de que individuos
- S_{rare} = S “raras” ($\leq$ que individuos)
- C_{rare} = estimador de la cobertura para las especies raras
- f_1 = S con exactamente 1 individuo (singletons)
- $\hat{\gamma}_{rare}^2$ = estimador del coeficiente de variación de la abundancia de las especies raras

Chao-1. El estimador Chao-1 es un método no paramétrico para estimar la riqueza real de especies S (número total de especies) a partir de datos de abundancia. Se basa en la frecuencia de unidades raras (“singletons” y “doubletons”) observadas en la muestra para estimar cuántas especies no han sido detectadas (Chao, 1984).

$$\hat{S}_{Chao1} = S_{obs} + \frac{f_1^2}{2f_2} \cdot \frac{N-1}{N}$$

Donde:

- S_{obs} = número de especies observadas en la muestra
- f_1 = número de especies con exactamente un individuo (“singletons”)
- f_2 = número de especies con exactamente dos individuos (“doubletons”)
- N = total de individuos en la muestra

iChao-1 Versión modificada del índice Chao-1 diseñada para estimar con mayor precisión la forma más robusta la estimación en la riqueza de especies en muestras con muchas especies raras. (Corresponde a versiones modernas y ajustadas de estimadores de Chao, usadas por programas estadísticos y metaanálisis) (chiu et al., 2014).

$$\hat{S}_{1Chao1} = S_{obs} + \frac{F_1(F_1 - 1)}{F_2(F_2 + 1)} \cdot \max(1, \frac{2F_2}{F_1})$$

Donde:

- S_{obs} = número de especies observadas en la muestra
- f_1 = número de especies con exactamente un individuo
- f_2 = número de especies con exactamente dos individuos

Fisher Alpha. Es un parámetro de la distribución de log-serie, usado para relacionar la riqueza de especies con el total número de individuos. Cuanto más alta es la α , más diversidad según este modelo teórico de abundancia de especies (Fisher et al., 1943).

El modelo de log-serie de Fisher da una relación entre S y N:

$$S = \alpha \ln(1 + \frac{N}{\alpha})$$

Donde:

- Para estimar α se resuelve esta ecuación numéricamente (no tiene solución explícita simple).

2.2.1.5. ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Shannon-Wiener (H'). Estimado para medir la incertidumbre y diversidad en una comunidad biológica (Shannon, 1949).

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

Donde:

- H' = índice de diversidad de Shannon
- S = total número de especies
- p_i = proporción de individuos de la especie i

Simpson (1-D). Mide la probabilidad de que dos individuos tomados al azar pertenezcan a diferentes especies (LibreTexts, s. f.)

Es muy sensible a las especies dominantes.

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

$$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde:

- D = dominancia
- 1 – D = diversidad de Simpson

Brillouin. Es el índice de diversidad aplicado cuando se comprende el tamaño de población (o la muestra es completa y no una submuestra), basado en teorías de la información. Es muy útil si se han contado todos los individuos sin error de muestreo (Peet, 1962).

$$H_B = \frac{\ln(N!) - \sum_{i=1}^S \ln(ni!)}{N}$$

Donde:

- N = el total de individuos
- Ni = el número de individuos de la especie i
- “!” denota factorial

Índices de equidad / uniformidad

Índice de Pielou (J): Equidad de Pielou (J). El índice de Pielou mide qué tan uniforme es la distribución de individuos entre las especies. No mide riqueza, sino equidad (Pielou, 1966).

0 = baja equidad

1 = máxima equidad (todas las especies tienen el mismo número de individuos)

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

Donde:

- H' = índice de Shannon
- S = número de especies

Índice de Equidad ($e^{H'/S}$): (Evenness) = ($e^{H'/S}$) es uniformidad (basada en Shannon). Este índice de uniformidad es una medida de cuán equitativamente están distribuidos los individuos entre las especies, comparando la diversidad (“entropía”) con la riqueza de especies. El “($e^{H'/S}$)” se basa en la idea de transformar la diversidad para relacionarla con el número de especies y obtener una medida de uniformidad relativa (Jost, 2006).

$$Equidad = \frac{e^{H'}}{S}$$

Donde:

- H' = índice de Shannon (entropía)
- S = riqueza de especies

2.2.1.6. ÍNDICES DE DOMINANCIA

Berger-Parker (d_{BP}). Indica cuán dominante es la especie más abundante (Berger 1970).

$$d_{BP} = \frac{N_{max}}{N}$$

Donde:

- N_{max} = número de individuos de la especie más abundante
- N = número total de individuos

Dominancia D (Índice de dominancia). Evalúa la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar dentro de una comunidad pertenecen a la misma especie, lo que permite evidenciar el grado de dominancia de las especies más abundantes (menos diversidad cuando una especie domina mucho (Simpson, 1949).

$$D = \sum_{i=1}^S P_i^2$$

Donde:

- $pi = \frac{n_i}{N}$ es la relación de individuos de la especie i sobre el total i

Otros

Individuos. Este no es exactamente un “índice” de diversidad, sino simplemente el conteo total de individuos en la comunidad o en la muestra. Se usa como dato básico para calcular otros índices (debido a muchos índices necesitan el total N).

$$N = \sum_{i=1}^s ni$$

Donde:

- ni = número de individuos de la especie i

2.2.1.8. PRUEBA DE NORMALIDAD DE SHAPIRO–WILK

La prueba de Shapiro–Wilk es un test estadístico diseñada para determinar si los datos analizados presentan una distribución normal. Es uno de los métodos más recomendados considerando que tiene alta potencia incluso con muestras pequeñas ($n < 50$) y también funciona bien con muestras moderadas (Shapiro, 1965).

H_0 (hipótesis nula): Se asume que los datos siguen una distribución normal.

H_1 (hipótesis alternativa): Se plantea que los datos no se ajustan a una distribución normal.

Si el p -valor < 0.05 , se rechaza la normalidad.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(1)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i \bar{x})^2}$$

Donde

- $x_{(1)}$ = valores ordenados de menor a mayor
- $\bar{x}$ = media de los datos
- a_1 = coeficientes calculados a partir de los valores esperados de una distribución normal

Numerador: mide qué tan parecido es el patrón de los datos al de una normal Denominador: variación total de los datos

Si W es cercano a 1: los datos son similares a una distribución normal. Si W es menor a 1: mayor evidencia de no-normalidad.

2.2.1.9. TEST DE MANN-WHITNEY (U)

Es una prueba no paramétrica que compara dos grupos independientes para determinar si existe una diferencia significativa en la mediana o en la distribución de ambos grupos (Mann, 1947).

Se utiliza cuando:

- Los datos no cumplen normalidad (según Shapiro-Wilk u otra prueba).
- Las muestras son independientes.
- Las variables son ordinales o numéricas sin suposición de distribución normal.

Hipótesis

H_0 : Las dos poblaciones tienen la misma distribución (no hay diferencias entre grupos).

H_1 : Las distribuciones son diferentes (hay diferencia significativa entre los grupos).

Esta prueba constituye una alternativa no paramétrica al test para muestras independientes.

Fórmula estadística “U”

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

Donde:

- n_1 y n_2 = tamaños de las muestras
- R_1 y R_2 = suma de rangos de cada grupo

Previamente, todos los datos se ordenan de menor a mayor y se les asigna un rango, tras lo cual se procede al cálculo del estadístico U para cada grupo.

El estadístico U final se obtiene tomando el menor valor entre U_1 y U_2 :

$$U = \min(U_1, U_2)$$

Interpretación:

- Si el valor de $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0), indicando la existencia de diferencias significativas entre los grupos.
- Si el valor de $p \geq 0.05$, no se rechaza la hipótesis nula (H_0), por lo que no existen diferencias significativas.

Aplicación del Test:

- Comparar dos tratamientos.
- Comparar dos zonas de muestreo.
- Comparar abundancia, longitud, densidad, biomasa, etc., cuando los datos no son normales.

2.2.1.10. DIVERSIDAD ELEVADA EN BOSQUES ANDINOS DEL PERÚ

Los suelos forestales en los Andes presentan una superioridad de riqueza y diversidad de macrofauna en cotejo con sistemas agrícolas o de pastoreo, debido a su menor perturbación y cubierta vegetal más complejo. señalan que Una mayor diversidad de macrofauna se ajusta a la perturbación relativamente baja y la mayor complejidad del hábitat en estos sistemas. Esto se evidencia por una mayor abundancia de ciempiés (*Chilopoda*) en estos sistemas, un grupo importante de depredadores que reside predominantemente en la hojarasca superficial (de Valença et al., 2017).

2.2.1.11. INDICADORES DE CALIDAD EN BOSQUES DE BAJA PERTURBACIÓN

En la cuenca de Puerto Almendra (Loreto), aunque sea selva baja, se demostró que, en tal condición de bosque, la macrofauna edáfica constituye un indicador biológico confiable de calidad del suelo, con más de 16 grupos taxonómicos y funcionamiento edáfico elevado (índice TSBF $\approx 2,19$). Este resultado, aunque en bosque amazónico, es relevante en bosques andinos por su similitud en estructura y función. Los resultados obtenidos identificando 16 grupos taxonómicos, 4 grupos funcionales. El índice del estado de conservación del suelo fue de 2,19, equivalente a >1 Alta calidad (Shahuano, 2021).

2.2.1.12. COMPOSICIÓN FUNCIONAL EN BOSQUES ANDINOS SECUNDARIOS

En los bosques sucesionales de la región amazónica peruana, también se ha observado que hormigas (Formicidae) y termitas (Isóptera) constituyen los grupos más abundantes, destacándose como ingenieros del suelo, especialmente en fases de recuperación forestal. Esto refleja patrones que se replican en bosques montanos andinos, donde estos grupos también tienen papeles clave:

Los resultados identificaron 13 órdenes de macrofauna destacando las hormigas con 2533ind/m², posteriormente de las termitas con 1344ind/m² (Cachique, 2019).

2.2.2. EL SUELO

Porta et al. (2013) en su libro Edafología uso y protección de suelos nos informa que el suelo es una capa ligera sobre la superficie de la tierra, desde algunos insignificantes centímetros hasta varios metros.

A efectos de clasificación, el límite inferior del suelo se establece de forma arbitraria en dos metros, a pesar de que en zonas tropicales cálidas y húmedas los suelos pueden tener un espesor considerablemente mayor. Por otro lado, hay que tener en cuenta que muchas de las funciones en las que interviene el suelo, especialmente las relaciones con el régimen hídrico y la transferencia de fluidos, afectan a un espesor mucho mayor a los 2 metros (Porta et al., 2013).

2.2.2.1. LA FORMACIÓN DE LOS SUELOS

Das (2021) menciona que el origen de la tierra comienza con la meteorización (un proceso que involucra la descomposición y modificación de las rocas al romperlas bajo la influencia de factores físicos, químicos, biológicos y geológicos), seguido de factores que afectan la formación del suelo, y finalmente se convierte en una capa de material cabalmente diferente del cual proviene.

El origen de la Tierra empieza con la meteorización (un proceso que involucra la descomposición y transformación de las rocas al romperlas bajo la influencia de factores físicos, químicos,

biológicos y geológicos), seguido de factores que afectan la formación del suelo, y finalmente se convierte en una máscara de material totalmente desigual a aquel de quien proviene (Das, 2021).

2.2.2.2. LAS CAPAS DEL SUELO.

Según Editorial (2021) el suelo es una masa que está en la superficie de la cascara terrestre. En la parte inferior de él se ha logrado ver varios tipos de capas, que no tienen similitud entre sí por su aspecto, textura y las materias de lo que están compuestas en horizontes.

Horizonte 0. Es la máscara jerárquica del suelo que tiene materia orgánica desprendido de algunas plantas, como hojas y ramas. Allí viven insectos y animales (Editorial, 2021).

Horizonte A. Es la capa superior del suelo consiste en materiales orgánicos aislados de plantas como hojas y ramitas. Insectos y animales viven en él (Editorial, 2021).

Horizonte B. Es la capa más fértil de color oscuro y compuesto de materia orgánica descompuesta o humus y minerales (Editorial, 2021).

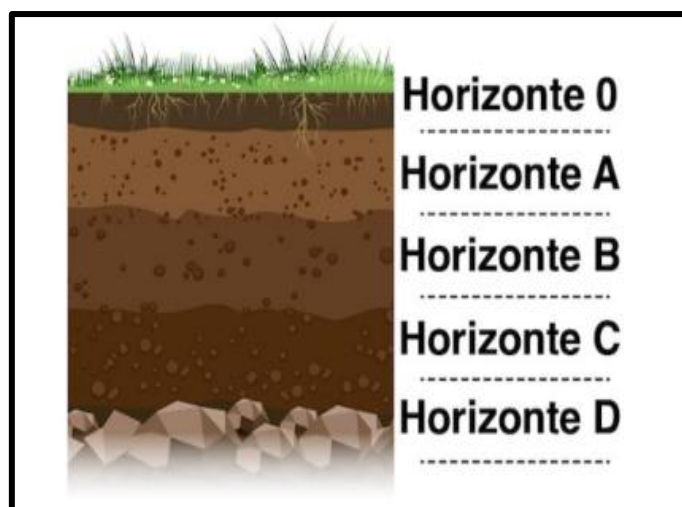
Horizonte C. Es de color más claro y precipita hidróxidos metálicos, arcillas, sales y óxidos derivados de la capa A (Editorial, 2021).

Horizonte D. Es la capa que se encuentra en lo más profundo de la tierra y lo que la crea. Se compone de piedra sin forma (Editorial, 2021).

Horizonte E. En esta capa se logró encontrar en algunos casos. Tiene poco acceso a la luz y su color es muy claro (Editorial, 2021).

Figura 17

Los estratos del suelo



Nota. Se observa que en cada horizonte hay una variación en cuanto al color y textura. Tomado de (Editorial, 2021).

2.2.2.3. TIPOS DE SUELO

Calizos. Se componen de minerales tales como el carbonato de calcio, hematita, carbonato de magnesio y arcilla. Es un suelo muerto y seco, por lo que no es una buena recomendación de opción para plantar (Editorial, 2021).

Arenosos. Son ásperos, secos y no suelen retienen muy bien el agua, por lo que se escurren más rápido. No son aptas para la agricultura por falta de nutrientes. Se diferencian por mantener la temperatura y las partículas mucho más grandes a diferencia de otros suelos (Editorial, 2021).

Lima. Se componen de arcilla y arena. Tienen un tono de color marrón oscuro y, a desigual de los suelos arenosos, las partículas de estos suelos son más pequeñas y blandas. Además, consiguen favorecer la permanencia de nutrientes y agua durante un tiempo prolongado, los nutrientes y la humedad hacen que estos suelos sean fértiles para la siembra, y casi todas las especies de plantas prosperan en ellos, excepto aquellas que requieren un hábitat seco (Editorial, 2021).

Arcilla. Están formadas por partículas finas y amarillentas, la mitad de ellos son arcilla, lo que los hace muy retentivos de agua y nutrientes, debido a su baja porosidad, no se airean, sino que se encharcan e incluso se pudren (Editorial, 2021).

Rocosos. Se diferencian por estar compuestas por pequeñas piedras, lo que las hace semi impermeables, impidiendo la entrada de agua y dificultando la agricultura (Editorial, 2021).

Salinos. Estos son suelos típicos de zonas muertas con mal drenaje. Su alto contenido en sal inhibe el crecimiento de las especies vegetales (Editorial, 2021).

Humífero. Son aptas para el cultivo debido a la materia orgánica que descomponen las hace muy fértiles. Tienen un color oscuro considerando que absorben mucha agua y contienen una alta proporción de organismos descomponedores (Editorial, 2021).

Turba. Son porosos y retienen agua incluso en la estación seca, lo que los hace perfectos para plantaciones de color negro o marrón oscuro, consiguen cuidar las raíces en las mínimas temperaturas. También controla las plagas del suelo debido a su pH ácido (Editorial, 2021).

2.2.2.4. EL SUELO DESDE LA PERSPECTIVA DE SU FORMACIÓN

Según Porta et al. (2013) la productividad del suelo a menudo se basa en la acción combinada de varios factores estructurales que determinan el tipo y la resistencia de la estructura del suelo. El valor de las diferentes cosas varía de un país a otro y con el tiempo.

Figura 18

Meteorización de la roca como etapa inicial en la formación del suelo



Nota. Tomado de Porta et al. (2013).

2.2.2.5. EL SUELO COMO UN ELEMENTO MULTIFUNCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

El suelo es un ser natural, dinámico y vivo que realiza muchas funciones y brinda muchos servicios, por lo que es una parte importante para el medio ambiente (Porta et al., 2013).

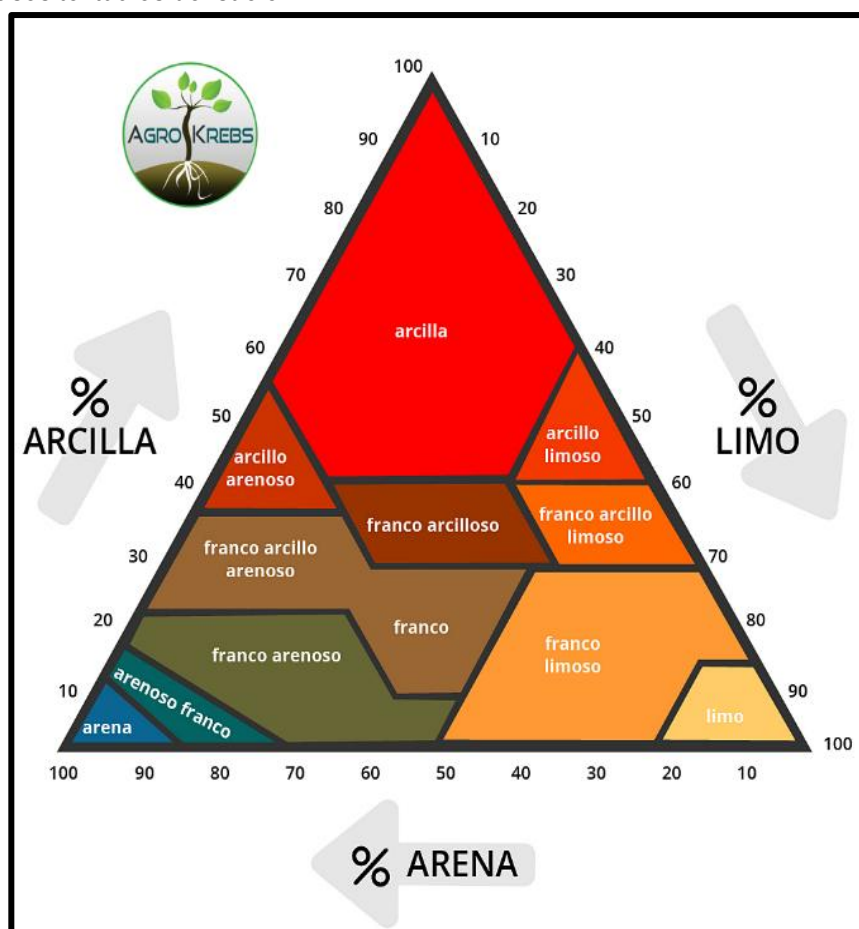
Porta et al. (2013) en su conclusión fue, por consiguiente, a medida que un suelo se corrompe o se va descuidando por erosión ira dejando de realizar las labores ambientales importantes. Debido a la variabilidad espacial de los suelos, no todos ellos pueden desempeñar las mismas funciones.

2.2.2.6. TEXTURA DE LOS SUELOS

Generalmente la textura está condicionada por sus caracterizadas de los minerales que componen el suelo. Entonces estamos hablando de suelo arenoso o arcilloso. El suelo arenoso es húmedo y fácil de trabajar. Son suelos sueltos, ligeros, pero de baja fertilidad. Por otro lado, la arcilla es pegajosa cuando está húmeda y muy dura cuando está seca. Solo pueden funcionar con cierto tipo de humedad. Por lo tanto, tienen pocas características físicas, pero son los más gordos. Se llaman suelos pesados. Dependiendo de la cantidad de diferentes minerales que componen el suelo, existe una diferencia entre estos dos extremos. Cuando los tres componentes (arena, limo y arcilla) son iguales, lo llamamos franco o de estructura media. Estos son el equilibrio entre las propiedades físicas y la fertilidad (MINAM, 2015).

Figura 19

Clases textuales del suelo



Nota. Tomado de Edafología y Climatología Agrícola (2024).

2.2.2.7. FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Comprobado que en el caso de la tierra "poniendo" los recursos de la tierra se cultivan de acuerdo con los cultivos que están creciendo. Por lo tanto, la buena calidad del suelo es su capacidad para soportar el aumento de plantas o animales (MINAM, 2015).

El aumento de materia orgánica hace que el suelo sea más fértil, debido a que los microorganismos que habitan en el suelo le quitan los nutrientes que las plantas necesitan. Cuanta más arcilla tiene el suelo, más fértil es, en vista de que tiene una mayor capacidad para retener los nutrientes. La fertilidad a menudo se divide en "química", "física" y "biológica" debido a sus métodos específicos, pero a menudo son difíciles de separar. En este significado, la disponibilidad de nutrientes del suelo se evalúa a

través de un proceso de diagnóstico mediante análisis de suelos y/o plantas, que luego determina las estrategias de fertilización (MINAM, 2015).

La "fertilidad física" se define como la capacidad del suelo para ofrecer condiciones estructurales adecuadas que favorezcan el soporte y desarrollo de los cultivos. En este sentido, intervienen factores como la estructura del suelo, el espacio poroso, la sujeción de humedad, el grado de compactación y el drenaje, entre otros. Por su parte, la fertilidad biológica está relacionada con los procesos biológicos que ocurren en el suelo y todas sus especies. Los microorganismos del suelo presentan importantes para mantener una variedad de características del suelo. Esta puede ser un área subdesarrollada de la ciencia del suelo, pero en los últimos años se han producido avances interesantes en la investigación de enzimas y la ecología del suelo. Aunque la fertilidad del suelo es fácil de categorizar, está claro que estos procesos son diversos y complejos en el suelo (MINAM, 2015).

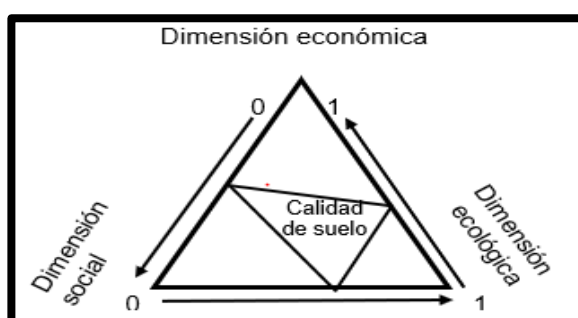
2.2.2.8. LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO Y SU IMPORTANCIA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS.

Para MINAM (2015), el suelo es uno de los ecosistemas más diversos y complejos de la naturaleza. En ningún lugar del mundo hay tanta diversidad de vida en un espacio tan pequeño. El suelo constituye un sistema tridimensional en el que interactúan simultáneamente las fases sólida, líquida y gaseosa. En conclusión, los suelos desarrollan organismos que están en interacción permanente y participan en los ciclos biogeoquímicos esenciales para la vida en el planeta; estos son los organismos del suelo, responsables de conservar el adecuado funcionamiento sostenible del ecosistema en su conjunto. Por ejemplo, interrumpen el periodo de nutrientes, normalizan lo enérgico de la sustancia orgánica, fijan carbono y regulan las emisiones de gases de efecto invernadero, cambian la estructura física del suelo y afectan los regímenes hídricos y la erosión (MINAM, 2015).

De acuerdo con Hünнемeyer et al. (1997), los indicadores de calidad del suelo deben permitir: a) evaluar las condiciones actuales e identificar aspectos relevantes para su manejo y desarrollo; b) analizar las oportunidades existentes antes de realizar una intervención; c) monitorear las consecuencias derivadas de la actividad humana; y d) contribuir a reconocer si los recursos del suelo o su aprovechamiento mantienen estabilidad en el tiempo.

Figura 20

Triangulo Moebius



Nota. Como se puede ver, las dimensiones social, económica y ecológica implican un concepto de sostenibilidad de la calidad del suelo. Tomado de (Hünнемeyer et al., 1997).

Hay tres ambigüedades en la declaración publicitaria: económico, social y ambiental (Goodland 1996).

Hünнемeyer et al. (1997) explica (figura 20) el medio ambiente se refiere a las características básicas del entorno de vida en términos de sus componentes e interacciones que deben mantenerse a lo largo del tiempo. La flexibilidad económica significa generar una tasa de retorno razonable y estable en el tiempo, por lo que es deseable mantener este tipo de sistemas. Y la estabilidad social requiere una forma de gobierno que accede a las estructuras de la comunidad civil satisfacer sus necesidades de manera aceptable. Por lo tanto, la gestión sostenible puede tener diferentes significados conforme a la funcionalidad primordial del recurso o el momento histórico en el que se realiza la valorización. El crecimiento agrícola sustentable incluye las tres dimensiones.

Parece imposible optimizar conjuntamente para cada uno de los tres elementos definidos anteriormente, es mejor fijar ciertas

confinaciones permisibles para cada uno de ellos y optimizar uno primero, asegurando que la fuerza de los otros que son dos esté dentro de los límites permisibles para el tiempo y las condiciones dadas. Con el tiempo, estos tres objetivos deberían acercarse a la optimización ideal de cada uno de los tres componentes (Hünneimyer et al., 1997).

2.2.2.9. DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN EN SUELOS ANDINOS AGRÍCOLAS EN LOS ANDES DE PERUANOS

Se destacan que en paisajes agrícolas de los Andes centrales del Perú, los sistemas menos perturbados como bosques y pastizales presentan mayor diversidad de macrofauna, incluidos insectos depredadores como ciempiés, mientras que los sistemas agrícolas suelen tener menor riqueza, dominados por coleópteros y bajos valores para lombrices debido a suelos fríos y ácidos (de Valença et al., 2017).

2.2.2.10. FACTORES AMBIENTALES Y EDÁFICOS EN MONTAÑAS

Los suelos volcanos, frecuentes en los Andes a más de 3600m, son ricos en materia orgánica, bien estructurados y moderadamente ácidos; estas condiciones resultan favorables a cierta macrofauna funcional, aunque no tan fértiles como otros suelos agrícolas de zonas templadas (Leceta et al., 2024).

2.2.2.11. MACROFAUNA COMO INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO

Castillo (2016), en su tesis sobre macrofauna edáfica en Puno, informó que la diversidad de familias entre cultivos, pastoreo y vegetación natural fue similar, pero la abundancia varió significativamente, siendo mayor en sistemas no agrícolas y más baja en cultivos anuales.

La diversidad de familias registradas al evaluar el sistema de uso del suelo fue la siguiente: en vegetación natural (VN) se identificaron 14 familias, en el sistema de cultivo (C) 13 familias y en el sistema de pastoreo (P) también 14 familias. No se evidenciaron desigualdades estadísticamente considerables en la

diversidad de macrofauna entre los distintos sistemas de uso del suelo ($P = 0,755$). Sin embargo, sí se observaron desigualdades estadísticamente significativas en la abundancia de macrofauna al comparar los tres sistemas evaluados (Castillo, 2016).

Se realizó en altitud andina (3800m), condición muy similar a tus zonas de investigación andinas. Incluye diversidad y abundancia en cultivos comparados con vegetación natural y pastoreo. Usa metodologías robustas (TSBF, índices Shannon y análisis estadísticos) que sirven como referencia metodológica.

2.2.2.12. IMPORTANCIA DE LA CAPA DE HOJARASCA Y ESTRUCTURA FUNCIONAL

La presencia de hojarasca (*litter layer*) en los suelos forestales amplía la disponibilidad de recursos alimenticios para los organismos detritívoros y, al mismo tiempo, genera refugios y microhábitats adecuados para diversos invertebrados, entre ellos *centípedos* y *coleópteros*. En ese sentido, de Valença et al. (2017) sostienen que una capa de hojarasca más desarrollada en sistemas forestales favorece la diversidad de la fauna edáfica al fortalecer la red trófica detrítica.

2.2.2.13. CLIMATOLOGÍA Y ALTITUD DEL DISTRITO DE TOMAYQUICHUA

Tomayquichua se encuentra entre los 2041msnm y 4300msnm, lo que determina un clima que varía de húmedo a semiárido según la altitud. La provincia de Ambo, donde se ubica, presenta una temperatura promedio anual de aproximadamente 16,5°C, con máximas que alcanzan hasta 22°C en verano y mínimas de alrededor de 10°C durante la época de lluvias, comprendida entre diciembre y abril (Municipalidad Distrital de Tomayquichua, 2022).

En cuanto a la precipitación y humedad la precipitación anual en Huánuco es de aproximadamente 421,6mm, con una humedad relativa promedio cercano al 60%. El régimen de lluvias corresponde al período septiembre–mayo, con máximos anuales

durante episodios de El Niño que pueden elevar los montos a 800mm Proyecto (INDECI–PNUD, 2018).

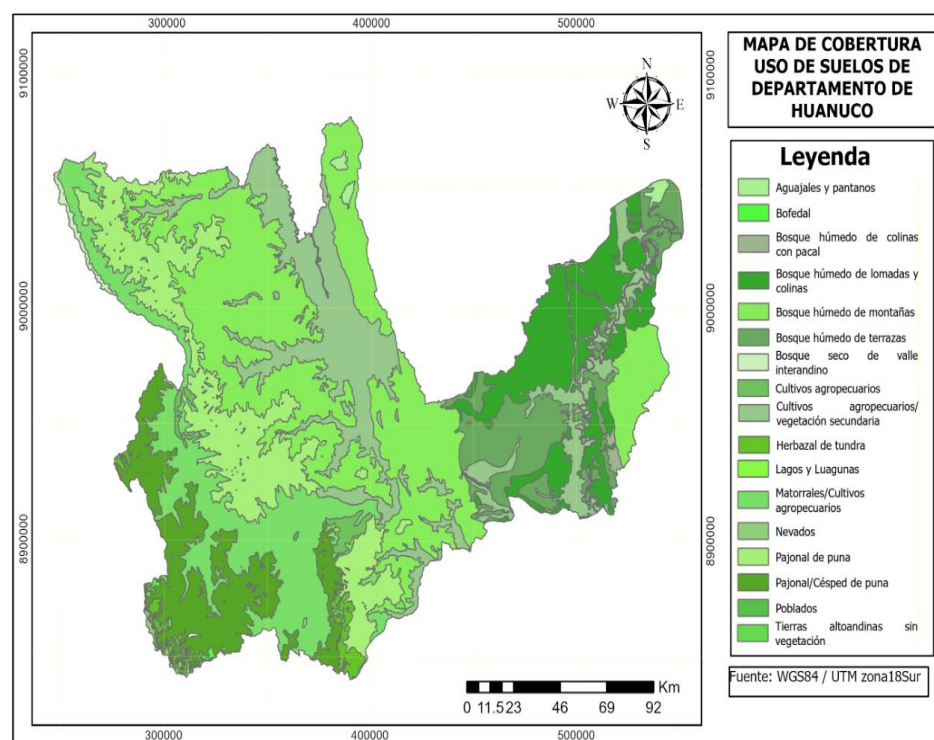
Su geología y geomorfología en el distrito se asienta sobre terrazas aluviales y volcanoclásticos andinas (andosoles), propias de la orogenia andina. La presencia de lagunas y microcuencas (como Warmiragra) y ríos tributarios al Huallaga está relacionada con estas características geomorfológicas (Municipalidad Distrital de Tomayquichua, 2022).

Los suelos predominantes son aluviales y volcanoclásticos, con buena estructura, moderadamente ácidos y ricos en materia orgánica. Su capacidad de sujeción de humedad y contenido de nutrientes es intermedia, menos fértil que suelos templados pero adecuados para cultivos andinos tradicionales (Municipalidad Distrital de Tomayquichua, 2022).

Los tipos de ecosistemas cambian debido a la variación altitudinal, Tomayquichua presenta ecosistemas que van desde bosques montano-templados a páramo andino y punas altas, pasando por agrícola tradicional en zonas bajas interandinas. Las lagunas y microcuencas forman ecosistemas acuáticos limitados, mientras que la vegetación nativa en terrazas alberga biodiversidad local (Municipalidad Distrital de Tomayquichua, 2022).

Figura 21

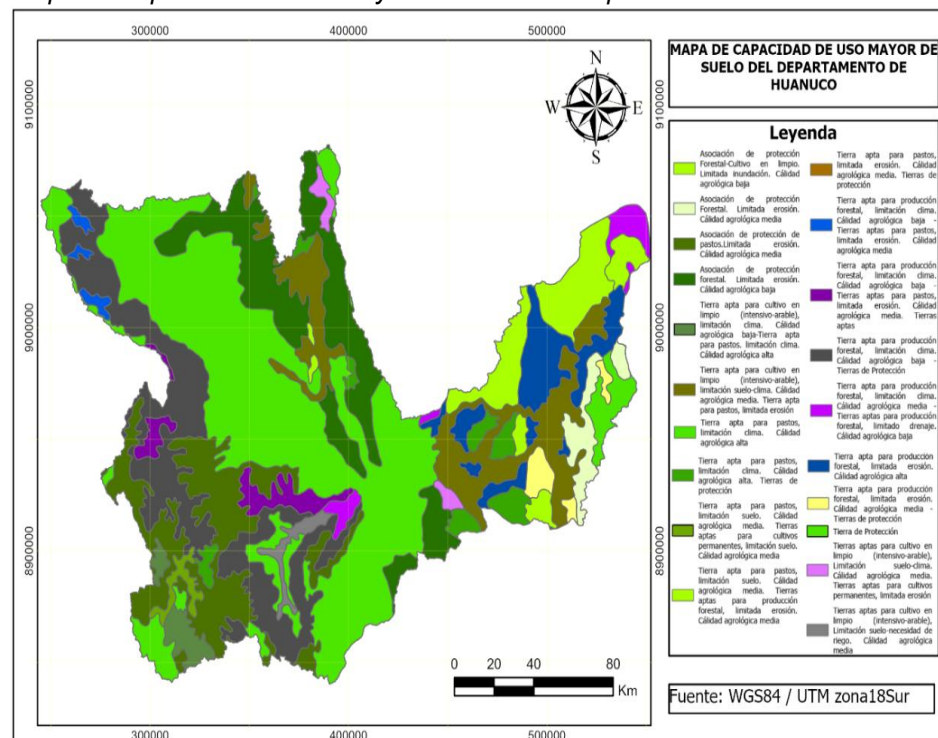
Mapa de cobertura y uso de suelos del departamento de Huánuco



Nota. Se presentan los principales tipos de cobertura vegetal del departamento de Huánuco, permitiendo identificar la variación del paisaje y el nivel de intervención del suelo (Geo GPS Perú, 2018).

Figura 22

Mapa de capacidad de uso mayor del suelo del departamento de Huánuco



Nota. La figura muestra la distribución de los principales usos del suelo en Huánuco, destacando áreas destinadas a actividades agrícolas, zonas de pastoreo, sectores forestales y superficies naturales (Geo GPS Perú, 2018).

Tabla 2*Cuadro normativo sobre suelos y fauna en el Perú*

Norma / Decreto	Objeto / alcance	Vinculación con suelos & fauna
Ley N°29763 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre (21 jul 2011)	Regula conservación y manejo sostenible de bosques y fauna. Crea SERFOR.	Contempla suelos de protección y fauna silvestre como patrimonio nacional
Ley N°26834 – Ley de Áreas Naturales Protegidas (30 jun 1997)	Regula creación y gestión de ANP.	Protege la fauna y el suelo dentro de ANP
Ley N°26821 – Ley Orgánica de Recursos Naturales (10 jun 1997)	Establece marco para uso sostenible de recursos naturales.	Principios aplicables a fauna y suelos
Decreto Supremo N°005-2022-MIDAGRI	Reglamento de clasificación de tierras	Clasifica tierras según su capacidad (edáfica, ecológica), incluyendo suelos de protección
Reglamento de Clasificación de Tierras (junio 2018)	Detalla capacidad de uso de suelos (agrícola, forestal, protección)	Fundamenta diferenciación de suelos según uso, incl. protección
Decreto Supremo N°038-2001-AG	Reglamento Ley de ANP	Define suelos/fauna en áreas protegidas

Nota. Cuadro normativo sobre suelos y fauna en el Perú, basado en legislación nacional vigente.

2.3. BASES CONCEPTUALES

2.3.1. SUELO AGRÍCOLA

El suelo agrícola es aquel que se destina a la producción de cultivos y actividades agropecuarias. Se caracteriza por estar sujeto a diversas prácticas de manejo, como el arado, la fertilización y la aplicación de agroquímicos, lo que puede afectar su estructura, composición química y biológica. Estas intervenciones pueden modificar la biodiversidad del suelo, influyendo en la presencia y actividad de la macrofauna edáfica. Para muchos casos, el uso intensivo del suelo agrícola puede llevar a la compactación, disminución del contenido de materia orgánica junto con la biodiversidad, afectando la calidad y sostenibilidad del ecosistema edáfico (Brady & Weil, 2016).

2.3.2. SUELO FORESTAL

El suelo forestal se encuentra en ecosistemas boscosos y suele estar menos alterado por la actividad humana en comparación con el suelo agrícola. Se caracteriza por la acumulación de materia orgánica

en descomposición, lo que favorece la sujeción de humedad, la reconversión de nutrientes y la proliferación de microorganismos y fauna del suelo. Debido a la menor perturbación mecánica y química, el suelo forestal tiende a albergar una mayor diversidad biológica, incluyendo organismos como lombrices, escarabajos, ciempiés y otras especies que cumplen funciones clave en la formación y mantenimiento del suelo (Decaëns et al., 2006).

2.3.3. MACROFAUNA EDÁFICA

La macrofauna edáfica comprende los organismos del suelo con un tamaño superior a 2 mm, como lombrices, escarabajos, hormigas, ciempiés y milpiés. Estos organismos desempeñan funciones esenciales en el ecosistema, como la fragmentación de la materia orgánica, la aireación del suelo y la formación de agregados que mejoran la estructura del suelo. Además, algunas especies actúan como depredadores, contribuyendo al control biológico de plagas. La composición y abundancia de la macrofauna varían según las condiciones del suelo, por lo que su presencia se considera un indicador de la salud y calidad del ecosistema edáfico (Lavelle et al., 2006).

2.3.4. DIVERSIDAD BIOLÓGICA

La diversidad biológica, o biodiversidad, hacen referencia a la variedad y abundancia de organismos en un ecosistema determinado. En el contexto del suelo, la diversidad biológica incluye la riqueza de especies de la macrofauna edáfica y su distribución dentro del ecosistema. Una mayor diversidad suele estar asociada a suelos con mejor estructura y mayor capacidad de contención de nutrientes, lo que beneficia la productividad y resiliencia del ecosistema. En suelos agrícolas, la biodiversidad puede reducirse debido a la alteración del hábitat, mientras que en suelos forestales suele ser más elevada debido a la estabilidad y acumulación de materia orgánica (Magurran, 2004).

2.3.5. INFLUENCIA DEL SUELO

La influencia del suelo en la macrofauna edáfica se refiere al impacto que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo tienen sobre la composición y actividad de los organismos que lo

habitan. Factores como la textura, el contenido de materia orgánica, la humedad y el pH pueden determinar qué especies prosperan en un determinado tipo de suelo. En suelos agrícolas, la alteración de estas condiciones en función al uso de fertilizantes, pesticidas y maquinaria agrícola puede afectar negativamente la biodiversidad. En contraste, los suelos forestales, al presentar un ambiente más estable y rico en materia orgánica, suelen favorecer una mayor diversidad y abundancia de macrofauna (Barrios, 2007).

2.3.6. FUNCIÓN ECOLÓGICA DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

La macrofauna edáfica cumple un papel crucial en el funcionamiento del ecosistema del suelo, puesto que participa en procesos fundamentales como la desintegración de la materia orgánica, la reconversión de nutrientes, la bioturbación y el avance de la estructura del suelo. Organismos como la lombriz de tierra contribuyen a la formación de agregados del suelo y a la aireación, facilitando la intrusión de agua y el desarrollo de las raíces de las plantas. Otros, como los escarabajos y los ciempiés, cumplen funciones de control biológico al regular poblaciones de otras especies mediante la depredación. La alteración de las condiciones del suelo, ya sea por prácticas agrícolas intensivas o por la conservación de ecosistemas naturales, puede modificar la composición y función de esta comunidad biológica, afectando la estabilidad y productividad del suelo (Lavelle et al., 2006).

2.3.7. ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Son medidas cuantitativas utilizadas para expresar la biodiversidad de una comunidad, considerando la cantidad de tipos presentes, como especies, así como la distribución y dominancia de los individuos dentro del conjunto analizado (LibreTexts, s. f.)

2.3.8. PERTURBACIÓN ANTRÓPICA

Cualquier alteración del ambiente provocada por actividades humanas (p. ej. tala, labranza intensiva, aplicación de agroquímicos) que cambia la frecuencia, intensidad o tipo de disturbios ecológicos y puede modificar la composición y diversidad de las comunidades biológicas (Hobbs, 1992).

2.3.9. COMUNIDAD EDÁFICA

Ensemble de fauna que se desarrolla en el suelo (microbios, hongos, meso- y macrofauna) cuya composición y diversidad determinan funciones clave del suelo (p. ej. descomposición, ciclado de nutrientes, bioturbación) y que influyen fuertemente en la productividad y resiliencia de los ecosistemas (Crowther et al., 2019).

2.3.10. HOJARASCA

Capa superficial de restos vegetales (hojas, ramitas, corteza) que constituye el principal recurso alimentario y hábitat para muchos invertebrados y microbios; su descomposición regula la liberación de nutrientes y es un indicador funcional de la salud del ecosistema (Rincon, 2017).

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de suelo agrícola y forestal influye significativamente en la diversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro - Tomayquichua, Departamento Huánuco.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Macrofauna edáfica

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

El tipo de suelo

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 3

Operacionalización de Variables: “Influencia del suelo agrícola y forestal en la diversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco”

Variable de calibración	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Valor final	Tipo de variable	Instrumentos
Tipo de suelo	Clasificación del terreno según su origen, composición física y el uso antrópico predominante	Identificación mediante observación directa del uso actual del suelo y análisis de sus propiedades físicas (textura, dureza y pedregosidad).	Clasificación del uso	• Suelo Agrícola • Suelo forestal	• Cualitativa nominal • Cualitativa nominal	• Cinta métrica • Flexómetro • GPS • Barreta • Cuchara de despacho • Manga plástica • Malla
Variable evaluativa	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Valor final	Tipo de variable	Instrumentos
Macrofauna edáfica	Conjunto de organismos invertebrados mayores a 2mm que habitan en el suelo y cumplen funciones en el ciclo de nutrientes.	Medición de la abundancia (N° individuos), riqueza (N° de especies) y diversidad dentro de monolitos de suelo extraídos en cada sitio.	• Abundancia de macrofauna • Diversidad • Especies de macrofauna • Desigualdad de macrofauna	• N° individuos • (D) • N° especies • sí es > p - valor <	• Cuantitativa • Cuantitativa • Cuantitativa • Cuantitativa	• Cuaderno de campo • GPS • Guantes • Cámara

Nota. La Tabla 3 presenta la estructura de la operacionalización de las variables de acuerdo con los parámetros evaluados en la investigación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación efectuada perteneció al tipo aplicada, debido a que su objetivo fue generar conocimiento útil y específico sobre la macrofauna edáfica en suelos agrícolas y forestales, lo que permite aportar información relevante para la gestión sostenible del suelo (Hernández et al., 2014). Además, se enmarcó en un enfoque cuantitativo, debido a que se recolectó datos numéricos a mediante de mediciones precisas (monolitos), para analizar variables relacionadas con la biodiversidad del suelo.

3.1.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

La presente investigación fue de tipo aplicada, debido a que genera conocimiento útil para comprender y gestionar la macrofauna edáfica en dos tipos de suelos (agrícola y forestal), contribuyendo a la toma de decisiones ambientales y agronómicas (Hernández et al., 2014).

Asimismo, corresponde a un enfoque cuantitativo, dado que empleó la recolección de datos numéricos mediante técnicas estandarizadas (monolitos) y utiliza procedimientos estadísticos para medir y comparar la diversidad biológica del suelo.

3.1.2. ENFOQUE

Tuvo un método cuantitativo debido a que se usa para reforzar creencias (expresadas lógicamente en una teoría o compendio teórico) y para identificar modelos de actuación en las poblaciones, está diseñado para "limitar" deliberadamente la información, está diseñado para medir con precisión lo que se está estudió. variables (Hernández 2014).

3.1.3. NIVEL O ALCANCE DEL ESTUDIO

Descriptiva debido a se centró en caracterizar la diversidad de la macrofauna edáfica en cada tipo de suelo, identificando las especies presentes y su distribución (Hernández 2014).

Comparativa puesto que se analizó las diferencias entre los suelos agrícolas y forestales en términos de biodiversidad y posibles factores que influyen en estas variaciones (Hernández 2014).

3.1.4. DISEÑO

No experimental debido a que las variables no fueron manipuladas, sino que mostró y midió las condiciones del suelo y la macrofauna tal como se presentan en el ecosistema (Hernández 2014).

Transversal porque se desarrolló durante un periodo específico, evaluando la macrofauna en suelos agrícolas y forestales en un momento específico. (Hernández 2014).

3.1.5. POBLACIÓN

Fue ejecutado en el terreno de villa el milagro en el distrito de Tomayquichua departamento Huánuco.

Tabla 4

Coordenadas de ubicación

Latitud	Longitud
10°04'05.91" S	76°12'41.4" O

3.1.6. MUESTRA

Está conformado por 18 monolitos, 9 por cada tipo de suelo con medidas de 25cm x 25cm de ancho y 30cm de profundidad cada uno.

Esta cantidad ha sido adoptada siguiendo protocolos de muestreo estandarizados para estudios de macrofauna edáfica, como los propuestos bajo el criterio del TSBF, los cuales recomiendan el uso de monolitos de suelo como método base para garantizar la representatividad ecológica y la eficiencia operativa del muestreo (Ruiz, 2008).

Las parcelas tenían 40m x 40m cada suelo y se distribuyó los 9 monolitos cada 10m aproximadamente y se siguió la secuencia M1 = monolito N°1 sucesivamente hasta M9, se aplicó la misma muestra en ambas parcelas suelo agrícola y forestal.

Tabla 5

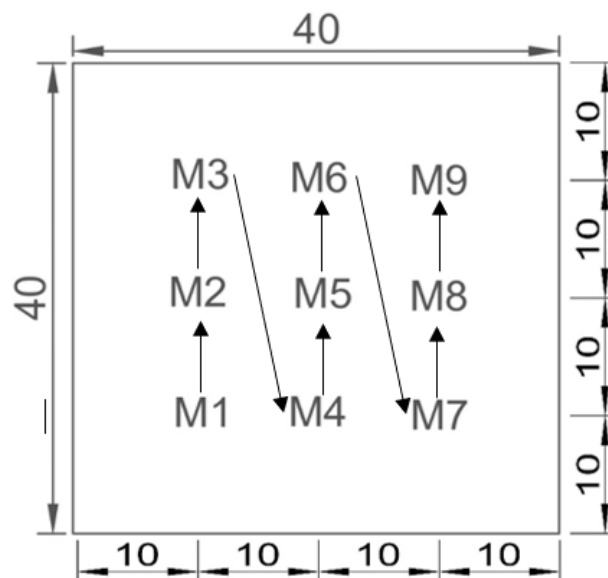
Puntos de muestra del suelo forestal

Monolito	Latitud	Longitud
M1	-10.068931	-76.210918
M2	-10.06887	-76.210897
M3	-10.06875	-76.21089
M4	-10.068959	-76.210841
M5	-10.068837	-76.21081
M6	-10.068743	-76.210831
M7	-10.068940	-76.21071
M8	-10.06886	-76.210721
M9	-10.068746	-76.210734

Nota. Ubicación usando cam gps.

Figura 23

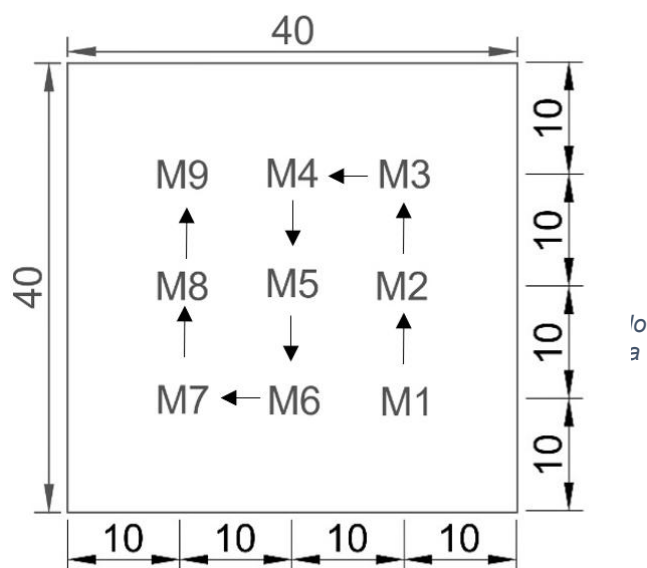
Puntos de Muestras en Suelo Forestal para la evaluación de macrofauna edáfica



Nota. Se tomaron los puntos de acuerdo al acceso posible.

Tabla 6*Puntos de muestra del suelo forestal*

Monolito	Latitud	Longitud
M1	10.0695572	-76.212313
M2	-10.069581	-76.212243
M3	-10.069462	-76.21241
M4	-10.06951	-76.212303
M5	-10.069523	-76.212142
M6	-10.069883	-76.212477
M7	-10.069762	-76.212325
M8	-10.069687	-76.212425
M9	-10.06962	-76.212517

Nota. Ubicación usando cam lite.**Figura 24***Puntos de muestras en suelo agrícola para la evaluación de macrofauna edáfica**Nota.* Se tomaron los puntos en orden.

3.2. TÉCNICAS DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.2.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 7

Técnicas e Instrumento de recolección de datos

Variable	Indicadores	Técnica	Instrumento
Tipo de suelo	• Suelo forestal • Suelo agrícola	Observación	• Cinta métrica • Barreta • Cuchara de despacho
Macrofauna Edáfica	• Abundancia de macrofauna • Diversidad • Especies de macrofauna • Desigualdad de macrofauna	• Extracción de macrofauna edáfica • Identificación, evaluación y cuantificación de macrofauna edáfica	• Manga plástica • Cuaderno de campo • GPS • Guantes • Cámara • Malla

Nota. La tabla 7 presenta los instrumentos y técnicas empleados para la recolección y evaluación de la macrofauna edáfica durante el estudio.

Protocolo para la recolección de datos

a). Identificación y extracción de puntos de muestreo. Cada punto de muestreo fue previamente georreferenciado y marcado en campo siguiendo una trama sistemática de 3 × 3 posiciones dentro de la parcela. Los monolitos se ubicaron a intervalos regulares de 10 metros entre sí, garantizando una distribución homogénea del muestreo.

En cada punto delimitado, se procedió a la extracción de un monolito de suelo con dimensiones estandarizadas de 20cm × 20cm × 30cm de profundidad, siguiendo los lineamientos del método TSBF).

Se registro las coordenadas de cada monolito de ingreso y final para mantener el orden.

b). Búsqueda, identificación y registro de macrofauna. En cada punto de muestreo se colocó una plancha plástica para recibir el suelo extraído y facilitar su manipulación. El contenido del monolito fue desagregado cuidadosamente y tamizado mediante una malla manual con el fin de separar la macrofauna edáfica. La búsqueda de organismos se complementó con inspección manual directa, asegurando la detección de individuos mayores a 2mm.

Cada ejemplar encontrado fue fotografiado y posteriormente identificado según su nombre científico, clase, orden, familia, grupo taxonómico, grupo funcional, abundancia siguiendo criterios morfológicos básicos. Una vez finalizado el registro, todos los organismos fueron devueltos cuidadosamente a su microhábitat original junto con la tierra del monolito, con el objetivo de evitar alteraciones en la estructura y equilibrio ecológico del suelo.

- Se empezó primero en suelo forestal
- Se repitió el exactamente el mismo procedimiento para todos los monolitos.
- No se trasladaron muestras al laboratorio, puesto que toda la identificación se realizó directamente en el campo.
- No se trasladaron muestras al laboratorio, ya que toda la identificación se realizó directamente en el campo.

Tras completar cada monolito, se devolvieron la macrofauna a su habitud el área intervenida se volvió a su estado anterior, cubriendo nuevamente el suelo sin dejar alteraciones visibles.

c). Procesamiento de datos. Se registró el N para cada tipo de suelo.

Todos los cálculos se realizaron en el software PAST v4.0 (Paleontological Statistics), empleando sus módulos de diversidad, riqueza y estimadores no paramétricos. Finalmente, se prepararon tablas comparativas y gráficos para calcular las diferencias entre el suelo agrícola y el suelo forestal, permitiendo analizar variaciones en abundancia, riqueza específica, estructura comunitaria e índices ecológicos con relación al tipo de suelo.

3.2.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos registrados en campo fueron organizados mediante tablas y gráficos para una mejor comprensión y evaluación. La información registrada por cada monolito, abundancia de macrofauna, grupos taxonómicos y tipo de suelo, se presentó de forma cuantitativa.

Los organismos fueron fotografiados e identificados en campo por morfotipos, y los datos consolidados se procesaron en el software PAST, obteniéndose los índices ecológicos y las representaciones gráficas necesarias para la interpretación de resultados en los capítulos posteriores.

3.2.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información obtenida en campo fue organizada y procesada mediante una estructura sistemática orientada a evaluar la composición, abundancia y diversidad de la macrofauna edáfica en ambos tipos de suelo. Para ello, primero se consolidaron los datos de abundancia por especie y se generaron matrices independientes para el suelo agrícola y el suelo forestal. Estas matrices incluyeron atributos taxonómicos (clase, orden, familia, grupo funcional) y parámetros cuantitativos (número de individuos, riqueza por monolito, proporciones relativas y frecuencias).

Posteriormente, se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas y ecológicas para obtener índices de riqueza, diversidad, equidad y dominancia, tales como Shannon (H), Simpson (1-D), Margalef, Menhinick, Pielou (J), Berger-Parker, Brillouin, Fisher's alpha, Chao-1, iChao-1 y ACE, los cuales permitieron caracterizar la estructura comunitaria de la macrofauna en cada tipo de suelo.

Para comprobar si existían diferencias significativas entre el suelo agrícola y el suelo forestal, se empleó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U, dada la naturaleza de los datos (abundancias, índices ecológicos) y la ausencia de normalidad en la distribución. Esta prueba resultó adecuada debido a que compara dos grupos independientes sin asumir homogeneidad de varianzas ni distribución normal, condiciones típicas en estudios biológicos de comunidades edáficas.

Justificación del uso del test de Mann–Whitney

Antes del análisis comparativo entre grupos, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro–Wilk, la cual evidenció una distribución no normal en las variables analizadas ($p < 0.05$). Debido a esta falta de normalidad y considerando que las muestras son independientes, se aplicó el test no paramétrico de Mann–Whitney U como alternativa al t-test para muestras independientes.

Este test permite comparar si existen diferencias significativas entre dos grupos sin asumir normalidad en los datos, utilizando rangos en lugar de valores brutos. El estadístico U se basa en la posición relativa de los valores ordenados y determina si las distribuciones de ambos grupos difieren de manera significativa.

Finalmente, el análisis se complementó mediante la elaboración de tablas comparativas y representaciones gráficas boxplot comparativo con superposición de media y mediana, gráfico de barras agrupadas para facilitar la interpretación y visualización de las diferencias entre ambos tipos de suelo. Todos los análisis fueron realizados con el software PAST.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Se exponen los resultados del análisis cuantitativo de la macrofauna del edáfica en ambos tipos de uso: agrícola y forestal. Para ello, se organizaron las abundancias y registros de especies en matrices de datos procesadas inicialmente en Microsoft Excel.

Posteriormente, los índices ecológicos fueron calculados mediante el software PAST, el cual permitió obtener métricas de diversidad entre ellos Shannon H, Simpson 1-D, Margalef, Berger Parker, Pielou J, Individuos, Taxa S, Dominancia D, Chao-1 e iChao-1, ACE, Equidad (e^H/S), Fisher Alpha, Brillouin, y Menhinick. Asimismo, este programa facilitó la generación de estadísticos descriptivos y de gráficos en boxplot utilizados para comparar la variabilidad y comportamiento de los índices entre los dos tipos de suelo.

Caracterización del suelo forestal

El área presenta un uso de suelo forestal, caracterizado por la presencia predominante de especies arbóreas introducidas y vegetación adaptada a condiciones secas. El terreno no se encuentra dentro del recreo, sino en la zona exterior adyacente, manteniendo cobertura vegetal naturalizada.

Presencia de agua. No se evidenció presencia cercana de ríos, quebradas ni cuerpos de agua superficiales. La humedad del suelo es baja; incluso durante precipitaciones ligeras, la cobertura arbórea densa intercepta gran parte del agua, reduciendo la cantidad que llega directamente al suelo.

Textura y características físicas. El suelo se observa compactado y endurecido, con abundante presencia de fragmentos de piedra, lo que dificultó la excavación para la toma de muestras de macrofauna edáfica. Estas características indican un bajo nivel de infiltración y posible limitación en la aireación del suelo.

Especies vegetales predominantes identificadas.

- Agave (*Agave americana*)
- Cabuya verde o penca (*Furcraea andina*)
- Eucalipto (*Eucalyptus*)

- Salvajina o Musgo Español (*Tillandsia usneoides*), también conocida por “barba de viejo”

La vegetación observada corresponde principalmente a especies resistentes de condiciones con baja humedad y suelos de limitada fertilidad y presencia de agua, esto sugiere un ambiente con limitada disponibilidad hídrica superficial y probable escasa retención de humedad edáfica.

Textura y características físicas del suelo

- Alta compactación
- Presencia de piedras y fragmentos rocosos
- Dificultad para la excavación
- Aparente baja infiltración

De manera preliminar (según observación de campo), podría clasificarse entre ellos un suelo de textura gruesa con material pedregoso, aunque sería necesario un análisis físico-textural para determinar con precisión si corresponde a franco-arenoso, arenoso o franco-arcilloso.

Figura 25

Cobertura vegetal interna del suelo forestal



Nota. Se observa el área del suelo forestal con predominio de eucalipto, agave y cabuya, presencia de mantillo superficial y suelo compacto con material pedregoso.

Figura 26

Cobertura vegetal externa del suelo forestal



Nota. Se aprecia un perfil de suelo forestal con condición seca y signos de erosión superficial, caracterizado por escasa humedad visible y exposición de horizontes minerales, condiciones que restringen el desarrollo de la macrofauna edáfica.

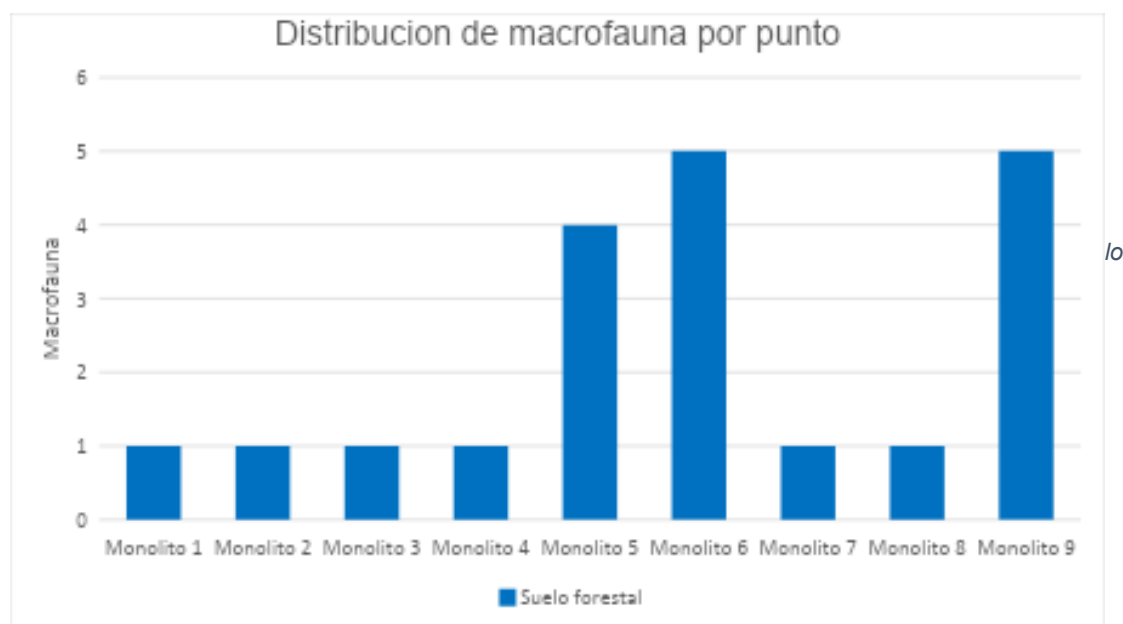
Tabla 8
Macrofauna edáfica encontrada en suelo forestal

Monolito	Nombre científico	Clase	Orden	Familia	Grupo taxonómico	Grupo funcional	Abundancia
M1	<i>Pheidole</i> sp.	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	Descomponedor / Depredador del suelo	1
M2	<i>Raysymmela huanuca</i> .	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Insecto	Detritívoro / Saprófago	1
M3	<i>Armadillidium vulgare</i>	Malacostraca	Isopoda	Oniscidae	Crustáceo	Detritívoro	1
M4	<i>Camponotus</i> sp.	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	Descomponedor / Ingeniero del suelo	1
M5	<i>Camponotus</i> sp.	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	Descomponedor / Ingeniero del suelo	4
M6	<i>Tenebrio</i> sp.	Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Insecto	Detritívoro / saprófago	1
	<i>Lumbricus terrestris</i>	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	Anélido	Descomponedor / Ingeniero del suelo	3
	<i>Phyllophaga</i> sp.	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Insecto	Descomponedor / Herbívoro del suelo	1
M7	<i>Diptera</i> sp.	Insecta	Diptera	Muscidae	Insecto	Descomponedor	1
M8	<i>Camponotus</i> sp.	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	Descomponedor / Ingeniero del suelo	1
M9	<i>Diptera</i> sp.	Insecta	Diptera	Muscidae	Insecto	Descomponedor	2
	<i>Pheidole</i> sp.	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	Descomponedor / Depredador del suelo	1
	<i>Plexippus paykulli</i>	Arachnida	Araneae	Salticidae	Arácnido	Depredador del suelo	1
	<i>Camponotus</i> sp.	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	Descomponedor / Ingeniero del suelo	1

Nota. La Tabla 8 detalla la composición taxonómica y funcional de la macrofauna del suelo forestal muestreada por monolitos. Esta información incluye la identificación (clase, orden, familia), el grupo funcional y la abundancia de cada organismo. y constituye la base para calcular la abundancia, diversidad y para derivar los parámetros cuantitativos usados en los análisis de diversidad.

Figura 27

Distribución de macrofauna encontrada por cada punto de muestreo en suelo forestal



Nota. Se observa la poca presencia de y semi uniformidad de macrofauna en suelo forestal debido a la compactación y pedregosidad.

Con la información obtenida de la tabla 8 se calculó la abundancia riqueza edáfica del suelo forestal en la siguiente tabla:

Tabla 9

Resumen de parámetros básicos para el cálculo de índices de diversidad en suelo forestal

Especie	(ni)	(S)	(pi = ni/N)	Frecuencia (%)
<i>Armadillidium vulgare</i>	1	1	0.050	5%
<i>Camponotus</i> sp.	7	1	0.350	35%
<i>Raysymmela huanuca</i>	1	1	0.050	5%
<i>Diptera</i> sp.	3	1	0.150	15%
<i>Lumbricus terrestris</i>	3	1	0.150	15%
<i>Pheidole</i> sp.	2	1	0.100	10%
<i>Phyllophaga</i> sp.	1	1	0.050	5%
<i>Plexippus paykulli</i>	1	1	0.050	5%
<i>Tenebrio</i> sp.	1	1	0.050	5%
TOTAL (N)	20	9	-	100%

Nota. La Tabla 9 resume riqueza por taxón, abundancia total, proporción relativa de individuos y frecuencia de aparición derivados del muestreo en suelo forestal. Estos valores constituyen la matriz numérica fundamental para el análisis estructural de las especies, ya que son la base para calcular importantes índices de biodiversidad como Shannon–Wiener, Simpson, equidad de Pielou y dominancia de Berger–Parker entre otros.

Caracterización del suelo agrícola

El terreno presenta uso exclusivamente agrícola, destinado al cultivo de maíz seco (*Zea mays*). No se observa presencia de árboles en el área evaluada y la vegetación asociada es escasa, con mínima presencia de malezas.

En áreas próximas al cultivo se observan árboles altos, aparentemente correspondientes al género *Eucalyptus*; no obstante, estos no formaron parte del punto específico de muestreo.

Presencia de agua. Durante la evaluación, el suelo se encontraba seco debido a la falta de riego. Se ubica próximo al río Huallaga. sin embargo, esta condición no parece afectar directamente el desarrollo del cultivo en el periodo observado.

Textura y características físicas. El suelo presenta una textura suelta, de apariencia arenosa y color claro. Se caracteriza por ser fácil de excavar, aireado y con baja compactación en comparación con el suelo forestal evaluado.

Figura 28

*Área de cultivo de maíz (*Zea mayz*) en el suelo forestal*



Nota. Se visualiza el suelo agrícola destinado al cultivo de maíz seco (*Zea mays*), con suelo de textura suelta y apariencia arenosa, escasa presencia de malezas y condiciones de baja humedad al momento del muestreo

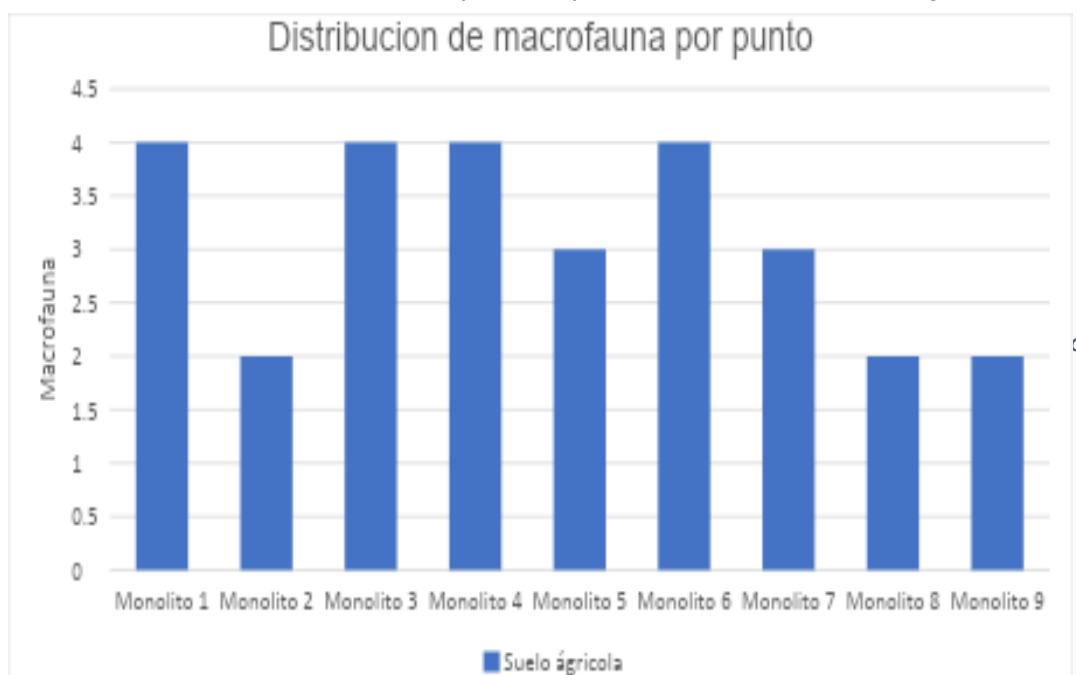
Tabla 10*Macrofauna edáfica encontrada en suelo agrícola*

Monolito	Nombre científico	Clase	Orden	Familia	Grupo taxonómico	Abundancia
M1	<i>Lumbricus terrestris</i>	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	Anélido	2
	<i>Tenebrio sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Insecto	1
	<i>Ichneumon sp.</i>	Insecta	Hymenoptera	Ichneumonidae	himenópteros	1
M2	<i>Lumbricus terrestris</i>	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	Anélido	2
M3	<i>Lumbricus terrestris</i>	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	Anélido	1
	<i>Armadillidium vulgare</i>	Malacostraca	Isopoda	Oniscidae	Crustáceo	1
	<i>Staphylinidae sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	Insecto	1
	<i>Ichneumon sp.</i>	Insecta	Hymenoptera	Ichneumonidae	himenópteros	1
M4	<i>Pheidole sp.</i>	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	1
	<i>Forficula auricularia</i>	Insecta	Dermaptera	Forficulidae	Insecto	1
	<i>Phyllophaga sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Insecto	2
M5	<i>Phyllophaga sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Insecto	1
	<i>Camponotus sp.</i>	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	1
	<i>Leucauge sp.</i>	Arachnida	Araneae	Theridiidae	Arácnido	1
M6	<i>Camponotus sp.</i>	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Insecto	1
	<i>Lumbricus terrestris</i>	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	Anélido	2
	<i>Pontoscolex sp.</i>	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	Insecto	1
M7	<i>Forficula auricularia</i>	Insecta	Dermaptera	Forficulidae	Insecto	1
	<i>Staphylinidae sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	Insecto	1
	<i>Phyllophaga sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Insecto	1
M8	<i>Phyllophaga sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Insecto	1
	<i>Armadillidium vulgare</i>	Malacostraca	Isopoda	Oniscidae	Crustáceo	1
M9	<i>Phyllophaga sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Insecto	1
	<i>Tenebrio sp.</i>	Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Insecto	1

Nota. La Tabla 10 detalla la composición taxonómica y funcional de la macrofauna del suelo agrícola muestreada por monolitos. Esta información incluye la identificación (clase, orden, familia), el grupo funcional y la abundancia de cada organismo. y constituye la base para calcular la abundancia, diversidad y para derivar los parámetros cuantitativos usados en los análisis de diversidad.

Figura 29

Distribución de macrofauna encontrada por cada punto de muestreo en suelo agrícola



Nota. Se observa una mayor cantidad de macrofauna en suelo agrícola a diferencia de la figura 25.

Con la información obtenida de la tabla 10 se calculó la abundancia riqueza edáfica del suelo agrícola a continuación:

Tabla 11

Resumen de parámetros básicos para el cálculo de índices de diversidad en suelo agrícola

Especie	(ni)	(S)	(pi = ni/N)	Frecuencia (%)
<i>Armadillidium vulgare</i>	2	1	0.0714	7%
<i>Camponotus</i> sp.	2	1	0.0714	7%
<i>Lumbricus terrestris</i>	7	1	0.2500	25%
<i>Forficula auricularia</i>	2	1	0.0714	7%
<i>Ichneumon</i> sp.	2	1	0.0714	7%
<i>Pheidole</i> sp.	1	1	0.0357	4%
<i>Leucauge</i> sp.	1	1	0.0357	4%
<i>Phyllophaga</i> sp.	6	1	0.2143	21%
<i>Pontoscolex</i> sp.	1	1	0.0357	4%
<i>Staphylinidae</i> sp.	2	1	0.0714	7%
<i>Tenebrio</i> sp.	2	1	0.0714	7%
TOTAL (N)	28	11	-	100%

Nota. Se resume riqueza por taxón, abundancia total, proporción relativa de individuos y frecuencia de aparición derivados del muestreo en suelo agrícola. Estos valores constituyen la matriz numérica fundamental para el análisis estructural de las especies, debido a que son la base para calcular importantes índices de biodiversidad entre ellos Shannon–Wiener, Simpson, equidad de Pielou y dominancia de Berger–Parker entre otros.

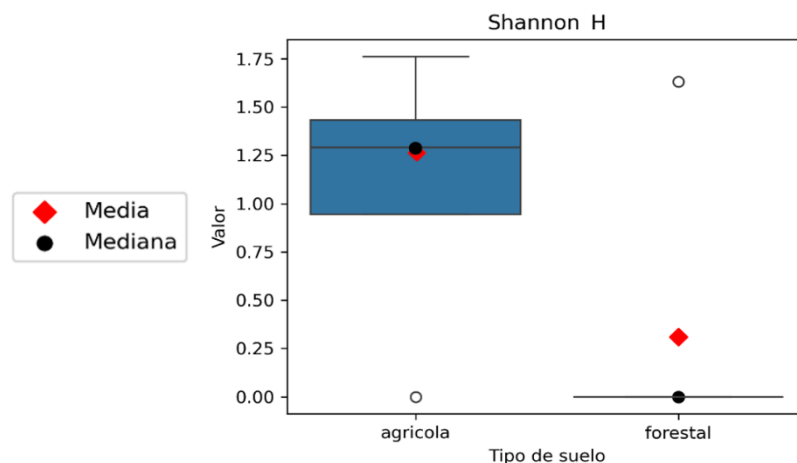
4.2. RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

Mediante el análisis realizado y considerando los índices de abundancia, riqueza, diversidad, equidad y dominancia entre otros, obtenidos para los monolitos de ambos tipos de suelo, se evaluó si el tipo de suelo influye notablemente en la macrofauna edáfica. Para ello, se aplicaron comparaciones mediante gráficos de caja boxplots y gráficos de barras agrupadas, los cuales permitieron visualizar la variación, tendencia central y diferencias entre el suelo agrícola y el suelo forestal.

Índices de Biodiversidad

Figura 30

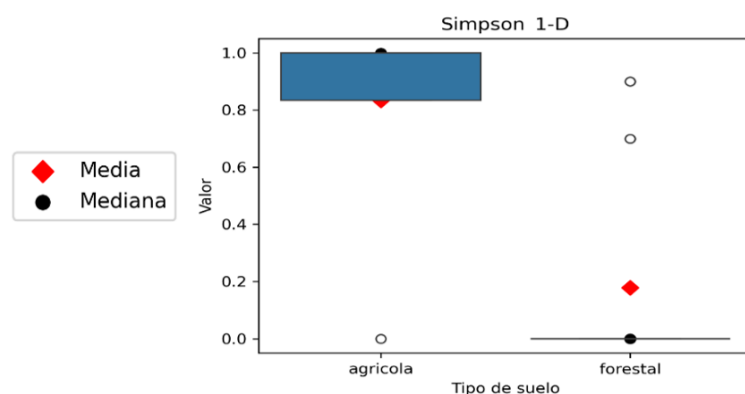
Índice Shannon H



Nota. El suelo agrícola muestra valores muy altos, indicando una diversidad relativamente estable y equilibrada. Mientras el suelo forestal presenta valores predominantemente bajos y una mediana de 0, lo que refleja una diversidad mínima, con valores atípicos.

Figura 31

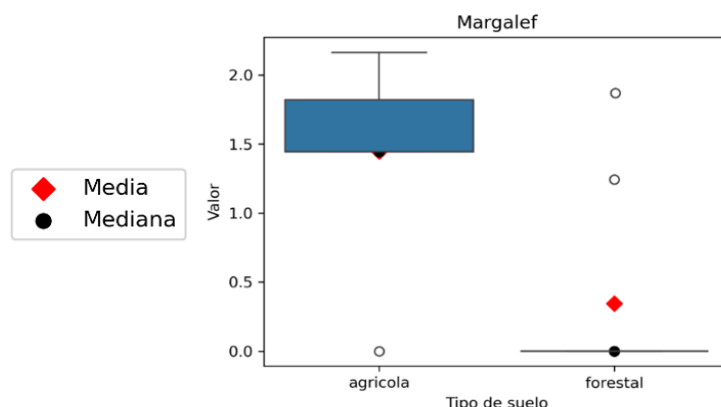
Índice Simpson 1-D



Nota. El suelo agrícola presenta valores altos y consistentes, lo que indica una mayor diversidad y una menor dominancia de especies. A diferencia del suelo forestal muestra valores muy bajos y una mediana cercana a 0, reflejando baja diversidad y mayor dominancia de pocas especies, con valores atípicos.

Figura 32

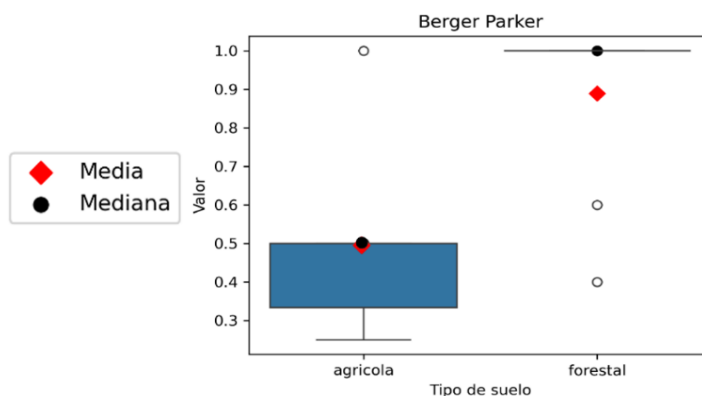
Índice Margalef



Nota. El suelo agrícola al igual que la figura "30" presenta valores altos, que indican una riqueza de especies y una distribución más favorable para la diversidad. A diferencia del suelo forestal se visualiza valores muy bajos y una mediana próxima a 0, que evidencia una riqueza reducida, aunque con algunas muestras que alcanzan valores superiores inusuales.

Figura 33

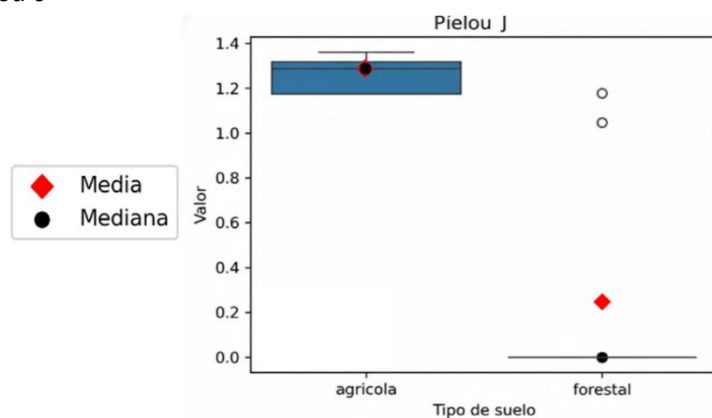
Índice Berger Parker



Nota. El suelo agrícola muestra valores moderados que, indicando una menor dominancia de una sola especie, pero más equilibrada. A diferencia del suelo forestal muestra valores altos con una mediana que tiende a 1, lo que refleja una fuerte dominancia de una especie, la diversidad es baja desde la dominancia.

Figura 34

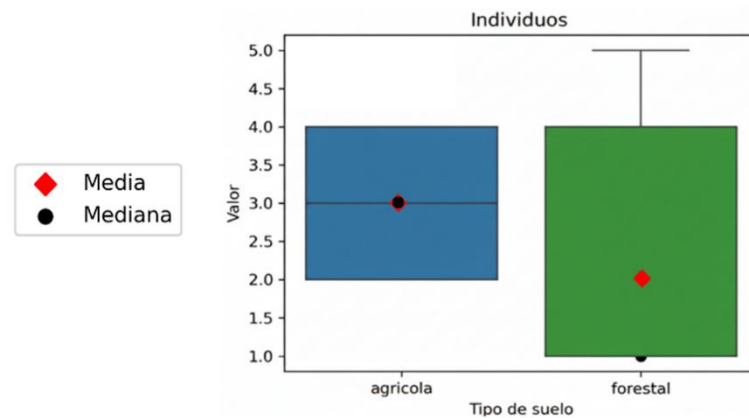
Índice de Pielou J



Nota. El suelo agrícola presenta valores altos y un equilibrio que indica una distribución más formal de individuos entre las especies. Por su parte, el suelo forestal muestra valores muy bajos y una mediana cercana a 0, Aunque algunas muestras presentan valores altos, se muestra baja equitatividad y un conjunto de especies muy desigual.

Figura 35

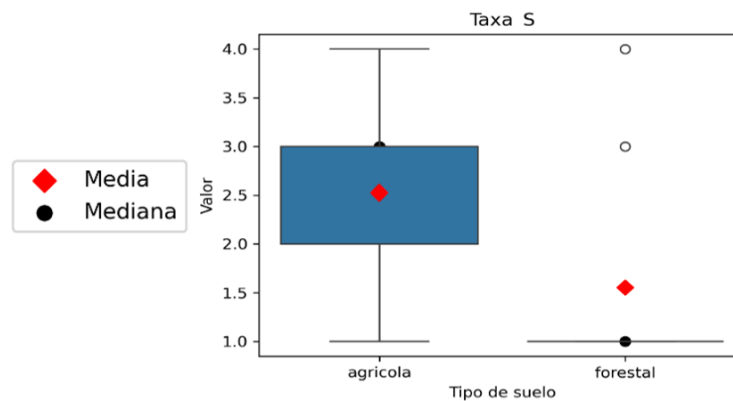
Individuos



Nota. El suelo agrícola muestra una tendencia con mayor abundancia, donde la mediana es de 3 y la dispersión es menor, que indica una estructura más estable y homogénea. En cambio, el suelo forestal presenta una mediana de 1 y una variabilidad considerablemente mayor, con valores que alcanzan hasta 5, que indican un conjunto de especies menos estable.

Figura 36

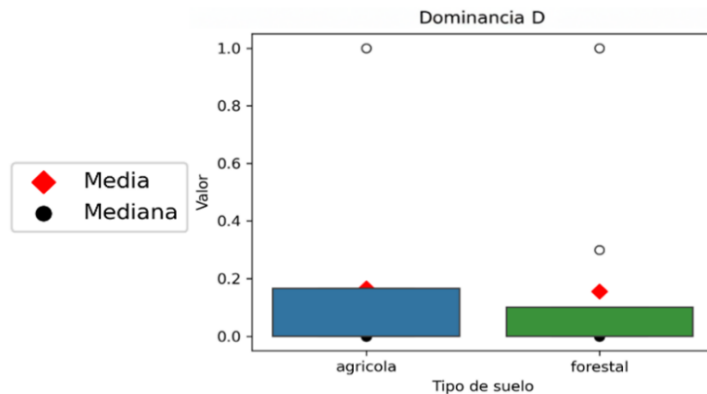
Índice Taxa S



Nota. El suelo agrícola presenta mayor riqueza de especies, con valores concentrados entre los cuartiles, que indica una comunidad más diversa. Mientras, el suelo forestal registra una mediana de 1 indicando baja diversidad, pero con pocas muestras que alcanzan hasta 4 especies.

Figura 37

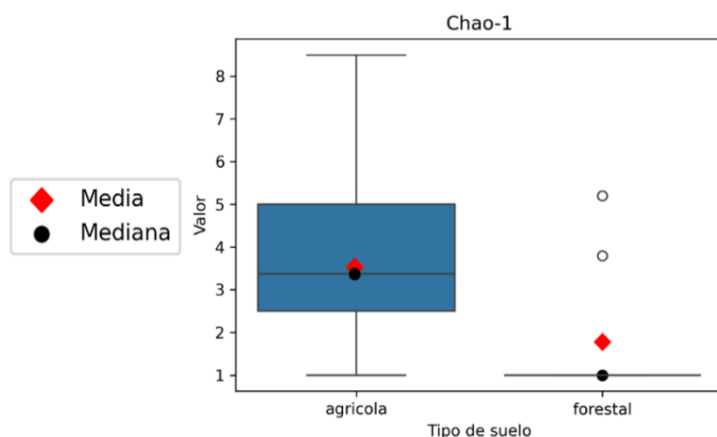
Índice Dominancia D



Nota. Se refleja valores similares en ambos suelos, que indican una baja dominancia y una estructura especies equilibrada. Estos presentan medias cercanas a 0 y medianas de 0, lo que indica ausencia de especies claramente dominantes. Aunque se registran valores máximos de 1, estos corresponden a valores atípicos.

Figura 38

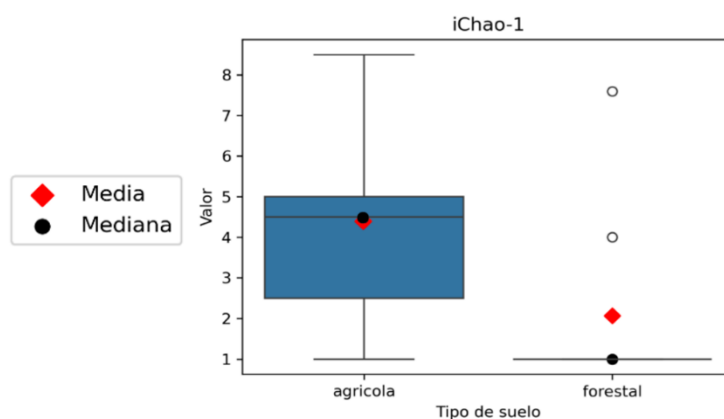
Índice Chao-1



Nota. El suelo agrícola presenta valores más altos, la media y la mediana son superiores a las del suelo forestal con valores muy bajos y poco dispersos, evidenciando una mayor riqueza estimada de especies.

Figura 39

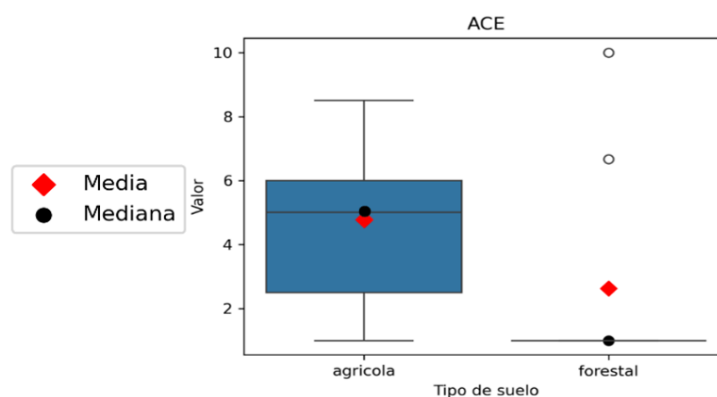
Índice iChao-1



Nota. El suelo agrícola nuevamente presenta valores más altos y con mayor variación, lo que indica una superior riqueza estimada de especies. En contraste, el suelo forestal mantiene valores muy bajos y poco variables, mostrando una riqueza mucho menor.

Figura 40

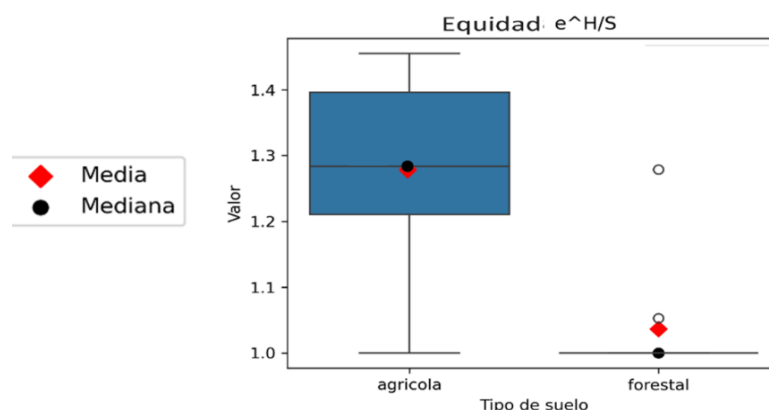
Índice ACE



Nota. El suelo agrícola muestra una mayor riqueza estimada de especies y mayor variabilidad, lo que indica la presencia de taxones raros. En cambio, el suelo forestal presenta una riqueza estimada baja y valores homogéneos, evidenciando una comunidad más uniforme, con muestras aisladas inusuales.

Figura 41

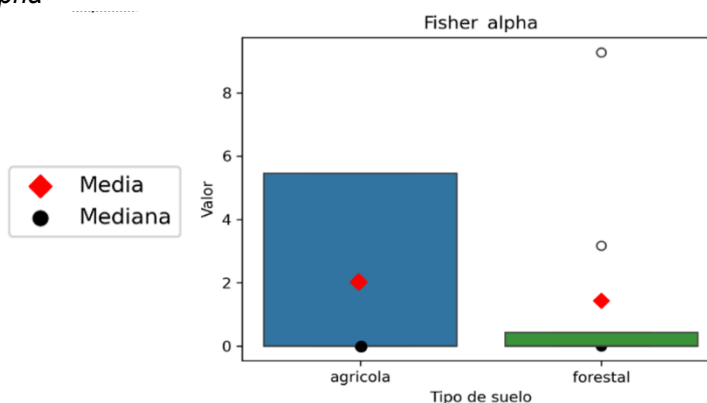
Índice de Equidad e^H/S



Nota. En el suelo agrícola los valores son más altos, lo que muestra que la equidad no es igual en todas las unidades. En el suelo forestal, los valores se mantienen casi iguales y muy cercanos a 1 muy inestables.

Figura 42

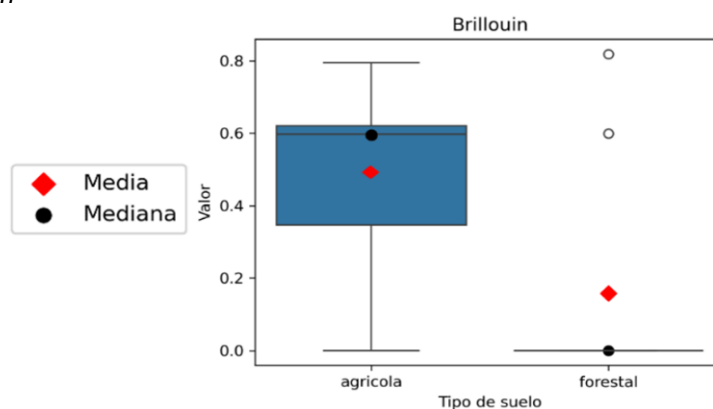
Índice Fisher alpha



Nota. Ambos suelos presentan medianas cercanas a cero, pero el suelo agrícola exhibe una dispersión mucho mayor, lo que indica una comunidad más heterogénea. Mientras que el suelo forestal mantiene valores bajos con pocos puntos elevados, reflejando una menor variabilidad.

Figura 43

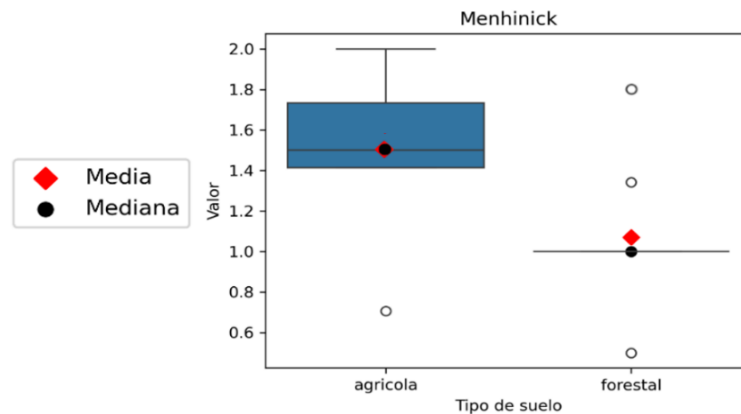
Índice Brillouin



Nota. El suelo agrícola presenta una mediana más alta, lo que indica mayor diversidad y variabilidad. En cambio, el suelo forestal muestra una mediana cercana a cero y valores centrales muy bajos, reflejando una diversidad típica reducida. No obstante, este suelo presenta algunos valores atípicos elevados, que incrementan ligeramente su media.

Figura 44

Índice Menhinick

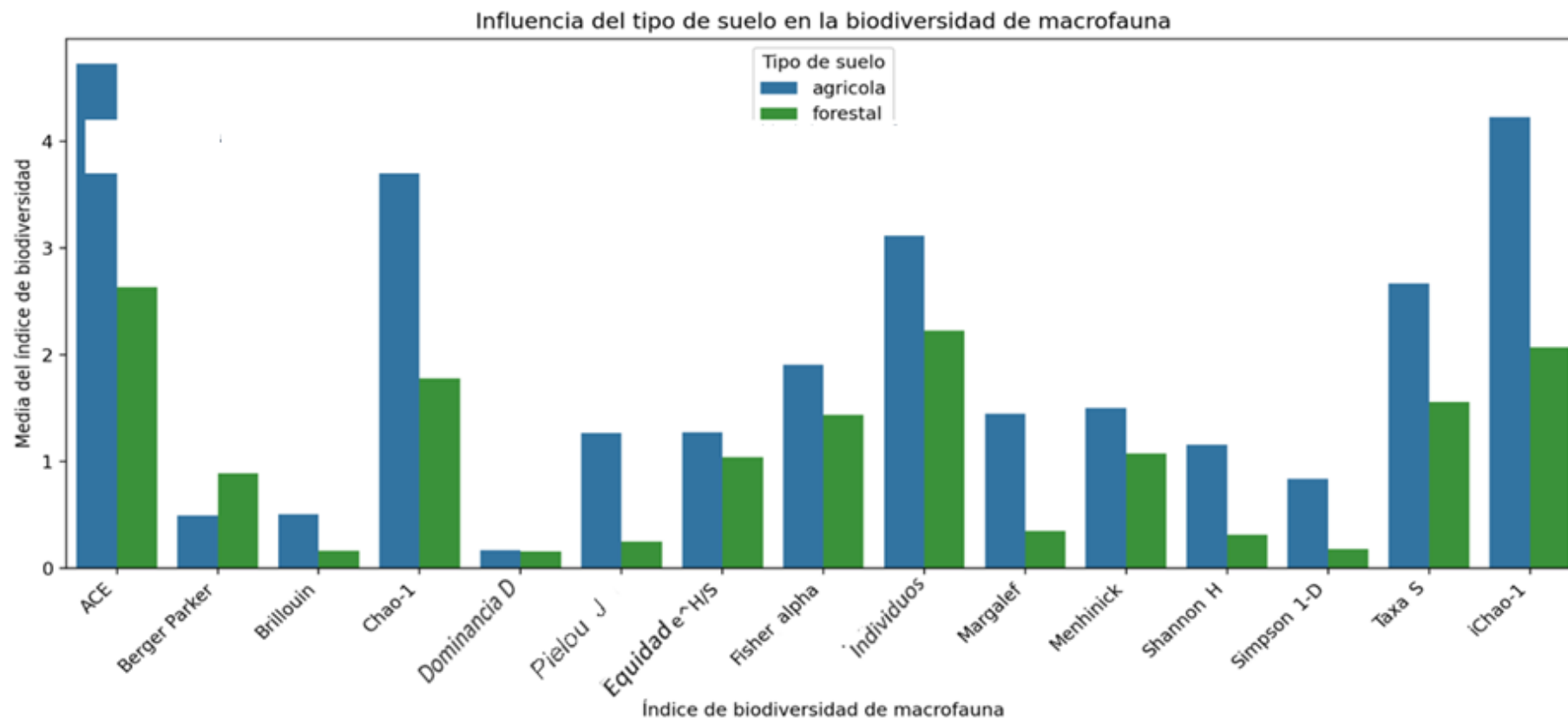


Nota. El suelo agrícola muestra una riqueza de especies superior y más estable, con una mediana de 1.5 y baja dispersión. En contraste, el suelo forestal tiene una mediana inferior de 1.0, lo que expresa una riqueza de especies más baja, aunque su distribución incluye valores inusuales que señalan una mayor heterogeneidad en los casos extremos.

Para integrar los resultados de todos los índices evaluados, se elaboró un gráfico comparativo de barras figura 45 que muestra la media de cada índice con relación al tipo de suelo. Este gráfico permite visualizar de manera conjunta las diferencias generales en la biodiversidad de la macrofauna entre suelos agrícolas y forestales, destacando los patrones ya observados en los análisis individuales.

Figura 45

Variación media de los indicadores de biodiversidad de macrofauna según el tipo de suelo



Nota. Los resultados demuestran que el suelo agrícola presenta consistentemente valores sustancialmente más altos en los estimadores de riqueza (ACE, Chao-1, iChao-1) y en el número total de individuos. De manera similar, los índices de diversidad (Shannon H y Simpson 1-D) también favorecen al suelo agrícola, aunque con una diferencia menos marcada. La única excepción es el índice de Berger-Parker, donde el suelo forestal supera al agrícola, sugiriendo una estructura comunitaria distinta, caracterizada por una mayor dominancia de una especie en particular.

Tabla 12

Índices de biodiversidad: medias y error estándar según el tipo de suelo

Biodiversidad	Tipo de suelo	Media	Error estándar
ACE	agrícola	4.7222	0.7733
ACE	forestal	2.6297	1.1131
Berger Parker	agrícola	0.4907	0.0714
Berger Parker	forestal	0.8889	0.0754
Brillouin	agrícola	0.5051	0.0788
Brillouin	forestal	0.1576	0.1058
Chao-1	agrícola	3.8472	0.7141
Chao-1	forestal	1.7778	0.5275
Dominancia D	agrícola	0.1667	0.1076
Dominancia D	forestal	0.1556	0.1107
Pielou J	agrícola	1.2651	0.0271
Pielou J	forestal	0.2471	0.1638
Equidad e ^{H/S}	agrícola	1.272	0.0456
Equidad e ^{H/S}	forestal	1.0369	0.0308
Fisher alpha	agrícola	1.9061	0.8908
Fisher alpha	forestal	1.431	1.0407
Individuos	agrícola	3.1111	0.3093
Individuos	forestal	2.2222	0.6186
Margalef	agrícola	1.4466	0.2002
Margalef	forestal	0.3452	0.2341
Menhinick	agrícola	1.4999	0.1179
Menhinick	forestal	1.0701	0.1146
Shannon H	agrícola	1.1535	0.1666
Shannon H	forestal	0.3091	0.2084
Simpson 1-D	agrícola	0.8333	0.1076
Simpson 1-D	forestal	0.1778	0.1188
Taxa S	agrícola	2.6667	0.2887
Taxa S	forestal	1.5556	0.3768
iChao-1	agrícola	4.2222	0.7077
iChao-1	forestal	2.0667	0.7667

Nota. La tabla 12 detalla en términos generales, el suelo agrícola presenta medias superiores en la mayoría de los estimadores de Riqueza (ACE, Chao-1, iChao-1, Margalef, Menhinick, Taxa S) y Diversidad (Brillouin, Shannon H, Simpson 1-D, Fisher alpha), así entre los que destaca en el número de Individuos total, que significa una comunidad más rica y diversa. En contraste, el suelo forestal únicamente supera al agrícola en los índices de Dominancia (Berger-Parker y Dominancia D) y Equitabilidad (Pielou J y Equidad e^{H/S}).

Tabla 13*Resultados estadísticos descriptivos de los índices de biodiversidad de macrofauna según el tipo de suelo*

Biodiversidad	Tipo de suelo	Muestras	Media	DE	Min	q1	Mediana	q3	Max
ACE	agrícola	9	4.722222	2.319902	1	2.5	5	6	8.5
ACE	forestal	9	2.629667	3.339397	1	1	1	1	10
Berger Parker	agrícola	9	0.490733	0.214273	0.25	0.3333	0.5	0.5	1
Berger-Parker	forestal	9	0.888889	0.226078	0.4	1	1	1	1
Brillouin	agrícola	9	0.5051	0.236263	0	0.3466	0.5973	0.6212	0.7945
Brillouin	forestal	9	0.157556	0.317432	0	0	0	0	0.8189
Chao-1	agrícola	9	3.847222	2.142189	1	2.5	3.375	5	8.5
Chao-1	forestal	9	1.777778	1.582544	1	1	1	1	5.2
Dominancia D	agrícola	9	0.166678	0.322749	0	0	0	0.1667	1
Dominancia D	forestal	9	0.155556	0.332081	0	0	0	0.1	1
Pielou J	agrícola	8	1.265125	0.081239	1.174	1.174	1.287	1.3175	1.361
Pielou J	forestal	9	0.247111	0.491422	0	0	0	0	1.177
Equidad e ^H /S	agrícola	9	1.272	0.136783	1	1.211	1.284	1.396	1.455
Equidad e ^H /S	forestal	9	1.036889	0.092468	1	1	1	1	1.279
Fisher alpha	agrícola	9	1.9061	2.672549	0	0	0	5.453	5.453
Fisher alpha	forestal	9	1.430989	3.12202	0	0	0	0.4279	9.284
Individuos	agrícola	9	3.111111	0.927961	2	2	3	4	4
Individuos	forestal	9	2.222222	1.855921	1	1	1	4	5
Margalef	agrícola	9	1.446556	0.600649	0	1.443	1.443	1.82	2.164
Margalef	forestal	9	0.345222	0.702401	0	0	0	0	1.864
Menhinick	agrícola	9	1.4999	0.353753	0.7071	1.414	1.5	1.732	2
Menhinick	forestal	9	1.070111	0.343738	0.5	1	1	1	1.789
Shannon H	agrícola	9	1.153467	0.499897	0	0.9431	1.29	1.432	1.761
Shannon H	forestal	9	0.309111	0.625098	0	0	0	0	1.632
Simpson 1-D	agrícola	9	0.833322	0.322749	0	0.8333	1	1	1
Simpson 1-D	forestal	9	0.177778	0.356293	0	0	0	0	0.9
Taxa S	agrícola	9	2.666667	0.866025	1	2	3	3	4
Taxa S	forestal	9	1.555556	1.130388	1	1	1	1	4
iChao-1	agrícola	9	4.222222	2.122957	1	2.5	4.5	5	8.5
iChao-1	forestal	9	2.066667	2.3	1	1	1	1	7.6

Nota. El suelo agrícola posee una diversidad biológica más consistente y uniforme, con una baja dispersión de datos. Esto contrasta notablemente con el suelo forestal, donde la diversidad es extremadamente irregular: su mediana en los principales índices es cero, lo que indica no tienen macrofauna significativa.

Tabla 14

Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y comparación de medias (Mann-Whitney U) entre los tipos de suelo

Índice	Muestra agrícola	Muestra forestal	p-valor Shapiro Wilk (agrícola)	p-valor Shapiro Wilk (forestal)	Método estadístico	Parámetro estadístico	Significancia estadística (p)
Taxa S	9	9	0.131797654	4.29124E-05	Mann-Whitney	63.5	0.033685162
ACE	9	9	0.512154986	4.33962E-05	Mann-Whitney	60.5	0.070622733
Berger Parker	9	9	0.007210953	4.29124E-05	Mann-Whitney	10.5	0.00580387
Brillouin	9	9	0.061805352	3.96986E-05	Mann-Whitney	63.5	0.036975587
Chao-1	9	9	0.207023458	4.29124E-05	Mann-Whitney	63.5	0.036975587
Dominancia D	9	9	4.73652E-05	3.67452E-05	Mann-Whitney	44.5	0.724307685
Pielou J	9	9	0.070846363	2.59039E-05	Mann-Whitney	69	0.001140526
Equidad e ^H /S	9	9	0.407028355	3.84079E-06	Mann-Whitney	72.5	0.003495297
Fisher alpha	9	9	0.000465526	2.81409E-05	Mann-Whitney	46	0.614591923
Individuos	9	9	0.011890838	0.000414975	Mann-Whitney	56	0.171217984
Margalef	9	9	0.005355099	4.29074E-05	Mann-Whitney	68.5	0.010122007
Menhinick	9	9	0.09296558	0.020519564	Mann-Whitney	66	0.024083605
Shannon H	9	9	0.050866454	4.13463E-05	Mann-Whitney	66.5	0.018070454
Simpson 1-D	9	9	4.73652E-05	3.61236E-05	Mann-Whitney	72.5	0.003169353
iChao-1	9	9	0.300700875	3.04623E-05	Mann-Whitney	66.5	0.018070454

Nota. Los resultados muestran el método de Mann-Whitney U comparando los 15 índices de biodiversidad entre suelos agrícola y forestal indican que la mayoría de los índices fueron significativamente influenciados por el tipo de suelo ($p < 0.05$). Específicamente, los indicadores de Riqueza (Taxa S, Chao-1, Margalef, Menhinick, iChao-1) y de Diversidad/Equidad (Berger-Parker, Brillouin, Pielou J, Equidad e^H/S, Shannon H, Simpson 1-D) mostraron diferencias estadísticas fuertes entre los dos tipos de suelo. Por otro lado, los índices ACE, Dominancia D, Fisher alpha e individuos no presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre los suelos agrícola y forestal.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los índices de abundancia muestran que el suelo forestal tiene una fuerte dominancia de una sola especie, reflejada en la figura 28 el índice de Berger-Parker con (mediana = 1), tabla 13 la Dominancia D con (media = 0.15) y un menor número promedio de individuos con una (media = 2.22) tabla 13, lo que indica una comunidad poco abundante y muy desigual en cambio, el suelo agrícola presentó valores menores de Berger-Parker figura 28 (mediana = 0.50), una dominancia reducida según Dominancia D figura 32 su (mediana = 0.00) y un mayor número promedio de individuos tabla 13 (media = 3.11), evidencian una comunidad más equilibrada y numerosa.

De forma similar, Quiroz (2024) en su investigación identificó 12 órdenes de macrofauna, siendo Haplotaxida, Himenópteros, Araneae e Isóptera los más abundantes. Este resultado coincide con lo esperado, ya que el suelo agrícola mostró una comunidad más equilibrada y numerosa, a diferencia del suelo forestal donde la abundancia es menor y pocos grupos dominan. Sin embargo, este resultado contradice parcialmente la dominancia marcada de unos pocos grupos, dado que en el suelo de palma aceitera se registró una riqueza considerable de macrofauna, mostrando una estructura comunitaria más diversa de lo esperado en suelos agrícolas.

Sin embargo, Gonzales (2024) en su investigación mostró grandes diferencias en la abundancia: 4,208 individuos en el BSTR y 256 en el CCC). Este resultado contradice con la investigación, ya que indica que suelos entre ellos el BSTR pueden tener mucha más macrofauna gracias a una mayor disponibilidad de recursos y mayor estabilidad ecológica. Así, la abundancia no depende solo del tipo de suelo, sino también del nivel de perturbación y del manejo agrícola.

La evaluación de la diversidad mostró que el suelo agrícola tiene mayor diversidad que el suelo forestal. Tabla 13 el índice Shannon, el suelo agrícola presentó una media de 1.15 (mediana = 1.29), mientras que el forestal tuvo una media de 0.30 (mediana = 0.00), indicando baja diversidad y concentración en pocas especies. Esto se confirma con Simpson 1-D tabla 13 el suelo agrícola registró valores altos (media = 0.83, mediana = 1), a

diferencia con el forestal (media = 0.17, mediana = 0). De igual forma, el índice Brillouin tabla 13 fue mayor en el suelo agrícola (media = 0.505, mediana = 0.597) que en el forestal (media = 0.157, mediana = 0.00). En conjunto, estos resultados muestran que el suelo agrícola posee una comunidad más diversa y equilibrada, mientras que el suelo forestal refleja diversidad reducida y dominancia de pocas especies.

Así mismo, Ramos (2023) en su investigación sus resultados registraron una riqueza taxonómica muy reducida, limitada a solo cuatro familias, y se observó que la diversidad (Shannon = 1.15; Simpson = 0.46) en la zona no contaminada en comparación con el área impactada, donde los valores fueron más bajos (Shannon = 0.76; Simpson = 0.34) consideran que la equidad fue mayor en el área de control (Pielou J = 0.45), indicando una distribución más uniforme de los taxa, mientras que la zona contaminada presentó el área de control (Pielou J = 0.35). Este resultado confirma que la diversidad del suelo cambia mucho con relación al uso y el nivel de disturbio, lo que explica por qué los tipos de suelo presentan diferencias tan marcadas.

Sin embargo, Sierra (2024) en su estudio registró 1006 macroinvertebrados distribuidos en 3 phylum, 10 clases y 19 órdenes, evidenciando una clara dominancia de pocos grupos, mientras que la riqueza y la diversidad efectiva se mantuvieron relativamente estables entre sistemas con distintos años de establecimiento. Este resultado contradice e indica que la estructura ecológica de la macrofauna edáfica puede responder de manera distinta con relación al contexto ecológico y el tipo de uso del suelo.

Para la evaluación de las especies el índice Taxa S evidenció una mayor riqueza en el suelo agrícola tabla 13 (media = 2.66, mediana = 3) frente al forestal (media = 1.55, mediana = 1), indicando más grupos taxonómicos presentes. Los estimadores de riqueza mostraron valores superiores tabla 13 en el suelo agrícola indican (Chao-1= 3.84; iChao-1= 4.22) respecto al forestal (Chao-1= 1.77; iChao-1= 2.06). Se estimó la probabilidad de especies no detectadas en el suelo agrícola, Chao-1 indicó que el 31% de las especies no fueron registradas, mientras que iChao-1 estimó el 37%. En contraste, el suelo forestal mostró porcentajes menores de especies no detectadas, entre 13% y 25%, lo que indica menos diversidad y menor presencia de especies raras. Para el índice ACE tabal 13 registró valores superiores en el suelo agrícola

(media = 4.72) frente al forestal (media = 2.62), lo que indica una mayor proporción de especies raras y poco abundantes en el ambiente agrícola. Mientras que Margalef, también mostraron diferencias amplias, siendo el suelo agrícola mucho más diverso (media = 1.44) tabla 13 que el suelo forestal (media = 0.34). El índice Menhinick tabla 13 presentó valores más altos en el suelo agrícola (media = 1.49) en relación con el forestal (media = 1.07), lo que confirma una mayor riqueza ajustada al número de individuos. Finalmente, Fisher alpha tabla 13 registró valores más altos en el suelo agrícola (media = 1.90) que en el forestal (media = 1.43), El suelo agrícola muestra mayor riqueza y más especies raras, mientras que el suelo forestal presenta una riqueza menor, evidenciando desigualdades marcadas en la estructura taxonómica de la macrofauna para ambos suelos. Esto atribuido al uso que se le da al suelo y al estado en que se encuentra.

De forma similar, Casimiro (2022) obtuvo resultados en un sistema agroforestal e identificó 14 órdenes en el sistema “capirona”, mientras que en el sistema con “bolaina blanca” se hallaron 10 órdenes, lo que indica una mayor riqueza taxonómica en el primero. La Isóptera fue predominante en ambos sistemas, con 367 individuos/m² en CCN-55 con capirona y 233 individuos/m² en CPM-15 con bolaina, seguida por Haplotaxida con 234 y 204 individuos/m² respectivamente. El orden Isópoda también estuvo presente en ambos sistemas, predominando en el sistema con bolaina blanca (184 individuos/m² frente a 134 individuos/m²). Finalmente, en el sistema con capirona se registró mayor abundancia de Himenóptera (49 individuos/m²). Este resultado concuerda con el objetivo de evaluar las especies de individuos de la macrofauna edáfica, confirmando que la diversidad varía bajo el criterio del uso y manejo del suelo.

Sin embargo, Pozo (2020) en su investigación sus resultados de grado de abundancia, la riqueza de familias fue superior de BSTR (22 familias) que en el cultivo (19 familias). Este resultado contradice a lo que se obtuvo, esta diferencia podría deberse al manejo del suelo, la cobertura vegetal y el nivel de disturbio, factores que pueden favorecer a ciertos grupos en ambientes agrícolas.

Para la evaluación de la desigualdad tabla 13 el índice Pielou J alcanzó una media de 1.26 (mediana = 1.287), mientras que en el suelo forestal los

valores fueron considerablemente menores (media = 0.24, mediana = 0.00), lo que refleja una fuerte desigualdad y la concentración de individuos en minimas especies. De manera complementaria, la tabla 13 en el índice Equidad (e^H/S) también mostró una mayor uniformidad en el suelo agrícola (media = 1.27, mediana = 1.284), a diferencia del suelo forestal su resultado fue (media = 1.03, mediana = 1.00). En conjunto, ambos índices confirman que el suelo agrícola presenta una estructura comunitaria más equitativa y uniforme, mientras que el suelo forestal muestra mayores niveles de desigualdad, reflejando una marcada dominancia de ciertas especies y menor balance ecológico entre los grupos presentes.

Sin embargo, Pozo (2020) indicó que el BSTr presentaba una mayor equitatividad, debido a una distribución más semejante de las abundancias entre los diferentes grupos de macrofauna. Este resultado contradice lo obtenido en la investigación. Esto muestra que, en el área de estudio, la comunidad edáfica del suelo agrícola se distribuye de manera más uniforme que la del suelo forestal.

Para el objetivo general los resultados tabla 13 muestran que el suelo agrícola presentó mayor diversidad (Shannon $H = 1.15$, Simpson $1-D = 0.83$), riqueza (Taxa $S = 2.67$, Margalef = 1.45), abundancia (3.11 individuos) y uniformidad (Pielou $J = 1.27$, equidad $e^H/S = 1.27$) con dominancia baja (Berger-Parker mediana = 0.50), mientras que el suelo forestal mostró menor diversidad (Shannon $H = 0.31$, Simpson $1-D = 0.18$), riqueza reducida (Taxa $S = 1.56$, Margalef = 0.34), menor abundancia (2.22 individuos), uniformidad baja (Pielou $J = 0.25$, equidad $e^H/S = 1.04$) y dominancia alta (Berger-Parker mediana = 1), confirmando que el suelo agrícola alberga una macrofauna más diversa, equilibrada y estructuralmente estable.

De forma similar, Huamán (2023) en su investigación, encontró valores de similitud de 40.63% de similitud según Jaccard y 57.78% según Sorenson. Este resultado concuerda con el objetivo general, porque confirma que el tipo de suelo de cultivo influye en la composición de la macrofauna, evidenciado por la presencia de familias características en cada suelo y una familia compartida, lo que refleja condiciones edáficas diferentes.

Sin embargo, para Huamán (2023) su resultado también contradice parcialmente el objetivo, ya que, aunque el tornillal presentó mayor número de

familias e individuos, la mayor homogeneidad y diversidad se observó en el cacaotal. Esto indica que una superioridad de abundancia no siempre implica mayor diversidad, y que factores propios del cacaotal entre ellos flores y frutos que atraen más fauna pueden aumentar la uniformidad de la comunidad, moderando el efecto esperado del tipo de suelo.

Los resultados confirman la hipótesis de que el tipo de suelo si influye significativamente en la diversidad de la macrofauna edáfica. En tabla la 14 los índices mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en 11 de los 15 índices de biodiversidad evaluados según Mann-Whitney. La riqueza de especies fue mayor en el suelo agrícola (Taxa S: $p = 0.0337$; Chao-1: $p = 0.0369$; iChao-1: $p = 0.0180$), al igual que los índices de diversidad verdadera, entre ellos Shannon H ($p = 0.0180$) y Simpson 1-D ($p = 0.0031$). El índice Berger-Parker ($p = 0.0058$) evidenció una dominancia más marcada en el suelo forestal. La equitatividad también fue superior en el suelo agrícola (Pielou J: $p = 0.0011$; (equidad (e^H/S): $p = 0.0035$), indicando mayor uniformidad en la distribución de individuos.

De forma similar, Gonzales (2024) su resultado de Shannon (H) varía entre 0.495 y 1.651 (mediana 0.90), mientras que en el Cultivo de ciclo corto (CCC) varios monolitos registraron valores cercanos a 0. El índice de Simpson (D) en el BStr osciló entre 0.222 y 0.743 (mediana 0.500), mostrando una distribución más equitativa que en el CCC, donde se observó mayor dominancia. Este resultado coincide con la hipótesis al demostrar que el tipo de suelo influye significativamente en la diversidad edáfica.

Sin embargo, Gonzales (2024) también evidenció una contradicción parcial debido a que el BStr presentó mayor diversidad, el cultivo de ciclo corto (CCC) mostró familias adaptadas a ambientes perturbados, entre ellos Carcinophoridae (25% de la abundancia total) y Porcellionidae (18.8%). Este resultado contradice e indica que, además del tipo de suelo, las condiciones de disturbio y manejo influyen en la composición y dominancia de la macrofauna edáfica.

CONCLUSIONES

BASADA EN EL OBJETIVO GENERAL

El tipo de suelo (agrícola vs. forestal) es un factor determinante y estadísticamente significativo que influye en la estructura de la comunidad ecológica y la diversidad de la macrofauna edáfica en Villa El Milagro. El suelo agrícola demostró poseer una comunidad más rica, diversa y equitativa, mientras que el suelo forestal presentó una diversidad generalmente mínima e irregular.

BASADA EN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Primer objetivo específico: La abundancia total de individuos no difiere significativamente entre ambos tipos de suelo. Sin embargo, el suelo agrícola mostró una media ligeramente mayor y una distribución más agrupada, mientras que el suelo forestal presentó una abundancia altamente variable con una mediana de individuos muy baja, indicando que el total de organismos está concentrado en muy pocas muestras.

Segundo objetivo específico: La diversidad de la macrofauna es significativamente mayor en el suelo agrícola (confirmado por los altos valores de Shannon H y Simpson 1-D). Además, la riqueza de especies (Taxa S, Chao-1, Margalef) fue consistentemente superior en el suelo agrícola, demostrando que este sistema alberga un mayor número de taxones. El suelo forestal, en cambio, presenta una diversidad mínima en la mayoría de sus muestras (mediana H = 0).

Tercer objetivo específico: La composición de especies está fuertemente influenciada bajo el criterio del tipo de suelo. Las condiciones agrícolas favorecen una mayor gama de especies y una distribución de abundancia más equilibrada, mientras que las condiciones del suelo forestal generan una alta dominancia (Berger-Parker significativo) y una estructura de comunidad más simple, con menos especies.

Cuarto objetivo específico: Existe una desigualdad estadísticamente significativa en la estructura de la comunidad entre los dos suelos, medida a través de los índices de equidad (Pielou J y Equidad (e^H/S)). El suelo agrícola exhibe una mayor equidad, lo que implica que las especies presentes tienen

abundancias más uniformes, mientras que el suelo forestal presenta una mayor desigualdad, con una o muy pocas especies dominando la comunidad.

CONCLUSIÓN SOBRE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La hipótesis de la investigación, "El tipo de suelo agrícola y forestal influye significativamente en la variedad de la macrofauna edáfica", es aceptada.

El análisis no paramétrico de Mann-Whitney U demostró que las diferencias en la mayoría de los indicadores de diversidad, riqueza y equidad son estadísticamente significativas ($p < 0.05$ en 11 de 15 índices), confirmando que la clasificación del suelo es un factor fundamental en el sistema de la comunidad biológica en el área de estudio. Específicamente, el suelo agrícola mostró consistentemente una mayor riqueza de especies y equidad, resultando en una comunidad más diversa en general, mientras que el suelo forestal presentó una diversidad menor y más irregular. Esta fuerte evidencia subraya que las condiciones asociadas a cada tipo de suelo son el principal modelador de la composición y copiosidad de la macrofauna edáfica.

RECOMENDACIONES

Se propone ampliar la investigación a un tercer punto de muestreo, entre ellos un Pastizal o un Suelo de Transición. Esto permitiría evaluar el gradiente de perturbación de manera más precisa y determinar si la baja diversidad se debe al uso forestal o si es un resultado directo de la alta resistencia mecánica del suelo en la zona de estudio, obteniendo una visión más precisa de la influencia del tipo de suelo en la macrofauna

Se recomienda que los futuros estudios que integren la cuantificación de la biomasa (peso húmedo y seco). Ir más allá de la riqueza y la abundancia es fundamental para evaluar la función ecológica real de los organismos. La biomasa es un indicador directo de la presencia de carbono y de la actividad biológica total, lo que permitiría determinar la contribución efectiva de la macrofauna a la salud y fertilidad de los suelos.

Se recomienda analizar los parámetros fisicoquímicos del suelo (pH, Materia Orgánica, humedad y rastros de químicos) en los sitios de muestreo. Este análisis es fundamental para establecer la relación causal que explique por qué el tipo de suelo genera diferencias tan significativas en la estructura de la macrofauna, y así identificar los factores ambientales específicos que impulsan la mayor riqueza y equidad observadas en el suelo agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayuke, F. O., Brussaard, L., Vanlauwe, B., Six, J., Lelei, D. K., Kibunja, C. N., & Pulleman, M. M. (2011). *Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation*. *Applied Soil Ecology*, 48(1), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.02.001>
- Barrios, E. (2007). *Soil biota, ecosystem services and land productivity*. *Ecological Economics*, 64(2), 269–285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>
- Batista, I., Machado, D. L., Correia, M. E. F., Spinelli, M. H. M., & Corá, J. E. (2023). *Soil macrofauna correlations with soil chemical and physical properties and crop sequences under no-tillage*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 47, e0230006. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230006>
- Berger, W. H., & Parker, F. L. (1970). *Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments*. *Science*, 168(3937), 1345–1347. <https://doi.org/10.1126/science.168.3937.1345>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson. https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition
- Brown, G. G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J. C., Bueno, J., & Rodríguez, C. (2001). *Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos*. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 84, 79–110. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401847>
- Cabrera-Dávila, G. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba*. Fundación Rufford. <https://es.scribd.com/document/435762240/Manual-Practico-Sobre-la-Macrofauna-del-Suelo-pdf>

- Cachique Murayari, J. J. (2019). *Población de la macrofauna edáfica detritívora como indicador biológico de la calidad de suelos en bosques sucesionales en Puerto Almendra, Loreto-Perú, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional UNAP. <https://api-repositorio.unapiquitos.edu.pe/server/api/core/bitstreams/31b95479-0e42-4932-9506-b7aa43e27166/content>
- Chao, A. (1984). *Nonparametric estimation of the number of classes in a population. Scandinavian Journal of Statistics*, 11(4), 265–270. https://www.researchgate.net/publication/268975118_Non-parametric_estimation_of_the_classes_in_a_population
- Chao, A., & Lee, S.-M. (1992). *Estimating the number of classes via sample coverage. Journal of the American Statistical Association*, 87(417), 210–217. https://www.researchgate.net/publication/232128422_Estimating_the_Number_of_Classes_Via_Sample_Coverage
- Chiu, CH, Wang, YT, Walther, BA y Chao, A. (2014). Un límite inferior no paramétrico mejorado de la riqueza de especies mediante una fórmula de frecuencia de Good-Turing modificada. *Biometrics*, 70, 671-682. https://gillescolling.com/spacc/reference/iChao1.html?utm_source=
- Concepto.de. (s.f.). *Capas del suelo*. <https://concepto.de/capas-del-suelo/>
- Crowther, T. W., van den Hoogen, J., Wan, J., Mayes, M. A., Keiser, A. D., Mo, L., ... & Bradford, M. A. (2019). *The global soil community and its influence on biogeochemistry. Science*, 365(6455), eaav0550. <https://doi.org/10.1126/science.aav0550>
- Das, B. M. (2021). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning. <https://es.scribd.com/document/177381329/Suelos-Braja-M-Das>
- Dávila, C & Sánchez Rendón, Jorge & Ponce de León, Daniel. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo/Edaphic macrofauna: composition, variation and use as a bioindicator according to the impact of soil use and quality., 221, 1–19. <https://goo.su/wPcV8>

- de Valença, A. W., Vanek, S. J., Meza, K., Ccanto, R., Olivera, E., Scurrah, M., Lantinga, E. A., & Fonte, S. J. (2017). *Land use as a driver of soil fertility and biodiversity across an agricultural landscape in the Central Peruvian Andes*. *Ecological Applications*, 27(4), 1138–1154. <https://doi.org/10.1002/eap.1508>
- Decaëns, T., Jiménez, J. J., Gioia, C., Measey, G. J., & Lavelle, P. (2006). The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 42, S23-S38. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers20-06/010038293.pdf?utm_source=
- Deleon, E., Bauder, T. A., Wardle, E., & Fonte, S. J. (2020). Conservation tillage supports soil macrofauna communities, infiltration, and farm profits in an irrigated maize-based cropping system of Colorado. *Soil Science Society of America Journal*, 84(6), 1943–1956. <https://doi.org/10.1002/saj2.20167>
- Encyclopædia Britannica. (s.f.). Macrofauna. Britannica. Recuperado el [12 de mayo del 2026], de <https://www.britannica.com/facts/macrofauna>
- Escobedo, V. (2023). Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de CO₂ en la parcela VII del arboretum "El Huayo" del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal de Puerto Almendra, Iquitos. 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio UNAP. Recuperado de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/7546/Victor_Tesis_Titulo_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fisher, R. A., Corbet, A. S., & Williams, C. B. (1943). The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology*, 12(1), 42–58. <https://doi.org/10.2307/1411>
- Gómez Pérez, J. A. (2023). Influencia del uso del suelo en la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales del departamento de Córdoba, Colombia [Tesis de maestría, Universidad de Córdoba]. Repositorio UNICORDOBA. Recuperado de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/ae6a0bb6-f568-45d1-bd22-bccb19704344/content>

- Gómez, J. (2024). Efecto de diferentes sistemas de uso del suelo en la diversidad de la macrofauna edáfica en la región de Huánuco, Perú [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Recuperado de <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/973ba04c-0e37-4a75-b45b-8dc0384907d7/content>
- González González, J. D. (2025). Caracterización de la macrofauna edáfica del suelo como bioindicador en el centro de apoyo Río Verde. La Libertad. UPSE, Matriz. Facultad de Ciencias Agrarias. 47p. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12973>
- González, M. (2021). Diversidad y función de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales de la Amazonía peruana. *Revista de Agroecología y Desarrollo Sostenible*, 14(3), 45–58. Recuperado de <https://portal.amelica.org/ameli/journal/71/712395004/html/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education. <https://goo.su/1JnZFH>
- Hobbs, RJ y Huenneke, LF (1992), Perturbación, diversidad e invasión: implicaciones para la conservación. *Conservation Biology*, 6: 324-337. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.06030324.x>
- Huamán, J. (2023). Diversidad de la macrofauna edáfica en el banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María – Perú, 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Recuperado de <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/01dbe359-f540-43c9-ac47-a93c2612d365/content>
- Hunnemeyer, A., Camino, R. de, Müller, S., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), & Proyecto BMZ/GTZ. (1997). Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: indicadores para la agricultura y los recursos naturales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/items/161833d2-3851-48ee-b0ec-37302677c026>

- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375.
https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- Jouquet, P., Dauber, J., Lagerlöf, J., Lavelle, P., & Lepage, M. (2006). *Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops*. *Applied Soil Ecology*, 32(2), 153–164.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139305001265?via%3Dihub>
- Kitikidou, K., Milios, E., Stampoulidis, A., Pipinis, E., & Radoglou, K. (2024). *Effective use of biodiversity indices: Considerations for forest management*. *Ecologies*, 5(1), 42–51. <https://www.mdpi.com/2673-4133/5/1/3>
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., & Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, S3-S15.
https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers20-06/010038292.pdf
- LibreTexts. (s. f.). 22.2: *Diversity indices*. Biology LibreTexts. Recuperado el 22 de mayo de 2026, de 2026
https://bio.libretexts.org/Courses/Gettysburg_College/01%3A_Ecology_for_All/22%3A_Biodiversity/22.02%3A_Diversity_Indices
- LibreTexts. (s. f.). 22.2: *Diversity indices*. Biology LibreTexts.
https://bio.libretexts.org/Courses/Gettysburg_College/01%3A_Ecology_for_All/22%3A_Biodiversity/22.02%3A_Diversity_Indices
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.
<http://www.bionica.info/Biblioteca/Magurran2004MeasuringBiological.pdf>
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–60.
<https://projecteuclid.org/journalArticle/Download?urlId=10.1214%2Faoms%2F1177730491>

- Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *General Systems*, 3, 36–71. <https://digital.csic.es/handle/10261/284346>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). Estado del ambiente en el Perú: Informe nacional 2019. Ministerio del Ambiente del Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/a-i4551s.pdf>
- Mitchell, J. P., Shrestha, A., Mathesius, K., Scow, K. M., Southard, R. J., Haney, R. L., Schmidt, R., Munk, D. S., Horwath, W. R., & Mitchell, R. A. (2017). *A history of tillage in California's Central Valley. Soil and Tillage Research*, 171, 118–129. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198715300520>
- Morales, E., Chávez, S., Chichipe, E., Oliva, M., & Quiñones, L. (2021). *Macrofauna edáfica y propiedades físico-químicas del suelo en fincas cafetaleras de pequeños agricultores. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 38(4), 913–929. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/36803/39711>
- Morales-Rojas, E., Chávez-Quintana, S. G., Hurtado-Burga, R., Milla-Pino, M., Sanchez-Santillán, T., & Collazos-Silva, E. M. (2021). *Macrofauna edáfica asociada al cultivo de maíz (Zea maíz). Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(1), 15–25. https://www.researchgate.net/publication/353647452_Macrofauna_edafica_asociada_al_cultivo_de_maiz_Zea_maiz
- Moreira, F.; Huising, E.; Bignell, D. 2012. Manual de biología de suelos tropicales. Instituto Nacional de Ecología. Mexico, 337 pp. <https://goo.su/bfzFrA8>
- Paz-Ríos, C. E., Sosa-López, A., & Torres-Rojas, Y. E. (2022). Diversidad y función de la macrofauna del suelo: Información clave para el estudio de la sustentabilidad de sistemas socio-ecológicos tropicales. *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 4(1), 51–62. <https://doi.org/10.26359/52462.0422>

- Peet, R. K. (1974). *The measurement of species diversity. Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 285–307.
<https://www.sci.muni.cz/botany/nekola/foe/peet1974.pdf>
- Pereira, D. G. C., Santana, I. A., Megda, M. M., & Megda, M. X. V. (2019). Potassium chloride: impacts on soil microbial activity and nitrogen mineralization. *Ciência Rural*, 49(5), e20180556.
<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180556>
- Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131–144.
[https://doi.org/10.1016/0022-5193\(67\)90048-3](https://doi.org/10.1016/0022-5193(67)90048-3)
- Pinedo, M., & Espinoza, D. (2022). Macrofauna edáfica asociada en cuatro sistemas de producción en el distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco – Perú. *Journal Scientific International Environmental Green Horizon*, 1(1), 15–22.
 Recuperado de <https://environmentjournal.org/index.php/GreenHorizon/article/view/21/26>
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., & Poch Claret, R. M. (2013). *Edafología: uso y protección de suelos* (4.^a ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
https://books.google.com.pe/books?id=7x1fAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Pozo, J. (2020). Caracterización de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto de dos usos de la tierra en el centro de apoyo Manglaralto [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio UPSE.
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5534/1/UPSE-TIA-2020-0015.pdf>
- Ramos, R. (2023). Efectos de la contaminación del botadero municipal de Chota en la macrofauna del suelo [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio UNACH.
https://repositorio.unach.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14142/384/Ramos_Castillo_R..pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Rincón, J., & others. (2017). Leaf-litter breakdown as a tool to assess the functional condition and health of Andean streams. *Revista de Biología Tropical / International Journal of Tropical Biology*, (consultar versión en línea). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/23233>
- Römbke, J., Schmelz, R. M., & Pélosi, C. (2017). Effects of organic pesticides on Enchytraeids (Oligochaeta) in agroecosystems: Laboratory and higher-tier tests. *Frontiers in Environmental Science*, 5, 20. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00020>
- Ruiz, N., & Lavelle, P. (2008). Soil macrofauna field manual (Technical level). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/i0211e/i0211e.pdf?utm_source=
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. <https://archive.org/details/mathematicaltheo00shan>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Sizmur, T., Martin, E., Wagner, K., Parmentier, E., Watts, C., & Whitmore, A. P. (2017). Milled cereal straw accelerates earthworm (*Lumbricus terrestris*) growth more than selected organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 113, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.12.006>
- Sofo, A., Mininni, A. N., & Ricciuti, P. (2020). Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy*, 10(4), 456. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040456>
- Stinner, B. R., & House, G. J. (1990). Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology*, 35, 299–318. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.001503>
- Zerbino, S.; N. Altier; A. Morón y C. Rodríguez. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia*, 12 (1): 44- 55. https://www.researchgate.net/publication/234117774_Evaluacion_de_la_macrofauna_del_suelo_en_sistemas_de_produccion_en_siembra_directa_y_con_pastoreo

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACION

Mallma Marchan, R. (2026). Influencia del suelo agrícola y forestal en la diversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomaquichua – departamento Huánuco [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

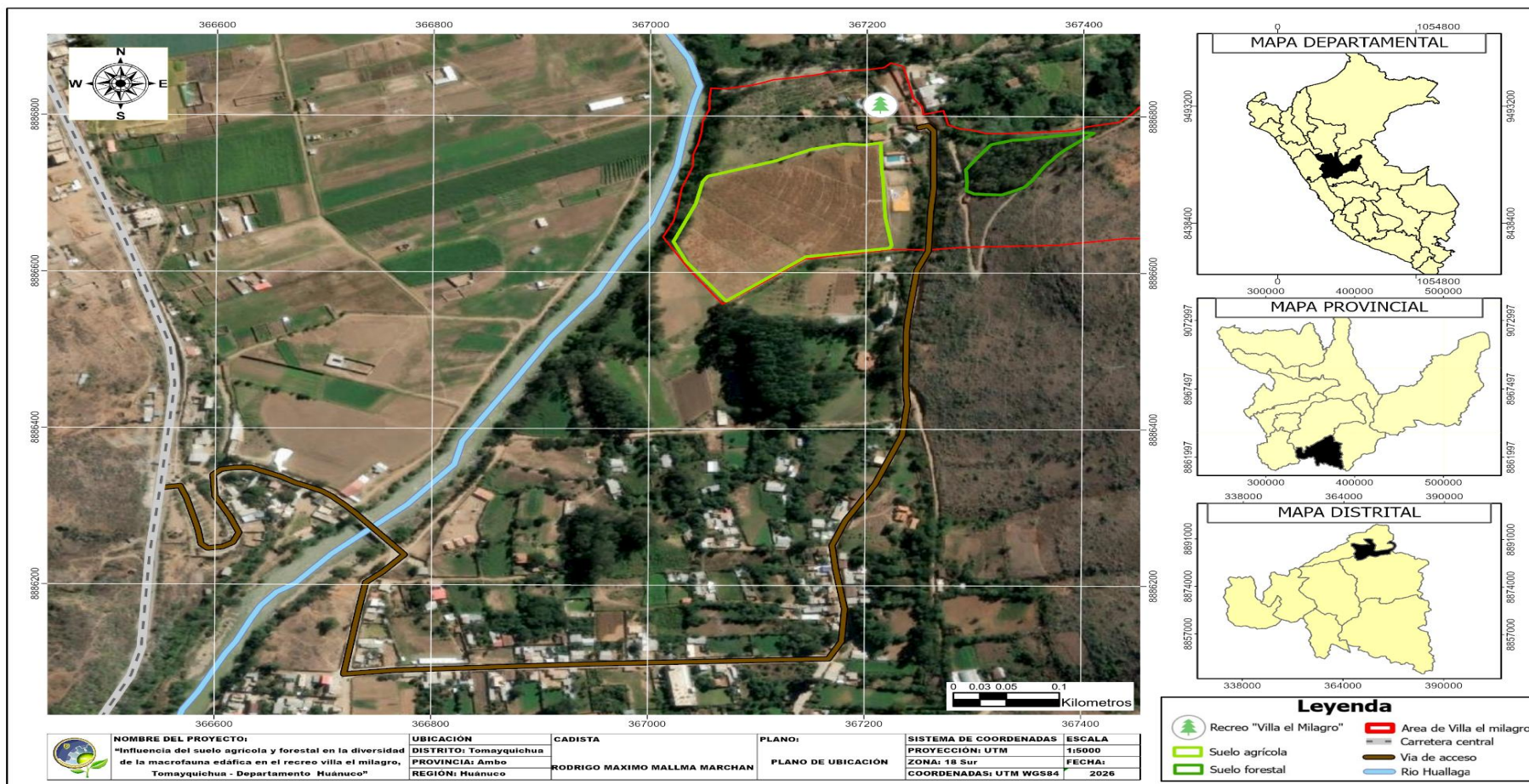
ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variable de calibración	Metodología
¿Existe una influencia en la diversidad biológica de la macrofauna edáfica entre los suelos agrícolas y forestales en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco?	Evaluar como el tipo de suelo (agrícola y forestal) influye en la biodiversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco	El tipo de suelo agrícola y forestal influye significativamente en la diversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro - Tomayquichua, Departamento Huánuco.	El tipo de suelo	Tipo de investigación Es un estudio con intervención, prospectivo, longitudinal y analítico Enfoque Cuantitativo Alcance o nivel Descriptiva correlacional Diseño No experimental transversal Población Fue ejecutado en el terreno de villa el milagro en el distrito de Tomayquichua departamento Huánuco. Muestra Está conformado por 18 monolitos, 9 por cada tipo de suelo con medidas de 25cm x 25cm y 30cm de profundidad cada uno. Procesamiento de datos: Los datos se analizaron a través de PAST 4.0, Shapiro-Wilk y Mann-Whitney
Problema específico	Objetivo específico		Variable evaluativa	
¿Cuáles son las especies, la biomasa, la abundancia y las diferencias existentes entre el tipo de suelo para la macrofauna edáfica entre los suelos agrícolas y forestales en el recreo villa el milagro, Tomayquichua - departamento Huánuco?	• Identificar la abundancia de individuos de la macrofauna edáfica. • Identificar la diversidad de la macrofauna edáfica. • Identificar las especies de individuos de la macrofauna edáfica. • Identificar la desigualdad existente entre el tipo de suelo para la macrofauna edáfica.		Macrofauna edáfica	

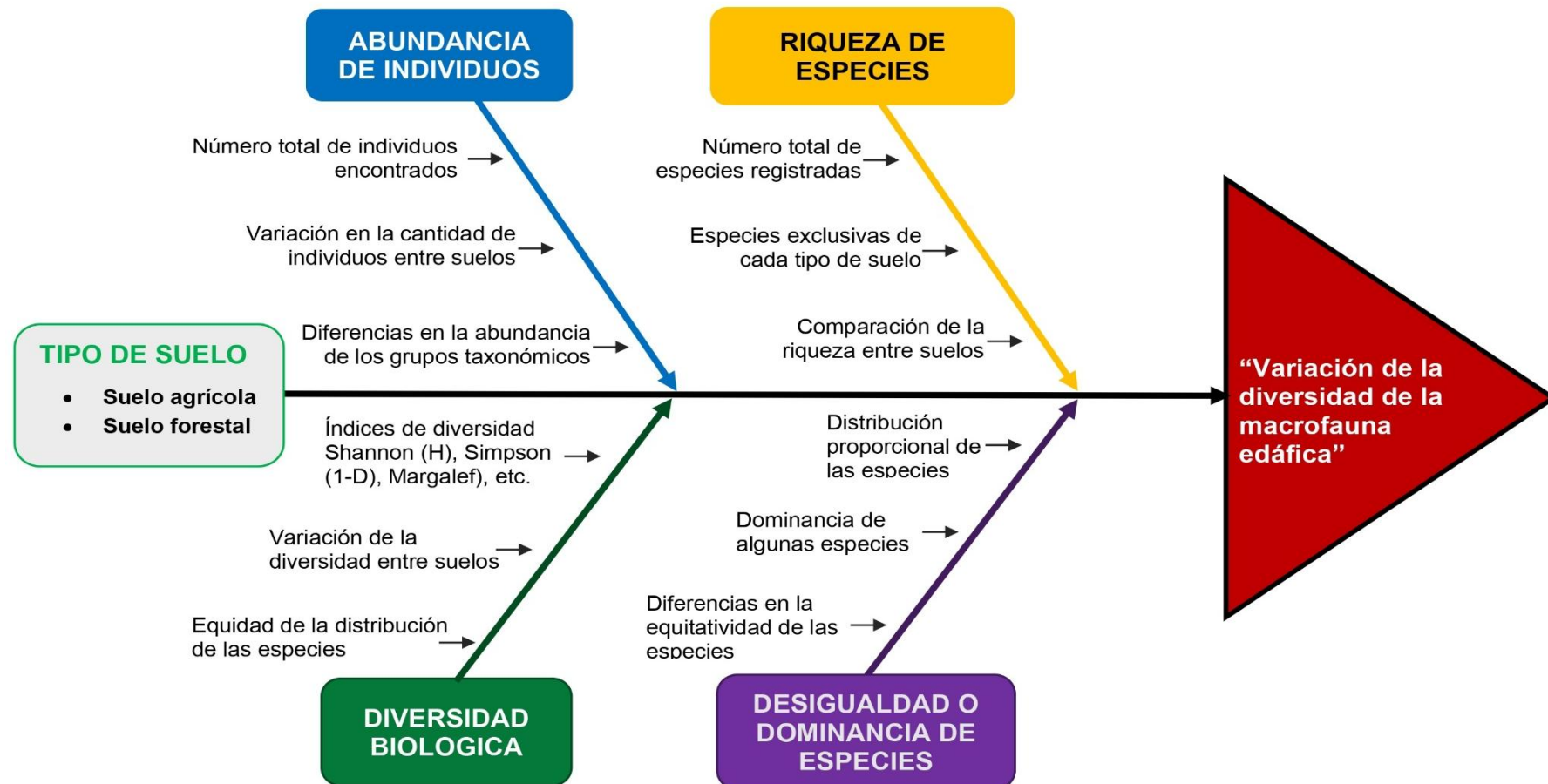
ANEXO 2

MAPA DE UBICACIÓN



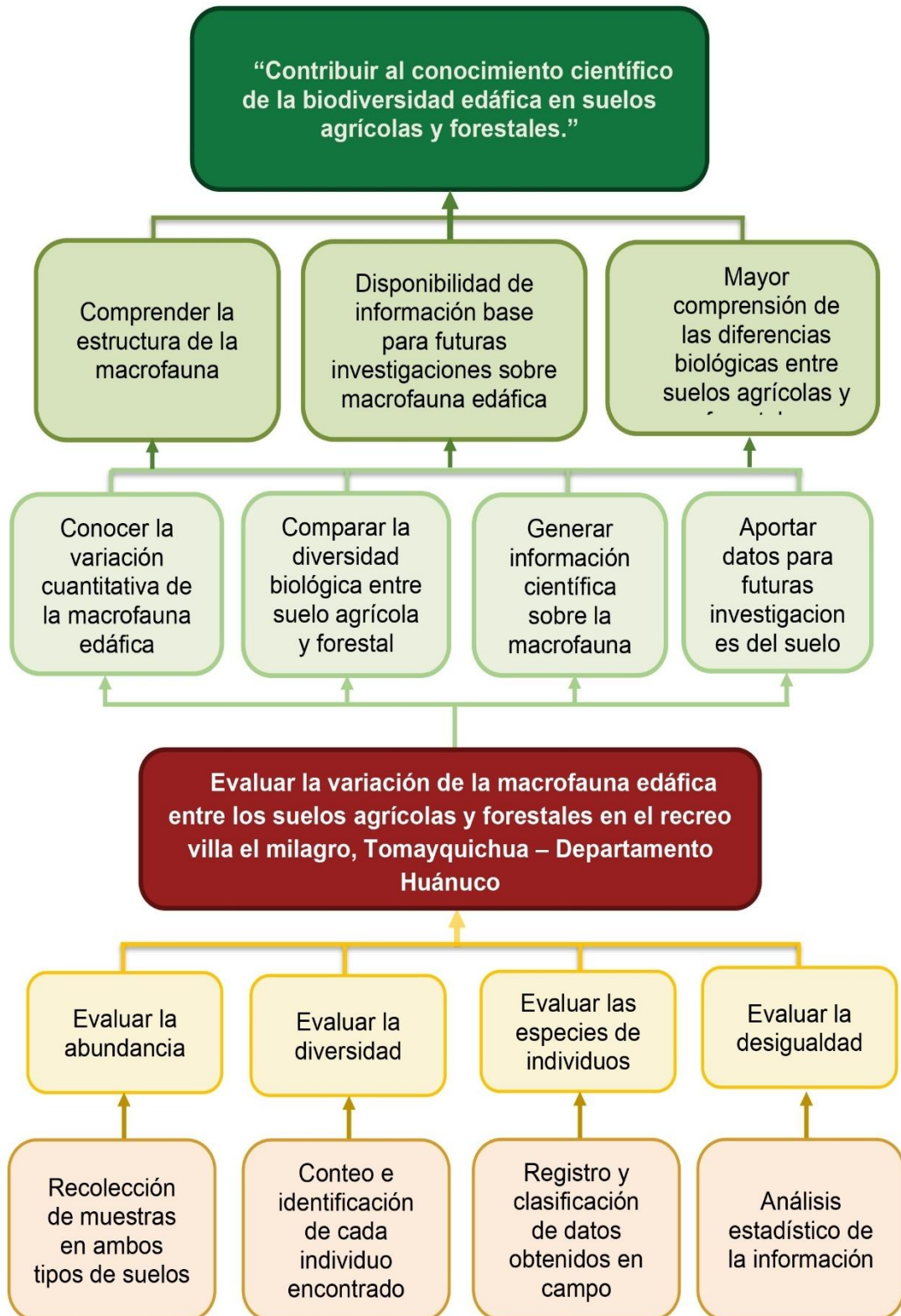
ANEXO 3

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5

ANÁLISIS DE CAMPO

Proyecto de investigación:	"Influencia del suelo agrícola y forestal en la diversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomayquichua – departamento Huánuco"								
Autor:	Bach. Rodrigo Maximo Mallma Marchan								
Lugar del Proyecto:	Recreo villa el Milagro- Tomayquichua, departamento Huánuco								
Fecha:	01/10/2025								
Tipo de suelo:	Forestal								
Especie	Monolito 1	Monolito 2	Monolito 3	Monolito 4	Monolito 5	Monolito 6	Monolito 7	Monolito 8	Monolito 9
<i>Armadillidium vulgare</i>			1						
<i>Camponotus</i> sp.				1	4			1	1
<i>Raysymmela huanuca</i>		1							
<i>Diptera</i> sp.							1		2
<i>Lumbricus terrestris</i>						3			
<i>Pheidole</i> sp.	1								1
<i>Phyllophaga</i> sp.						1			
<i>Plexippus paykulli</i>									1
<i>Tenebrio</i> sp.						1			
Observaciones:	El tipo de suelo forestal presentaba mayormente textura concreta, cantidad regular de piedras y una cantidad de árboles que impedían el ingreso de sol y lluvia hacia el suelo.								

Proyecto de investigación:	“Influencia del suelo agrícola y forestal en la diversidad de la macrofauna edáfica en el recreo villa el milagro, Tomayquichua – departamento Huánuco”								
Autor:	Bach. Rodrigo Maximo Mallma Marchan								
Lugar del Proyecto:	Recreo villa el Milagro- Tomayquichua, departamento Huánuco								
Fecha:	26/10/2025								
Tipo de suelo:	Agrícola								
Especie	Monolito 1	Monolito 2	Monolito 3	Monolito 4	Monolito 5	Monolito 6	Monolito 7	Monolito 8	Monolito 9
<i>Armadillidium vulgare</i>			1					1	
<i>Camponotus</i> sp.					1	1			
<i>Lumbricus terrestris</i>	2	2	1			2			
<i>Forficula auricularia</i>				1			1		
<i>Ichneumon</i> sp.	1		1						
<i>Pheidole</i> sp.				1					
<i>Leucauge</i> sp.					1				
<i>Phyllophaga</i> sp.				2	1		1	1	1
<i>Pontoscolex</i> sp.						1			
<i>Staphylinidae</i> sp.			1				1		
<i>Tenebrio</i> sp.	1								1

Observaciones:	El suelo agrícola presentó textura suelta que facilitó la excavación y extracción de muestras, mientras que el cultivo mostró plantas marchitas y secas asociadas a falta de cuidado y ausencia de riego.
-----------------------	---

ANEXO 6

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS PUNTOS TOMADOS Y BÚSQUEDA DE MACROFAUNA



Toma de medida para los puntos de monolitos suelo agrícola



Preparación de la tierra para el tamizado en suelo agrícola



Tamizado de la tierra en el suelo forestal



Búsqueda de macrofauna en suelo forestal

ANEXO 7
REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MACROFAUNA EDÁFICA
ENCONTRADOS



Raysymmela huanuca



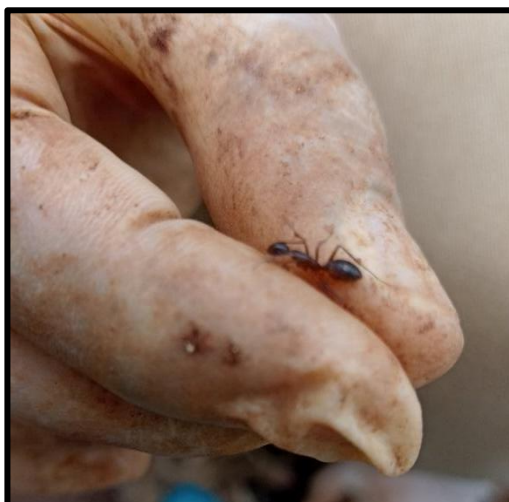
Diptera sp.



Plexippus paykulli



Lumbricus terrestris



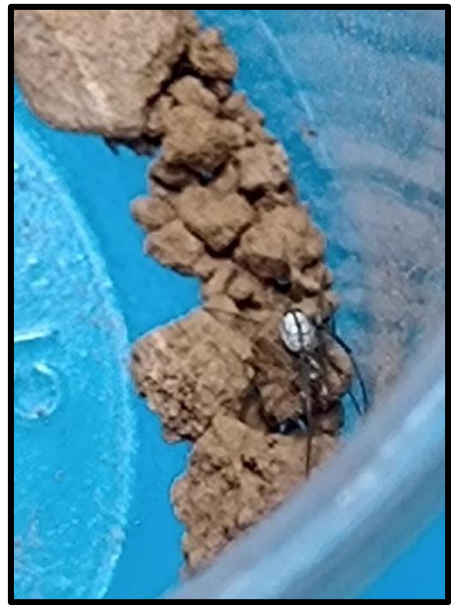
Camponotus sp.



Tenebrio sp.



Phyllophaga sp.



Leucauge sp.



Ichneumon sp.



Forficula auricularia



Armadillidium vulgare



Pontoscolex sp.