



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Marvin Cristian Alava Aguilar
<https://orcid.org/0009-0000-5303-4659>

Asesor:

Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación
<https://orcid.org/0000-0002-9130-7598>

Coasesor:

Blga. Dra. Maritza Arcelis Zavaleta Díaz
<https://orcid.org/0000-0002-2839-6356>

Código: 6058522

Moyobamba, Perú

2023



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Marvin Cristian Alava Aguilar

**Sustentado y aprobado el 21 de setiembre del 2023, por los siguientes
jurados:**

Presidente de Jurado
Blga. M.Sc. Astrit Ruiz Ríos

Secretaria de Jurado
Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Diaz

Vocal de Jurado
Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález

Asesor
Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación

Moyobamba, Perú

2023



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS
CONDUCENTES A TÍTULO PROFESIONAL N.º 018-2023-UNSM/EPIA/UI**

Jurado reconocido con Resolución N.º 418 -2021-UNSM/CFT/FE, Moyobamba, 30 de noviembre del 2021, Resolución N.º 226 -2023-UNSM/CFT/FE, Moyobamba, 30 de junio del 2023.

**FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

A las 10:00 am del día jueves 21 de setiembre del 2023, se dio inicio al acto público de sustentación del informe final de tesis: **“Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín”** para optar el título profesional de Ingeniero en Ambiental, presentado por **Marvin Cristian Alava Aguilar**, con la asesoría del **Blgo. M.Sc. Alfredo Ibán Díaz Visitación** y como co-asesor **Blga. Dra. Maritza Arcelis Zavaleta Diaz**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por la **Blga. M.Sc. Astriht Ruiz Ríos** (Presidente del jurado), **Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Diaz** (Secretario), **Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález** (Vocal) y acompañado por **Blgo. M.Sc. Alfredo Ibán Díaz Visitación**. (Asesor), el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 130-2022-UNSM/CFT/FE Moyobamba, 29 de abril del 2022**.

Seguidamente el autor expuso el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y evaluando, con la venia del jurado, por el asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue: **16,5**, tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGIA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es *DECISIVA* y correspondiente a la calificación de *BUENO*. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de sustentaciones N.º 001 del Programa de Estudios de Ingeniería Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ecología de la UNSM.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del informe final tesis, en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las *11:25* horas, el mismo día 21 de setiembre del 2023.

Blga. M.Sc. Astriht Ruiz Rios
Presidente de Jurado

Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Diaz
Secretario de Jurado

Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález
Vocal del Jurado

Blgo. M.Sc. Alfredo Ibán Díaz Visitación
Asesor

Marvin Cristian Alava Aguilar
Autor

Declaratoria de autenticidad

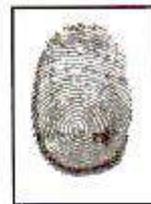
Marvin Cristian Alava Aguilar, con DNI N° DNI N° 45030323, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 21 de setiembre del 2023.



Marvin Cristian Alava Aguilar

DNI N° 45030323

Ficha de identificación

Título del proyecto Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín	Área de investigación: Línea de investigación: Gestión Integral y Sostenible de los Recursos Naturales. Sublínea de investigación: Grupo de investigación (indicar resolución): Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/> , Aplicada <input checked="" type="checkbox"/> , Desarrollo experimental <input type="checkbox"/>
Autor: Marvin Cristian Alava Aguilar	Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0009-0000-5303-4659
Asesor: Blgo. M. Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación	Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Unidad o Laboratorio Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0000-0002-9130-7598
Coasesor: Blga. Dra. Maritza Arcelis Zavaleta Díaz	Contraparte científica: Facultad o Institución: Unidad o Laboratorio: País: https://orcid.org/0000-0002-2839-6356

Dedicatoria

Para aquellos que ya no están presentes:
Alejandro y Lucía.

Marvin Cristian

Agradecimientos

A Marco y Sara, cuya guía y ejemplo moldearon en mí los principios del profesional que aspiro ser.

A Patricia, por el apoyo incondicional e incasable ímpetu de motivarme a buscar nuevos retos y perseverar en la consecución de mis metas.

Marvin Cristian

Índice general

Ficha de identificación	6
Dedicatoria	7
Agradecimientos	8
Índice general	9
Índice de tablas.....	11
Índice de figuras	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes de la investigación.....	17
2.2. Fundamentos teóricos	22
2.2.1. Suelo.....	22
2.2.2. Macrofauna Edáfica.....	24
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	29
3.1.1 Contexto de la investigación.....	29
3.1.2 Periodo de ejecución	30
3.1.3 Autorizaciones y permisos.....	30
3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad	30
3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales	31
3.2. Sistema de variables.....	31
3.2.1 Variables principales	31
3.3 Procedimientos de la investigación	31
3.3.1 Ubicación de las parcelas.....	31
3.3.2 Recolección de muestras	32
3.3.3 Métodos de análisis físico químicos	33
3.3.4 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	33
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. Composición de la macrofauna edáfica en su abundancia, densidad específica, distribución vertical y grupos funcionales	35

4.2. Parámetros de biodiversidad de los grupos taxonómicos de la macrofauna edáfica en los diferentes usos de suelo.....	42
4.3 Componentes principales que caractericen a los diferentes usos de suelos con relación a la macrofauna edáfica	44
4.4 Características fisicoquímicas del suelo por cada tipo de uso.....	45
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXOS.....	55

Índice de tablas

Tabla 1 Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio en el distrito de Soritor.	29
Tabla 2 Descripción de los sistemas de uso de suelo investigadas.	30
Tabla 3 Variables fisicoquímicas a estudiar	33
Tabla 4 Número de individuos colectados de las diferentes unidades taxonómicas según el uso del suelo	35
Tabla 5 Cantidad promedio de macrofauna/m ² hallado por cada uso de suelo	37
Tabla 6 Distribución vertical de la densidad de la macrofauna edáfica	39
Tabla 7 Distribución de la macrofauna edáfica según grupo funcional	41
Tabla 8 Riqueza específica, Índice de diversidad, Equitatividad y Dominancia de la macrofauna edáfica del suelo en diferentes sistemas de uso	42
Tabla 9 Características físicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.	45
Tabla 10 Características fisicoquímicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.	45

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación de los puntos de muestreo	29
Figura 2 Diseño de parcela de 1000 m ² para la toma de muestra.....	32
Figura 3 Monolito dividido en estratos.....	33
Figura 4 Número de individuos colectados de las diferentes unidades taxonómicas según el uso del suelo	36
Figura 5 Cantidad promedio de macrofauna /m ² hallado por cada uso de suelo	38
Figura 6 Distribución vertical de la densidad de la macrofauna edáfica	40
Figura 7 Distribución de macrofauna edáfica según grupo funcional	41
Figura 8 Riqueza específica de la macrofauna edáfica.....	43
Figura 9 Índice de diversidad de la macrofauna edáfica.....	43
Figura 10 Equitatividad de la macrofauna edáfica.....	43
Figura 11 Dominancia de la macrofauna edáfica.....	43
Figura 12: Relación entre los diferentes usos de suelo con grupos taxonómicos.....	44

RESUMEN

Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín

Esta investigación se planteó como objetivo evaluar el efecto de diversas prácticas de manejo del suelo sobre la macrofauna edáfica del distrito de Soritor- Moyobamba, para lo cual se utilizó el método de muestreo propuesto por el "Tropical Soil Biology and Fertility" (TSBF). La densidad total más abundante de la macrofauna edáfica se registró, en forma decreciente, bosque secundario (7 363,2 ind/m²), cafetal (7 152,0 ind/m²), cacaotal (6 937,6 ind/m²) y maíz (3 038,4 ind/m²). Las categorías taxonómicas de mayor concentración se registraron en el cacaotal, con la familia Formicidae (5 100,8 ind.m⁻²) y orden Coleóptera (828,8 ind.m⁻²), la cantidad mínima se registró en café y cacao, orden Zygentoma (3,2 ind.m⁻²) y orden Orthoptera (3,2 ind.m⁻²). El análisis de componentes principales posibilitó la visualización del efecto de cuatro usos de suelo sobre la macrofauna edáfica, se diferencian tres patrones: donde el cultivo de Cacao presenta valores mayores de Oligochaetas, Formicidae, Isóptera, Araneae e Isópoda; en el cultivo de maíz y bosque secundario la mayor abundancia de: Lepidóptera, Heteróptera, Blattodea y Homóptera; en el cultivo de Café presenta valores mayores de: Coleóptera y Chilopoda. La macrofauna edáfica se ve influenciada por la Materia Orgánica, en el suelo del cultivo de maíz se registra un pH medianamente ácido y con menor porcentaje de Materia Orgánica (MO 13,8%), los cultivos de cacao, café y el bosque secundario son medianamente básicos, y el mayor porcentaje de Materia Orgánica se registra en el bosque secundario (MO 46,0%), los valores de nitrógeno son los deseables en los cuatro usos de suelo y se relacionan con el porcentaje de Materia Orgánica, finalmente, el suelo del cultivo de maíz, mostró valores fisicoquímicos y de macrofauna edáfica menores, en relación a los otros usos de suelo estudiados.

Palabras clave: Macrofauna edáficos, fertilidad edáfica, aprovechamiento de la tierra.

ABSTRACT

Effect of land use on the edaphic macrofauna in the district of Soritor, department of San
Martin

The objective of this research was to evaluate the effect of different soil management practices on the edaphic macrofauna of the Soritor-Moyobamba district, using the sampling method proposed by the Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF). The most abundant total density of edaphic macrofauna was recorded, in decreasing order, secondary forest (7 363.2 ind/m²), coffee plantation (7 152.0 ind/m²), cacao plantation (6 937.6 ind/m²) and corn (3 038.4 ind/m²). The taxonomic categories with the highest concentration were recorded in cacao plantations, with the family Formicidae (5 100.8 ind.m⁻²) and order Coleoptera (828.8 ind.m⁻²), the lowest amount was recorded in coffee and cocoa, order Zygentoma (3.2 ind.m⁻²) and order Orthoptera (3.2 ind.m⁻²). The principal component analysis allowed the visualization of the effect of four land uses on the edaphic macrofauna, three patterns are differentiated: where the Cacao crop presents higher values of Oligochaetes, Formicidae, Isoptera, Araneae and Isopoda; the corn crop and secondary forest the highest abundance of: Lepidoptera, Heteroptera, Blattodea and Homoptera; the cultivation of Coffee presents higher values of: Coleoptera and Chilopoda. The edaphic macrofauna is influenced by the organic matter, the soil of the corn crop shows a medium acid pH and a lower percentage of organic matter (OM 13.8%), the cocoa, coffee and secondary forest crops are medium basic, and the highest percentage of organic matter is recorded in the secondary forest (OM 46.0%), nitrogen values are satisfactory in the four soil uses and are related to the percentage of organic matter. Finally, the corn soil showed lower physicochemical and edaphic macrofauna values in relation to the other soil uses studied.

Keywords: Edaphic macrofauna, edaphic fertility, land use.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El suelo es esencial para la subsistencia en el mundo; la creciente demanda de alimentos, el cambio climático y la degradación del suelo, consecuencia de las actividades humanas, están ejerciendo una presión insostenible sobre este recurso, impactando significativamente en la biota, modificando su composición; es así que se establece la apremiante necesidad de desarrollar sistemas agrícolas sostenibles, capaces de mantener una producción a largo plazo sin poner en riesgo la estructura y función de este recurso.

Una de las consecuencias de la situación descrita se observa en el rendimiento de los cultivos, que van disminuyendo a medida que avanza la degradación. Con la expansión de la frontera agrícola el uso del suelo se modifica, pasando de ser apto para cultivo a destinarse al pastoreo; posteriormente, se cubre de vegetación no deseada y, por último, se vuelve árido, lo que conlleva cambios en la biota asociada (Encina e Ibarra, 2000 y FAO, 2015).

La macrofauna edáfica (más de 2,0 mm) es pieza clave en la fertilidad del suelo y contribuye a la sostenibilidad de los sistemas agroecológicos, promoviendo un aumento en la actividad de la materia orgánica y modificaciones en ciertas propiedades físicas del suelo. Es así como, diversos autores utilizan estos especímenes como bioindicadores de la aptitud o alteraciones del suelo, ya que son susceptibles a los distintos usos y manejos de este.

En nuestro país, la actividad agraria y el manejo de los recursos naturales se realiza principalmente por pequeños y medianos agricultores que forman parte de la población más sensible a las consecuencias de las alteraciones climáticas; la pobreza de estos, en nuestra región, se debe en parte a la subutilización y degradación de los recursos naturales producto de la introducción de prácticas agrícolas que crean un desequilibrio negativo entre los procesos de recuperación y renovación, por lo que se debe promover y lograr una agricultura sostenible (MINAGRI, 2020).

De acuerdo con Altieri (1995), la Amazonía es uno de los entornos naturales más intrincados, en el cual interactúan la flora, fauna, aire, suelo y agua; manteniendo un equilibrio ambiental a través de la riqueza del suelo, la regulación natural de las plagas mediante sus depredadores naturales, la actividad continua de una comunidad macro y microbiana en el suelo y los rendimientos sostenidos de los sembríos. Al respecto, Barros *et al.* (2002) y Lavelle *et al.* (2003). citado por Cabrera (2019), afirman que los cambios en

el uso de suelos y como resultado, los cambios en la capa superficial vegetal en la región han ocasionado modificaciones en la macrofauna edáfica.

En la localidad de Soritor se ha identificado suelos aptos para el cultivo limpio, que incluyen aquellos que cuentan con las óptimas condiciones físicas, químicas y topográficas, para permitir el cultivo extensivo de variedades de ciclo productivo corto. El uso intensivo de estos suelos está mayormente limitado por las crecidas de los ríos, que se dan usualmente durante la época de lluvias. Además, abarca aquellos suelos que restringen su idoneidad para sembríos anuales, empero permiten la labor agrícola en especies perennes. Las restricciones de esta categoría incluyen la baja fertilidad, a menudo acentuada por concentraciones elevadas de aluminio y bajas concentraciones de nutrientes, lo que puede resultar en una exigua productividad (López, 2012). Situación descrita que debe atenderse también con un monitoreo y evaluación de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los diferentes usos de suelo.

Problema general: ¿Cuál es el efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor? Problemas específicos: ¿Cuál es la estructura y composición de la macrofauna edáfica en diferentes usos de suelos?, ¿Cuáles son las familias taxonómicas predominan en los diferentes usos de suelos?, ¿Cuáles son los grupos dominantes que distinguen los distintos usos del suelo en términos de la composición de la macrofauna edáfica? ¿Cómo se relacionan las propiedades fisicoquímicas del suelo con la macrofauna edáfica en cada tipo de uso de suelo?

Propósito principal: Investigar el impacto de la intensidad de uso del suelo en la fauna del suelo en el distrito de Soritor, provincia de Moyobamba. Metas específicas: Analizar la fauna de la capa superficial del suelo y como está constituida en términos de abundancia, densidad específica, distribución vertical y grupos funcionales. Establecer los índices de biodiversidad de los taxones de la macrofauna edáfica en los distintos usos del suelo. Identificar los principales componentes que distinguen a los diferentes tipos de suelo en términos de su macrofauna edáfica. Analizar las conexiones entre las propiedades químicas y físicas del suelo y la macrofauna edáfica en cada categoría de uso de suelo,

Hipótesis General. La estructura funcional, abundancia, diversidad y riqueza de la fauna del suelo en el distrito de Soritor se ven afectados por la perturbación y la falta de retorno suficiente de materia orgánica al suelo debido al uso de este.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

Cabrera (2019), en su estudio, "Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicadores del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba", concluye que, la diversidad, la abundancia y la riqueza familiar son mayores en sistemas equilibrados y arbóreos (bosques y sistemas agrícolas-forestales) y limitados en sistemas alterados y simplificados (pastizales, cañaverales, cultivos diferentes y ecosistemas urbano-agrícolas), lo que muestra la repercusión negativa del cambio y la intensificación del uso del suelo en la macrofauna. La función de la macrofauna, particularmente la disminución de organismos saprófagos confirma el grado de conservación/alteración en los ecosistemas investigados. La reducción de los principales índices de biodiversidad de la macrofauna, junto con la disminución de las diferentes especies de saprófagos, se correlaciona con un elevado deterioro del suelo en estas áreas.

Escobar, Bartolomé y González (2017), en su investigación "Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua", concluyen que, habitan una gran variedad de macrofauna en el ecosistema boscoso en comparación con los entornos pecuarios analizados. No obstante, estas discrepancias carecen de relevancia según los análisis estadísticos llevados a cabo en esta investigación, que se vincula con las particularidades del suelo en cuanto a pH y materia orgánica. El sistema silvopastoril presentó una gran diversidad de especies en paralelo con los ecosistemas boscosos y potrero tradicionales. Entre las características de suelo analizadas, se evidencia que la acidez y basicidad jugó un papel crucial en la biodiversidad de especies, mientras que el Cu y el P tendrán impacto en la biodiversidad de especies en los tres tipos de áreas estudiados en la microcuenca Tomabú

Criollo, (2017), en su investigación, "Macrofauna edáfica de dos sistemas pecuarios, en el distrito de conservación de suelos Corpoica – Tibaitata", concluyen que, los sistemas evaluados, exhiben una marcada disparidad en la diversidad de macrofauna hallada. En contraste con los biomas de praderas (2 clases y 3 órdenes), los sistemas silvopastoriles presentan una considerable variedad de macrofauna (2 clases y 12 órdenes), gracias a la presencia de una mayor cantidad de especímenes de artrópodos, que realizan una labor de control de poblaciones problemáticas y portadores de enfermedades. Además, los

bioindicadores encontrados no incluyen las morfoespecies de hormigas y termitas reportadas por diversos autores como indicadores de un buen estado de los sistemas, lo que sugiere que los suelos están degradados; se descubrió también una cantidad considerable de larvas de saprófagos y coleópteros, los cuales desempeñan roles ecológicos relevantes. Estos hallazgos constituyen el cimiento para futuras investigaciones destinadas a evaluar el empleo de bioindicadores.

Suárez, Duran y Rosas (2015), en su investigación, “Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana”, concluyen que, se observa una influencia significativa de las lluvias en la biodiversidad y abundancia de los distintos taxones de macrofauna edáfica en la Amazonía colombiana, mostrando resultados más reducidos durante el periodo de menor lluvias. Por la compleja estructura del arreglo del sistema agroforestal AB, conserva una mayor diversidad, incluso en periodo de sequía. Taxones representativos se presentaron en algunas unidades agroforestales, como Rafidiópteros y Homópteros. Esta circunstancia está asociada con la estructura agroforestal que promueve la retención de humedad debido a la aportación de biomasa por parte de los grupos de individuos que forman el dosel y su distribución geográfica. Esto, a su vez, se vincula con una notable cantidad de especies por metro cuadrado en estos sistemas agroforestales, sin importar la fecha en que se realice el registrado.

Cabrera, Robaina y Ponce (2011), en su investigación, “Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos del suelo en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba”, concluyen que, el aprovechamiento de bosques intervenidos presentó resultados elevados de biomasa, densidad y riqueza de taxones de macrofauna edáfica, en línea con un mayor equilibrio y una menor actividad humana, al no estar afectados por actividades de pastoreo, ni cultivos continuos; en comparación con los otros tipos de uso. Los valores de uso para pastos, diferentes cultivos y cañaverales fueron más bajos, lo que indica niveles moderados a altos de antropización debido al pastoreo y al cultivo continuo. Los resultados de la densidad, biomasa y diversidad de taxones de la macrofauna del suelo mostraron los niveles de alteración del ambiente edáfico debido al uso intensivo.

Rendón et al. (2010), en su investigación, “Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pastos y Aguacate”, concluyen que, la diversidad de macrofauna edáfica en sembríos de mora, pastos y aguacate se modificó debido a las condiciones climáticas específicas, la profundidad del suelo y el manejo histórico de éste, especialmente la cantidad de lluvia. Se encuentra una mayor densidad de macrofauna a 10 cm de profundidad del suelo y esta va disminuyendo a medida que se excava. Las poblaciones de macrofauna edáfica disminuyeron con el aumento de las lluvias y el

incremento de la resistencia que ofrece el suelo al paso de la raíz., mostrando sensibilidad a las modificaciones en la resistencia a la penetración del suelo.

A nivel nacional

Sánchez (2018), en su investigación, “Evaluación de la macrofauna del suelo en cuatro diferentes sistemas de uso, en el distrito las Piedras, provincia de Tambopata, departamento Madre de Dios”, En los cuatro sistemas de uso, se han encontrado 16 órdenes de macroinvertebrados por metro cuadrado, destacando Himenóptera con 731 individuos por metro cuadrado como el grupo más numeroso. El pastizal presentó una mayor cantidad de masa orgánica, con una media de 20,26 g de macroinvertebrados por metro cuadrado, seguido por el sistema agroforestal con 11,06 g. En el sistema agroforestal se halló una mayor concentración de macrofauna, con 414,5 individuos por metro cuadrado; continuando con 115,75 individuos por metro cuadrado encontrados en el pastizal. La presencia de la macrofauna edáfica se ve afectada por la concentración de potasio y la capacidad de intercambio catiónico del suelo, y la población es más importante a medida que aumentan estos factores. Además, se descubrió una correspondencia entre la cantidad de taxones de la macrofauna edáfica y su capacidad de intercambio catiónico. Se aprecia una correlación lineal entre la abundancia de la macrofauna edáfica y el Índice de Shannon, constatándose que la biomasa de los macroinvertebrados edáficos es menor cuando el índice de diversidad es más elevado.

Vilca (2018), en su investigación, “Influencia de los sistemas de producción en la diversidad de macrofauna edáfica en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Amazonas”, concluye que, en los sistemas evaluados, se evidencia cómo los diversos usos del suelo influyen en la macrofauna edáfica. El sistema de bosque primario presenta el mayor número de familias, con un total de 23. A continuación, se encuentra el pastizal, constituido por 22 familias, y por último tenemos a los sistemas agroforestales (eucalipto y pino) constituidos por 17 y 19 familias, respectivamente. Y en contraste con los otros sistemas evaluados, en el bosque primario se hallaron más familias compartidas. En el diagrama de dispersión multivariante (biplot) elaborado con el índice Jaccard, se notó una coincidencia relevante entre la presencia de algunos taxones de macrofauna y las trampas instaladas. Además, en el biplot desarrollado con el índice de Bray-Curtis, se identificó que, en cada uno de los sistemas evaluados, seis familias son predominantes: Hypogastruridae, Formicidae, Isotomidae, Locustidae, Cicadellidae y Phoridae.

Zavaleta (2019), en su investigación, “Macrofauna y propiedades físico y químicas de los suelos en cultivo de café del distrito de Jepelacio – Moyobamba” concluye que, en el distrito de Jepelacio los suelos que exhibieron mayor densidad de taxones de macrofauna edáfica

y abundancia, son aquellos con un contenido elevado e intermedio de materia orgánica (% de MO), donde se encuentran los grupos taxonómicos también conocidos como "Ingenieros del suelo" (Oligochaeta, Isóptera y Formicidae), además de los herbívoros (Homóptera y Heteróptera) y depredadores (Araneae). En los suelos de densidad aparente alta y bajas concentraciones de magnesio, calcio y potasio, prevalecen los detritívoros (Isópoda y Gastrópoda), mientras que en los suelos con escasa concentración de materia orgánica (% MO) sobresalen los depredadores (Araneae). En todas las fincas estudiadas, se registra una baja diversidad y una distribución poco uniforme de grupos taxonómicos en los distintos tipos de suelo.

Tuesta (2015), en su tesis, "Evaluación de la Macrofauna del Suelo en Diferentes Sistemas de Uso en el Distrito de Nuevo Progreso", concluye en que, la mayor densidad de macroinvertebrados del suelo se encontró en el plantío de cacao, con un total de 899 individuos por metro cuadrado, continuando con el plantío de maíz con 894 individuos/m², seguido del bosque secundario con 881 individuos/m² y, finalmente, el plantío de cocona con 700 individuos/m². Los taxones Formicidae, Oligochaeta e Isóptera fueron los más abundantes y similares, tanto en el plantío de maíz como en el bosque secundario. La diversidad de los macroinvertebrados edáficos fue mayor en el bosque secundario y menor en el plantío de maíz.

Castillo (2016), en su investigación, "Diversidad y abundancia de macrofauna edáfica en tres sistemas de uso de suelo Illpa-Puno", concluye que, en el sistema de vegetación natural se encontraron 909 especímenes, mientras que en el sistema de plantíos se contabilizaron 454 especímenes y en el sistema de pastoreo se registraron 305 especímenes. La evaluación de los sistemas de uso del suelo y la abundancia mostró diferencias entre los sistemas de pastoreo y vegetación natural, con variaciones relevantes en los datos obtenidos.

Torres (2015), en su tesis titulado, "Macroinvertebrados del Suelo en Cuatro Unidades Agroecológicas de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región San Martín", Se concluye que no hay diferencia significativa en términos de riqueza, distribución vertical, biomasa y densidad de edafofauna presentes en el cultivo de cacao. En las cuatro unidades agroecológicas (Chirapa, Soledad, Metilluyoc y Campanilla), se identificaron 6 phylum y 30 grupos taxonómicos. Los grupos taxonómicos más densos fueron haplotaxida (1 740 individuos/m²), Isoptera (3 685 individuos/m²) e hymenoptera (10 958 individuos/m²). La mayoría de los órdenes taxonómicos recogidos se distribuyen preferentemente entre la capa orgánica (Horizonte 0) y la capa superficial (Horizonte A) del suelo. En la unidad agroecológica de Soledad, se produjo una mayor densidad de macroinvertebrados debido

a las condiciones propicias que ofrece, tales como la presencia de cobertura vegetal (*commelinia* sp.) y especies forestales que contribuyen a un microclima adecuado, desarrollando así una mejora en las propiedades del suelo, con un pH promedio de 6,52 y un porcentaje de material orgánico de 3,96 %.

Saldani (2013), en su investigación, "Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción ganadera en el distrito de Palcazú, Iscozacín", concluye que, la mayor riqueza no está en los pastizales mejorados con presencia de bioma forestal, en comparación con los otros tres tipos de suelo. Los que presentaron la densidad más alta de macrofauna edáfica fueron los suelos de los pastizales mejorados sin presencia de bioma forestal y el pastizal natural con presencia de bioma forestal, con 159 y 151,5 individuos por metro cuadrado respectivamente. La cantidad más alta de edafofauna presente en cada uno de los sistemas evaluados se halló a una profundidad de entre 0 a 10 cm, resaltando el pastizal mejorado sin presencia de bioma forestal (546 individuos/m²), mientras que en el pastizal natural sin presencia de bioma forestal surgió la menor densidad (70 individuos/m²). El pastizal natural con presencia de bioma forestal presentó la máxima biodiversidad de acuerdo con el índice de Shannon (H'), con un valor de 1,403; en contraste con el sistema menos diverso que fue el de pastizales mejorados sin presencia de bioma forestal, con un valor de H'=0,673. Las categorías taxonómicas más abundantes en cada una de las unidades de estudio fueron los órdenes Orthóptera, Hymenóptera y Haplotáxida.

Reátegui (2009), en su investigación, "Efecto de los sistemas de uso en los macroinvertebrados del suelo bajo cinco condiciones en el distrito de Rupa Rupa" reporta que, se observa una mayor densidad (individuos/m²) en el plantío de cacao, mientras que la mayor biomasa (g/m²) se encuentra en los pastizales. La mayor biodiversidad se localiza en el bosque de reserva natural (H' = 1.68), lo que sugiere que, la diversidad está distribuida más equitativamente. El plantío de cacao presentó la mayor diversidad, mientras que el sistema de uso con suelos degradados mostró la menor diversidad. Se identificaron una vez unidades taxonómicas, siendo la subclase Oligochaeta, los órdenes Isópoda e Hymenoptera y la Infraorden Isóptera las más predominantes en cada unidad de estudio.

Pashanasi (2001), en su investigación, "Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso del suelo en la Amazonía peruana", se informa que las comunidades de macroinvertebrados en Pucallpa y Yurimaguas se vieron afectadas por las variadas prácticas de manejo y uso del suelo. Tanto los bosques primigenios como los intervenidos exhiben una biodiversidad que se asemeja a la de las purmas, con una

densidad que fluctúa entre los 382 a 853 ind/m² y una biomasa que oscila entre los 58 a 92 g/m². La deforestación y los cultivos continuos provocaron una rápida disminución en el número de especímenes de edafofauna. En áreas con sembríos anuales y bianuales, en comparación con los bosques primigenios, la biomasa disminuyó un 56,1% en Yurimaguas y en Pucallpa hubo una variación de la pérdida entre el 6,0% al 35,9%. Además, aproximadamente la mitad de los especímenes de los diferentes taxones de edafofauna habían desaparecido.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Suelo

2.2.1.1. Conceptualización de suelo:

De acuerdo con Fuentes (2009), la palabra suelo proviene del término latino 'solum', que se refiere a las capas superficiales de la tierra, compuesto por moléculas orgánicas y minerales que se forman a través de procesos de atomización ocasionados por acción directa del agua o el viento, o la conjunción de éstos. Así mismo, Gerrard (1998), sostiene que los principales elementos constituyentes del suelo son materiales inorgánicos, en su mayoría resultado de la meteorización de rocas de origen o de otros materiales matriz. Estos componentes se distinguen del material matriz debido a sus diferentes morfologías, propiedades físicas, químicas, mineralógicas y características biológicas.

El suelo es uno de los entornos más complejos y variados de la naturaleza, albergando innumerable variedad de especímenes que se relacionan entre sí y aportan a los principales ciclos biogeoquímicos. No existe otro entorno que contenga mayor densidad de especies como la que se encuentra en los suelos; sin embargo, esta biodiversidad apenas se comprende, ya que gran parte de ella permanece oculta bajo tierra y es casi invisible para el ojo humano (FAO, 2015a).

2.2.1.2. Uso del suelo

La explotación antrópica de los suelos, mediante diferentes actividades agrícolas, ganaderas, forestales y otros usos del suelo de manera sostenible. A lo largo del tiempo, el uso del suelo puede ejercer un impacto importante en el mismo, ya sea de manera constructiva o destructiva (Durang et al., 1998).

2.2.1.3. Sistemas de clasificación de la capacidad de uso del suelo

La categorización de los suelos según su aptitud de uso se fundamenta en la interacción de factores como el clima, sus características físicas y químicas permanentes, potencial

de producción, limitaciones de uso, riesgos de degradación y necesidades de manejo. Esta clasificación agrupa los suelos en función de las características superficiales del terreno y las propiedades del suelo que pueden ser evaluadas mediante la observación y el tacto, dividiéndolos en tres categorías: suelos, clases, subclases y unidades (Vargas, 1999).

La clasificación de los suelos según las Categorías de Uso Actual, empleando la sistematización propuesta por la Unión Geográfica Internacional (UGI), en la zona de intervención se distingue la siguiente distribución: Centros poblados y áreas no agrícolas asociados, Bosques, Cultivos, Pastos y terrenos improductivos.

2.2.1.4. Calidad del suelo: Propiedades Físicas y Químicas

Se refiere a las propiedades del suelo, es decir, los aspectos biológicos, químicos y físicos; y las intrínsecas relaciones entre éstos. Por lo tanto, para comprender la integridad de la composición del suelo, es necesario medir cada una de las características relevantes. Sin embargo, no todas las características son igualmente importantes a evaluar en cada tipo de suelo. Las propiedades físicas del suelo se enfocan principalmente en aspectos como la resistencia mecánica, la conductividad del agua y la retención de agua en la zona de investigación radicular (Topp et al., 1997).

La riqueza orgánica y mineral del suelo, ya sea natural o mejorada por intervención antrópica, se refiere a la disponibilidad, cantidad y asimilación de nutrientes necesarios para satisfacer las exigencias de la vegetación, lo cual requiere de la ausencia de componentes nocivos que vayan a impedir o limitar el rendimiento del suelo. (Gauthier, 1971). En términos generales, la riqueza orgánica y mineral, conocida como fertilidad, combina las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo (Pieri, 1989), que requiere agua, nutrientes y actúa como medio de crecimiento de las plantas.

Todas las plantas superiores, incluyendo el café y el cacao, precisan de nutrientes esenciales, de dieciséis a más, para su crecimiento. Según su origen, se pueden clasificar en nutrientes minerales (encontrados en su mayoría en las capas superficiales de la tierra, mismos que son consumidos por la flora circundante a través de sistemas radiculares) y no minerales (principalmente de la atmósfera y el agua). Según el requerimiento cuantitativo, los minerales se pueden clasificar en macro o elementos principales (Fósforo, Potasio, Nitrógeno, Magnesio, Calcio y Azufre) y micro o elementos secundarios (Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Zinc, Cloro y Boro). Además, es común clasificar al P, K y N como nutrientes principales, mientras que el S, Mg y Ca se consideran nutrientes secundarios (Havlin et al, 1999). Dora y Park mencionados por Cabrera G. (2014) precisan

que la calidad del suelo está referida al potencial intrínseco de este recurso para apoyar al desarrollo de la vegetación y por ende a la productividad de los diversos entornos, dependiendo para ello de las propiedades biológicas, físicas y químicas presentes. Para analizar la calidad o condición del suelo, los macroinvertebrados del suelo pueden ser considerados como uno de los elementos biológicos que determinan dicha condición. Estos organismos realizan funciones y servicios ecológicos muy importantes, como la descomposición del material orgánico, el ciclo de nutrientes y la transformación estructural del suelo. Estas medidas aseguran la calidad y riqueza del suelo en los diferentes ecosistemas. (Brown et al., 2001).

2.2.2. Macrofauna Edáfica

La biodiversidad del suelo, generalmente se clasifica según su longitud, basado en esta característica, la macrofauna se clasifica como aquellos individuos cuyo tamaño es mayor a 1cm (Wallwork, 1970), también se define a la macrofauna como aquellos cuyo tamaño sobrepasa los 2 mm (Lavelle et al., 1993). Un Informe presentado por IBOY (International Biodiversity Observation, 2000), como el conjunto de grupos de invertebrados entre los que del 90% de los individuos son visibles a simple vista, residen durante su ciclo vital completo o en ciertas etapas de su ciclo biológico en el interior del suelo, en la capa superficial de este, o en la broza que conforma el mantillo del suelo; en contraste a otros invertebrados de menor tamaño que conforman la mesofauna (con tamaños de entre 0,2 a 2 mm) y la microfauna edáfica (con tamaños menores a 0,2 mm) (Brown et al., 2001).

Estos seres vivos desempeñan diversas funciones en el ecosistema y pueden ser categorizados en diferentes grupos taxonómicos utilizando variadas clasificaciones funcionales (según Linden, 1994).

La macrofauna edáfica más frecuente se clasifica en: Filo Annelida, clase Clitellata y orden Oligochaeta; Filo Arthropoda, subfilo Chelicerata, clase Arachnida y orden Araneae; Filo Arthropoda, clase Insecta, subclase Pterygota y ocho órdenes: Orthoptera, Isoptera, Homoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Diptera, Dictyoptera (superorden) y Coleoptera; Filo Arthropoda, subfilo Crustacea y orden Isopoda; Filo Arthropoda, subfilo Myriapoda, clases: Diplopoda y Chilopoda; Filo Nematoda, con la clase Adenophorea y orden Mermithida; Filo Mollusca con la clase Gastropoda (Zerbino, 2010).

2.2.2.1. Grupos Funcionales de la Macrofauna Edáfica

Existen diferentes propuestas de categorización de los grupos funcionales, cuya finalidad es simplificar la compleja red alimentaria del entorno edáfico, dentro de éstas tenemos a

la clasificación que segmenta la Edafofauna según su comportamiento alimentario. Los herbívoros que consumen diferentes partes de las plantas, los carnívoros que se alimentan de otros individuos y los saprófagos o detritívoros que consumen material orgánico en descomposición de fuentes animales y vegetales, incluidas las secreciones de invertebrados y vertebrados, los microorganismos presentes en la fuente, y otros subproductos vegetales (FAO, 2002).

A continuación, se describen las clases de invertebrados que componen la macrofauna edáfica más común en el suelo y sus diversas funciones. Estos detalles provienen de hallazgos en Cuba descritos en un tratado sobre Edafofauna como indicadores biológicos de la capacidad o condiciones del suelo (Cabrera, 2014).

Las relaciones biológicas entre los conjuntos de funciones desempeñan un papel en el control de los procesos del suelo. Cuando estas interacciones son intrincadas, es muy posible que las consecuencias secundarias en la regulación de las funciones ecológicas sean de gran relevancia (Price, 1988). Debido a la influencia ejercida por los invertebrados herbívoros, se modifican la calidad y cantidad de elementos disponibles que entran al suelo, impactando en las funciones de los detritívoros y depredadores presentes. De acuerdo con Moore, citado por (Zerbino, 2005), se detallan a continuación estos efectos:

- **Herbívoros**

Las órdenes de mayor relevancia son: Coleópteros, Himenópteros, Ortópteros. Los ejemplares herbívoros del orden Coleóptera están presentes en cuatro familias, como son: Chrysomelidae, Curculionidae, Elateridae, Scarabaeidae. En cualquier etapa de su ciclo biológico son elementos constantes en la biodiversidad. Algunas especies son cavadoras diligentes durante todo su ciclo vital o en ciertas etapas de ésta, mientras que otras residen entre la hojarasca y la vegetación baja.

- **Detritívoros**

Esta categoría incluye varios taxones; en su mayoría son especímenes de oligoquetos, anfípodos, isópodos e individuos de los órdenes Díptera, Dictyoptera, Coleóptera y Blattodea (Isóptera). Los especímenes carroñeros, con la excepción de los isópteros, generalmente producen cambios químicos de poca relevancia en los desechos; el cambio físico es la causa del mayor efecto a través del pequeño tamaño de las partículas.

- **Depredadores**

Son organismos que obtienen su alimento al cazar, atrapar y consumir a otros organismos vivos, está integrado por individuos pertenecientes al Filo Nematoda, a las clases Chilopoda y Arachnida y a las órdenes Hymenoptera, Coleóptera y Hemíptera.

2.2.2.2. *Relación macrofauna edáfica hábitat*

En el suelo, los distintos organismos forman intrincadas y diversas comunidades que en conjunto aportan una amplia gama de funciones vitales que permiten el adecuado funcionamiento de múltiples hábitats: participan del reciclaje ecológico, controlan los constantes intercambios de material orgánico, capturan CO₂, y regulan la liberación de estos y otros gases, alteran las propiedades físicas del suelo y su composición y eliminan el equilibrio del agua y la degradación del suelo por erosión (Anderson, 1993). Mediante la reubicación de material orgánico y microorganismos, la combinación del suelo con moléculas orgánicas y la generación de excrementos esféricos, se generan mejoras en la formación de agregados. Además, alteran la oxigenación y penetración de agua, así como la textura, mediante la excavación de pasadizos y la incorporación en la superficie de suelo procedente de capas más profundas (Curry, 1987; Curry y Good, 1992 citado por Saldani, 2013).

Curry (1987) y Lavelle (2001) citado por Zerbino (2005), sostienen que el clima ha ejercido la influencia más significativa en los cambios y transformaciones evolutivas a través del tiempo, dando forma a la composición y características de la vegetación, así como a la disposición y cantidad de los invertebrados. La variedad y la funcionalidad de numerosos conjuntos están limitadas por climas específicos. Mientras que las termitas se encuentran principalmente en climas tropicales y subtropicales, las lombrices son típicas de zonas templadas.

Para Curry y Good (1992), las características fisicoquímicas del suelo inciden directamente en la vida animal presente, influidas por factores como el nivel de material orgánico, humedad, pH, la estructura del material particulado y la cantidad de oxígeno presente. Indirectamente, también influyen en la fauna a través de su impacto en la vegetación. Del mismo modo, se observa una confirmación positiva entre la densidad de Coleópteros y Oligoquetos y los niveles de nitrógeno, en sus formas orgánicas e inorgánicas presentes, así como de carbono orgánico (Morón y Zerbino, 2003).

La disposición del suelo influye en la distribución de la fauna; se observa una conexión evidente y beneficiosa entre la cantidad de poros y sus dimensiones, así como de los especímenes colonizadores. Los macroinvertebrados de mayor tamaño ocupan los espacios porosos repletos de aire del suelo. En general, los colectivos que moran en el suelo tienden a favorecer ambientes húmedos. En relación con las propiedades químicas, aunque existen diferencias diversas en cuanto al pH, gran parte de los especímenes no toleran la acidez del suelo y evitan ello. (Hendricks, 1985). Zerbino y Morón (2003), Se

constató que la cantidad de Coleópteros y Oligoquetos presenta una confirmación positiva con la presencia de carbono orgánico y nitrógeno total. Además, tanto la diversidad taxonómica total como la población de Coleópteros y Oligoquetos aumentarán de manera significativa en respuesta al aumento de los niveles de potasio en el suelo.

Terrenos con elevados niveles de bases, adecuada capacidad de drenaje y una distribución de materia orgánica en forma de 'mull' en el perfil, sostienen poblaciones densas de lombrices. En contraste, en suelos con cantidades modestas de material orgánico, conocidos como 'mor', las comunidades están compuestas mayormente por artrópodos diminutos y anélidos oligoquetos que ocupan las capas superficiales (Lavelle y Spain, 2001). Decäens et al. (2001) en Colombia, en su estudio encontró que, suelos limosos en proporciones elevadas (63%), con concentraciones significativas de Magnesio (0,2 mEq/100 g) y Potasio (0,1 mEq/100 g) albergaban poblaciones abundantes y diversidad taxonómica alta de macrofauna. Además, se identificó que los grupos Myriapoda, Cicadidae, Dictyóptera e Isópoda mostraron una biomasa considerable, mientras que Oligochaeta, Formicidae, Isóptera y Myriapoda presentaron densidades poblacionales elevadas.

2.2.2.3. *Prácticas de manejo*

Browns et al. (2001), indican que, A partir del instante en que un ecosistema natural se altera para llevar a cabo prácticas agrícolas, las transformaciones más notables se manifiestan en las características del suelo y en la cantidad, biomasa y variedad de los organismos edáficos. Las poblaciones existentes serán influenciadas por la magnitud de la diferencia impuesta en comparación con el estado original del ecosistema, y por la capacidad de los seres vivos para ajustarse a dichas modificaciones

Igualmente, la macrofauna del suelo reacciona al tratamiento (rotación de cultivos, técnicas de labranza, aportes de material orgánico fresco, etc.) debido a las alteraciones físicas ocasionadas, a la forma en que se dispusieron los restos orgánicos y a la composición de la vegetación existente (Lavelle y Spain, 2001). Adicionalmente, en el estudio de Browns et al. (2001), se señala que, en comparación con otras estrategias de gestión (rotación de cultivos, aplicación de fertilizantes, uso de productos químicos agrícolas, etc.), es el procedimiento de acondicionamiento del suelo el que ejerce las influencias más marcadas en la dispersión y cantidad de artrópodos.

En sistemas agrícolas de cultivos anuales intensivos (como arroz, maíz y soja), es posible observar una degradación gradual del material orgánico y de la integridad estructural del suelo, incrementándose la densidad de este y no permitiendo el pase del agua o el aire. En consecuencia, esto conlleva una disminución notable en la diversidad y robustez de la

población biológica del suelo. La fauna nativa se extingue, las poblaciones de organismos disminuyen en cantidad y variedad, la presencia de depredadores se reduce y se incrementa la probabilidad de que se desarrollen poblaciones significativas de plagas. Este fenómeno ha sido documentado en diversos entornos de climas templados y en una amplia gama de tipos de cultivos (Curry y Good, 1992; Lee, 1985).

2.2.2.4. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo

Navarro et al. (2019) y Stehlíková et al. (2016), manifiestan que el suelo alberga una gran cantidad y variedad de microorganismos, fauna y flora que desempeñan un papel metabólico crucial, necesario para la creación, operación y fecundidad del suelo. No obstante, las distintas formas de manejar los suelos resultan en diversos niveles de incidencia, influyendo sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estos procesos dan lugar a fenómenos como la erosión o compactación de la estructura del suelo, y dan pie a modificaciones de la productividad edáfica.

El sembrío de cacao en la región San Martín, necesita tierras con abundante contenido de materia orgánica, de gran profundidad y con una óptima capacidad de drenaje. Puede desarrollarse en suelos que abarcan desde arcillas densas hasta arenas volcánicas frescas, así como limos. Además, se adapta a rangos de pH que oscilan entre 4 y 7. Presenta una alta flexibilidad en términos de tipos de suelo aptos. Por otro lado, el cultivo del café (*Coffea arábica*) demanda suelos con buena profundidad y drenaje, ricos en materia orgánica. Muestra preferencia por suelos de textura entre arenosa y arcillosa, junto con niveles adecuados de nutrientes según lo mencionado por Ramírez (2007).

En la zona de Soritor se siembra maíz amarillo duro, una planta que se adapta a diversos tipos de suelos. No obstante, su desarrollo óptimo ocurre en suelos francos, franco arcilloso arenosos y franco arcillosos que son de textura media. Específicamente, prefiere suelos profundos, con buen drenaje y estructura, que promuevan el crecimiento de sus raíces. El intervalo adecuado de pH se sitúa entre 6,1 y 7,8. Además, se requiere un contenido elevado de materia orgánica en el suelo (superior al 4%) según lo indicado por MINAGRI en 2015.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1 Contexto de la investigación

3.1.1.1. Lugar de ejecución

El estudio se ejecutó en cuatro áreas de cultivo distintas: plantaciones de café (*Coffea arabica* L.), cacao (*Theobroma cacao*), maíz (*Zea mays* L.) y una zona de bosque secundario. Estas ubicaciones se ubican en el caserío La Lima, en el distrito de Soritor de la provincia de Moyobamba, en la región de San Martín (Figura 1).

Tabla 1

Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio en el distrito de Soritor

Zonas de estudio	Este	Norte	Altitud (m)
Parcela de cacao	-6,119638	-77,047306	922
Parcela de café	-6,119845	-77,047219	923
Parcela de maíz	-6,121797	-77,046077	915
Bosque secundario	-6,119686	-77,046903	918



Figura 1

Ubicación de los puntos de muestreo

3.1.1.2. Zona de vida

El área de Soritor, dado su emplazamiento en la zona de selva (Selva Alta o Rupa Rupa), exhibe tipos de vegetación característicos propios de un bosque tropical húmedo premontano (bh pt).

3.1.1.3. Clima

Soritor tiene un clima tropical con una temperatura promedio de 18-25°, altitud de 808-1551 metros sobre el nivel del mar. El mes más lluvioso de Soritor es marzo, con una media de 87 milímetros de precipitación. Agosto es el mes con menos lluvias en Soritor, con un promedio de 22 milímetros de precipitación (SENAMHI, 2022).

3.1.1.4. Descripción de los sistemas de uso del suelo investigadas.

Tabla 2

Descripción de los sistemas de uso de suelo investigadas.

Uso del suelo	Características
Cacao	El cultivo de cacao es de manejo convencional, en periodo vegetativo de maduración, con 5 años de explotación. Con estado intenso de intervención antrópicas.
Café	El cultivo de café es de manejo convencional, en periodo vegetativo de maduración, con 6 años de explotación. Con estado intenso de intervención antrópicas
Maíz	El cultivo de maíz es de manejo convencional, en periodo vegetativo de crecimiento, con año y medio de explotación. Con estado intenso de intervención antrópicas. Contaminación con agroquímicos.
Bosque secundario	Vegetación secundaria del bosque de premontano. Regenerante natural y parcialmente preservado.

3.1.2 Periodo de ejecución

Según el cronograma fue de 8 meses a partir de la fecha de resolución de ejecución.

3.1.3 Autorizaciones y permisos

No es aplicable

3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Se consideraron las condiciones mínimas para las tomas de muestras y aspectos relacionados con la interacción con las personas.

3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales

El desarrollo de las acciones correspondientes al cumplimiento de la investigación se llevó a cabo con el acuerdo informado de todas las partes participantes en el estudio.

Se adoptaron medidas preventivas para reducir al mínimo los riesgos y asegurar la seguridad de los involucrados en la medida de lo que era factible.

La información personal y los datos recopilados durante la investigación han sido tratados de manera confidencial y respetando la privacidad de los participantes. Se garantizó la confidencialidad de los datos la divulgación sin consentimiento o de manera inapropiada.

Todos los procedimientos se realizaron considerando la sostenibilidad de los recursos, el respeto al entorno, el bien común y el respeto a las personas y sus derechos.

3.2. Sistema de variables

3.2.1 Variables principales

X: Uso del suelo

Indicadores:

- Cultivo de café, cultivo de cacao, cultivo de maíz y Bosque secundario.

Y: Macrofauna edáfica

Indicadores:

- Índices de diversidad biológica: Abundancia, Densidad, Índice de Shannon, Índice de Pielou (Equidad), Índice de Simpson (Dominancia).
- Distribución vertical de la macrofauna edáfica.
- Distribución de la macrofauna edáfica según grupo funcional.

3.3 Procedimientos de la investigación

3.3.1 Ubicación de las parcelas

Para la macrofauna edáfica (especímenes visibles sin la necesidad de usar algún instrumento óptico, con diámetro mayor a los 2 mm y una longitud superior de 10 mm). Se siguió el protocolo de muestreo establecido en el Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF). (Anderson e Ingram, 1993) modificado. El área de muestreo en cada uso de suelo tuvo una extensión de mil metros cuadrados (20X50m) (Fig. 2)

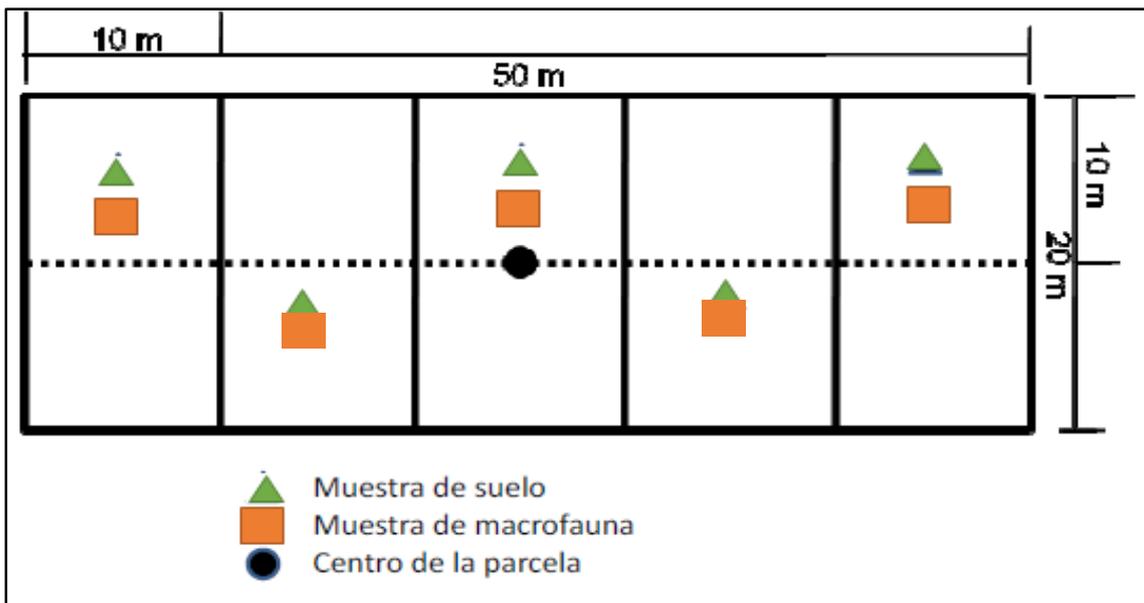


Figura 2

Diseño de parcela de 1000 m² para la toma de muestra.

Nota: Extraído de Deheuvels et. al., 2009 citado por Sáenz (2011)

La colección utilizó cuadrados de metal de 25X25X20 cm (monolitos), que fueron empujados al suelo con una pala. Cada monolito se divide en tres capas: Cobertura foliar, 0-10 cm y 10-20 cm (Figura 3), se recolectó toda la macrofauna edáfica encontrada en cada capa de muestra y se colocó en botellas y recipientes con glicerina al 5% (para piezas secas), alcohol al 70 % para especímenes en general y formaldehído al 5% para anélidos, marcado con fecha, código de empaque y sistema de control; de esta manera fueron transportados al laboratorio de la Facultad de Ecología de la UNSM filial Moyobamba.

3.3.2 Recolección de muestras

Con el propósito de identificarlos adecuadamente y asignarles una clasificación taxonómica que abarca desde el nivel de phylum hasta familia, con el fin de analizar posteriormente su composición, diversidad y posible función.

Durante la recolección de muestras se emplearon instrumentos de entomología y cámaras fotográficas. En el entorno del laboratorio se utilizarán estereoscopios, microscopios y utensilios de disección

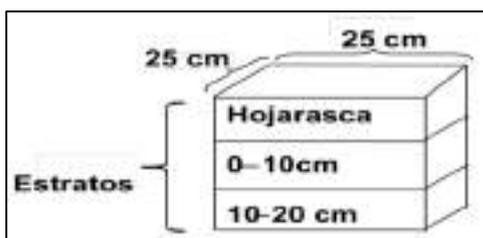


Figura 3

Monolito dividido en estratos

Nota: Programa Internacional de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (TSBF). (Anderson e Ingram, 1993).

3.3.3 Métodos de análisis físico químicos

Se colectaron muestras de los diferentes suelos cuyas muestras se enviaron al Laboratorio de análisis agrícolas de suelos – estación experimental de Nueva Cajamarca del Proyecto Especial Alto Mayo, procesando la muestra siguiendo los siguientes métodos descritos en la tabla 3.

Tabla 3

Variables fisicoquímicas a estudiar

Variables	Métodos de análisis
pH	Potenciómetro de suspensión suelo: agua
Fósforo	Olsen modificado
Materia orgánica	Carbono orgánico Total x 1.724
Nitrógeno total	Micro Kjeldahl (Chapman y Pratt, 2000)
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Densidad	Anderson e Ingram (1993)

3.3.4 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Parámetros que se utilizaron para la macrofauna edáfica

- **Riqueza de macrofauna edáfica:** Se precisó contando, en cada unidad de muestreo, el número de grupos taxonómicos presentes.
- **Densidad de macroinvertebrados:** Se determinó por el número de individuos entre la superficie, se expresó como el número de individuos por metro cuadrado (ind/m²) a nivel de grupo taxonómico y la densidad promedio.

La distribución vertical de macroinvertebrados del suelo: La densidad de macroinvertebrados edáficos se determinó por estrato (hojarasca, 0-10 cm, 10-20 cm).

- **Número de especímenes por uso de suelo:** Se refiere a la suma de los especímenes de macroinvertebrados del suelo recolectados e identificadas en todas las unidades de estudio.
- **Diversidad por uso de suelo:** Se baso en el valor del índice de Shannon Wiener determinado en cada sistema de manejo y permitió sugerir la salud del suelo asociada a cada tipo de uso. Además de la diversidad, se documentó estudiando la actividad vital de los organismos y su posible impacto en el suelo.

$$H = -\sum (p_i \ln p_i)$$

Específicamente los procesos para identificación de la macrofauna edáfica fueron:

- Las **observaciones** se realizaron mediante un estereoscopio de alta resolución y microscopios (objetivos panorámicos)
- **La consulta** a profesionales especialistas y con exploración de libros y guías.
- Utilización de claves dicotómicas y lupas

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 . Composición de la macrofauna edáfica en su abundancia, densidad específica, distribución vertical y grupos funcionales

Abundancia (número de individuos) de la macrofauna edáfica

En todos los usos del suelo (cultivo de cacao, café, maíz y bosque secundario), se encontraron una riqueza de 17 grupos taxonómicos y un número total de 7 739 individuos (Tabla 4).

Tabla 4

Número de individuos colectados de las diferentes unidades taxonómicas según el uso del suelo

Grupos funcionales	Grupo taxonómico reconocido: Clase**, Orden* o Familia	Uso del suelo			
		Cacao	Café	Maíz	Bosque secundario
Detritívoros	Oligochaeta** (lombrices)	105	107	19	174
	Isoptera* (termites)	268	377	8	303
	Isopoda*(chanchito de humedad)	10	6	6	8
	Diplopoda** (milpies)	17	25	4	15
	Dermantera* (tijeretas)	21	27	6	11
	Gastropoda**(caracol)	8	10	0	10
Omnívoros	Formicidae (hormigas)	1 794	1 422	679	1 415
	Blattodea* (cucarachas)	6	6	6	11
Herbívoros	Heteroptera*(chinchas salta hoja)	6	9	20	10
	Zygentoma*(pececillo de plata)	1	1	0	0
	Lepidóptera (larvas)	3	6	72	8
	Homoptera*(cigarras)	9	7	22	0
	Orthoptera *(grillos y saltamontes)	5	1	0	8
Depredadores	Aranea* (arañas)	40	28	15	6
	Chilopoda** (ciempiés)	6	11	0	19
	Coleoptera* (escarabajo adulto)	14	100	4	150
	Coleoptera* (escarabajo larva)	54	89	8	109
	Indeterminados	1	3	2	8
Total/uso de suelo		2 368	2 235	871	2 265

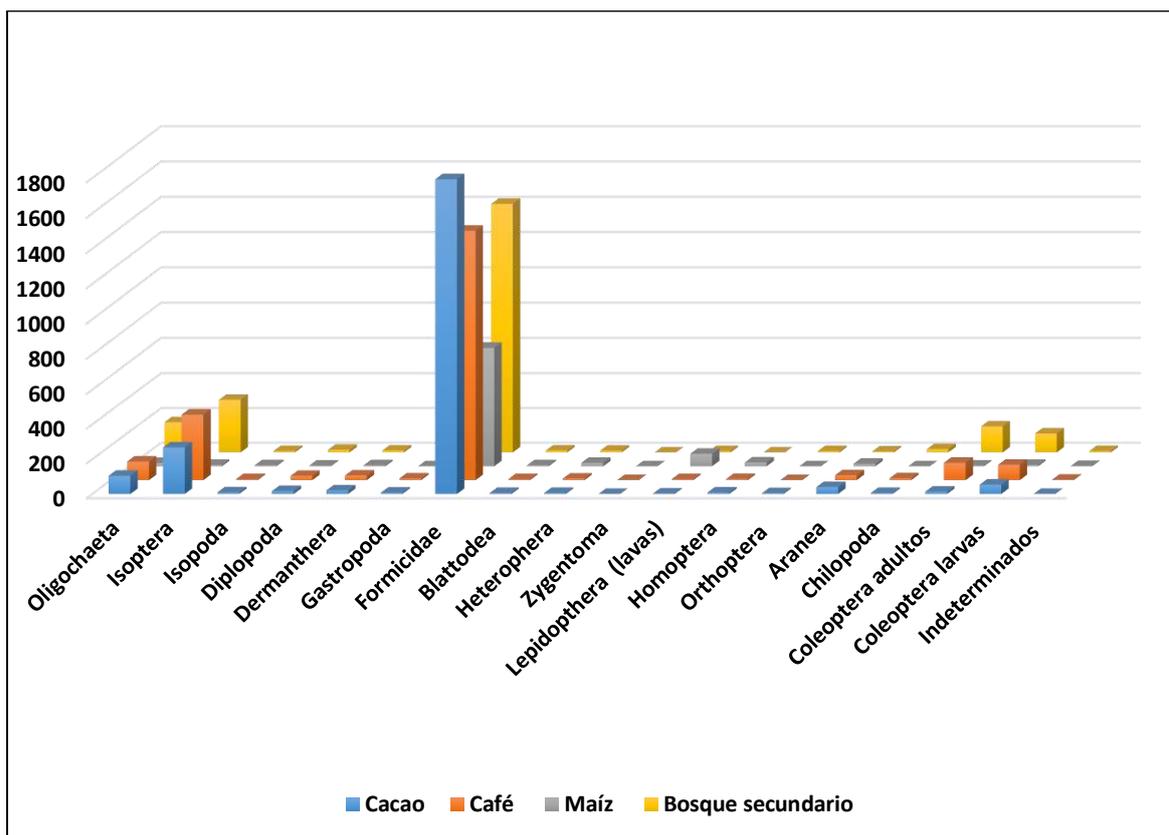


Figura 4.

Número de individuos colectados de las diferentes unidades taxonómicas según el uso del suelo

Interpretación y Discusión

La mayor abundancia de macrofauna edáfica en los diversos usos de suelo fue: Formicidae (5 310 ind.), isóptera (956 ind.), oligochaeta (405 ind.) y, coleóptera larvas y adultos (528 ind.) (Tabla y figura 4), estas cuatro categorías taxonómicas están entre la macrofauna edáfica más abundante de los trópicos húmedos, siendo los formicidae e isóptera los más importantes componentes detritívoros de la cadena trófica, resultados que coinciden con los reportados por Vilca (2018) en Chachapoyas y Zavaleta (2019) en Jepelacio-Moyobamba y Brown et. al. (2001), quien refiere a la familia Formicidae como la más predominante en bosques, pastizales, cultivos anuales, cítricos y cafetales.

Densidad (Cantidad promedio de macrofauna/m²) de macrofauna edáfica

Tabla 5

Cantidad promedio de macrofauna/m² hallado por cada uso de suelo

Grupos funcionales	Grupo taxonómico reconocido: Clase**, Orden* o Familia	Uso del suelo				Total
		Cacao	Café	Maíz	Bosque secundario	
Detritívoros	Oligochaeta** (lombrices)	336,0	342,4	60,8	556,8	1 296
	Isoptera* (termites)	857,6	1 206,4	25,6	969,6	3 059,2
	Isopoda*(chanchito de humedad)	32,0	19,2	19,2	25,6	96,0
	Diplopoda** (milpies)	54,4	80,0	12,8	48,0	195,2
	Dermanthera* (tijeretas)	67,2	86,4	19,2	35,2	208
	Gastropoda**(caracol)	25,6	32,0	0	32,0	89,6
Omnívoros	Formicidae (hormigas)	5 100,8	4 550,4	2 172,8	4 643,2	16 467,2
	Blattodea* (cucarachas)	19,2	19,2	252,8	35,2	326,4
Herbívoros	Heteroptera*(chinchas salta hoja)	19,2	28,8	64,0	32,0	144,0
	Zygentoma*(pececillo de plata)	3,2	3,2	0	0	6,4
	Lepidoptera (lavas)	9,6	19,2	230,4	25,6	284,8
	Homoptera*(cigarras)	28,8	22,4	88,0	0	139,2
	Orthoptera*(grillos saltamontes)	16,0	3,2	0	25,6	44,8
Depredadores	Aranea* (arañas)	128,0	89,6	48,0	19,2	284,8
	Chilopoda** (cienpies)	19,2	35,2	0	60,8	115,2
	Coleoptera* (escarabajo adulto)	44,8	320	12,8	480,0	857,6
	Coleoptera* (escarabajo larva)	172,8	284,8	25,6	348,8	832,0
	Indeterminados	3,2	9,6	6,4	25,6	44,8
Total/uso de suelo		6 937,6	7 152,0	3 038,4	7 363,2	24 491,2

Interpretación y discusión:

La densidad máxima promedio de macroinvertebrados se registró en el cultivo de cacao (Formicidae “hormigas” 5 100,8 ind.m⁻²), mientras que la cantidad mínima se registró en café y cacao (Zygentoma “pececillo de plata” y Orthoptera “grillos” 3,2 ind.m⁻²).

En 16 grupos taxonómicos del cultivo de cacao y café, 14 en bosque secundario y 12 en maíz; la macrofauna edáfica ordenada en forma decreciente es como sigue: Formicidae, Isoptera, Orthoptera, Oligochaeta, Coleophtheros dultos, Coleopheta larvas, Blattodea, Lepidoptera, Araneae, Homoptera, Dermaptera, Diplopoda, Heterophera, Chilopoda, Gastropoda, isóepoda, Hemiptera, Araneae, Lepidoptera, (Tabla y figura 5).

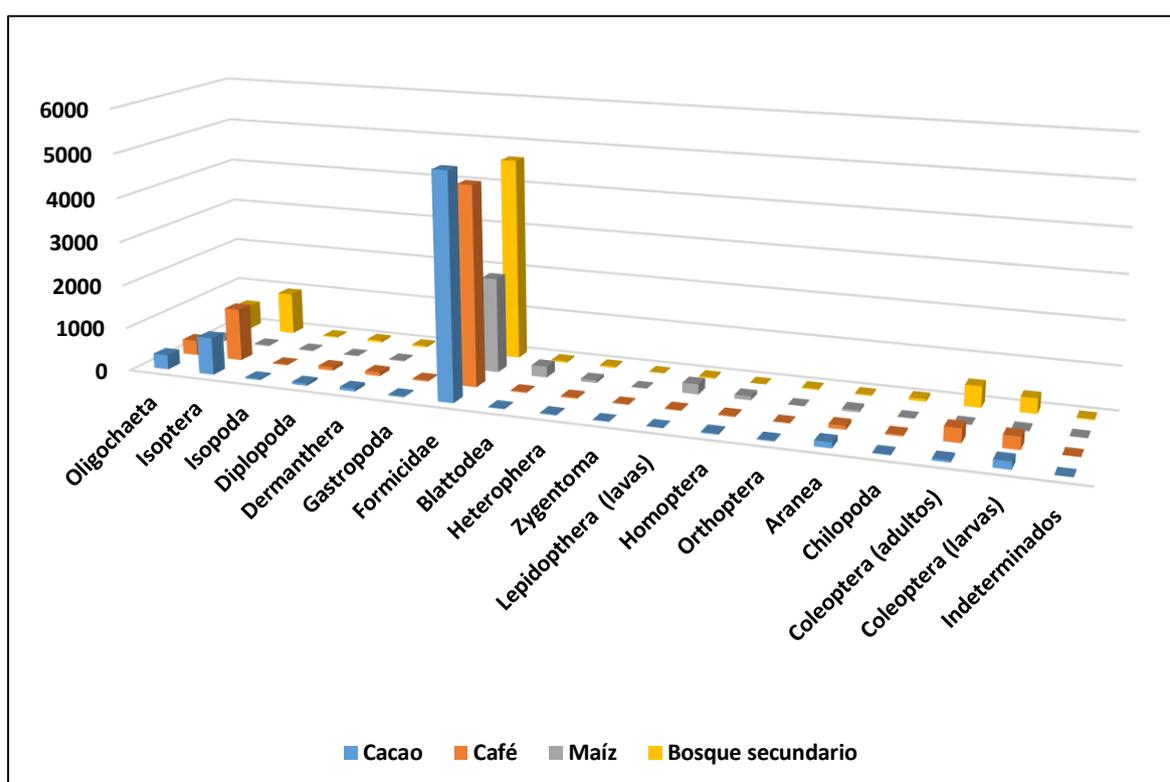


Figura 5

Cantidad promedio de macrofauna /m² hallado por cada uso de suelo

Se registraron densidades más altas de macrofauna edáfica en el bosque secundario (7 363,2 ind.m⁻²) y café (7 152 ind.m⁻²) seguido de cacao y maíz respectivamente (Tabla y figura 5). Los resultados concuerdan en parte con Tuesta (2015), quien reportó la mayor densidad en el cultivo de cacao (899 ind/m²) y Cabrera, et al (2011) reporta que el uso de bosque secundario y café presentó valores altos de densidad de la macrofauna edáfica.

Situación que se explica en consonancia con un mayor grado de equilibrio y un menor grado de intervención, al no haber injerencia antrópica continua, con relación a los otros usos de suelo. Así mismo, también se reporta alta densidad de macrofauna edáfica en cultivo de café (Tabla y figura 5) porque, en este uso de suelo, se resalta la relevancia de los sistemas agroforestales que incluyen cultivos de café en la conservación de la diversidad y la fertilidad del suelo. Esto se debe a que, a diferencia de los bosques secundarios, las plantaciones de café conservan estructuras similares a las de los bosques (Zavaleta, 2019).

En los cuatro usos de suelo, los individuos de la familia formicidae "hormigas" se registró en mayor densidad, en cultivo de cacao (5 100,8 ind.m⁻²), seguido de isóptera "termites" en café (1 206,4 ind.m⁻²), Oligochaeta "lombrices" en el bosque secundario (556,8 ind.m⁻²) y adultos y larvas de individuos de la orden coleóptera (828,8 ind.m⁻²). La "hormigas" y "termites" "son incluidos por varios investigadores como indicadores de un estado positivo en los sistemas (Criollo, 2017), para el presente estudio, el bosque secundario, cultivo de café y cacao se encontrarían en mejor estado que el cultivo de maíz.

Disposición vertical de la densidad de la macrofauna del suelo

Tabla 6

Distribución vertical de la densidad de la macrofauna edáfica

Uso del suelo	Densidad (ind.m ⁻²)					
	Hojarasca		0-10 cm		10-20 cm	
	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
Cacao	972,8	23,6	5 452,8	30,0	508,8	23,9
Café	1 337,6	32,5	5 177,6	28,5	627,2	29,5
Maíz	660,8	16,0	2 284,8	12,6	86,4	4,1
Bosque secundario	1 148,8	27,9	5 283,2	29,0	905,6	42,6
Total	4 120	100,0	18 198,4	100,0	2 128	100,0

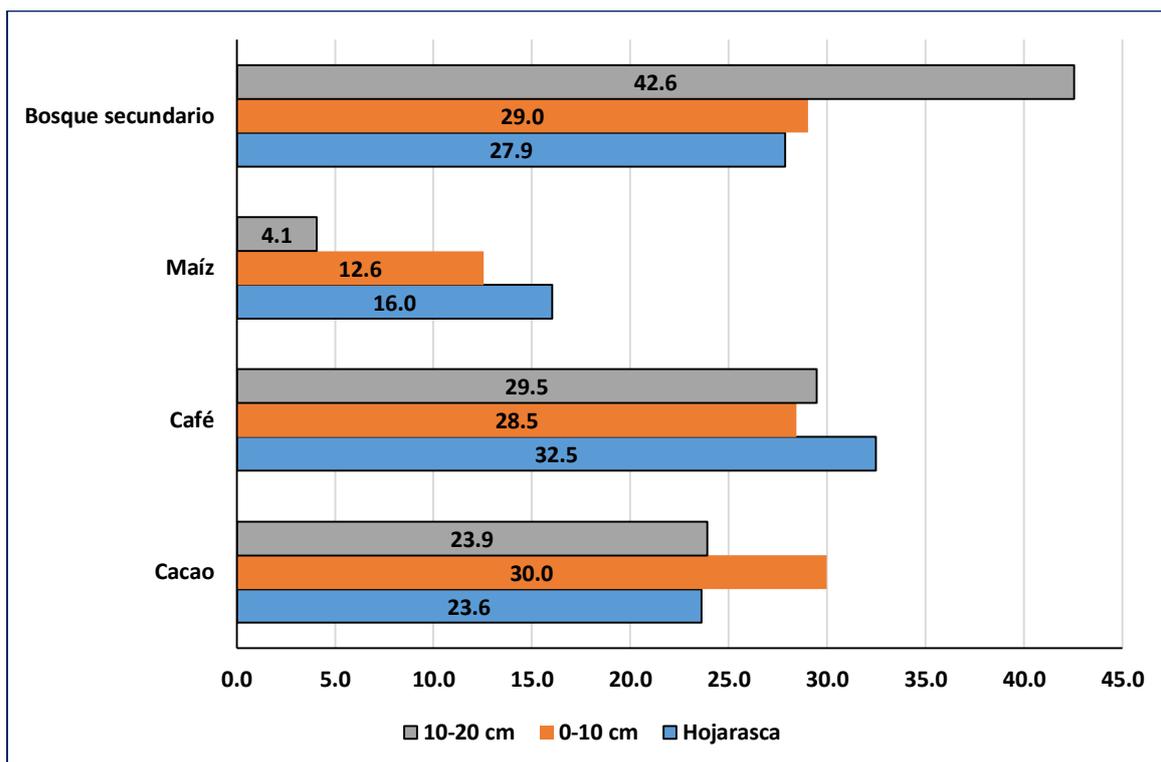


Figura 6

Distribución vertical de la densidad de la macrofauna edáfica (%)

Interpretación y discusión:

La distribución vertical de la macrofauna edáfica de los diferentes usos de suelo (Tabla y figura 6), muestra diferente distribución en las diferentes profundidades muestreadas, la mayor densidad de macrofauna edáfica ($5\ 452,8\ \text{ind.m}^{-2}$) se encuentra en el estrato de 0 a 10 cm en cultivo de cacao (30%), en la hojarasca la mayor densidad ($1\ 337,6\ \text{ind.m}^{-2}$) se registró en cultivo de café (32,5%) y en el estrato de 10 a 20 cm la mayor densidad ($905,6\ \text{ind.m}^{-2}$) se registró en bosque secundario (42,6%). Finalmente, la menor densidad ($86,4\ \text{ind.m}^{-2}$) se registró en el cultivo de maíz en el estrato de 10-20 cm (4,1 %). Estos resultados son similares a los reportados por Huamanyauri (2012) y Tuesta (2015), quienes encontraron mayor densidad de macrofauna edáfica en el estrato de 0-10 cm en los cuatro sistemas estudiados (bosque secundario, cocona, cacao y maíz).

Distribución de la macrofauna edáfica según grupo funcional

Tabla 7

Distribución de la macrofauna edáfica según grupo funcional

Grupos funcionales	Uso del suelo (ind.m ⁻²)				Total
	Cacao	Café	Maíz	Bosque secundario	
Detritívoros	1 372,8 (329,8)	1 766,4 (462,1)	137,6 (20,5)	1 667,2 (398,0)	4 944,0
Omnívoros	5 120,0 (3 593,2)	4 569,6 (3 204,0)	2 425,6 (1 357,6)	4 678,4 (3 258,3)	16 793,6
Herbívoros	76,8 (9,7)	76,8 (11,6)	382,4 (94,4)	83,2 (15,4)	619,2
Depredadores	364,8 (71,5)	729,6 (141,1)	86,4 (20,5)	908,8 (223,3)	2 089,6

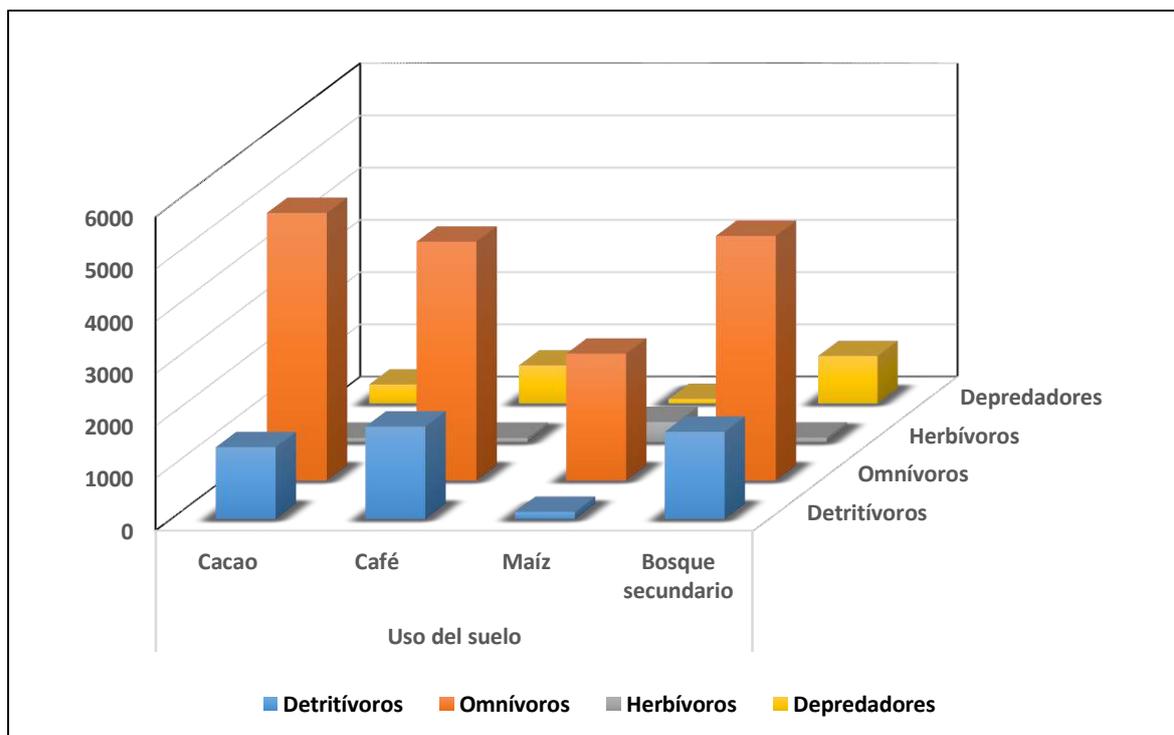


Figura 7

Distribución de macrofauna edáfica según grupo funcional

Interpretación y discusión

Los Detritívoros, representado por los oligochaeta e isóptera fueron los más abundantes en el cultivo de café y bosque secundario. Los Omnívoros representando por los formícidae abundan más en cultivo de cacao, bosque secundario y café. Los Herbívoros (larvas de

lepidópteros “mariposas” y heterópteros “chinchas”) y Depredadores (adultos y larvas de coleópteros “escarabajos” y araña “arañas”) fueron los menos representados en los cuatro sistemas de usos del suelo investigados (Tabla y Figura 7), sin embargo en el cultivo de mayor abundancia de macrofauna, como es el bosque secundario y cultivo de café, predominan los depredadores, quizá se debe a la presencia de la fuente de alimentación, la macrofauna en abundancia en estos sistemas de uso del suelo, como también lo muestra Tuesta (2015)

Resultados también que coinciden en parte con los encontrados por Tuesta (2015), Pashanasi (2001) y Zavaleta (2019) quien reporta que, los ingenieros del suelo (formicidae, isóptera y oligochaeta) fueron muy abundantes en el bosque secundario y cultivo de maíz. Sin embargo, el cultivo de maíz en desarrollo se muestra menor abundancia de ingenieros del suelo, pero se registró mayor abundancia de herbívoros (382,4 ind.m⁻²) representado por larvas de lepidópteros, lo que se intuye su presencia porque se alimentan de hojas de maíz. La menor abundancia de oligochaeta “lombrices de tierra”, se atribuye que estas tienden a prevalecer en ambientes edáficos húmedos, no compactados con alto contenido de materia orgánica. Sin embargo. Morales, et. al. (2021) manifiesta que, en cultivo de maíz en desarrollo se encuentra mayor cantidad de lombrices de tierra y está en relación con el desarrollo de la planta, con lo que, se intuye que el cultivo maíz se encuentre perturbado posiblemente con agroquímicos.

4.2 . Parámetros de biodiversidad de los grupos taxonómicos de la macrofauna edáfica en los diferentes usos de suelo

Diversidad de especies

Tabla 8

Riqueza específica, Índice de diversidad, Equitatividad y Dominancia de la macrofauna edáfica del suelo en diferentes sistemas de uso

Uso del suelo	S	I	H	J	D
Cacao	17	2 367	0,9916	0,35	0,5903
Café	17	2 232	1,305	0,4606	0,4408
Maíz	13	869	0,9716	0,3788	0,6197
Bosque secundario	15	2 257	1,336	0,7226	0,424

Nota: S: Número de especies; I: Individuos; H: índice de Shannon – Wiener; J: Índice de equitatividad de Pielou; Dominancia (D).

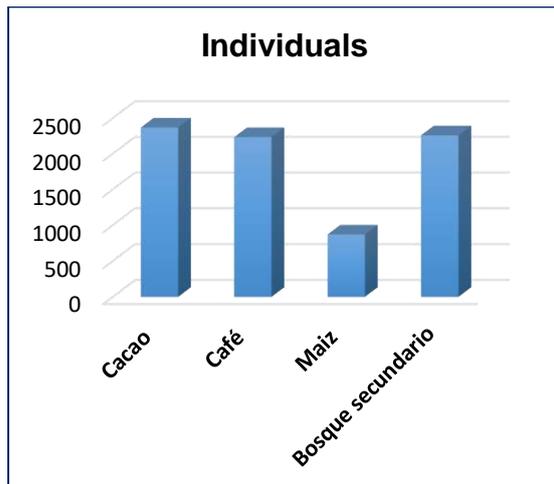


Figura 8
Riqueza específica de la macrofauna edáfica.

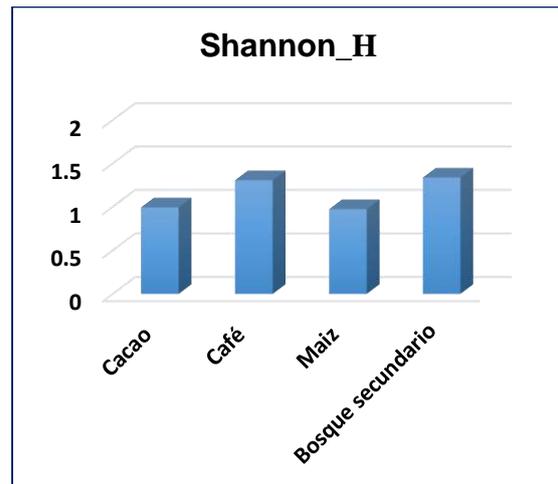


Figura 9
Índice de diversidad de la macrofauna edáfica.

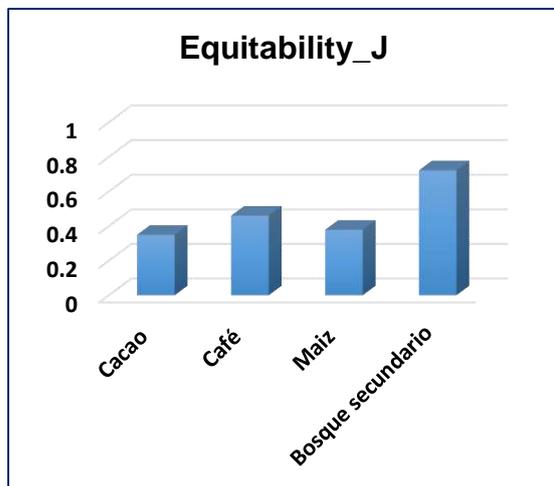


Figura 10
Equitatividad de la macrofauna edáfica.

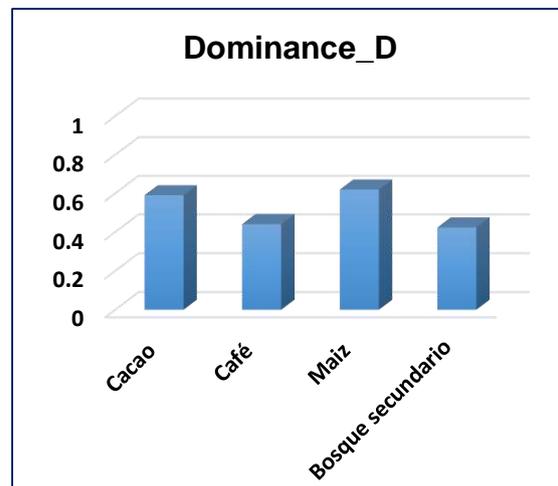


Figura 11
Dominancia de la macrofauna edáfica.

Interpretación y discusión:

El cultivo de café y cacao presentaron mayor riqueza específica ($S=17$) de macrofauna edáfica y, siendo el cultivo de maíz donde se registró menor riqueza específica ($S=13$). El mayor número de individuos se registró en el cultivo de cacao ($I=2\ 367$) y el menor número en maíz ($I= 869$).

Según el índice de diversidad de Shannon-Weaver (H) de la macrofauna edáfica del bosque secundario ($H=1,336$) y el cultivo de café ($H=1,305$) fueron los que registraron mayor índice de diversidad biológica que los otros sistemas de suelo investigados y, siendo el cultivo de maíz, el que registra el menor índice de diversidad biológica ($H=0,9716$).

Según el índice de dominancia (D), el cultivo de maíz presenta mayor índice de dominancia ($D= 0,6197$) debido a que las especies de la familia formicidae, “hormigas” presentan muy alta densidad, por lo que tiene mayor dominancia sobre las otras y, siendo el bosque secundario el que registró la menor dominancia ($D= 0,424$). Según el índice de equitatividad (J), en el bosque secundario se registró mayor equitatividad ($J= 0,7226$), la diversidad se distribuyó de una manera más uniforme, no hay especies muy dominantes, que en los otros cultivos investigados y, siendo el cultivo de maíz el que registró menor equitatividad ($J=0,35$), las especies no están distribuyéndose en forma equitativa (Tabla y figura 8). Similares resultados reportan Tuesta (2015) en Nuevo Progreso, departamento San Martín y Linares (2007) en Tingo María, departamento de Huánuco, siendo el bosque secundario el más diverso y el cultivo de maíz el menos diverso. Así mismo, observó que en el bosque secundario la diversidad se distribuye de manera más uniformes que en otros usos de suelo.

4.3 Componentes principales que caractericen a los diferentes usos de suelos con relación a la macrofauna edáfica

A. Factor 1

B. Factor 2

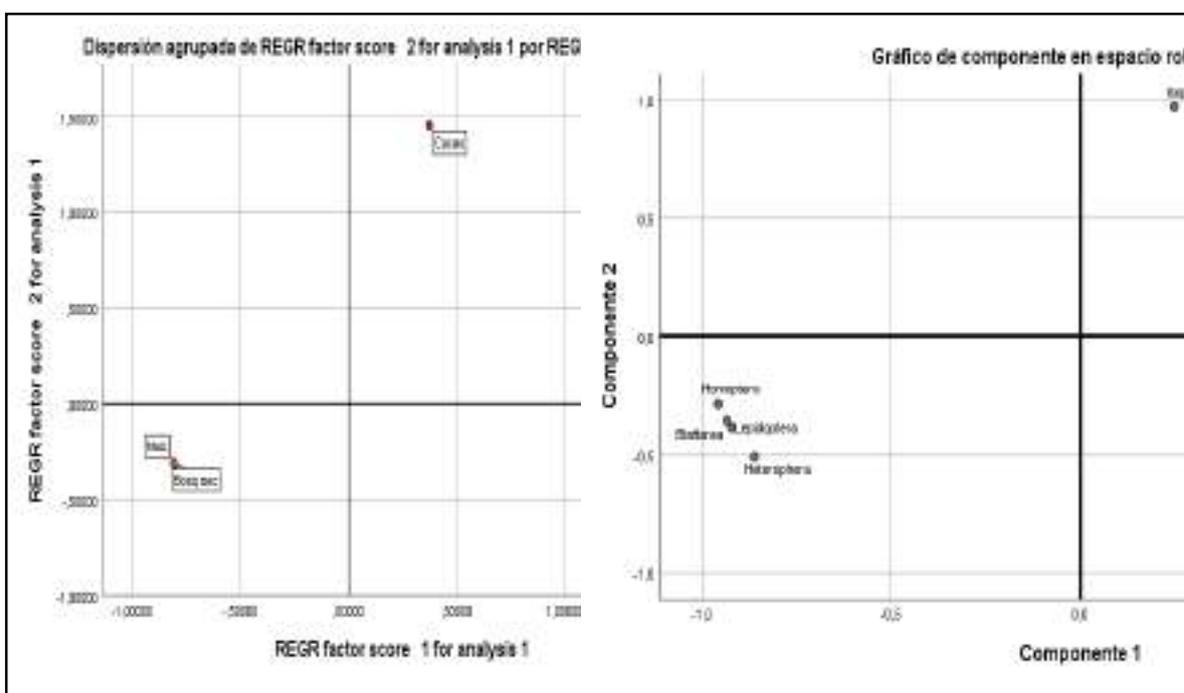


Figura 12

Relación entre los diferentes usos de suelo con grupos taxonómicos.

Interpretación: El análisis de componentes principales permitió visualizar el efecto de los cuatro usos de suelo en la macrofauna edáfica, se diferencia tres patrones (Figura A y B): donde en cultivo de Cacao presenta valores mayores de: Oligochaeta, formícidae, isóptera, aránea, isópoda, entre otros; en el cultivo de maíz y bosque secundario la mayor abundancia lepidóptera (larvas), heteróptera, blattodea y homóptera; en cultivo café presenta los valores mayores de coleóptera y chilopodos.

4.4 Características fisicoquímicas del suelo por cada tipo de uso

Tabla 9

Características físicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.

Uso del suelo	Densidad aparente	Textura
	g/cm ³	
Parcela de cacao	1,41	Arcilloso
Parcela de café	1,25	Arcilloso
Parcela de maíz	1,25	Franco Arcillo Arenoso
Bosque secundario	1,41	Franco Arcillo Arenoso

Nota: Laboratorio de Análisis Agrícolas de Suelos – Estación Experimental de Nueva Cajamarca- Moyobamba.

Interpretación y discusión:

La densidad aparente no muestra diferencias significativas entre sistemas de uso de cacao y café, y arcillosos con densidad aparente de 1,25 g/m³, son valores óptimos para suelos no compactados (FAO,2009), mientras que el maíz y el bosque secundario es mayor de 1,41 g/cm³ y de textura franco Arcilloso Arenoso (Tabla 9).

Características químicas

Tabla 10

Características fisicoquímicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.

Características fisicoquímicas	Maíz	Café	Cacao	Bosque secundario
Materia orgánica (%)	13,8	14,4	21,8	46,0
Densidad aparente (g/cc)	1,25	1,25	1,41	1,41
C (%)	8,0%	8,4%	21,2%	26,7%
pH (1:1)	6,08	7,29	7,04	7,98
Fosforo (ppm)	6,58	13,85	17,98	11,05
Magnesio (meq/100 gr)	3,92	4,10	4,65	5,20
Calcio (meq/100 gr)	28,0	33,60	33,2	52,0
Nitrógeno (%)	0,51	0,61	1,56	1,96

Nota: Laboratorio de Análisis Agrícolas de Suelos – Estación Experimental de Nueva Cajamarca- Moyobamba.

Interpretación y discusión:

Comparando los resultados en los cuatro usos de suelo con los rangos deseables según SAGARPA (2012) de la tabla 10, tenemos: En el cultivo de maíz, el valor de pH (valor deseable $6 < \text{pH} > 7$) es medianamente ácido y el cultivo de cacao, café y bosque secundario son medianamente básicos. Al no ser muy ácido el suelo del cultivo de maíz, condicionaría a que tenga bajo contenido de fósforo disponible para la planta (De los Angeles, 2007 citado por Palomino, 2015).

Los valores de MO está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo (valor deseable $\text{MO} > 5\%$), el cultivo que registró menor porcentaje de MO es el cultivo de maíz (13,8 %) y el mayor porcentaje el bosque secundario (46,0%); los valores de nitrógeno (valor deseable $\text{N} > 0,2$) son los deseables y se relacionan con el porcentaje de MO, se registró menor porcentaje de nitrógeno en el cultivo de maíz (0,51%) y mayor valor en el bosque secundario (1,98%) coincide con lo determinado con Bazán (2017 y Azañero et al. (2017) ; y esto se debe a que en el bosque secundario existe una mayor diversidad de especies arbustivas y arbóreas, por ende, el nivel de MO será mayor. A diferencia del cultivo de maíz en donde el nivel es menor ya que en este sistema los suelos por lo general son desnudos o no presentan cubierta vegetal (Azañero et al., 2020).

Con respecto a los valores de Magnesio y Calcio (Tabla 10), se consideran valores altos en los cuatro sistemas de uso, sin embargo, el valor más bajo se consigna en el cultivo de maíz, también relacionado con el valor menor de pH en este cultivo; estos resultados podrían deberse a que en suelos desarrollados bajo condiciones de precipitación más abundante puede haber pérdida de bases por efectos de la lixiviación y por extracción de los cultivos, esto puede tener como consecuencia la reducción de nutrientes para los cultivos (SAGARPA, 2012).

Por último, estos resultados pueden deberse a que, el bosque secundario, el cultivo de café y cacao está en presencia de constantes lluvias y a una altura de 875 m.s.n.m.; además el cultivo de café y cacao son perennes, generan sombra y su manejo no requiere movimiento de suelo. Estas condiciones favorecen al reciclaje de la MO y los valores fisicoquímicos requeridos para estos cultivos (Tabla 10); también estos resultados se relacionan con el mayor número de individuos y densidad de macrofauna edáfica registrados en cacao, bosque secundario y café (Tabla 4 y 5) y la mayor diversidad biológica en el bosque secundario ($H=1,336$) (Tabla 8).

Sin embargo, el suelo del cultivo de maíz mostró valores fisicoquímicos y de macrofauna edáfica menores, como es la disminución de detritívoros ($137,6 \text{ ind.m}^{-2}$) (Tabla 7), al

respecto Cabrera (2019), argumenta que, la disminución de la riqueza, diversidad y abundancia de la macrofauna, así como las poblaciones de detritívoros en los sistemas más perturbados, coinciden con una mayor degradación del suelo en estos sitios, lo que estaría pasando en el cultivo de maíz estudiado.

CONCLUSIONES

- La mayor abundancia de macrofauna edáfica en los diferentes usos de suelo, se clasifican en 16 grupos taxonómicos, formicidae (5 310 ind.), isóptera (956 ind.), oligochaeta (405 ind.) y, coleóptera larvas y adultos (528 ind.).
- La densidad total más abundante de la macrofauna edáfica se registró, en forma decreciente, bosque secundario (7 363,2 ind.m⁻²), café (7 152,0 2 ind.m⁻²), cacao (6 937,6 ind.m⁻²) y maíz (3 038,4 ind.m⁻²). Las categorías taxonómicas de mayor densidad se registraron en cultivo de cacao, con la familia formicidae (5 100,8 ind.m⁻²) y orden coleóptera (828,8 ind.m⁻²), la cantidad mínima se registró en café y cacao, orden Zygentoma (3,2 ind.m⁻²) y orden Ortóptera (3,2 ind.m⁻²).
- La distribución vertical de la macrofauna edáfica muestra diferente distribución en las diferentes profundidades muestreadas, la mayor densidad (5 452,8 ind. m⁻²) se registró en 0 a 10 cm en cacao (30%), en la hojarasca la mayor densidad (1 337,6 ind.m⁻²) se registró en cultivo de café (32,5%) y en 10 a 20 cm la mayor densidad (905,6 ind.m⁻²) se registró en bosque secundario (42,6%). La menor densidad (86,4 ind.m⁻²) se registró en maíz en 10-20 cm (4,1 %).
- Los detritívoros, representado por los oligochaeta e isóptera fueron los más abundantes en café y bosque secundario. Los Omnívoros representando por los formicidae abunda más en cultivo de cacao, bosque secundario y café. Los Herbívoros y Depredadores fueron los menos representados en los cuatro sistemas de usos del suelo investigados.
- El cultivo de café y cacao presentaron mayor riqueza específica (S=16) de macrofauna edáfica, el bosque secundario (H=1,336) y café (H=1,305) registraron mayor índice de diversidad biológica. El cultivo de maíz registró mayor índice de dominancia (D= 0,6197) debido a que las especies de la familia formicidae, presentan muy alta densidad, por lo que tiene mayor dominancia sobre las otras y el bosque secundario registró mayor equitatividad (J= 0,7226), su diversidad se distribuyó de una manera más uniforme.
- El análisis de componentes principales permitió visualizar el efecto de los cuatro usos de suelo en la macrofauna edáfica, se diferencia tres patrones: donde el cultivo de

Cacao presenta valores mayores de Oligochaetas, formicidae, isóptera, aránea e isópoda; en el cultivo de **maíz** y **bosque secundario** la mayor abundancia lepidóptera heteróptera, blattodea y homóptera; en cultivo **Café** presenta los valores mayores de: coleóptera y chilopodos.

- En suelo del cultivo de maíz registra un pH medianamente ácidos y el cultivo de cacao, café y bosque secundario son medianamente básicos y menor porcentaje de MO (MO 13,8 %), y el mayor porcentaje el bosque secundario (MO 46,0%), los valores de nitrógeno son los deseables en los cuatro usos de suelo y se relacionan con el porcentaje de MO, finalmente, el suelo del cultivo de maíz mostró valores fisicoquímicos y de macrofauna edáfica menores, en relación a los otros usos de suelo estudiadas

RECOMENDACIONES

- Incrementar el número de unidades de muestreo de la misma edad y tamaño para obtener datos más puntuales en cuanto a la comparación de los parámetros de diversidad biológica, estudios fisicoquímicos y distribución vertical de la macrofauna edáfica de suelos de cultivo de maíz, cacao y café. del suelo en la región San Martín.
- Complementar la presente investigación registrando las medidas de las precipitaciones y temperatura por unidad de muestreo, para relacionarlo con presencia de la macrofauna edáfica bajo estas condiciones.
- Ampliar el estudio de los grupos taxonómicos de las familias y ordenes de menor y mayor abundancia para determinar su importancia en los suelos de cultivo de café, cacao y maíz en la región San Martín.
- Realizar investigaciones centradas en la evaluación de la macrofauna edáfica presente en bosques primarios en la Región San Martín, como punto de referencia o contraste, para estudiar y determinar las variaciones con respecto a áreas de cultivo, sistemas agroforestales o bosques de recuperación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azañero, L., Ñique, M. y Florida, N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú., Perú. TAYACAJA, 3(1). <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>
- Bazán, T. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Universidad Nacional Agraria la Molina, Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima Perú. <https://acortar.link/c7ZLyx>
- Benckiser, G. (1997). Fauna in soil ecosystems recycling processes, nutrients flexus and agricultural production. New York: M. Dekker
- Cabrera, G. (2019). Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicadores del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba. [Tesis de doctorado, Universidad de Alicante]. Recuperado de: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/88889>
- Cabrera, G., Robaina, N., Ponce De León, D. (2011). Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Pastos y Forrajes, vol. 34, núm. 3. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121083007>
- Cabrera, H, Murillo, F, Adame, J Y Fernández, J. (2019). Impacto del Uso del Suelo Sobre la meso y Macrofauna Edáfica En Caña de Azúcar y Pasto. Recuperado de: <https://cutt.ly/0OZjhc>
- Castillo. R. (2016). Diversidad y abundancia de macrofauna edáfica en tres sistemas de uso de suelo Illpa-Puno. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Altiplano]. Recuperado de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5150>
- Criollo, P. (2017). Macrofauna edáfica de dos sistemas pecuarios, en el distrito de conservación de suelos “Corpoica – Tibaitata”. [Tesis de maestría, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. Recuperado de: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/3133>
- Encina R. y Ibarra J. (2000). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. Población y desarrollo. Recuperado de: https://revistascientificas.una.py/index.php/RE/article/view/839/pdf_139
- Escobar, A., Bartolomé, J. y González, N. (2017). Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del

- trópico seco, Tomabú, Nicaragua. <https://repositorio.unan.edu.ni/5829/1/320-1168-1-PB.pdf>
- FAO (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO (2015a). Suelos y biodiversidad. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i4551s/i4551s.pdf>
- FAO (2022). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detail-news/es/c/277124/>
- Lavelle, P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: S3-S15.
- Lavelle, P., Lepage, M.; Cambefort, Y. (1993). Soil Macrofauna. IN: Ingram, J.S.i. y Anderson, J.M. (eds). *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. CAB international. Wallingford, UK. pp. 44-46.
- Lavelle, P.; Senapati, B. & Barros, E. (2003). Soil macrofauna. In: *Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods*. (Eds. G. Schroth & F.L. Sinclair). CABF Publishing, UK. p. 303
- López C. (2012). Propuesta y validación del plan de uso de suelos en el marco de ordenamiento territorial del distrito de Soritor. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de San Martín]. Recuperado de: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2323>
- MINAGRI (2020). Ministerio de Agricultura y Riego. Problemas tipo de la agricultura peruana. Recuperado de: <https://www.minagri.gob.pe/portal/22-sector-agrario/vision-general/190-problemas-en-la-agricultura-peruana?limitstart=0>
- MINAGRI (2015). Requerimientos Agroclimáticos del Cultivo de Maíz Amarillo Duro. <https://bibliotecavirtual.midagri.gob.pe/index.php/material-de-divulgacion/fichas-tecnicas/2018/40-requerimientos-agroclimaticos-de-maiz-amarillo-duro/file>
- MINAM (2014). Guía para el muestreo de suelos. Lima: mavet impresiones e.i.r.l. Recuperado de: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
- Morales, E. et al. (2021). Macrofauna edáfica asociada al cultivo de maíz (*Zea maíz*). Recuperado de: <https://acortar.link/rakr45>

- Navarro Vasquez, Miriam, Florida Rofner, Nelino, & Navarro Vasquez, Llerme. (2019). Atributos físicos y materia orgánica de oxisols en sistemas de producción de caña de azúcar. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(2), 89-99. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.453>
- Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica* Vol. 12 (1-2). Recuperado de: <https://cutt.ly/MTjRFDK>
- Palomino, T. (2015). Calidad de los suelos en vegetación de diferentes edades en la localidad Caracol - distrito Chinchao- Huánuco. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de La Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1093>
- Ramírez, J. (2007). Uso Actual de la Tierra del Departamento de San Martín. Proyecto de Zonificación Ecológica y Económica, Convenio entre el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y el Gobierno Regional de San Martín. Iquitos – Perú.
- Reátegui, H. (2009). Efecto de los sistemas de uso en los macroinvertebrados del suelo bajo cinco condiciones en el distrito de Rupa Rupa. [Tesis de titulación, Universidad Agraria de la Selva]. Tingo María- Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/408>
- Rendón, S. et al. (2010). Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pastos y Aguacate. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179922364005>
- Saldani, R. (2013). Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción ganadera en el distrito de Palcazú, Iscozacán. [Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Recuperado de: <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1315>
- Sánchez, G. (2018). Evaluación de la macrofauna del suelo en cuatro diferentes sistemas de uso, en el distrito las Piedras, provincia de Tambopata, departamento Madre de Dios. [Tesis de bachiller, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. Recuperado de: <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/348>
- Suárez, J., Duran, E. y Rosas, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta Agron.* 64 (3) p 214-220. Recuperado de: <https://cutt.ly/QTj30r8>
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2018 y 2019. Registro climatológico en la Estación de Soritor. Lima. Perú. Disponible en:

<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

- Stehlíková, I., Madaras M., Lipavský J., Šimon T. (2016). Study on some soil quality changes obtained from long-term experiments. *Plant Soil Environ.*, 62(02): 74-79. <https://doi.org/10.17221/633/2015-PSE>
- Torres S. (2015). *Macroinvertebrados Del Suelo En Cuatro Unidades Agroecológicas de Cacao (Theobroma Cacao L.) en la Región San Martín*. [Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto]. Recuperado de: <https://cutt.ly/NTjTBRz>
- Tuesta M. (2015). *Evaluación de la Macrofauna del Suelo en Diferentes Sistemas de Uso en el Distrito de Nuevo Progreso*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria. Tingo María]. Recuperado de: <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1091>
- Vilca, N. (2018). *Influencia de los sistemas de producción en la diversidad de macrofauna edáfica en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Amazonas*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. Recuperado de: <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1333>
- SAGARPA. (2012) *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo –Metodología de Cálculo*. organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. FAO-<https://acortar.link/rakr45>
- Zavaleta, M. (2019). *Macrofauna y propiedades físico y químicas de los suelos en cultivo de café del distrito de Jepelacio – Moyobamba*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://acortar.link/ff9vqV>
- Zerbino, M. y Morón, A. 2003. *Macrofauna del suelo y su relación con propiedades físicas y químicas en rotaciones cultivo-pastura*. In Morón, A.; Díaz, R. (Eds. técnicos). Simposio “40 años de rotaciones agrícolas – ganaderas”. Montevideo, Uruguay. Serie Técnica no. 134. 45-53 p.
- Zerbino, M. (2005). *Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción*. [Tesis de maestría, Universidad de la Republica de Montevideo, Uruguay]. Recuperado de: <https://cutt.ly/bTjEkIZ>
- Zerbino, M. (2010). *La macrofauna del suelo y su relación con la heterogeneidad florística*. Recuperado de: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8813/1/Fpta-26-p.97-111.pdf>

ANEXOS

Anexo 1 Proceso de toma de muestra de suelo para la colección de macrofauna edáfica



Fotografía 1: Ubicación de cilindro 25X25X20 cm en el punto de muestreo.



Fotografía 2: Extracción de la tierra para dejar libre el monolito.



Fotografía 3: Estructura del monolito.



Fotografía 4: Extracción de la hojarasca.



Fotografía 5: Suelo del monolito en los lienzos de recepción.



Fotografía 6: Muestra con ninfas de termites (orden Isoptera)

Anexo 2: Identificación de la macrofauna edáfica en laboratorio



Fotografía 1: Frascos de vidrio para la colección de las muestras y alcohol de 70% para la conservación de los individuos.



Fotografía 2: Estéreo microscopio - MOTIC - SMZ-171 TLED(ESD) para ampliar las observaciones.



Fotografía 3: Uso del pincel en la captura de los individuos muy móviles y las cajas Petri con alcohol de 70% para la recopilación



Fotografía 4: Observaciones de los individuos en el estereo microscopio con la ayuda de pincel.

Anexo 3: Identificación de las categorías taxonómicas



Fotografía 1: Larvas de coleóptero



Fotografía 2: Larva de coleóptero



Fotografía 3: Adultos de la clase Chilopoda "ciempiés"



Fotografía 4: Clase Chilopada un par de patas por segmento



Fotografía 5: Adulto del orden Coleoptera



Fotografía 6: Adultos de la clase Ologichaeta



Fotografía 7: Adulto de colephera "cucaracha"



Fotografía 8: Adulto de la familia formicidae

Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín

por Marvin Cristian Alava Aguilar

Fecha de entrega: 19-abr-2024 02:29p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2320258162

Nombre del archivo: ING_AMBIENTAL_-_Marvin_Cristian_Alava_Aguilar_19-04.docx (4.48M)

Total de palabras: 13085

Total de caracteres: 74043

Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	3%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	1library.co Fuente de Internet	1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	www.colibri.udelar.edu.uy Fuente de Internet	1%