

**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA
SELVA CENTRAL JUAN SANTOS ATAHUALPA**



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Metales pesados y macrofauna edáfica en cultivos de cacao
(*Theobroma cacao*), San Ramón, 2023

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

AUTORA

Dana Nicole Cruz Cerrón

ASESOR

Dr. Daniel Martín Álvarez Tolentino

Chanchamayo – Perú

2024

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a los miembros de la Asociación de Productores de Cacao y otros de San Juan de Tulumayo por otorgarme el acceso a sus terrenos agrícolas, ya que este paso ha sido esencial, abriendo puertas para el enriquecimiento de mi comprensión teórica y la aplicación práctica de mi investigación.

Asimismo, mi gratitud hacia la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa y la Vicepresidencia de Investigación Académica, por ofrecerme un entorno académico enriquecedor y la oportunidad de participar en el concurso de financiamiento de proyectos de tesis con fondos del canon minero, lo cual fue fundamental para la realización de esta tesis.

Mi asesor, Dr. Daniel Martín Álvarez Tolentino, merece un reconocimiento especial. Más que un mentor, ha sido un pilar de sabiduría y motivación, cuya confianza y paciencia han guiado mi trayectoria intelectual y profesional. Su influencia ha sido determinante en mi desarrollo como investigadora.

A los distinguidos miembros de mi jurado de tesis, Biol. Mg.Sc, Mg. Eduardo Josué Oyague Dr. Manuel Emilio Reátegui, Mg. Ronal Panduro Durand, expresarles mi más sincero agradecimiento por su valioso tiempo, conocimiento y orientación. Sus aportes y sugerencias han sido fundamentales para el desarrollo y la finalización de este trabajo. Su dedicación y compromiso con la excelencia académica son profundamente apreciados.

Mi gratitud se extiende a mis docentes Dr. Rutti Marin, Dr. Alex Huamán, Mg. Ronald Panduro, Mg. Roger Aguilar, Mg. Senin Marca y a la Dra. Lavado Meza, que permanecen como una fuente de inspiración y modelos a seguir. Asimismo, a Miguel, Franz, Luis, Erick, Antenor, Omar, Kathya, Andrea y a todos mis amigos que en algún momento me dieron una mano para superar barreras. También al Ing. Pedro Pérez, quien me impulsó a participar en el concurso de financiamiento de proyectos de tesis de la universidad, y por todas las veces que me brindó su apoyo.

Esta travesía ha marcado un período de evolución personal y profesional, lleno de desafíos superados y logros que han moldeado mi camino como investigador. Agradezco cada gesto de apoyo y cada oportunidad que me ha sido brindada en este viaje de descubrimiento y aprendizaje.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a las figuras más influyentes en mi vida universitaria: A Dios, por guiar y bendecir cada paso en este camino. A mi madre, Virgilia Cerrón, la principal inspiración detrás de mi perseverancia, quien, con su incansable esfuerzo y amor incondicional, fue la roca de mi familia. A mi hermanita Patricia Cruz, que me ha dado la fuerza para seguir adelante en los momentos más desafiantes de mi carrera. No puedo dejar de mencionar a mi abuelita Elva Mesías y a mi padre Fredy Cruz, quienes, desde el cielo, seguramente me han observado con orgullo, he llevado en mi corazón la esperanza de que ambos vean cada paso que he dado hacia este logro. Este esfuerzo refleja el amor, la determinación y la inspiración que cada uno de ustedes ha sembrado en mi vida.

Dana Nicole Cruz Cerrón

RESUMEN

En este estudio se determinó la relación entre la concentración de metales pesados y la diversidad de la macrofauna edáfica en cultivos de cacao en San Ramón, 2023. Se recolectaron 25 muestras de suelo y 25 monolitos de cinco parcelas cultivadas de cacao. Las muestras de suelo fueron analizadas con Espectrometría de Masas con Plasma (ICP-MS) para cuantificar cadmio (Cd) y plomo (Pb). Se identificaron las tasas de macrofauna de cada monolito para determinar abundancia (n), riqueza específica, densidad y diversidad por parcela. Los datos se analizaron con el programa Past 4.03. Las concentraciones promedio de Cd (0.5 mg/kg) y Pb (22.9 mg/kg) estuvieron por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Se identificaron 7 órdenes taxonómicos: Opisthoptera ($n=257$), Symphyla ($n=92$), Hymenoptera ($n=1060$), Araneae ($n=148$), Coleoptera ($n=38$), Isopoda ($n=64$), Stylopoda ($n=10$) y Blattodea ($n=2$). Aunque los índices de diversidad fueron bajos, hubo variaciones en la densidad en distintos puntos de muestreo. No se encontró una correlación significativa entre metales pesados (Cd y Pb) y los índices de diversidad de macrofauna. En conclusión, bajo las condiciones estudiadas, no se identificaron riesgos significativos de contaminación por Pb y Cd que comprometan el uso agrícola del suelo. Los metales evaluados no mostraron una relación directa entre las variables, lo cual podría atribuirse a la resiliencia natural de estos organismos y a las prácticas agrícolas en el área. El azufre (S) desempeñó un papel crucial en la dinámica de los metales pesados en el suelo, especialmente en la fijación de Cd y Pb.

Palabras claves: cadmio, plomo, macrofauna, Selva Central, suelos agrícolas

ABSTRACT

This study determined the relationship between the concentration of heavy metals and the diversity of edaphic macrofauna in cocoa crops in San Ramón, 2023. Twenty-five soil samples and 25 monoliths were collected from five cocoa cultivated plots. The soil samples were analyzed with Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) to quantify cadmium (Cd) and lead (Pb). Macrofaunal taxa were identified for each monolith to determine abundance (*n*), specific richness, density and diversity per plot. The data were analyzed with Past 4.03 software. The average concentrations of Cd (0.5 mg/kg) and Pb (22.9 mg/kg) were below the Environmental Quality Standards (EQS). Seven taxonomic orders were identified: Opisthoptera (*n*=257), Symphyla (*n*=92), Hymenoptera (*n*=1060), Araneae (*n*=148), Coleoptera (*n*=38), Isopoda (*n*=64), Stylommatophora (*n*=10) and Blattodea (*n*=2). Although diversity indices were low, there were variations in density at different sampling points. No significant correlation was found between heavy metals (Cd and Pb) and macrofaunal diversity indices. In conclusion, under the conditions studied, no significant risks of Pb and Cd contamination were identified that would compromise the agricultural use of the soil. The metals evaluated did not show a direct relationship between the variables, which could be attributed to the natural resilience of these organisms and the agricultural practices in the area. Sulfur (S) played a crucial role in the dynamics of heavy metals in the soil, especially in the fixation of Cd and Pb.

Keywords: cadmium, lead, macrofauna, macrofauna, Selva Central, agricultural soils

ÍNDICE

CARÁTULA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. Fundamentación del problema.....	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.2.1. Problema general.....	15
1.2.2. Problemas específicos.....	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Definición y operacionalización de variables.....	16
1.5. Hipótesis.....	17
1.5.1. Hipótesis general.....	17
1.6. Justificación.....	17
1.6.1. Justificación científica.....	17
1.6.2. Justificación práctica.....	17
1.6.3. Justificación ambiental.....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes.....	19
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	21
2.1.3. Antecedentes Locales.....	23
2.2. Bases teóricas.....	23
2.2.1. Suelo.....	23
2.2.2. Calidad de suelo.....	25

2.2.3.	Metales pesados en el suelo.....	26
2.2.4.	Macronutrientes del suelo.....	28
2.2.5.	Bioindicadores de biodiversidad	29
2.2.6.	Macrofauna edáfica	30
2.2.7.	Cacao	32
2.2.8.	Prácticas agrícolas sostenibles.....	34
2.2.9.	Definiciones de términos básicos	35
CAPÍTULO III		38
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....		38
3.1.	Ámbito de estudio	38
3.2.	Tipo, nivel y diseño de investigación	39
3.2.1.	Tipo de investigación	40
3.2.2.	Nivel de investigación	40
3.2.3.	Diseño de investigación.....	40
3.3.	Población y muestra.....	40
3.3.1.	Población	40
3.3.2.	Muestra	40
3.4.	Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
3.4.1.	Fase de campo y laboratorio.....	41
3.4.2.	Fase de gabinete y análisis de datos	44
3.5.	Análisis de datos	45
3.5.1.	Ecuación de regresión:.....	45
3.5.2.	Coefficiente de relación:	46
3.6.	Consideraciones éticas	46
CAPÍTULO IV		47
RESULTADOS Y DISCUSIONES		47
4.1.	Presentación de resultados y discusiones.....	47
4.1.1.	Resultados del primer objetivo específico.....	47
4.1.2.	Resultados del segundo objetivo específico	50
4.1.3.	Resultados del tercer objetivo específico	60
4.1.4.	Discusión general de resultados	61
4.2.	Prueba de hipótesis	67
CONCLUSIONES.....		70
RECOMENDACIONES		71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fracciones principales del suelo en promedio	24
Figura 2 Macrofauna del suelo	30
Figura 3 Mapa de Ubicación del área de estudio: Anexo San Juan de Tulumayo del distrito de San Ramón, de la provincia de Chanchamayo, del departamento Junín 2023	38
Figura 4 Técnica de partición de muestra de suelo	41
Figura 5 Puntos de muestreo de las 5 parcelas	42
Figura 6 Monolitos de suelo	43
Figura 7 Identificación de macrofauna	44
Figura 8 Concentraciones de cadmio (Cd) en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	47
Figura 9 Concentraciones de Plomo (Pb) en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	48
Figura 10 Densidad de macrofauna del orden Opisthoptera registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	50
Figura 11 Densidad de macrofauna del orden Symphyla registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	51
Figura 12 Densidad de macrofauna del orden Hymenoptera registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	52
Figura 13 Densidad de macrofauna del orden Araneae registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	53
Figura 14 Densidad de macrofauna del orden Coleoptera registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	54
Figura 15 Densidad de macrofauna del orden Isopoda registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	55

Figura 16 Densidad de macrofauna del orden Stylommatophora registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	56
Figura 17 Densidad de macrofauna del orden Blattodea registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	57
Figura 18 Órdenes de macrofauna edáfica identificadas en suelos de cultivos de cacao en San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	58
Figura 19 Índice de Diversidad de Shannon-Weaver registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023	59
Figura 20 Condiciones actuales de la zona estudiada.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2 Partículas del suelo.....	24
Tabla 3 Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo.....	26
Tabla 4 Taxonomía del Cacao.....	32
Tabla 5 Descripción de puntos de muestreo del Anexo San Juan de Tulumayo del distrito de San Ramón, de la provincia de Chanchamayo, del departamento Junín 2023.....	39
Tabla 6 Concentraciones promedio de Metales pesados (Cd, Pb) y S en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023.....	49
Tabla 7 Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para las concentraciones promedio de Metales pesados (Cd, Pb) y S en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023.....	50
Tabla 8 Abundancia y densidad promedio en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023.....	58
Tabla 9 Índices de diversidad promedio registrados en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023.....	59
Tabla 10 Correlación entre la concentración de los metales pesados evaluados y densidades de cada orden de Macrofauna, más los índices de diversidad de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023.....	60
Tabla 11 Prueba de hipótesis específica 3.....	68

INTRODUCCIÓN

El suelo es indispensable para la producción agrícola, tiene componentes y propiedades que ayudan a mantener los procesos y el funcionamiento equilibrado (Ren Fang & Teng, 2023). Los metales pesados son componentes naturales del suelo, pero no cumplen ninguna función metabólica para los organismos presentes (Martínez-Guijarro et al., 2021). Entre estos organismos, se encuentra la macrofauna propia del suelo, miden un diámetro mayor a 2mm y desempeñan funciones importantes respecto al mejoramiento de las propiedades físicas y el aporte sobre los materiales orgánicos (Cabrera et al., 2022; Calderón et al., 2018).

En América Latina la producción de cacao es motor clave para las economías nacionales debido a su valor como materia prima para productos de exportación reconocidos globalmente (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP] et al., 2019). No obstante, estudios revelan la acumulación de metales pesados, como Cd y Pb, en los tejidos (hojas, cáscaras y granos) del cacao (Barraza et al., 2017; Gramlich et al., 2016; INIAP et al., 2019). Lo cual llevó a la Unión Europea a implementar el Reglamento N° 488/2014, que establece límites estrictos de cadmio en alimentos de exportación. En respuesta, se han intensificado las investigaciones para garantizar la calidad y seguridad del cacao exportado.

El Perú como el segundo país productor mundial de cacao orgánico, viene enfrentando la preocupación de contaminación por metales pesados en el cultivo de cacao, ya que se ha encontrado indicios de cadmio en granos exportables de cacao y presencia del Cd y Pb a nivel foliar (INIAP et al., 2019; Sánchez & Rengifo, 2017). Asimismo estudios demuestran que los metales provienen principalmente de procesos litológicos y actividades antrópicas como uso de agroquímicos y la quema de combustibles fósiles, que se desarrollan en el suelo (Reis de Araujo et al., 2022), lo cual ha conllevado a poner especial atención a investigar este medio y parámetros que puedan relacionarse con la presencia de estos metales.

En la Selva Central del Perú, la actividad económica principal es la agricultura, siendo el cacao uno de sus productos más destacados, especialmente en la zona de San Ramón (Luque, 2020; Municipalidad Provincial de Chanchamayo[MPCH], 2013). No obstante, el uso empírico de agroquímicos en sus cultivos puede comprometer la calidad del suelo al introducir contaminantes como metales pesados que afectan la producción agrícola (Cartes, 2013; Mendoza-Escalona et al., 2021). Los suelos cultivados de cacao suelen mostrar la presencia de estos metales, por lo cual sus concentraciones deben ser evaluadas. En este contexto, el MINAM propone los ECA y métodos para el análisis de los suelos (Chancay Alcívar et al., 2022; FAO, 2015; MINAM, 2014, 2017).

Los métodos para determinar la contaminación del suelo por metales pesados suelen ser inaccesibles para los agricultores, lo que ha impulsado investigaciones para desarrollar técnicas más asequibles (Cabrera et al., 2022; Pintado, 2023). Recientemente se ha destacado el potencial de la macrofauna edáfica como indicador de la calidad del suelo, estudiándose su relación con metales como Cd y Pb (Cabrera et al., 2022; Cabrera, 2019; Huamani & Huauya, 2014; Li et al., 2010). Por tanto, resulta fundamental replicar y seguir profundizando los estos estudios en dicha relación, para fortalecer la evidencia, validar y optimizar su uso como indicadores biológicos de la calidad del suelo.

En San Ramón, a pesar de la predominancia de actividades agrícolas, sobre todo en cultivos de cacao, se identifica una notable ausencia de estudios que evalúen la calidad de los suelos en cuanto a metales pesados y su relación con la macrofauna edáfica como indicador. Este vacío en las investigaciones destaca la importancia del presente estudio, que se centra en explorar la relación entre la macrofauna edáfica y los metales pesados dentro de estos cultivos. La relevancia de este trabajo se fundamenta tanto en su aporte científico, al ampliar el conocimiento sobre la macrofauna edáfica tropical y su vínculo con los metales pesados (Cd y Pb), como en sus aplicaciones prácticas y económicas.

Dana Nicole Cruz Cerrón

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Fundamentación del problema

La presencia de metales pesados en los suelos cultivados de cacao es un desafío a nivel mundial, nacional, regional y local que plantea importantes implicaciones para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola (Chancay et al., 2022; FAO, 2015; Huamaní et al., 2012). El sistema del suelo, compuesto por minerales, agua y organismos, juega un papel crucial en el suministro de nutrientes y en el desarrollo equilibrado de los cultivos (Juárez, 2020).

Las prácticas agrícolas pueden alterar las propiedades del suelo al introducir contaminantes, como los metales pesados. Estos, presentes naturalmente, pueden verse incrementados por el uso indiscriminado de fertilizantes, plaguicidas y compost de residuos sólidos, afectando su calidad y limitando la productividad de los cultivos (Cartes, 2013; Loyde de la Cruz et al., 2022; Maffei et al., 2012; Mendoza-Escalona et al., 2021).

Los metales pesados, ya depositados en el suelo, son atrapados o desplazados por procesos biológicos y químicos, estos mecanismos pueden afectar la movilidad y el potencial de contaminación de dichos metales en el entorno. Por tanto, es esencial desarrollar métodos alternativos que permitan monitorear los cambios en las propiedades del suelo y elucidar la calidad del mismo para mantener su productividad (Calderón & Rozo, 2023; Huamani & Huauya, 2014; Maffei et al., 2012), además buscar estrategias de conservación y protección.

Aunque existen numerosos estudios de métodos alternativos como los bioindicadores ambientales, entre estos el empleo de los bioindicadores de la calidad del suelo están en una etapa incipiente en la mayoría de los países, siendo Estados Unidos, Brasil, China, Francia e Italia los países más avanzados en este campo (Valencia, 2021).

La macrofauna edáfica se establece como uno de los indicadores clave para evaluar la calidad del suelo, ya que puede proporcionar información valiosa sobre la presencia de metales pesados en los organismos que componen el sistema suelo (Cabrera, 2019; Vásquez, 2021). Esta macrofauna, que comprende invertebrados con un diámetro superior a 2 mm hasta 20 mm, se ha reconocido como un bioindicador ambiental importante (Cabrera et al., 2022; Castro, 2021; Gonzales et al., 2014). La riqueza taxonómica, la densidad, la biomasa y la composición funcional de la macrofauna edáfica son altamente sensibles a los diferentes usos y manejos del suelo (Valencia, 2021).

En la selva central del Perú, específicamente en el distrito de San Ramón de la provincia de Chanchamayo, se ubica el anexo de San Juan de Tulumayo, lugar donde la agricultura y la

exportación de productos como el cacao, el café, el achiote y los cítricos son elementos fundamentales de la actividad económica, por lo cual se observa una marcada dependencia del suelo (Luque, 2020; MPCH, 2013). Sin embargo, el uso indiscriminado de agroquímicos, fertilizantes químicos y prácticas agrícolas inadecuadas puede generar la contaminación del suelo por metales pesados como Cd y Pb, lo cual representaría una amenaza potencial para el desarrollo equilibrado del sistema suelo en esta zona (Alloway, 2013; MINAM, 2015)

El Cd y Pb, elementos móviles presentes en el suelo, son transportados desde las raíces de las plantas hacia el tallo, las hojas y los frutos. Debido al aumento de sus concentraciones en el suelo por prácticas agrícolas inadecuadas y la capacidad de las plantas para absorber y movilizar estos metales, este tema ha adquirido importancia global (Merchan, 2022). Según la Unión Europea, los productos derivados del cacao contienen altos niveles de Cd y Pb, representando un riesgo significativo para la salud humana, ya que estos metales pueden ser transferidos desde el suelo a las plantas y, finalmente, a los seres humanos. (Calderón & Rozo, 2023).

Realizar un seguimiento los cambios en el suelo debido a dichas prácticas agrícolas inadecuadas utilizando métodos alternativos y accesibles especialmente en la Selva Central donde la agricultura es una actividad clave, es muy necesario.

Dada la importancia de la actividad agrícola en la zona no se han llevado a cabo estudios que evalúen la calidad del suelo en términos de metales pesados, menos aun utilizando métodos alternativos basados en la macrofauna edáfica como indicadores ambientales, asimismo, la relación de las concentraciones de metales pesados y la diversidad edáfica aun es poco estudiada.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Existe una relación entre las concentraciones de metales pesados (cadmio y plomo) y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es la concentración de metales pesados (cadmio y plomo) en los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023?

¿Cuál es la densidad y diversidad de macrofauna edáfica en los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023?

¿Cuál es la correlación de las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023?

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Determinar la relación entre las concentraciones de metales pesados (cadmio y plomo) y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

1.3.2. *Objetivos específicos*

Determinar la calidad del suelo con respecto a metales pesados (cadmio y plomo) en los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

Determinar la densidad y diversidad de macrofauna edáfica en los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

Determinar la correlación de las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

1.4. Definición y operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Macrofauna edáfica	La macrofauna del suelo se constituye por animales con un diámetro mayor a 2mm, y desempeñan funciones importantes respecto al mejoramiento de propiedades físicas y el aporte sobre los materiales orgánicos (Grisel de la C. Cabrera Dávila et al., 2022; Calderón et al., 2018).	Abundancia (<i>n</i>)	Número de individuos	# de individuos
		Densidad poblacional (<i>D</i>)	Número de individuos por metro cuadrado	(individuos/m ²)
		Riqueza específica (<i>S</i>)	Unidades taxonómicas	# de especies
		Diversidad (Riqueza y equitatividad) (<i>H'</i>)	Cantidad de diferentes especies presentes en una comunidad y proporción de individuos distribuidos entre especies	(nats/individuo)

Metales pesados	Los metales pesados son componentes naturales del suelo, pero no cumplen ninguna función metabólica para los organismos presentes (Martínez-Guijarro et al., 2021).	Plomo (Pb)	Concentración de Pb	ppm (1ppm = 1 mg / kg de peso seco)
		Cadmio (Cd)	Concentración de Cd	ppm

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis de investigación

Existe relación negativa entre la macrofauna edáfica y los metales pesados (Cd y Pb) en los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*). Esta relación se manifestará en medida que el incremento de la concentración de metales pesados en el suelo, produzca una disminución significativa de la densidad y diversidad de la macrofauna edáfica.

H_a : Existe correlación significativa entre las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

H_0 : No existe correlación significativa entre las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

1.6. Justificación

La justificación de este estudio se basa en diversas dimensiones que respaldan su relevancia y contribución en el ámbito científico, práctico, económico, social y metodológico.

1.6.1. Justificación científica

La justificación científica se fundamenta en el aporte científico de conocimientos sobre la fauna edáfica tropical y su relación con los metales pesados en cultivos de cacao. Al abordar esta temática, se busca llenar un vacío de conocimiento en la investigación científica, proporcionando información actualizada y relevante sobre la relación entre la macrofauna edáfica y los metales pesados en el contexto específico de los cultivos de cacao en San Ramón.

1.6.2. Justificación práctica

Así mismo cuenta con una justificación práctica, ya que permitirá determinar la relación entre los metales pesados y la macrofauna edáfica en los cultivos de cacao de San Ramón. Estos resultados serán de gran utilidad para mejorar el manejo de los suelos agrícolas en la región, proporcionando directrices y estrategias más efectivas para su conservación y protección.

1.6.3. Justificación ambiental

De similar manera presenta una justificación ambiental, al proporcionar una línea base detallada sobre calidad del suelo actual con respecto a los metales pesados Cd y Pb y la macrofauna edáfica en esta región, información clave para futuras investigaciones y acciones de conservación. Estos datos permitirán implementar estrategias preventivas y de monitoreo para garantizar la salud del ecosistema agrícola, contribuyendo a la producción sostenible de cacao y al cuidado ambiental en San Ramón.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Castro (2021) en su trabajo de tesis “Calidad de suelo y macrofauna edáfica en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao L.*)”, tuvo como objetivo evaluar la calidad de suelo y macrofauna invertebrada en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao L.*), en Los Chiles, San Carlos y Río San Juan de Nicaragua. La metodología usada para estimar el grado de complejidad de agroecosistema, parámetros físicos y químicos de suelo y la del TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility). En ambos agroecosistemas, el principal indicador de calidad físico limitante es la profundidad del suelo, el principal indicador químico limitante es la materia orgánica (MO) y el principal indicador biológico limitante son las poblaciones de lombrices de tierra. Los resultados obtenidos mostraron diversidad alfa de la macrofauna edáfica similar ambos agroecosistemas. Se identificaron siete familias taxonómicas en el agroecosistema Los Mangos y ocho en el agroecosistema Los Reyes, con 116 y 182 individuos, respectivamente. En ambos agroecosistemas, los roles de la macrofauna edáfica fueron: detritívoros, fitófagos, omnívoro, microvívoro-defoliador, ingenieros del suelo y polinizadores. Las funciones de depredadores y parasitoides se presentaron en el agroecosistema Los Reyes. En ambos agroecosistemas, las familias Lumbricidae y Julidae fueron las más abundantes y dominantes.

Cabrera (2019) en su trabajo de tesis doctoral titulado “Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba”, tuvo como objetivo caracterizar la macrofauna edáfica mediante su riqueza taxonómica, diversidad, n y composición funcional en siete sistemas de uso de la tierra del occidente de Cuba. La metodología empleada tuvo un enfoque mixto con un diseño no experimental de tipo descriptivo y correlacional. La muestra se obtuvo de acuerdo a las técnicas del TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), que se compuso de seis a ocho monolitos de suelo por réplica de sistema de uso, bajo un diseño estratificado y sistemático. Se emplearon pruebas no paramétricas con permutaciones para evaluar diferencias entre sistemas de uso de suelo. Se encontró que la riqueza taxonómica y la n de la macrofauna son menores en ecosistemas perturbados y simplificados, como los suelos cultivados (22 unidades taxonómicas y 176.3 individuos), reflejando el impacto negativo del uso intensivo de la tierra. Se estimaron medidas de diversidad con el índice de Shannon para los bosques primarios ($H' = 2.57-2.72$) (Capítulo

5), destacando la importancia de la vegetación y el manejo del suelo en las comunidades edáficas. Asimismo, se encontró que las hormigas fueron los organismos dominantes de la macrofauna del suelo en casi todos los usos de la tierra, siendo los sistemas agroforestales (bosque primario: 77 individuos) y los cultivos varios (130 individuos) los que mostraron la mayor n . Aquellos resultados denotaron que el tipo de vegetación, la estructura de vegetación, y la intensidad del manejo de suelo, tienen un fuerte impacto sobre las comunidades edáficas

Vásquez (2021) en su trabajo de investigación titulado “Determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelo, en el sector Las Mercedes Del Cantón Isidro Ayora” realizado en Ecuador. Tuvo como objetivo el determinar la composición de macrofauna edáfica en diferentes usos de suelo (agrícola, pastoreo y forestal) mediante un muestreo y análisis de laboratorio. La metodología consto en realizar una visita *in-situ* a la zona de estudio donde se procedió con la demarcación de la parcela, posteriormente se tomaron muestras y se recolectaron especies de macrofauna. Una vez recolectados los macroinvertebrados, se identificaron a nivel de orden y familia; se logró determinar 8 familias pertenecientes a 7 órdenes, de los cuales, el orden Hymenoptera fue el predominante. Luego, se evaluaron los parámetros químicos de pH, textura y MO. Los resultados obtenidos fueron los siguientes valores: agrícola (pH: 6.08 – 6.60; textura: franco arcillo arenoso; MO: 13.36 g/L – 22.44 g/L), pastoreo (pH: 6.99 – 7.80; textura: franco; MO: 12.50 g/L – 19.69 g/L), forestal (pH: 6.80 – 7.41; textura: franco arenoso; MO: 25.09 g/L – 50.64 g/L). Así mismo, se calcularon los índices de biodiversidad de Shannon ($H'=1.028$), Simpson, Margalef y equidad, cuyos resultados se correlacionaron con la información obtenida de los parámetros químicos, la correlación entre Textura (arena) y el índice de Shannon fue negativa ($r= 0.87$ y p valor <0.0001), la correlación entre la MO y los índices de Shannon es positiva débil a moderada ($r= 0.72$ y p valor $=0.0026$). De acuerdo con los resultados, se concluye que existe las diferentes actividades antropogénicas en los usos de suelo (agricultura y pastoril) afectan a la calidad del suelo y por ende a las poblaciones de macroinvertebrados.

Batista et al. (2023), en su artículo científico titulado "Soil macrofauna correlations with soil chemical and physical properties and crop sequences under no-tillage", tuvieron como objetivo evaluar la composición y estructura de la macrofauna del suelo en un sistema de siembra directa en diferentes secuencias de cultivos, con y sin rotación, durante dos temporadas de cultivo (verano lluvioso e invierno seco). La metodología del estudio incluyó un enfoque cuantitativo con un diseño experimental en campo. Se utilizaron parcelas experimentales con diferentes secuencias de cultivos (soja/maíz, maíz solo, soja solo y combinaciones de estos con cáñamo sunn) y se evaluaron las propiedades químicas y físicas del suelo, así como la macrofauna del suelo. Se recolectaron muestras de suelo y residuos de cultivos en diferentes

capas y se utilizaron métodos estandarizados para el análisis. Los hallazgos indican que existe una relación positiva entre la densidad y diversidad de la macrofauna del suelo y factores como la MO, el carbono microbiano y el nitrógeno. Además, se observó que la macrofauna es más densa en sistemas que emplean rotación de cultivos y prácticas de no labranza. Esto subraya la relevancia de adoptar métodos de gestión sostenible del suelo para preservar altos niveles de MO, lo cual, a su vez, fomenta una macrofauna del suelo diversa y abundante.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Cuyubamba (2021) en su tesis “Evaluación de la influencia del cadmio y plomo disponible en el Suelo sobre la densidad del bioindicador (*Eisenia foetida*) en los cultivos de cacao (*Theobroma cacao*), Huamalíes, Huánuco – 2020”, tuvo como objetivo evaluar la influencia de la densidad poblacional del bioindicador *Eisenia foetida* sobre la presencia del Pb y Cd disponible en el suelo empleado para cultivos de cacao (*Theobroma cacao*). La metodología se basó en la ejecución de 5 calicatas de 1m x 1m con una profundidad mínima aproximada de 30 cm de forma aleatoria simple mediante muestreos de suelo superficiales de las cuales se tomaron 5 muestras de suelo cada una de ellas de 1 kg y lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) de cada calicata. Se obtuvo como resultados que las lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) absorben metales pesados como el Cd y Pb, resaltando que algunas lombrices mostraron una adsorción más notoria dando a entender que la densidad poblacional influye de manera inversa en la concentración de Cd ($r=0.872$, $p\text{-valor}=0.027$), y no existe influencia en la concentración del Pb.

Affa (2021) en su tesis “Efecto del cadmio de la roca fosfórica en la macrofauna del suelo en cultivos de cacao, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco”, tuvo como objetivo evaluar la presencia de Cd disponible en suelos de con cultivo de cacao sobre el índice de diversidad de Simpson, en dos sistemas agrícolas (orgánico y convencional). La metodología incluyó 2 parcelas de agricultores cacaoteros orgánico y convencional ambos localizados en el caserío de Rio Negro (provincia de Leoncio Prado-Huánuco). Cada parcela fue dividida en cuatro partes: 01 grupo control, 03 tratamientos de 100 g, 150 g y 200 g de roca fosfórica, durante dos etapas de fertilización. Para el análisis químico se obtuvo muestra de suelos de acuerdo a la metodología establecida para la macrofauna se utilizó el método del programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) con extracciones de seis a ocho monolitos suelos de 25 x 25 x 20 cm. Los resultados obtenidos fueron el contenido promedio de Cd disponible para cultivo convencional y orgánico en los grupos de control, 0.183 ppm y 0.003 ppm respectivamente. Al final de dos fertilizadas se encontró registros altos 0.537 ppm y 0.373 ppm para la convención y orgánico a los 6 meses ambos para tratamiento de 200 g. Influyó la mayor

cantidad de roca fosfórica sobre la índice diversidad de Simpson, de tal modo al incrementar el Cd disponible disminuye el número de familia, siendo mayor en *Lumbricidae* y *Formicidae*.

Santa & Burga (2020) en su estudio “Macrofauna Edáfica como bioindicador de la calidad de suelo en el cultivo de arroz del distrito de San Rafael, Bellavista, San Martín”, tuvieron como objetivo evaluar la presencia de macrofauna como indicador de la calidad de suelo en el cultivo de arroz en el distrito de San Rafael, Bellavista. Se seleccionó aleatoriamente tres unidades de análisis (muestras de suelo), por cada sistema (con cultivo y sin cultivo de arroz). La metodología incluyó el muestreo de suelo se desarrolló utilizando el protocolo del MINAM (2014). Las muestras de suelo de las parcelas con cultivo de arroz presentaron mayor concentración de metales pesados, que las muestras de suelo sin cultivo de arroz. Además, en ambos sistemas (con cultivo de arroz y sin cultivo de arroz), se excede el ECA de suelo en Cd y cromo. Por otro lado, la concentración de organoclorados (4,4-DDT, aldrin, endrin y heptacloro) resultó mayor en el sistema con cultivo de arroz y en ambos sistemas, no se excede el ECA para suelo del Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Los resultados obtenidos fueron que, en las muestras de suelo sin cultivo de arroz, se encontró mayor diversidad de especies de macrofauna ($H'=1.51$). Esta diversidad es un indicador del mayor grado de salubridad del suelo, comparado a los sistemas con cultivo de arroz ($H'=0.69$), en los cuales existe menor diversidad de especies.

Huaman (2022) en su tesis titulada "Análisis comparativo de los niveles de cadmio en cultivos de *Theobroma cacao L.* en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto 2020", tuvo como objetivo comparar los niveles de Cd en cultivos de *Theobroma cacao L.* en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto durante el año 2020. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo-correlacional, no experimental y transversal. Se utilizaron instrumentos como el muestreo de suelos, el muestreo foliar, la observación, el análisis de varianza, la prueba de Duncan y el software InfoStat para el análisis estadístico. La muestra seleccionada consistió en una parcela de una hectárea perteneciente a la asociación "Los Vencedores", ubicada en el distrito de Nauta, Loreto, con cultivos en cuatro diferentes etapas fenológicas. Los resultados indicaron que los niveles de Cd en suelos fueron mayores en la etapa de botón floral (0.77 ppm) y menores en la etapa de maduración (0.55 ppm). No se encontró una correlación significativa entre los niveles de Cd en suelos y hojas. Las conclusiones señalaron que la comparación de los niveles de Cd permitió identificar diferencias significativas en las concentraciones según las etapas fenológicas. Estos hallazgos pueden contribuir a mejorar las prácticas agrícolas y de manejo del suelo para evitar niveles elevados de Cd en los frutos de cacao.

Gonzales (2017) realizó una tesis titulada "Evaluación de la distribución del Cd en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017", tuvo como objetivo determinar la forma de distribución del Cd en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco. La investigación siguió un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental y descriptivo. Se utilizaron observación directa, fichas de recolección de datos, análisis de laboratorio, y herramientas estadísticas como SPSS y Microsoft Excel. La muestra consistió en suelos y raíces de plantas de cacao en diferentes profundidades del suelo. Los suelos presentaron pH ácido, baja humedad y poca MO, con niveles de Cd total altos en zonas 2 y 3. Las raíces en estas zonas también mostraron niveles elevados de Cd, especialmente en la zona 3. Las zonas ubicadas a diferentes niveles altitudinales reportaron concentraciones de Cd que superan el ECA de 14 mg/Kg para suelos agrícolas, con valores ascendentes desde 1.45 hasta 1.65 mg/kg en diversas profundidades del suelo; que se asocian a actividades antropogénicas, como el uso de fertilizantes fosforados distribuidos gratuitamente por el estado, así como por las características inherentes de la roca madre. Además, la MO se correlacionó positivamente y con alta significación estadística con el contenido del Cd total en el suelo. Se concluyó que los suelos en Pucayacu no son adecuados para el cultivo de cacao debido a las condiciones presentadas.

2.1.3. Antecedentes Locales

En el contexto local de la zona de estudio, es importante señalar que no se han encontrado registros de investigaciones previas relevantes para esta investigación. Esta ausencia de antecedentes locales resalta la importancia y originalidad de la presente tesis, ya que se convertirá en un valioso aporte hacia la comprensión y generación de conocimiento en este ámbito específico.

2.2. Bases teóricas

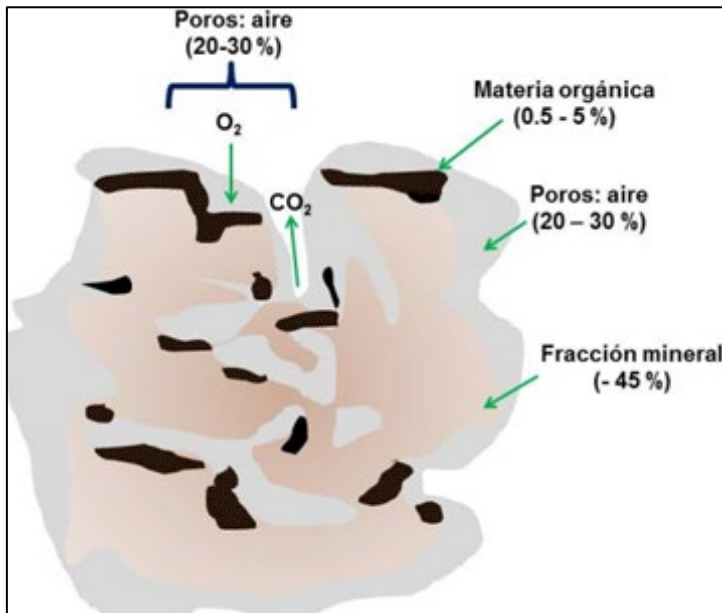
2.2.1. Suelo

El suelo es un recurso de gran importancia que compone la biosfera, se basa en un sistema de elementos enfocados al funcionamiento equilibrado del ecosistema terrestre, como reciclaje de nutrientes y la descomposición de la MO (Ren Fang & Teng, 2023).

Tiene una composición compleja de materiales inorgánicos, MO, agua/aire, minerales (Figura 1) y organismos vivos.

Figura 1

Fracciones principales del suelo en promedio



Fuente: Volke et al. (2005)

2.2.1.1. Fracción mineral

La mayor parte de la estructura del suelo está compuesta por minerales, en los cuales se pueden encontrar los elementos muy abundantes desde: Oxígeno (O) > Silicio (Si) > Aluminio (Al) > hierro (Fe) > carbono (C) > Calcio (Ca) > Potasio (K) > Sodio (Na) > Magnesio (Mg) > Titanio (Ti). Los minerales están agrupados en primarios y secundarios; los primeros se constituyen en gran porcentaje por O y Si y forman silicatos de estructuras Si-O (grava y arena).

Las partículas que conforman el suelo se clasifican en función a su tamaño, en cuatro principales componentes (Tabla 2):

Tabla 2

Partículas del suelo.

Textura	Tamaño de partículas (mm)
Arcilla	< 0.002
Limo	0.002-0.05
Arena	0.05-2
Grava	mayor a 2

Nota: Los datos de Volke et al., (2005)

Las proporciones de partículas minerales determinan la textura de un suelo e impactan directamente sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Volke et al., 2005).

2.2.1.2. Fracción orgánica

La fracción orgánica de los suelos está compuesta por restos de origen vegetal y animal, además de cantidades variables de humus que conforman proporciones variables según el tipo de suelo, por ejemplo un suelo árido esta fracción será menor (0.5% de MO) que una turba (95% de MO); sin embargo, la mayoría de los suelos, en general, tiene un contenido de MO entre 0.5 y 5% (Volke et al., 2005).

2.2.1.3. Fracción agua/gases

En los espacios entre las partículas sólidas de un suelo hay poros, estos contienen diversas cantidades de agua y aire: el agua está presente en los suelos como componente líquido, mientras que el aire forma parte de la fase gaseosa del mismo. Los poros se encontrarán ocupados por agua o por aire dependiendo del contenido de humedad del suelo (Volke et al., 2005).

La composición física y química del suelo de un área estará determinada por el tipo de material geológico del que se origina, la cubierta vegetal, la topografía, el tiempo de meteorización y los cambios resultantes de las actividades antropogénicas (Volke et al., 2005).

2.2.2. *Calidad de suelo*

Un suelo es de calidad, cuando este mantiene la capacidad natural de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales; debido a que sus características físicas, químicas y biológicas le otorgan al suelo la posibilidad de sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénico (MINAM, 2014).

En el caso de Perú la calidad de suelo hace referencia al cumplimiento de normativa específica en parámetros según el uso o funciones que cumplen. El 2 de diciembre de 2017 se promulgó el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, que aprueba a los ECA para Suelo.

2.2.2.1. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Es la medida que comprende el valor referencial de concentración de una sustancia en el suelo, que no considerará un riesgo elocuente para la salud de las

personas ni al ambiente. El grado o la concentración de cada parámetro será expresado en términos de máximo, mínimo o rango de valores, según corresponda (Tabla 3).

Tabla 3

Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo.

Parámetros en mg/kg PS (1)	Usos del suelo			Métodos Suelo Agrícola de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/Parquas	Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	
INORGÁNICOS				
Cadmio (Cd)	1.4	10	22	EPA 3050 EPA3051
Plomo (Pb)	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051

Nota. Adaptada de Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM-Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo y establecen Disposiciones Complementarias.

(1) PS: Peso seco

2.2.2.2. Valor máximo permitido de Azufre (S)

En la normativa peruana no existen valores estándar de concentración de S para suelos agrícolas. Por esta razón, se tomó como referencia la normativa de calidad del suelo de Ecuador, la cual establece un Valor máximo permitido de 500 mg/kg de S como uno de los parámetros a evaluar calidad del suelo destinado a uso agrícola respecto a este macronutriente (García, 2015).

2.2.3. Metales pesados en el suelo

Los metales pesados están presentes en el suelo dentro de la fracción mineral como componentes naturales del mismo, no se pueden degradar fácilmente de forma natural o biológica, puesto que no tienen ninguna función metabólica para los seres vivos, por lo general la proporción de estos elementos en el suelo es inferior al 0.1% y casi siempre menor de 0.01% (Aguirre, 2020). La proporción y el concentración de metales pesados en el suelo puede variar, cuando se alcanzan los niveles que rebasan los límites máximos permitidos, estos producen efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Martin, 2000).

En el suelo, los metales pesados se encuentran en forma de iones libres, pueden tener acción directa sobre los organismos vivos lo que ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos (Pineda, 2004).

Los metales pesados presentes en los suelos agrícolas proceden de actividades humanas que se desarrollan en el área, directamente o circundante a ésta. Estudios demuestran que existe una relación directa entre los metales pesados y malas prácticas agrícolas que utilizan los agricultores para aumentar la productividad de sus cultivos y controlar las malezas, por ejemplo, el uso de los fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn), plaguicidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn), compost derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) y del estiércol (Cu, As, Zn) (Alloway, 2013; Martí et al., 2002; Mendoza et al., 2021).

Al llegar al suelo, los metales pesados pueden ser retenidos o pueden ser trasladados por medio de mecanismos biológicos y químicos diferentes (Pagnanelli et al., 2004). Los metales pesados agregados a los suelos se distribuyen lentamente entre la fase sólida de los componentes. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han et al., 2003).

Para dilucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales es necesaria la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos (Banat et al., 2005). La toxicidad de los metales no depende únicamente de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino et al., 2002).

Los metales pesados repercuten reciamente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo dependen del pH, el contenido de arcillas, contenido de MO, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauvé et al., 2000).

2.2.3.1. Cadmio

Una de las fuentes más destacables de Cd presente en los suelos agrícolas es fertilización fosforada (McLaughlin & Singh, 1999). Los fertilizantes fosforados con alto contenido de Cd, tienen un efecto significativo sobre la concentración de Cd disponible en los suelos (Bonomelli et al., 2003), la principal materia prima de éstos es la roca fosfórica, constituida principalmente por apatita, que, además de P, contiene Cd en cantidades que varían entre 8 y 500 mg/kg (Laegreid et al., 1999). Investigaciones indican que los contenidos de Cd en fertilizantes comercializados en Brasil varían entre 0,6 y 3,5 mg/kg (Prochnow et al., 2001; Raven & Loeppert, 1997b). En los Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia existen estudios respecto a la concentración de este elemento en los fertilizantes y el efecto de su acumulación en suelos y plantas (Charter

et al., 1993; Loganathan et al., 1996; Raven & Loeppert, 1997a; Williams & David, 1973). Todos estos estudios señalan que el uso frecuente de fertilizantes fosforados incrementa las cantidades de Cd en el suelo (Bonomelli et al., 2003).

A medida que se agrega Cd al suelo, este se ve afectado por reacciones químicas y procesos físicos y biológicos. Las principales reacciones implicadas en las interacciones entre los metales y los componentes del suelo son las de adsorción, precipitación y formación de complejos (Ahumada & Schalscha, 1995; Helmke, 1999). En suelos con presencia de Cd, se encontró que este elemento se mantiene en solución a través del tiempo, lo que conserva su efecto tóxico (Barrow & Shaw, 1975).

Sanchez (2016) indica que la movilidad y disponibilidad del Cd en el suelo dependen de características físicas y químicas del suelo: potencial redox (Eh), pH, humedad, tipo y cantidad de arcilla, además de la cantidad y tiempo de aplicación de fertilizantes fosforados, destacando que por lo general el Cd se une fuertemente a la MO del suelo.

2.2.3.2. Plomo (Pb)

El elemento Pb se retiene en una mayor cantidad en los suelos, esto debido a que su solubilidad es menor a otros metales, los suelos carbonatados son los que retienen en mayor proporción este elemento (casi 100%), los suelos ácidos retienen poco Pb (Trejo et al., 2006). En los suelos contaminados con Pb se suele encontrar Cd y Zn por analogía entre sus características y propiedades caso similar a lo que ocurre para la triada de Fe-Ni-Co (Hettiarachchi & Pierzynski, 2002). Entendiéndose así que la barrera suelo-planta limita la traslocación de Pb a la cadena alimenticia, ya sea por procesos de inmovilización química en el suelo (Laperche et al., 1997), o limitando el crecimiento de la planta antes de que el Pb absorbido alcance valores que puedan ser dañinos al hombre (Prieto Méndez et al., 2009).

2.2.4. *Macronutrientes del suelo*

Los nutrientes esenciales presentes en el suelo son vitales para el florecimiento y la expansión de las plantas, siendo su presencia determinada por la composición del suelo, la aplicación de fertilizantes, la filtración de nutrientes a través de las capas del suelo, la erosión y la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Fernández, 2023).

2.2.4.1. Azufre

El S es un macronutriente crucial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, jugando un papel fundamental en numerosas reacciones celulares y siendo un

componente esencial de las proteínas (Sanzano, 2019), este se puede encontrar de manera natural en la MO que se genera a partir de las mismas plantas o mediante la oxidación del S elemental realizada por las bacterias que están en el suelo, siendo estas equivalentes a la aplicación de ácidos sulfúricos (Valdivia, 2015).

Este elemento es indispensable para la síntesis proteica, que es vital para procesos como la fotosíntesis y la fijación de nitrógeno. Las deficiencias de S en el suelo pueden inhibir estas actividades esenciales, afectando negativamente la salud y el crecimiento de las plantas, por lo contrario, el incremento genera la mayor producción de hojas o crecimiento acelerado (Plunkett et al., 2022).

La presencia de S en los fertilizantes utilizados en la agricultura se puede observar en la proporción presente en los productos comercializados en el Perú. Por ejemplo, el Fertilizante Inti contiene un 11% de S en su composición total, mientras que el Fertilizante Ferti de la marca Ceres tiene un 24% de S en su composición. Esto demuestra que varios productos agrícolas incluyen S en su formulación.

2.2.4.2. Cadmio y Azufre

El Cd por lo general se une al S, forma complejos y queda inmovilizado en las raíces de las plantas. Esta unión Cd-S es la principal causa de los cambios en la proporción de sus isótopos; cuando el Cd se mueve dentro de las células, lo hace a través de proteínas transportadoras que prefieren los isótopos más ligeros; por ejemplo, una proteína transporta el Cd desde el exterior de la célula hacia adentro mientras que otra lo mueve hacia una zona de almacenamiento dentro de la célula; además, las moléculas que se unen al Cd y lo mantienen inmovilizado también contribuyen a este cambio en la proporción de isótopos, enriqueciendo en isótopos ligeros (Wiggenhauser et al., 2021).

2.2.5. Bioindicadores de biodiversidad

Los bioindicadores son aquellos organismos o comunidades autóctonos de un territorio determinado, que son vulnerables ante los contaminantes y cuentan con la capacidad de dar una respuesta limitada ante los cambios del medio ambiente (Gonzales et al., 2014). Para que a una especie se le confiera la capacidad de estimar condiciones ambientales que resultan difíciles o costosas de medir directamente (Heink & Kowarik, 2010), estas tienen que desarrollar características biológicas como la n , que permitirán la toma de muestras sin afectar la estabilidad de la población y la baja movilidad, que facilitarán conocer el origen del disturbio (Gonzales et al., 2014).

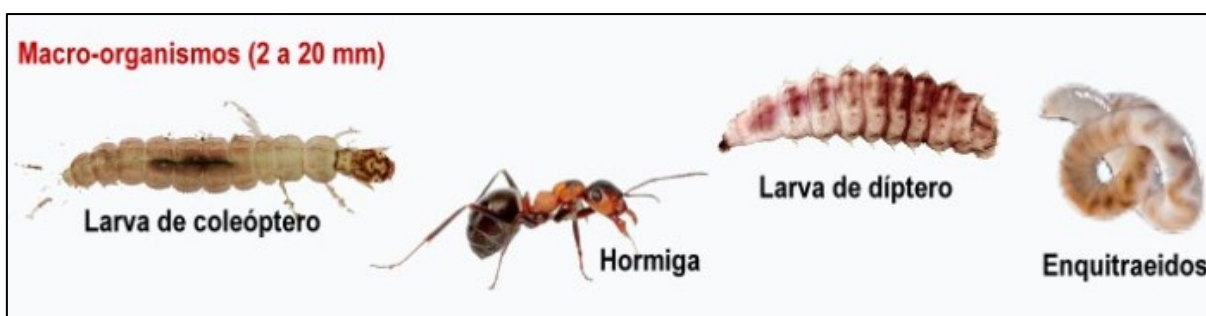
Cada especie bioindicador reaccionará de forma diferente ante los disturbios ambientales, para poder utilizar algún tipo de bioindicador debemos tomar en cuenta el objetivo principal del estudio, por ejemplo el uso de bioindicadores de diversidad es recomendable cuando se desea estudiar áreas con alta riqueza de especies para que se puedan proteger de manera eficaz (Gonzales et al., 2014).

2.2.6. Macrofauna edáfica

El suelo está compuesto por una biología extensa, múltiple y dinámica, la mesofauna y macrofauna del suelo (Figura 2) desempeñan un papel fundamental en la fragmentación, transformación y translocación de materiales orgánicos en él, además, aportan considerables cantidades de biomasa al suelo y mejoran algunas de sus propiedades físicas (Calderón et al., 2018).

Figura 2

Macrofauna del suelo



Fuente: Es fácil ser Verde (2016)

La macrofauna del suelo se constituye por animales con un diámetro mayor a 2mm como los coleópteros, hormigas, lombrices, ciempiés, arañas, termitas, etc. (Grisel de la C Cabrera et al., 2022; Maria de Aquino et al., 2008). Estos invertebrados pueden ser considerados como indicadores de la calidad del suelo, ya que cumple con las características biológicas necesarias, son sensibles al disturbio ambiental en suelos, ocasionados por la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, quema, tala y otras actividades que se realizan en los cultivos (Rendón et al., 2011). Cabe mencionar que la macrofauna edáfica suele responder de varias maneras a la contaminación por metales pesados como el Cd, Cu, Pb y mercurio (Li et al., 2010) por lo tanto son los más idóneos para indicar la biodiversidad del suelo e intensidad de las diversas actividades biológicas (Velásquez et al., 2007).

2.2.6.1. Densidad de macrofauna

La densidad de macrofauna es un concepto clave en ecología del suelo y agroecología, se refiere al número de individuos por unidad de área de suelo. De acuerdo al manual TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), esta densidad se mide mediante un cuadrado de 25 cm x 25 cm ($1/16 \text{ m}^2$) con 10 a 30 cm de profundidad y se basa en el número de individuos del mismo taxón presentes en estratos de 10 cm, 20 cm y 30 cm de profundidad, se expresa en ind/m^2 (Ruiz, 2023), lo cual se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\text{Número de individuos}}{\text{Área de estudio (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

En el estudio realizado por Cabrera et al. (2022), se observó una disminución sustancial de la densidad de detritívoros en el cultivo de ciclo corto (CCC) en comparación con el bosque seco tropical regenerado (BSTr), así como del resto de la trama trófica y de la macrofauna total (BSTr: $287 \text{ ind}/\text{m}^2$; CCC: $86 \text{ ind}/\text{m}^2$).

Otro estudio realizado por Ruiz (2023) en sistemas agroforestales, reportó que los suelos del sistema agroforestal *Theobroma cacao* L. 'cacao' variedad CCN-55 con *Calycophyllum spruceanum* Bent. 'capirona' presentaron una mayor densidad de $1028 \text{ ind}/\text{m}^2$, en comparación con el sistema *Theobroma cacao* L. 'cacao' variedad aromática CPM-15 con Guazuma crinita 'bolaina blanca', que tuvo una densidad de $758 \text{ ind}/\text{m}^2$. Los seres vivos edáficos favorecen las condiciones húmedas y, en estados de deficiencia de agua, se mueven a las partes más profundas del perfil y circulan de una manera más total.

2.2.6.2. Índice de Diversidad de Shannon

Este índice fue desarrollado para medir la cantidad de información que se puede transmitir en un código como se muestra en la ecuación 2 (Shannon y Weaver, 1949):

$$H' = -\sum p_i \log p_i \quad (2)$$

Donde p_i es la proporción de cada especie en la población y "log" es la abreviatura del logaritmo (puede ser base 10). La sumatoria (\sum) es sobre las "S" especies ($i = 1, 2, \dots, S$) de la población. Si llamamos n_i al número de individuos de la especie "i" y N a la población total de la colección, entonces $p_i = n_i/N$. El tamaño de la población (N) se calcula sumando los individuos de todas las especies, es decir, $N = \sum n_i$.

El índice de diversidad Shannon mide (el recíproco de) la probabilidad de seleccionar todas las especies en la proporción con que existen en la población, es decir,

mide la probabilidad de que una muestra seleccionada al azar de una población infinitamente grande contenga exactamente n_1 individuos de especie 1, n_2 de especie 2,... y n_s individuos de la especies (Tique, 2023).

2.2.7. Cacao

La planta de cacao (*Theobroma cacao*) es un árbol de naturaleza perenne que forma parte de la familia Malvaceae (Tabla 4) y tiene su origen en las zonas tropicales de América Central y América del Sur. Es reconocida en gran medida por ser la principal fuente de las semillas de cacao, las cuales son utilizadas para la producción de chocolate y diversos productos afines.

Tabla 4

Taxonomía del Cacao

Denominación	Categoría taxonómica
Dominio	Eukaryote
Reino	Plantae
Filo	Fanerógamas
Clase	Angiospermas
Orden	Malvales
Familia	Esterculáceae
Género	Theobroma
Especie	<i>Theobroma Cacao</i>

Fuente: Pasesku, (2020)

2.2.7.1. Fenología del Cacao

La fenología del cacao (*Theobroma cacao*) abarca distintas etapas desde la germinación, hasta la maduración (Espinoza, 2023):

2.2.7.1.1. Germinación

El ciclo de vida del cacao comienza con la germinación de la semilla. Las semillas de cacao son extraídas de las vainas de cacao y se plantan para dar inicio a una nueva planta. Esta etapa dura aproximadamente 25 días.

2.2.7.1.2. Plántula

Después de la germinación, la semilla da lugar a la plántula, que es la etapa inicial de desarrollo de la planta.

La plántula es vulnerable y necesita condiciones adecuadas para su crecimiento, incluyendo sombra parcial y alta humedad.

2.2.7.1.3. Establecimiento

En esta etapa, la plántula comienza a desarrollarse y establecerse en su entorno. El crecimiento es lento durante este período, y la planta se vuelve más resistente a medida que madura.

2.2.7.1.4. Juvenil

La planta de cacao entra en la etapa juvenil después de algunos meses o años de crecimiento. Durante esta fase, la planta desarrolla un sistema de raíces más extenso y comienza a producir brotes laterales.

2.2.7.1.5. Floración

La floración es un momento crucial en el ciclo del cacao, se da durante casi todo el año, pero principalmente en verano y otoño. Las flores pequeñas y de color blanco o amarillo-verdoso emergen directamente del tronco y las ramas principales. La polinización puede ser realizada por pequeños insectos, como los mosquitos del género *Forcipomyia*, o de forma artificial mediante técnicas agrícolas.

2.2.7.1.6. Formación del fruto

Después de la polinización, las flores se convierten en pequeñas estructuras verdes que eventualmente se desarrollan en vainas de cacao. Estas vainas contienen las semillas de cacao, que son las semillas de las cuales se produce el chocolate.

2.2.7.1.7. Maduración

Las vainas de cacao cambian de color a medida que maduran, pasando del verde al amarillo, rojo o marrón, según la variedad. Una vez maduras, las vainas son cosechadas manualmente y se extraen las semillas para el procesamiento.

2.2.7.2. Producción del cacao

La producción de cacao es crucial para muchas economías en desarrollo. El cacao, que proviene de las selvas tropicales de América, necesita suelos húmedos y bien drenados, más de 2000 mm de lluvia al año y temperaturas superiores a 16°C; la ICCO

identifica tres tipos principales de cacao: Criollo, Forastero y Trinitario (Chancay et al., 2022).

En Perú, las principales variedades cultivadas son Trinitario (53.3%), Forastero Amazónico (37.3%) y Criollo (9.4%). Perú es conocido por producir cacao fino y de aroma, y es el segundo mayor productor de cacao orgánico del mundo. Sin embargo, en la primera mitad de 2023, la producción disminuyó un 4.8% comparado con el mismo período en 2022, debido a la baja producción en regiones clave como San Martín y Junín. Además, la contaminación por Cd es un problema importante que afecta la calidad y aceptación del cacao en los mercados internacionales (Merchan, 2022; Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023).

2.2.7.3. Fertilización del cultivo de cacao

En la fertilización en el cultivo de cacao, es esencial considerar factores climáticos y de suelo. El cacao requiere suelos profundos, ricos en MO, con buen drenaje y un pH de entre 4 y 7. La fertilización debe ajustarse a las necesidades específicas de la planta, considerando el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Los fertilizantes pueden ser orgánicos, como compost y estiércol, o inorgánicos, como nitrato de amonio y superfosfato. La aplicación debe realizarse en etapas clave del desarrollo del cultivo, generalmente en tres o cuatro aplicaciones al año, para evitar la pérdida de nutrientes y maximizar su absorción. Además, se recomienda la regulación de sombra y podas para optimizar la fertilización (Loli & Cavero, 2021).

2.2.8. Prácticas agrícolas sostenibles

Las prácticas agrícolas sostenibles engloban técnicas de cultivo orientadas a la conservación ambiental, garantizar el abastecimiento de alimentos, salvaguardar la salud de la comunidad, fomentar la justicia social y económica, y asegurar el futuro económico de los campos de cultivo. Estas estrategias tienen como objetivo equilibrar la producción de alimentos con la protección de los recursos naturales para beneficio de las generaciones venideras. Abarcan diversas tácticas:

2.2.8.1. Mulch

Según Frutos (2015) el mulch se refiere a una cobertura aplicada sobre la superficie del suelo, mientras que "mulching" es el proceso de aplicar esta cobertura. Esta técnica se utiliza en la agricultura y jardinería para mejorar las condiciones del suelo, conservar la humedad, reducir el crecimiento de malas hierbas, proporcionar nutrientes y mejorar la apariencia del área cubierta. Los materiales utilizados como

mulch pueden ser orgánicos, como hojas, paja, y corteza, o inorgánicos, como plástico, gravilla y tela geotextil.

2.2.8.2. Diversificación de cultivos

Según Candell (2017), se refiere a la variedad de especies vegetales cultivadas en un área determinada. Este concepto abarca diferentes tipos de cultivos agrícolas, incluyendo cultivos frutales, pastos, cultivos anuales, perennes, hortícolas y forestales. La investigación destacó la importancia de la diversificación agrícola como estrategia para mejorar la productividad, el uso sostenible de recursos y la resiliencia de los sistemas agrícolas en la Provincia Santa Elena, Ecuador.

2.2.9. Definiciones de términos básicos

2.2.9.1. Biodisponibilidad

La biodisponibilidad consta de las interacciones físicas, químicas y biológicas que determinan la exposición de los organismos a los químicos asociados a los suelos (De la Cal Rodríguez, 2015).

2.2.9.2. Biología

La biología es la ciencia que estudia a los seres vivos, los procesos y características relacionados con la vida (Waddington, 2017).

2.2.9.3. Compost

El compost es un producto obtenido a partir de diferentes materiales de origen orgánico (Mezo, 2010).

2.2.9.4. Densidad poblacional

Densidad poblacional es un indicador estadístico que expone la distribución de individuos que habitan en un espacio determinado (Arieta, 2006).

2.2.9.5. Diversidad

La diversidad es una propiedad que caracteriza a los sistemas vivos como diferentes entre sí, no es una entidad, sino una propiedad (Núñez et al., 2003).

2.2.9.6. Edáfica

Es un adjetivo utilizado para referirse al suelo o algo perteneciente al mismo (RAE, 2024).

2.2.9.7. EDTA

Es una sustancia química quelante (ácido etilendiaminotetracético) que se adhiere a los iones de ciertos metales como el calcio, magnesio, Pb y hierro (Lee & Khor, 2022).

2.2.9.8. Fenología

Es aquella disciplina científica que ayuda a entender los eventos y fases que ocurren en el ciclo de vida de las plantas (Espinoza, 2023).

2.2.9.9. Metal pesado

El término metal pesado hace referencia a aquellos elementos que tienen una densidad mayor o igual a 5 g. cm^3 siendo de mayor peso que los minerales formadores de roca en su forma elemental, su número atómico es superior a 20, excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos (Ignacio & Martirena, 2001).

2.2.9.10. Monolito

Un monolito es un bloque de suelo de dimensiones específicas, generalmente utilizado como unidad básica de muestreo para evaluar y recolectar macrofauna edáfica (Anderson & Ingram, 1990).

2.2.9.11. Muestra compuesta

Una muestra compuesta del suelo se caracteriza por la mezcla conveniente de muestras simples (sub muestras), que son llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis, siendo el resultado un valor analítico medio de la propiedad o compuesto analizado (MINAM, 2014).

2.2.9.12. Patógeno

Un agente patógeno es aquella entidad biológica que puede causar una enfermedad infecciosa en un huésped (humano, animal, vegetal, etc.) sensiblemente predispuesto (Apún, 2007).

2.2.9.13. Plaguicida

Un plaguicida es aquella sustancia química utilizada en las plantaciones agrícola con el fin de controlar, prevenir o destruir las plagas que afectan a los cultivos (Dinham, 1996).

2.2.9.14. Suelo

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, donde viven una gran diversidad de organismos y crece la vegetación (López & Moret, 2017).

CAPÍTULO III

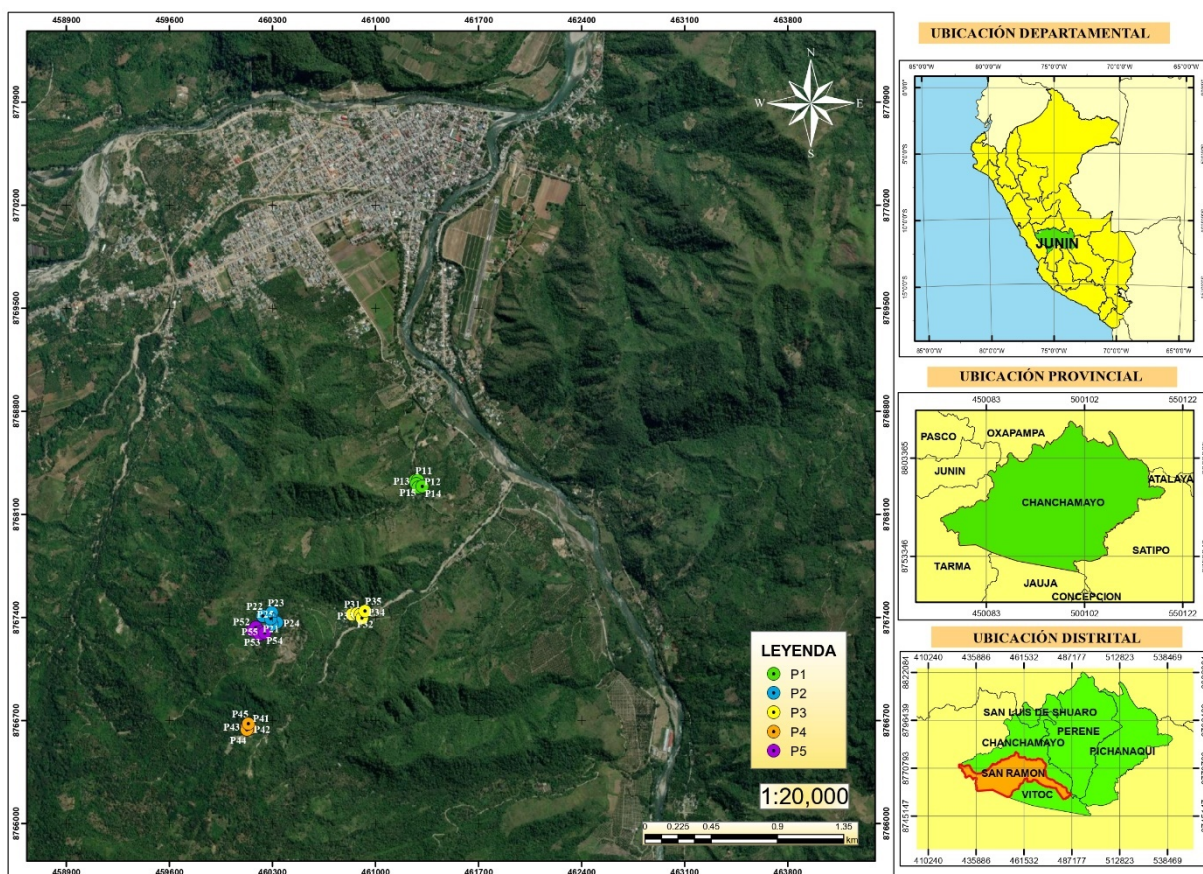
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio

El estudio se realizó en el anexo San Juan de Tulumayo Alto, ubicado al sur oeste del distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo en el departamento Junín; en las parcelas de cultivo de cacao pertenecientes a la "Asociación de Productores de Cacao y otros de San Juan de Tulumayo", cuyas coordenadas de referencia UTM 18L son 461504.00 m E, 8767703.00 m S y una elevación de 914 m.s.n.m. como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Mapa de Ubicación del área de estudio: Anexo San Juan de Tulumayo del distrito de San Ramón, de la provincia de Chanchamayo, del departamento Junín 2023



Nota: [P1, P2, P3, P4, P5]: parcelas cultivadas de cacao evaluadas en el presente estudio, de elaboración propia en aplicación ArcMap (ArcGIS) mapa elaborado en ArcGIS

En la Tabla 5 se presenta los datos de las cinco parcelas cultivadas de cacao, donde se evaluaron los suelos y la macrofauna edáfica. Esta incluye coordenadas (Norte y Este), pendiente y una descripción detallada del lugar:

Tabla 5

Descripción de puntos de muestreo del Anexo San Juan de Tulumayo del distrito de San Ramón, de la provincia de Chanchamayo, del departamento Junín 2023

Puntos de muestreo	Norte	Este	Pendiente	Descripción del lugar
P1	8768329.327	461270.172	7.1°	<ul style="list-style-type: none"> • Punto circundante a la población del anexo San Juan de Tulumayo alto. • Ausencia de especies forestales circundantes • Monocultivo • Fertilización con mulch
P2	87677392.486	460289.967	23.9°	<ul style="list-style-type: none"> • Cercano al botadero municipal de San Ramón • Presencia de especies forestales circundantes • Agricultura diversificada • Fertilización con urea y mulch
P3	8767420.15	460841.552	7.2°	<ul style="list-style-type: none"> • Punto circundante a la población del anexo San Juan de Tulumayo alto • Monocultivo • Fertilización con urea y mulch
P4	8766648.406	460149.144	11.7°	<ul style="list-style-type: none"> • Cercano al botadero municipal de San Ramón • Presencia de especies forestales circundantes • Cercano a una quebrada • Agricultura diversificada • Fertilización con mulch, guano de cuy y residuos de cacao • Aplicación de Herbicida Glifosato
P5	8767311.041	460166.464	22.1°	<ul style="list-style-type: none"> • Cercano al botadero municipal de San Ramón Presencia de especies forestales circundantes • Agricultura diversificada • Cercano a una quebrada • Agricultura diversificada • Fertilización con urea, guano de isla y mulch

3.2. Tipo, nivel y diseño de investigación

Se empleó como método general, el método científico, iniciando con la observación, posteriormente la delimitación del problema junto a las hipótesis y objetivos.

Para la ejecución de la investigación planteada, específicamente se utilizó un método cuali-cuantitativo, ya que una vez medidas las variables objeto de estudio, se procedió a evaluar la relación existente, de manera cuantitativa, a través del cálculo del coeficiente de correlación, y de manera cualitativa, a través del análisis de los resultados obtenidos, permitiendo predecir

el comportamiento de una variable cuando se desconoce el comportamiento de la otra variable (Dagnino, 2014; Pinto, 2018).

3.2.1. Tipo de investigación

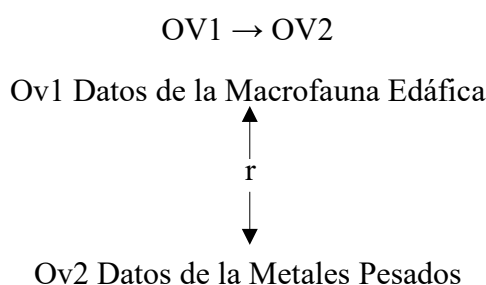
El presente estudio corresponde al tipo de investigación básica, ya que se observó los datos tal y como se muestran en el contexto natural del anexo San Juan de Tulumayo, enfocándose en describir los fenómenos sin manipulación (Martínez, 2020).

3.2.2. Nivel de investigación

La investigación es del nivel descriptivo-correlacional, puesto que se ha medido de manera conjunta y ha evaluado la relación entre los metales pesados y los índices de macrofauna edáfica en un contexto en particular como lo plantean (Valderrama, 2002).

3.2.3. Diseño de investigación

La presente investigación tuvo un diseño de investigación no experimental del tipo correlacional, sin intervención, prospectivo, transversal y analítico (Hernández et al., 2014). En el siguiente esquema se muestra el diseño utilizado:



Donde:

- OV1: Observación de la variable 1
- OV2: Observación de la variable 2
- r: Coeficiente de correlación

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por los suelos de cultivos de cacao de la Asociación de Productores de Cacao del anexo San Juan de Tulumayo del distrito de San Ramón, de la provincia de Chanchamayo.

3.3.2. Muestra

Se eligió 5 parcelas cultivadas de cacao, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Distribución geográfica: Proximidad al Botadero Municipal del Distrito de San Ramón y población del anexo San Juan de Tulumayo
- Uso de fertilizante y plaguicidas
- Tipo de cultivo: Monocultivo y agricultura diversificada

La muestra en función a la población de estudio estuvo constituida por:

- 05 muestras compuestas de suelo obtenidas en cada punto de muestreo, donde cada una estará constituida por 4 submuestras de suelo.
- 05 monolitos de suelo obtenidos en cada punto de muestreo.

3.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

En esta investigación, se emplearon diversas técnicas e instrumentos para recopilar información y llevar a cabo los experimentos necesarios. A continuación, se describen las fases que se llevaran a cabo:

3.4.1. Fase de campo y laboratorio

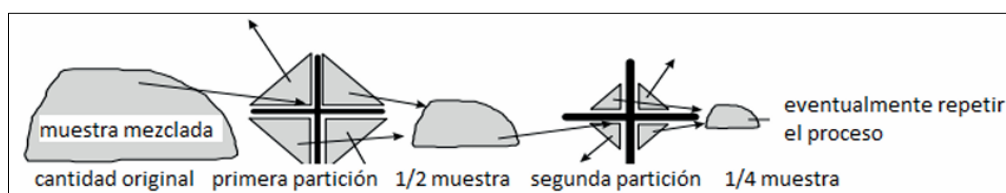
3.4.1.1. Obtención y evaluación de muestras en el suelo

En la Guía para el muestreo de Suelos del MINAM (2014) se establece que para la toma de muestras superficiales del suelo se pueden aplicar sondeos manuales y tomar muestras compuestas.

Siguiendo las recomendaciones específicas del MINAM (2014), se llevó a cabo la toma de muestras superficiales compuestas empleando el siguiente método de muestreo bidimensional y la siguiente técnica de muestreo (Figura 4).

Figura 4

Técnica de partición de muestra de suelo



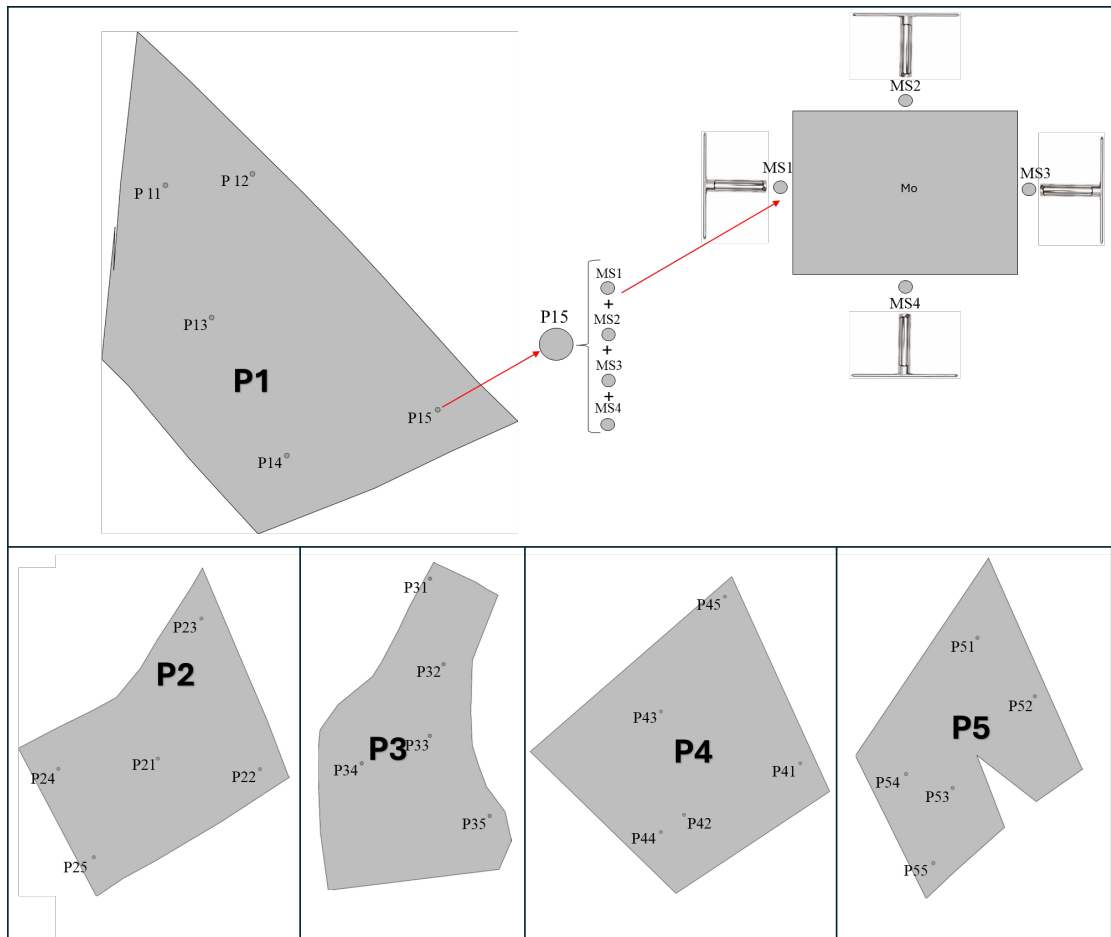
Fuente: MINAM (2014)

En este proceso, de cada punto de muestreo codificado (P1, P2, P3, P4, P5), se obtuvieron cinco muestras compuestas, sumando un total de 25 muestras de suelo. Cada una de estas muestras compuestas se formó a partir de cuatro submuestras o muestras

simples (ms1, ms2, ms3, ms4), las cuales se extrajeron utilizando una barrena desde los laterales de la zona designada para retirar los monolitos de suelo (Figura 5), alcanzando una profundidad de 0 a 30 cm. Estas cuatro submuestras se combinaron para luego aplicar la técnica de partición y generar una muestra compuesta de 1 kg de suelo (Anexo 4). Posteriormente, esta muestra se colocó en una bolsa, se le aplicó la rotulación correspondiente en una etiqueta adhesiva, y se registraron los datos pertinentes en la ficha de campo (Anexo 2.1).

Figura 5

Puntos de muestreo de las 5 parcelas



Nota: [P1, P2, P3, P4, P5]: parcelas cultivadas de cacao; [P15]: muestra compuesta de suelo (ejemplo aplicado para cada punto de muestreo); [ms1, ms2, ms3, ms4]: muestras simples de suelo que conforman la muestra compuesta; [Mo]: monolito de suelo

Las 25 muestras obtenidas se enviaron al laboratorio de la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro en Brasil, para realizar el análisis de Cd y Pb, adicionalmente, S; utilizando la técnica de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).

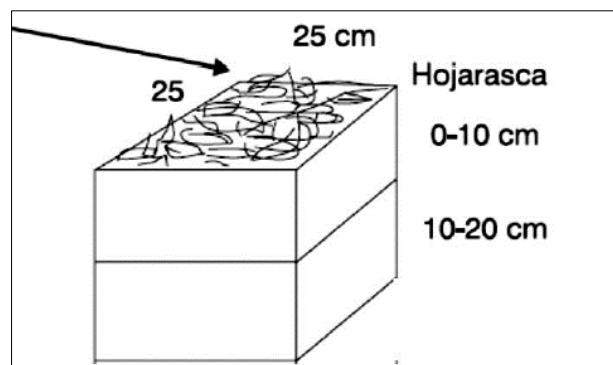
Además, en tres muestras de suelo (P55, PS41, PC32) se realizó el análisis de Caracterización Completa, que incluyó la determinación del pH, conductividad eléctrica (CE), MO, fósforo (P), K, textura y CIC. Estos parámetros se utilizaron en la discusión de resultados. Asimismo, se analizaron el Cd y el Pb mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) para el control de calidad. Los resultados de estos análisis se presentan en el Anexo 3.

3.4.1.2. Obtención de monolitos y evaluación de macrofauna de suelo

Según el método recomendado por Anderson & Ingram (1990), se obtuvo 5 monolitos del suelo de cada punto de muestreo de las parcelas cultivadas de cacao (P1, P2, P3, P4, P5), haciendo un total de 25 monolitos. Se utilizó un cuadrante, cuyas dimensiones son 25 cm x 25 cm x 20 cm de profundidad (Figura 6), para la extracción de cada monolito del suelo desde una profundidad de 0 a 20 cm, los cuales se colocaron en bolsas debidamente etiquetadas (Figura 8). Los datos de las muestras se anotaron en la ficha de campo (Anexo 4).

Figura 6

Monolitos de suelo



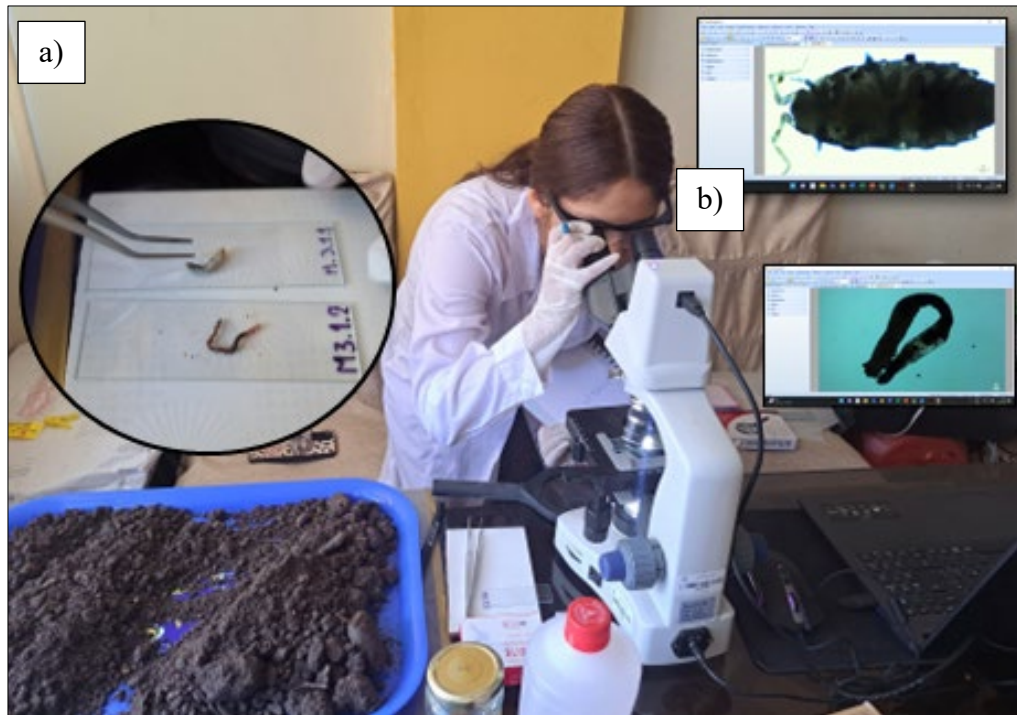
Fuente: Anderson & Ingram (1990)

Siguiendo la metodología utilizada por Cárdenas (2008), se separaron los macroinvertebrados de los monolitos de suelo obtenidos, utilizando pinzas y bandejas plásticas. Después, se colocaron en frascos de vidrio con alcohol y se etiquetaron adecuadamente.

Estos recipientes se llevaron al laboratorio de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa para la identificación taxonómica de los órdenes y familia mediante su visualización en programa Scopelimage 9.0 desde el microscopio con cámara incorporada.

Figura 7

Identificación de macrofauna



Nota: a) separado de macroinvertebrados b) vista del individuo mediante programa Scopelimage

3.4.2. Fase de gabinete y análisis de datos

Los datos de las concentraciones de metales pesados Cd y Pb, adicionalmente S fueron promediados utilizando la ecuación 2:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Dónde:

- \bar{x} : es la media aritmética.
- x_i : representa cada uno de los valores del conjunto de datos
- n : es el número total de valores en el conjunto de datos

La densidad de macrofauna del suelo se obtuvo de transformar la cantidad de individuos presentes en cada monolito, en número de individuos por metro cuadrado (ind/m^2).

$$D = \frac{n(ind)}{\text{Área de estudio } (m^2)} \quad (4)$$

Dónde:

- $n(\text{ind})$: Número de individuos
- $\text{Área de estudio } (m^2) = 0.25m \times 0.25m = 0.0625m^2$

La diversidad de macrofauna se obtuvo a partir del índice de diversidad de Shannon que se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum_{i=1}^S pi \ln pi \quad (5)$$

Dónde:

- S : Número de taxas
- pi : Proporción de individuos de cada taxa respecto al total: ni/N
- ni : Número de individuos de la taxa i
- N : Número de individuos de todas las especies

Resultado de la ecuación que normalmente varía entre 0.5 y 5. Menor a 2 la diversidad es baja y superior a 3 la diversidad es alta (Shannon & Weaver, 1949).

3.5. Análisis de datos

Se aplicó las pruebas de correlación correspondiente la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, con un nivel de confianza al 95% de confianza ($\alpha = 0,05$).

Para delimitar el grado de relación entre las variables, se efectuó el análisis de regresión múltiple, por pasos consecutivos para la obtención de modelos estadísticos versátiles, por medio de la ecuación 6 (Juan A. et al., 2011):

3.5.1. Ecuación de regresión:

$$Y_i = a + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} \dots b_kX_{ki} + \varepsilon_i \quad (6)$$

Dónde:

- Y_i : Variable de respuesta, el valor que se quiere predecir
- a : Intercepto o constante
- $b_1, b_2, \dots b_k$: Coeficientes de regresión que se asocian a cada variable de entrada, miden el cambio promedio de Y por cada unidad de aumento en X_k
- $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}$: Variables de entrada
- ε_i : error o variación en Y no explicada por las variables de entrada

Asimismo, se llevó a cabo el análisis de correlación para evaluar la asociación entre la densidad de macrofauna e índices de diversidad y la concentración de Cd y Pb. Los datos estadísticos generados fueron procesados haciendo uso del programa estadístico Past 4.03 y hoja de cálculo de Microsoft Profesional Plus 2019.

3.5.2. *Coefficiente de relación:*

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (7)$$

El coeficiente r de Spearman puede variar de -1.00 a + 1.00 (Hernández-Sampieri et al., 2010; Martínez Ortega et al., 2009), donde:g

- -1.00 = correlación negativa perfecta.
- -0.90 = Correlación negativa muy fuerte
- -0.75 = Correlación negativa considerable
- -0.50 = Correlación negativa media
- -0.25 = Correlación negativa débil
- 0= No existe correlación alguna entre las variables
- +0.10 = Correlación positiva muy débil
- +0.25 = Correlación positiva débil
- +0.50 = Correlación positiva media
- +0.75 = Correlación positiva considerable
- +0.90 = Correlación positiva muy fuerte
- +1.00 = Correlación positiva perfecta

3.6. Consideraciones éticas

La investigación protegió la propiedad intelectual de los autores referenciados, así como los aportes previos de sus antecedentes, usando correctamente las referencias bibliográficas.

Los métodos y protocolos empleados en la investigación fueron citados y protegidos en su integridad.

Respecto a los datos, ninguno fue manipulado ni direccionado o forzado en beneficio propio, se respetó la integridad de los datos.

Se solicitaron los permisos necesarios a los lugares de muestreo, así como en el uso de las instalaciones de la universidad, respetando la propiedad privada y uso correcto de instalaciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Presentación de resultados y discusiones

4.1.1. Resultados del primer objetivo específico

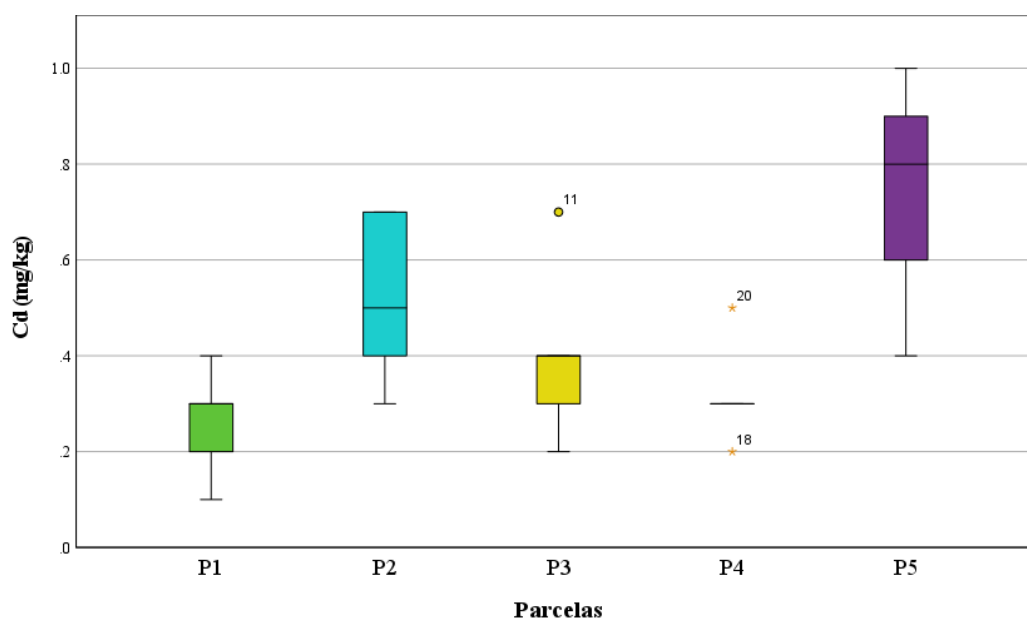
Realizando un análisis específico de las concentraciones de Cd en los 25 puntos de muestreo en suelos de cultivos de cacao. Los resultados se visualizan en la Figura 8, que detalla las concentraciones de Cd para cada punto de muestreo.

El presente estudio realizado en el anexo de San Juan de Tulumayo Alto muestra que las concentraciones de Cd varían entre los diferentes puntos de muestreo. La concentración más alta se registró en la ubicación P5, con un valor promedio de $\bar{x} = 0.8$ mg/kg, seguido por el punto P2 con un valor promedio de $\bar{x} = 0.5$ mg/kg. Estos valores son inferiores al ECA para Cd en suelos de uso agrícola establecido en 1.4 mg/kg.

Por otro lado, las menores concentraciones se registraron en el punto P1 y P4, con un valor promedio de $\bar{x} = 0.3$ mg/kg en ambos, lo que demuestra una variabilidad en la distribución de este metal en la zona estudiada. Los demás puntos analizados registraron concentraciones intermedias, todas por debajo del límite fijado por el ECA (1.4 mg/kg), lo que refleja que, en general, los suelos de los cultivos de cacao no registran preocupantes niveles de contaminación por Cd.

Figura 8

Concentraciones de cadmio (Cd) en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



La uniformidad en el mantenimiento de las concentraciones inferiores a los límites establecidos sugiere que las prácticas de manejo de suelos y el contexto geológico de la región contribuyen a mantener niveles de Cd que no comprometen la calidad del suelo ni la seguridad del cultivo de cacao.

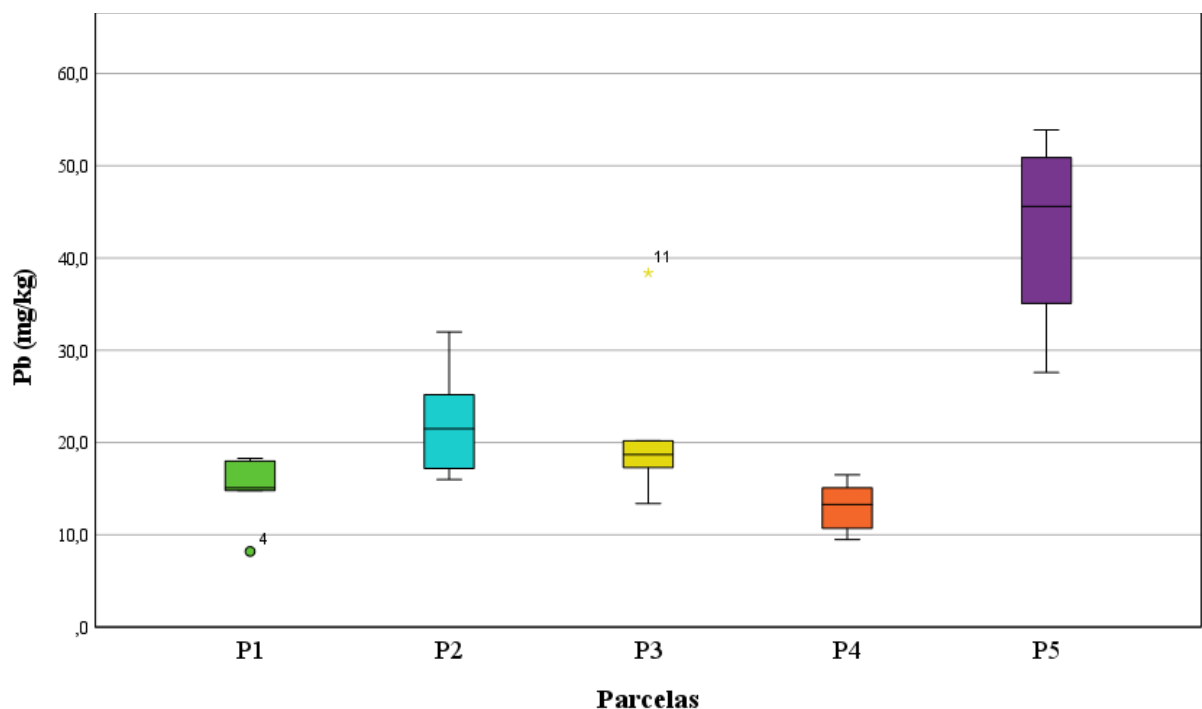
Siguiendo con la evaluación de metales pesados, se determinaron las concentraciones de Pb en los mismos 25 puntos de muestreo en suelos de cultivos de cacao. Los resultados se visualizan en la Figura 9, que detalla las concentraciones de Pb para cada punto de muestreo.

El análisis de los suelos en la misma región revela que la concentración de Pb es más elevada en el punto P5, con un promedio de 42.6 mg/kg. Le sigue el punto P2, con un valor promedio de $\bar{x} = 22.4$ mg/kg. A pesar de ser significativas, estas concentraciones se mantienen por debajo del ECA para Pb en suelos de uso agrícola, que es de 70 mg/kg.

Las concentraciones más bajas de Pb se registraron en el punto P4, con un valor promedio de $\bar{x} = 13.0$ mg/kg, seguido por el punto P1, con un valor promedio de $\bar{x} = 14.9$ mg/kg, lo que muestra una variabilidad en la acumulación de este metal en la región. A pesar de las diferencias entre los puntos de muestreo, es notable que ninguno excedió el ECA (70 mg/kg), lo que sugiere que los niveles de Pb en los suelos de cultivo de cacao no constituyen una preocupación inmediata para la salud del suelo y el cultivo.

Figura 9

Concentraciones de Plomo (Pb) en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



Esta consistencia en las concentraciones por debajo del umbral del ECA refuerza la noción de que las prácticas agrícolas en San Juan de Tulumayo Alto están contribuyendo a mantener la calidad del suelo en términos de contaminación por Pb.

Las concentraciones promedio y variación de concentraciones de metales pesados evaluados por parcela se muestran en la Tabla 6 y Tabla 7.

En síntesis, la determinación de las concentraciones de los metales pesados en suelos cultivados de cacao en el anexo San Juan de Tulumayo, San Ramón, Chanchamayo, durante el año 2023, reveló que las concentraciones promedio de Cd (\bar{x} =0.5 mg/kg) y Pb (\bar{x} =22.9 mg/kg), no excedieron los límites permisibles de los ECA para suelo agrícola (1.4 mg/kg para Cd y 70 mg/kg para Pb).

Tabla 6

Concentraciones promedio de Metales pesados (Cd, Pb) y S en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023

Concentración (mg/kg)	Puntos de Muestreo				
	P1 ($\bar{x} \pm \sigma$)	P2 ($\bar{x} \pm \sigma$)	P3 ($\bar{x} \pm \sigma$)	P4 ($\bar{x} \pm \sigma$)	P5 ($\bar{x} \pm \sigma$)
Cd	0.3 ± 0.1a	0.5 ± 0.2a	0.4 ± 0.2a	0.3 ± 0.1a	0.8 ± 0.2b
Pb	14.9 ± 4.1a	22.4 ± 6.5a	21.6 ± 9.7a	13 ± 2.9a	42.6 ± 11b
S	2503.2 ± 84a	2611.9 ± 125.9a	2465.6 ± 62.5a	2539.3 ± 82a	2590.9 ± 56.2a

Nota: \bar{x} : media aritmética, σ : desviación estándar

De acuerdo a los niveles de significancia obtenidos mediante el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas en las concentraciones de metales (Cd y Pb) entre los puntos de muestreo evaluados (Tabla 7).

La comparación entre las parcelas muestra que P5 presentó una diferencia significativa en los promedios de la concentración de Cd (\bar{x} = 0.8 mg/kg) y Pb (\bar{x} = 42.6 mg/l), demostrando la mayor concentración de Cd (p valor=0,002) y Pb (<0,001).

Por otro lado, P1 demostró las concentraciones más reducidas de dichos metales, destacando así una distribución geográfica variable. La conformidad con los ECA en todos los puntos evaluados sugiere un equilibrio entre las prácticas agrícolas y las condiciones geológicas de la región, lo que favorece la calidad y seguridad de los suelos destinados al cultivo del cacao respecto al Cd y Pb.

Respecto al S, las concentraciones en todos los puntos estuvieron por encima del Valor Máximo Permitido (500 mg/kg), lo que podría requerir una investigación más detallada.

Tabla 7

Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para las concentraciones promedio de Metales pesados (Cd, Pb) y S en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023

Concentración	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p valor
Cd	0.722	4	0.181	6.020	0.002
Pb	2763.868	4	690.967	12.182	<0.001
S	73168.928	4	18292.232	2.492	0.076

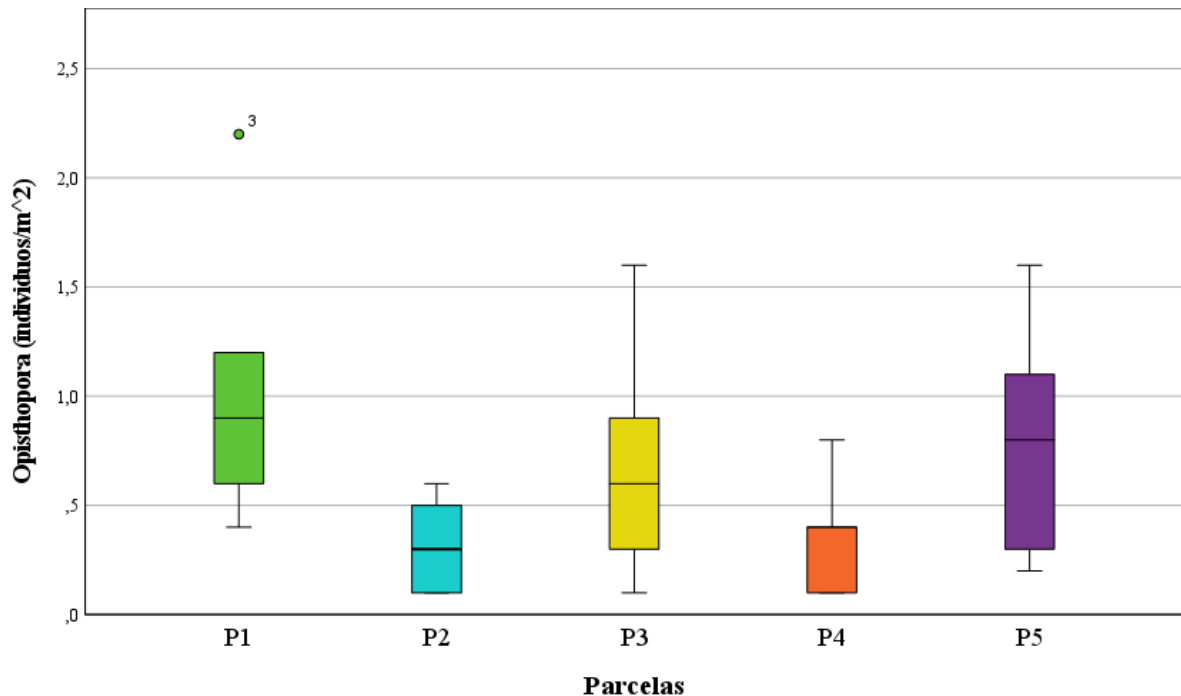
Nota: gl : grados de libertad, F: estadístico de Fisher, p valor: nivel de significancia

4.1.2. Resultados del segundo objetivo específico

Realizando un análisis específico de la densidad de macrofauna de los órdenes registrados en los 25 puntos de muestreo en suelos de cultivos de cacao. Los resultados se visualizan en la Figura 10.

Figura 10

Densidad de macrofauna del orden Opisthopora registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



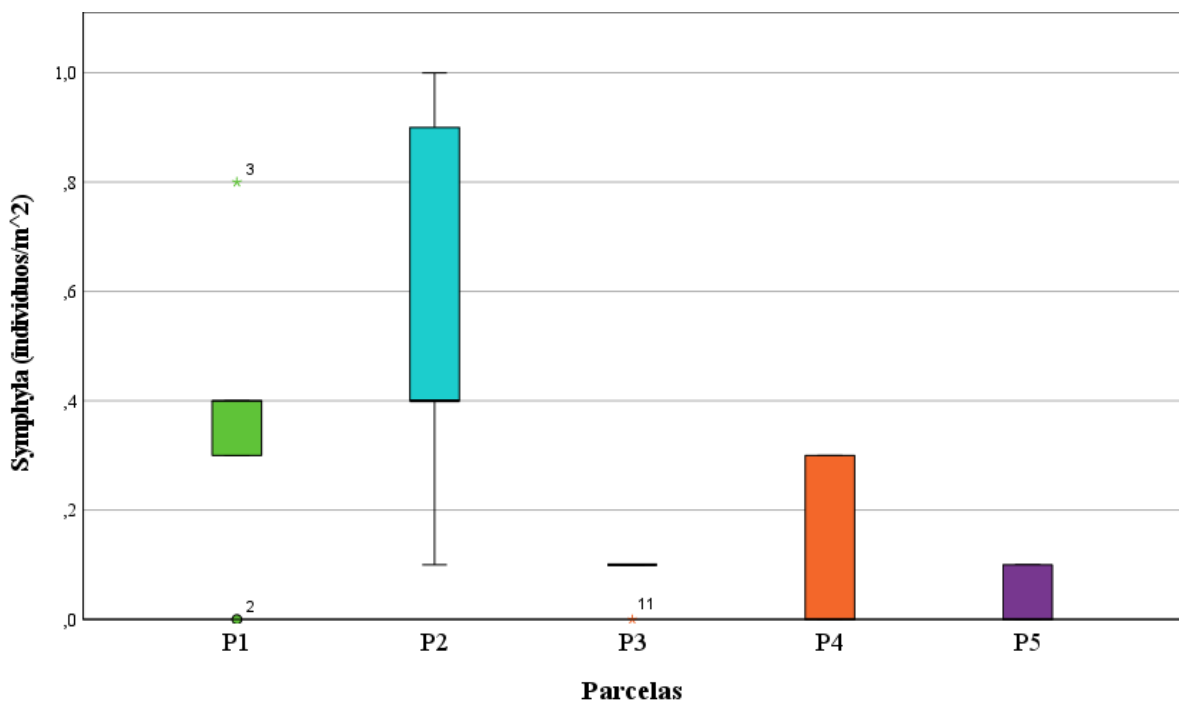
En la Figura 10 se puede observar, que densidad de macrofauna del orden Opisthopora mayor se registró en el punto de muestreo P1, con una densidad promedio de ± 1.1 (individuos/ m^2) y un total de 84 individuos colectados, seguido por el punto P5, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.8$ (individuos/ m^2), con un total de 63 individuos colectados. La

notable presencia de Opisthopora en P1 sugiere suelos bien estructurados con un buen contenido de MO, caracterizadas por una pendiente suave de 7.1° factor que favorece la drenabilidad y retención de nutrientes esenciales para el desarrollo de una biota saludable (Roose, 1996).

Por otro lado, la densidad de macrofauna del orden Opisthopora menor se registró en el punto P2, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.3$ (individuos/ m^2) y un total de 26 individuos colectados. Esta menor densidad podría reflejar condiciones subóptimas del suelo para esta macrofauna, posiblemente debido a niveles bajos de MO y a una pendiente más pronunciada de 23.9° , lo que sugiere que el entorno puede ser menos propicio para la actividad de Opisthopora.

Figura 11

Densidad de macrofauna del orden Symphyla registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



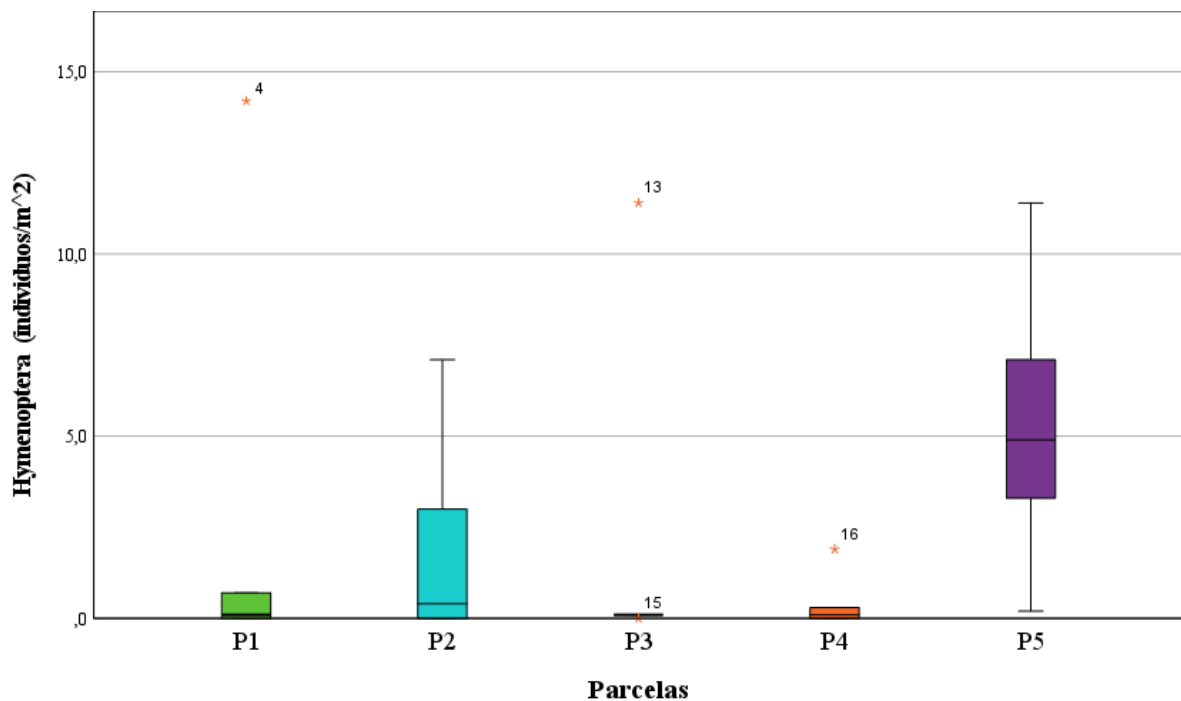
En la Figura 11 se puede observar, que la densidad de macrofauna del orden Symphyla mayor se registró en el punto de muestreo P2, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.6$ (individuos/ m^2) y un total de 44 individuos colectados, seguido por el punto de muestreo P1, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.4$ (individuos/ m^2) y un total de 30 individuos colectados. La comparación entre puntos de muestreo sugiere que las condiciones del suelo en esos dos puntos son particularmente adecuadas para la vida de los Symphyla, que son esenciales para la descomposición de MO y el mantenimiento de la salud del suelo.

Por otro lado, la densidad de macrofauna del orden Symphyla menor se registró en el punto de muestreo P5, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.1$ (individuos/ m^2) y solo 4 individuos colectados. La densidad menor de Symphyla en este punto podría indicar una disponibilidad menor de humedad en el suelo que los demás puntos. Este factor, a su vez, podría estar influenciado por las prácticas agrícolas locales, como el uso del cultivo mixto (Figura 22).

Este patrón de distribución de la macrofauna del orden Symphyla también puede verse influenciado por las propiedades físicas del suelo. La pendiente media pronunciada de 22.1° en el punto P5, podría estar afectando la retención de agua y la estabilidad del suelo (Roose, 1996), factores que son críticos para la supervivencia de organismos como el Symphyla. Adicionalmente, el color marrón oscuro y la textura franco de estos puntos pueden tener implicaciones en la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo, así como en su estructura general.

Figura 12

Densidad de macrofauna del orden Hymenoptera registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



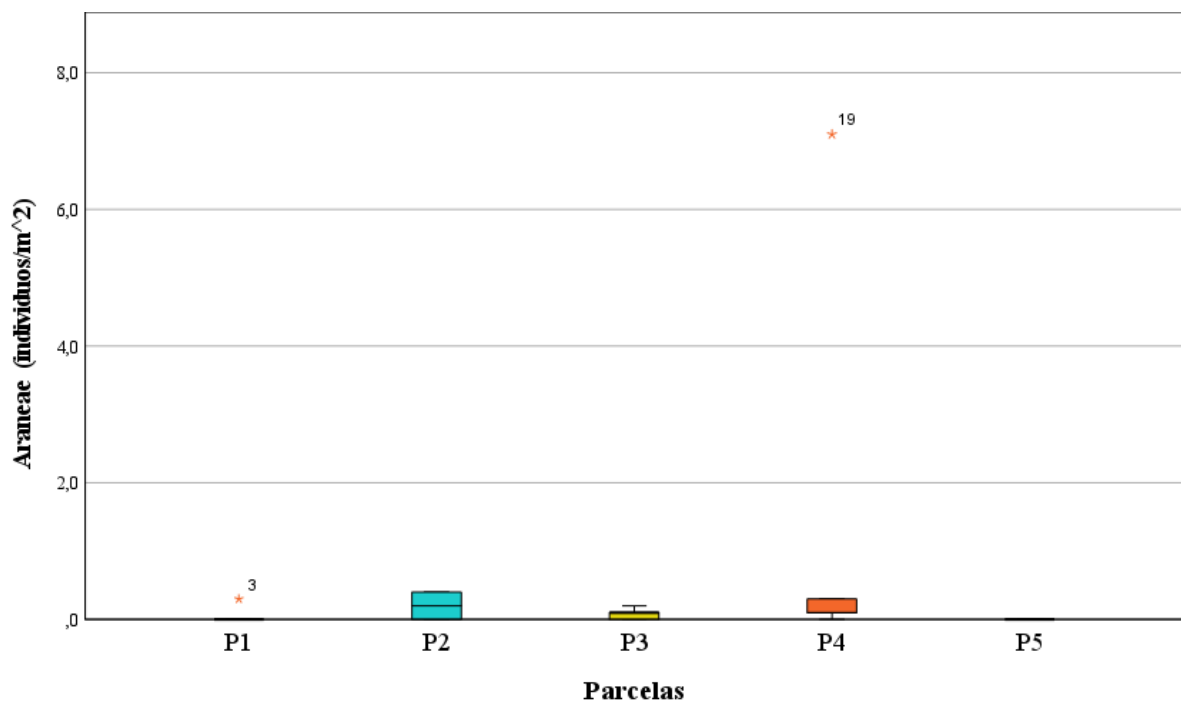
En la Figura 12 se puede observar, que la densidad de macrofauna del orden Hymenoptera mayor se registró en el punto de muestreo P5, con una densidad promedio de $\bar{x} = 5.4$ individuos/ m^2 , y un total de 432 individuos colectados. Este sitio, además, mostró un contenido de MO alta (5.18%), textura franco y pendiente 22.1° , lo cual podría estar relacionado con la alta densidad de Hymenoptera, dado su papel crítico en la polinización y como reguladores naturales de plagas del suelo (Goitia et al., 1992; Mera, et al, 2010).

Por otro lado, la densidad de macrofauna del orden Hymenoptera más baja se registró en el punto de muestreo P4, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.4$ individuos/ m^2 y un total de 35 individuos colectados. Esta densidad podría estar influenciada por una MO (2.22%) menor y menor cantidad de hojarazca (mulch) en el suelo a los demás puntos, los cuales son factores podrían indicar condiciones subóptimas para el desarrollo y supervivencia de estos importantes polinizadores y reguladores naturales de plagas (Chanatasig-Vaca et al., 2011).

Es importante destacar que en el punto P4, donde la densidad de himenópteros colectados es menor, se observó una textura del suelo franco arenosa, un color marrón oscuro y una pendiente de 11.7° . Estas características podrían estar relacionadas con la baja densidad de himenópteros.

Figura 13

Densidad de macrofauna del orden Araneae registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



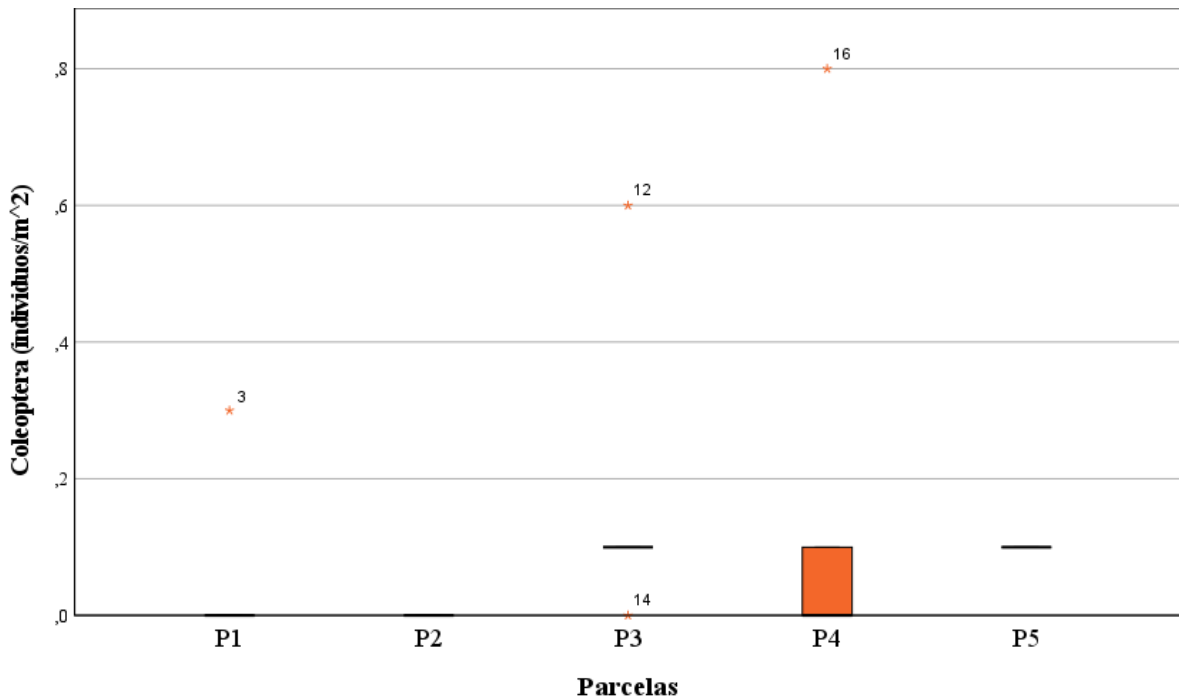
En la Figura 13 se puede observar, que la densidad macrofauna del orden Aranea mayor se registró en el punto de muestreo P4, con una densidad promedio de $\bar{x} = 1.5$ individuos/ m^2 y un total de 121 individuos colectados. Es importante destacar que una parte importante de estos individuos colectados en P4 correspondían a una hembra del orden Araneae, acompañada de su prole, lo que podría explicar en parte la mayor densidad en este punto.

Por otro lado, la densidad menor se registró en el punto de muestreo P1 con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.1$ individuos/ m^2 y un total de 5 individuos colectados. Esto reflejaría que las

condiciones del hábitat o la disponibilidad de recursos alimenticios en este punto son limitantes para estos depredadores. Aunque se identificó al menos un individuo del orden Araneae en cada punto de muestreo, no se detectó ninguno en la zona de muestreo P5.

Figura 14

Densidad de macrofauna del orden Coleoptera registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



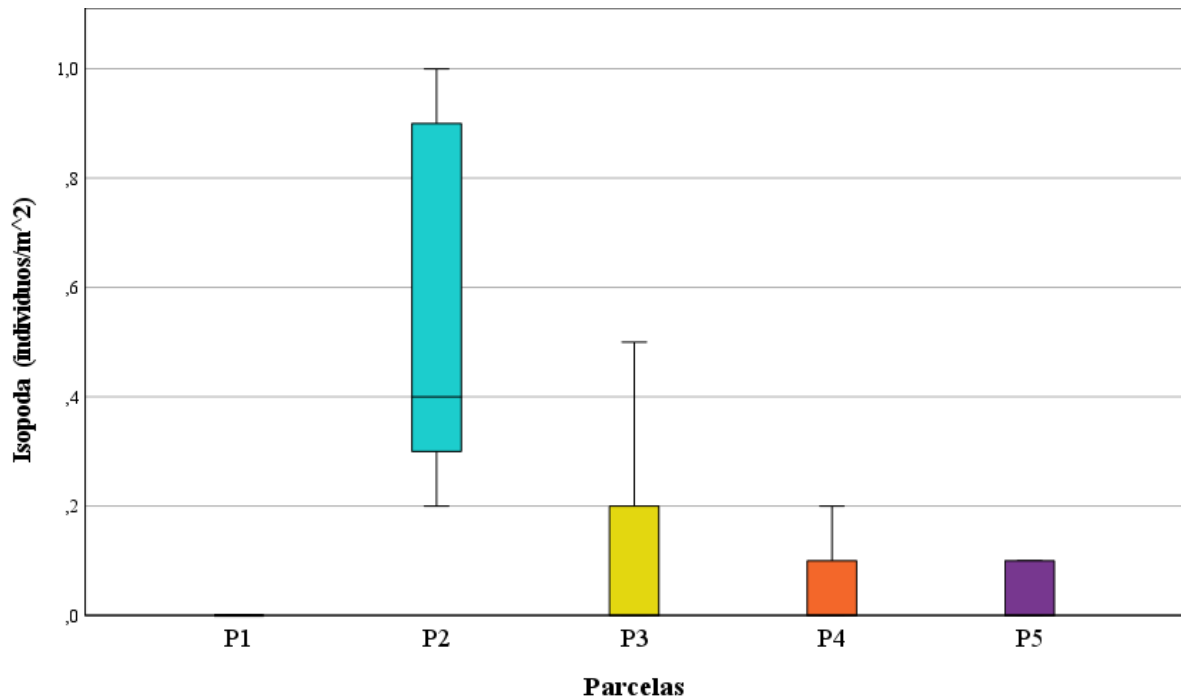
En la Figura 14 se puede observar, que las densidades más altas se registraron en los puntos de muestreo P3 y P4, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.2$ individuos/ m^2 , y un recuento total de entre 12 y 13 individuos colectados respectivamente.

Por otro lado, la densidad más baja se registró en los puntos de muestreo P1, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.1$ individuos/ m^2 y un total de 5 individuos colectados. Esta densidad podría deberse a variaciones en la calidad del suelo, la disponibilidad de alimentos, la humedad, o la presencia de otros factores ecológicos que influyen en la vida de los Coleoptera (Dionicio, 2019).

La pendiente baja 7.1° , el color marrón oscuro y la textura franco-arcillosa en el punto P1 son características físicas que podrían estar impactando las condiciones de vida de los Coleoptera, ya que tales factores influyen en la retención de agua, la porosidad y la estructura general del suelo, lo cual a su vez afecta la disponibilidad de recursos para la macrofauna del orden Coleoptera.

Figura 15

Densidad de macrofauna del orden Isopoda registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



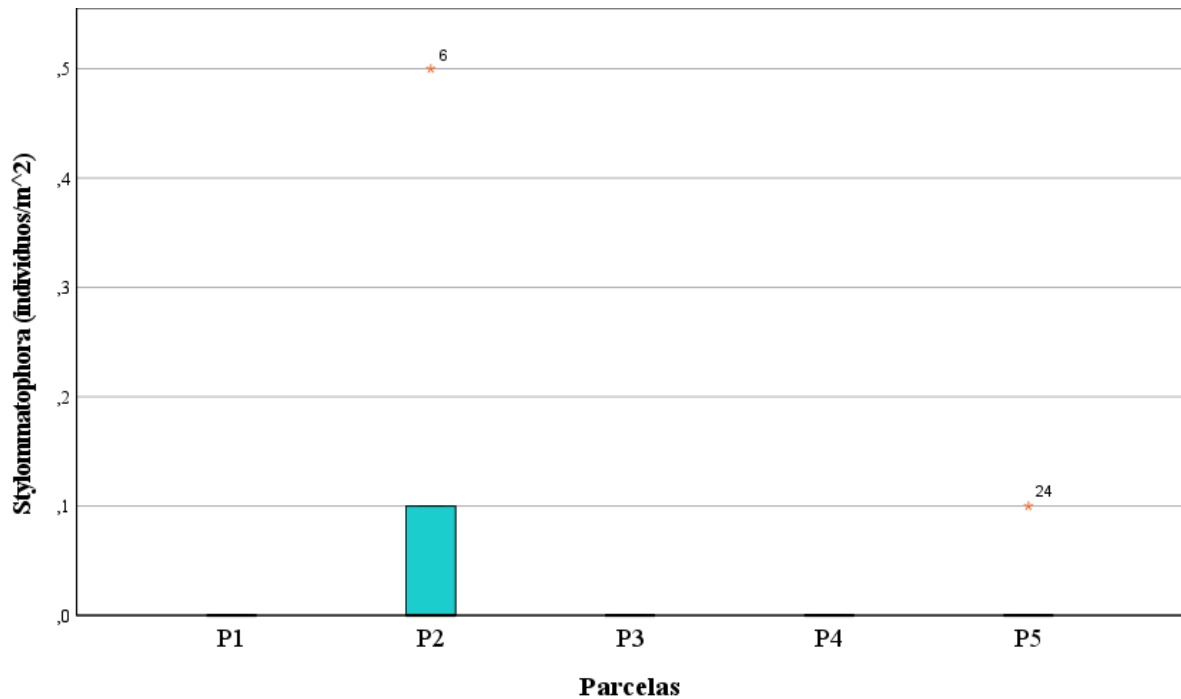
En la Figura 15 se observa, que la densidad más alta se registró en el punto de muestreo P2, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.6$ individuos/ m^2 y un total de 44 individuos colectados. Estos valores sugieren que el punto P2 posee parámetros idóneos como humedad adecuada y disponibilidad de MO que favorecen la macrofauna del orden Isópoda del suelo.

Por otro lado, la densidad menor se registró en el punto de muestreo P5, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.1$ individuos/ m^2 , y un total de 4 individuos colectados. Esta densidad podría deberse a condiciones menos idóneas para estos descomponedores presentes en el suelo (Cabrera, 2019). Aunque se identificó al menos un individuo del orden Isópoda en cada punto de muestreo, no se detectó ninguno en la zona de muestreo P1.

La pendiente media 22.1° , el color marrón oscuro y la textura franco en el punto P5 son características físicas que podrían estar impactando las condiciones de vida de los Isópodos, ya que tales factores influyen en la retención de agua, la porosidad y la estructura general del suelo (Roose, 1996), lo cual a su vez afecta la disponibilidad de recursos para la macrofauna del orden Isópoda.

Figura 16

Densidad de macrofauna del orden Stylommatophora registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



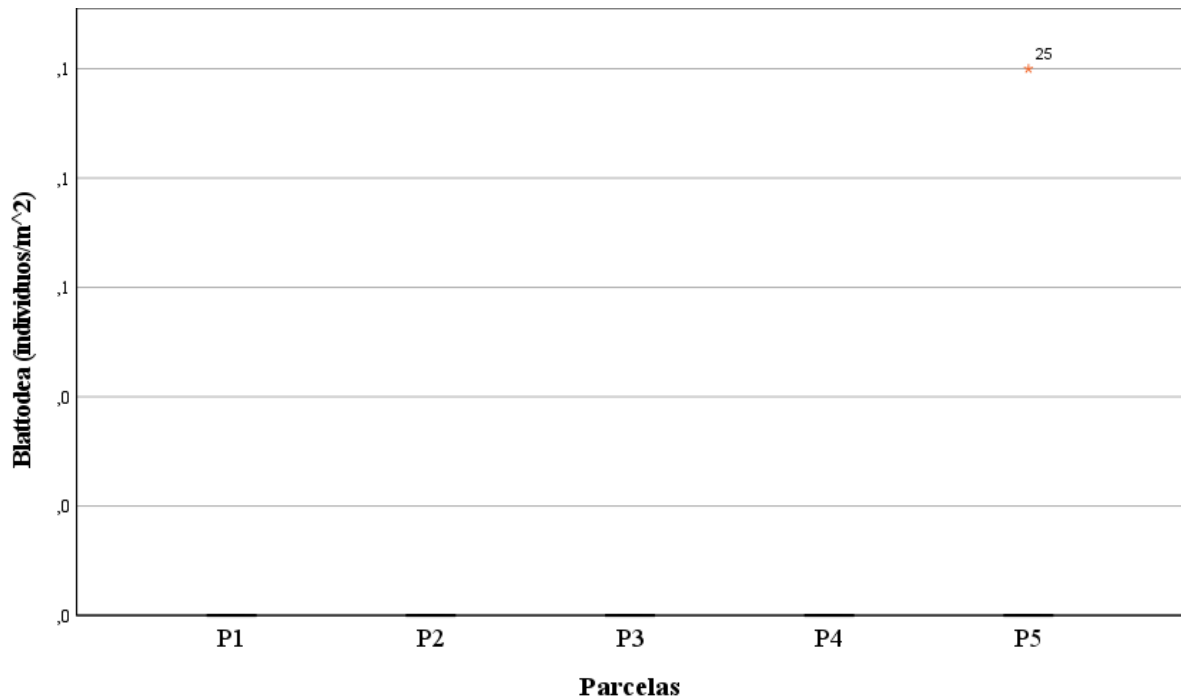
En la Figura 16 se observa, que la densidad se registró en el punto de muestreo P2, con una densidad promedio de $\bar{x} = 0.1 \text{ individuos}/m^2$ y un total de 9 individuos colectados. En contraste, estos valores, aunque son bajos, sugieren que en el punto P2 existe un ecosistema más favorable que satisface las necesidades ecológicas para la macrofauna del orden Stylommatophora en el suelo.

Por otro lado, no hubo registros de densidad, en los demás puntos, a excepción de P5, específicamente en el punto 5.4. Estos datos sugieren que, en estos puntos la presencia de predadores y agentes de biocontrol, dieron condiciones menos propicias para sostener la macrofauna del orden Stylommatophora (Barua, et al, 2021; Mugala et al. 2023).

Además, es necesario tener en cuenta que las especies del orden Stylommatophora suelen alimentarse de cultivos, debido a esto, es común el empleo de insecticidas para controlar su población (Jaime et al., 2023). Esta práctica podría tener un impacto adicional en la baja densidad de estos organismos en la mayoría de los puntos muestreados.

Figura 17

Densidad de macrofauna del orden Blattodea registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



En la Figura 17 no se observó densidades altas ni bajas, pero en el punto de muestreo P5, exactamente en el subpunto P55, se registró una densidad promedio de $\bar{x} = 0.1$ individuos/ m^2 y un total de 2 individuos colectados. Este registro puntual podría implicar la existencia de condiciones favorables, que apoyan la vida de la macrofauna del orden Blattodea, contrastando con su escasez en el resto de los puntos muestreados. No obstante, es posible que la aparición de estos ejemplares sea ocasional, originada por su movilización eventual desde el botadero cercano.

La macrofauna edáfica encontrada en los puntos de muestreo corresponde a 8 órdenes taxonómicas (Opisthophora, Symphyla, Hymenoptera, Aranea, Coleoptera, Isopoda, Stylommatophora y Blattodea). A continuación, se muestra la abundancia y densidad promedio por cada orden y parcela.

Tabla 8

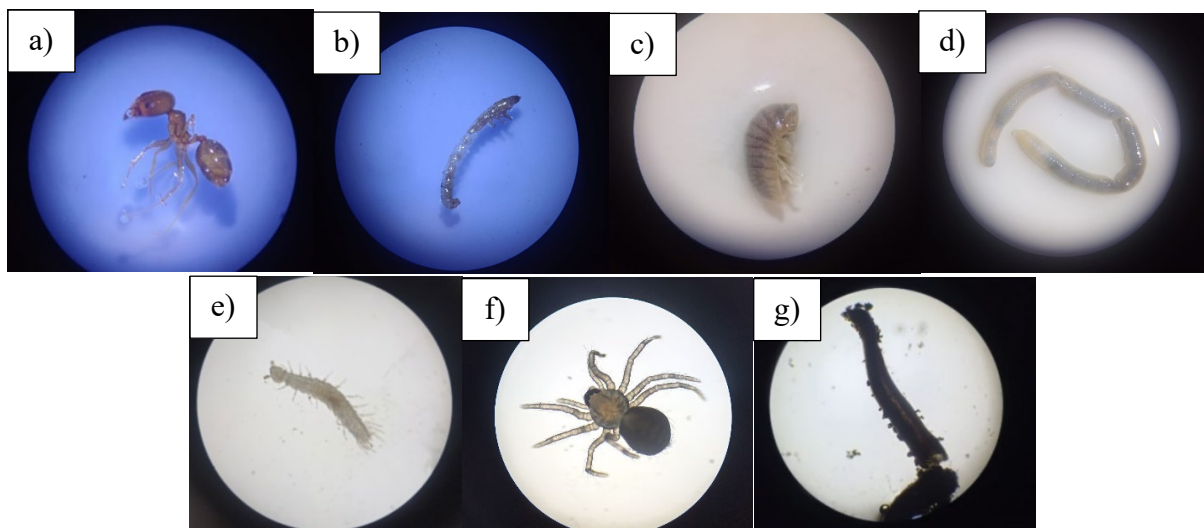
Abundancia y densidad promedio en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023

Orden	Puntos de muestreo									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	D (ind/m ²)	<i>n</i> (ind)	D (ind)	<i>n</i> (ind)	D (ind/m ²)	<i>n</i> (ind)	D (ind/m ²)	<i>n</i> (ind)	D (ind/m ²)	<i>n</i> (ind)
Opisthoptora	1.1	84	0.3	26	0.7	55	0.4	29	0.8	63
Symphyla	0.4	30	0.6	44	0.1	6	0.1	8	0.1	4
Hymenoptera	3.0	239	2.1	168	2.3	186	0.4	35	5.4	432
Aranea	0.1	5	0.2	15	0.1	7	1.5	121	0.0	0
Coleoptera	0.1	5	0.0	0	0.2	12	0.2	13	0.1	8
Isopoda	0.0	0	0.6	44	0.1	11	0.1	5	0.1	4
Stylommatophora	0.0	0	0.1	9	0.0	0	0.0	0	0.0	1
Blattodea	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2

Nota: D: densidad (individuos/m²) y *n*: abundancia (número total de individuos)

Figura 18

Órdenes de macrofauna edáfica identificadas en suelos de cultivos de cacao en San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023

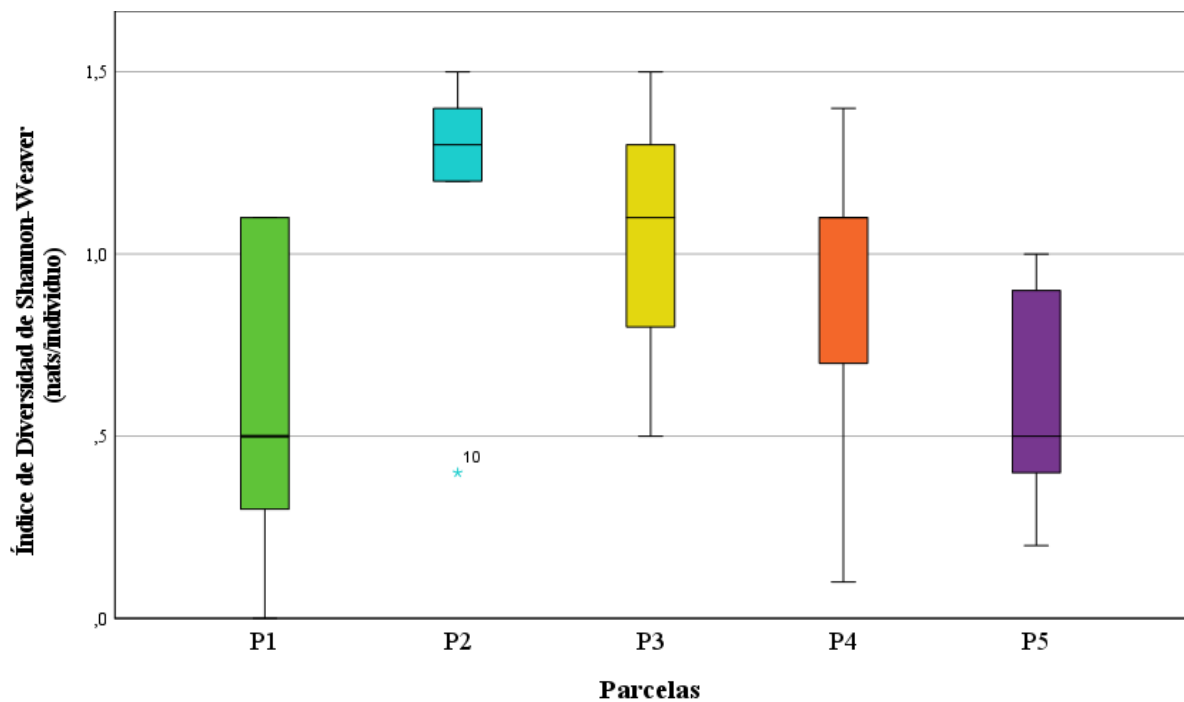


Nota: a) Hymenoptera b) Coleoptera c) Isopoda d) Opisthoptora e) Simphyla f) Aranea g) Stylommatophora

En la Tabla 7 se observa, la *n* y densidad de macrofauna en los puntos muestreados, revela que P5 es el punto con la mayor densidad (0.8 individuo/m²) y *n* total de macrofauna (514 individuos), destacando la importancia de las prácticas de manejo agrícola en la biodiversidad del suelo. El orden Hymenoptera se identifica como predominante, subrayando su papel ecológico crucial en estos ecosistemas. Además, la variedad de órdenes encontrada fue más notable en los puntos P2, P3 y P4, con Araneae mostrando una *n* inusualmente alta en P4.

Figura 19

Índice de Diversidad de Shannon-Weaver registrados en 25 monolitos de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023



En la Figura19 se observa, que el índice de diversidad mayor se registró en el punto de muestreo P2, con un valor de índice de Shannon promedio de $\bar{x} = 1.15$ (nats/individuo); aunque el índice de Shannon en el punto P2 es relativamente más elevado en contraste con los demás puntos, dicho punto se encuentra en la categoría de diversidad baja ($H' < 2$ nats/individuos).

Por otro lado, los puntos de muestreo P1 y P5 registraron la diversidad más baja, ambos con un índice promedio de $\bar{x} = 0.6$ (nats/individuo). Estos índices reflejan una comunidad de macrofauna menos diversa que en P2, lo que podría estar asociado con factores ambientales o antropogénicos específicos de cada ubicación que ameritan una investigación más detallada (Cabrera, 2019).

Tabla 9

Índices de diversidad promedio registrados en suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023

Índices de diversidad	\bar{x}
<i>S</i>	3.92
<i>n</i>	67
<i>H'</i>	0.85

Nota: S: riqueza específica (# de especies); n: abundancia (# de individuos); H': diversidad (nats/individuo); \bar{x} :media

En general se observó que los índices de diversidad promedio de los puntos muestreados en la presente investigación reflejaron una diversidad baja, con un valor de 0.85 nats/individuos, un promedio de 3.92 especies y 67 individuos (Tabla 8). Estos datos indican que la diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao en San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, en el año 2023 no es óptima ($H' < 2$ nats/individuos), muestra de ello los resultados obtenidos en los puntos P1 y P5 (Figura 19), indican un posible impacto de las prácticas agrícolas.

4.1.3. Resultados del tercer objetivo específico

Se determinó la correlación de los metales pesados evaluados, las densidades de cada orden y los índices de diversidad de la macrofauna presente en los suelos cultivados de cacao en San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, en el año 2023. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 10

Correlación entre la concentración de los metales pesados evaluados y densidades de cada orden de Macrofauna, más los índices de diversidad de suelos cultivados de cacao del anexo San Juan de Tulumayo Alto, San Ramón, Chanchamayo, 2023

	<i>r</i>	Opisthophora	Symphyla	Hymenoptera	Aranea	Coleoptera	Isopoda	<i>S</i>	<i>n</i>	<i>H'</i>
Cd	-0.14	-0.08	0.10	-0.14	-0.13	0.17	0.15	0.04	0.05	
Pb	-0.06	-0.15	0.22	-0.21	-0.07	0.02	0.13	0.13	-0.11	

Nota: r: coeficientes de correlación

En la Tabla 9, se observa los valores de correlación entre la concentración de metales pesados evaluados y de los índices de diversidad de la macrofauna. En particular, el Pb y Cd tiene una correlación positiva muy débil a débil ($0.10 < r < 0.25$) con las densidades del orden Hymenoptera ($r=0.22$ y 0.10 respectivamente), y se logra notar que todas las demás correlaciones con Hymenoptera son negativas o muy débiles.

El índice de Shannon, que mide la diversidad de especies, no muestra una correlación media ni considerable con ninguna de las concentraciones de los metales pesados evaluados (Cd $r=0.05$, Pb $r=-0.11$).

En general, los datos no revelan una correlación significativa (perfecta) entre la presencia de metales pesados y la diversidad de macrofauna en los suelos cultivados de cacao. Esto sugiere que otros factores ambientales o de manejo podrían estar jugando un papel más significativo en la biodiversidad de la macrofauna de estos suelos.

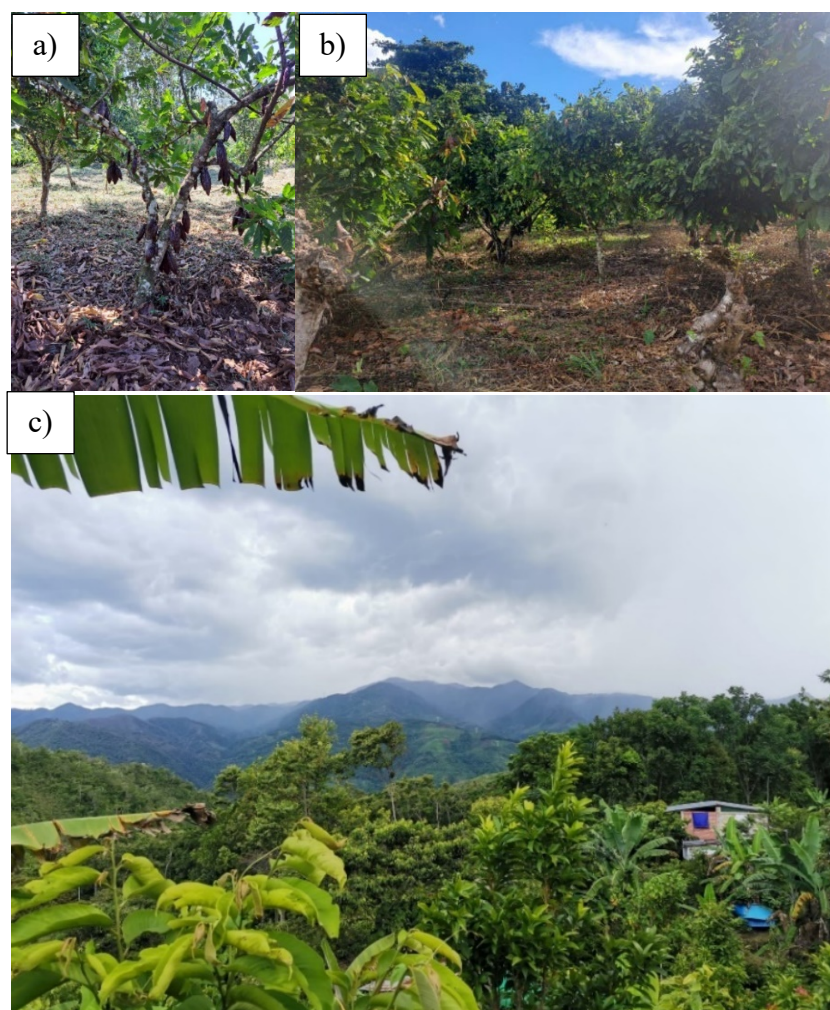
4.1.4. *Discusión general de resultados*

4.1.4.1. Metales pesados en el suelo

Los resultados demostraron que las concentraciones promedio de Cd (0.5 mg/kg) y Pb (22.9 mg/kg), no representan un excedente en el límite permisible según los ECA para suelo agrícola, esto indica que existe influencia limitada del Pb y Cd en la calidad del suelo bajo las condiciones actuales del estudio que se observan en la Figura 20.

Figura 20

Condiciones actuales de la zona estudiada



Nota. a,b) Practica agrícola “Mulch” o mantillo verde en P1 y P2 c) Cultivo Diversificado en P5

Estos resultados coinciden con la investigación de Rosales et al., (2021): “Identificación de Cadmio y plomo en los cultivos de cacao ubicados en la zona de Satipo – Junín”, el cual obtuvo como resultado que la concentración media de Cd fue de 1.25 mg/kg y de Pb de 19.44 mg/kg, ambas por debajo de los niveles permisibles por el MINAM. Esta observación es crucial, dado que los metales pesados pueden tener efectos deletéreos en los ecosistemas terrestres, incluyendo la inhibición del crecimiento

de las plantas y la alteración de la biodiversidad del suelo (Alloway, 2013). Sin embargo teniendo en cuenta la definición de los ECA dada por el (MINAM, 2017), el cumplimiento de los límites establecidos, significa que las concentraciones de Cd y Pb obtenidos en la presente investigación, no presentan un riesgo para la salud ni para el ambiente.

De manera similar, los resultados del presente estudio se asemejan con la investigación de Huaman (2022) en su tesis: "Análisis Comparativo de los Niveles de Cadmio en Cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto 2020", arrojó resultados de bajos niveles de Cd en el suelo, con la mayor concentración de 0.77 ppm durante la etapa de botón floral y la más baja de 0.55 ppm en maduración. Estos hallazgos sugieren que la fase fenológica de maduración en la que se encontraron las plantas de *Theobroma cacao* de las parcelas evaluadas en el presente estudio, conjuntamente con las propiedades del suelo, como un pH neutro y baja conductividad eléctrica, junto a la capacidad de los cultivos de cacao de absorber y retener metales pesados, contribuyeron a la baja concentración de Cd (Arévalo, 2016, Huaman, 2022). Estas condiciones refuerzan la idea de que un manejo adecuado del suelo y las características ambientales específicas pueden limitar la acumulación de metales pesados en cultivos de cacao.

En contraste, estudios realizados en otras regiones productoras de cacao han reportado niveles variables de contaminación por metales pesados, influenciados por factores como la proximidad a fuentes industriales, el uso de pesticidas, el uso de fertilizantes, y las prácticas de manejo de suelo (Manga et al., 2020).

Gonzales (2017) en su investigación: "Evaluación de la distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco", las zonas ubicadas a diferentes niveles altitudinales reportaron concentraciones de Cd que superan el ECA de 1.4 mg/Kg para suelos agrícolas, con valores ascendentes desde 1.45 hasta 1.65 mg/kg en diversas profundidades del suelo; que se asocian a la intervención humana, como el uso de fertilizantes fosforados, incluida la roca fosfórica distribuida gratuitamente por el estado, así como por las características inherentes de la roca madre.

Del mismo modo, en una investigación desarrollada para determinar las variaciones de la concentración de cadmio y plomo en suelos según su uso agrícola y no agrícola:

Chero & Mori (2024) en su investigación: Determinación de los niveles de concentración de metales pesados, macroelementos y pH en suelos degradados, suelos de bosque húmedo tropical y suelos con cultivos de Camu Camu - Yarinacocha – Ucayali ha encontrado diferencias significativas entre concentraciones promedio de Cadmio y Plomo en un suelo de bosque húmedo tropical ($Cd=0.15$ mg/Kg y $Pb=2.15$ mg/Kg) y un suelo con plantación Camu Camu ($Cd=0.10$ mg/Kg y $Cd=2.85$ mg/Kg), en contraste con la presente investigación los niveles de concentración fueron más altos ($Cd=0.5$ mg/Kg y $Pb=22.9$ mg/Kg) que el de un suelo de bosque húmedo tropical.

Dichos resultados refuerzan que los suelos con poca o nula intervención humana presentan menores concentraciones de metales pesados (Cd y Pb), de los cuales el cadmio proveniente de fuentes naturales, como las rocas, entre ellos el carbón mineral y fosfatos (Wiberg & Holleman, 2001), por otro lado el plomo se encuentra en rocas, como la cerusita ($PbCO_3$) y la anglesita ($PbSO_4$), además de depósitos de galena (PbS) (Ansin et al., 2022), evidenciándose así que el uso agrícola puede ser un factor determinante en el aumento de las concentraciones de estos metales, llegando a superar los valores del ECA suelo para los metales en estudio

Adicionalmente, se observó que los niveles de S (2542.2 mg/kg) excedieron el valor máximo admisible (500 mg/kg), lo que subraya la necesidad de considerar una gama más amplia de elementos químicos en la evaluación de la calidad de los suelos cultivados de cacao. Este exceso podría deberse a la proporción promedio de MO del 4.5% en base seca presente en el suelo, así como al uso de fertilizantes con altos niveles de S elemental. Gonzales Valle (2017) encontró que los suelos con pH ácido, baja humedad y poca MO presentaron niveles altos de Cd total en las zonas 2 y 3, encontrándose que la MO se correlacionó positivamente y con alta significación estadística con el contenido de Cd total en el suelo.

La presente tesis, al presentar un contenido de MO medio-alto (4.5%), sugiere que la alta concentración de S puede estar relacionada con esta MO y el uso de fertilizantes que contienen altas proporciones de S elemental. Este S, mediante procesos bacterianos, se convierte en un macronutriente y forma complejos como la unión Cd-S, inmovilizando el Cd en las raíces de las plantas (Valdivia, 2015; Wiggenhauser et al., 2021). La alta concentración de S, además de ralentizar ciertos procesos, inhibe el Cd, evitando así su acumulación en el suelo.

Asimismo, Carrasco (1994) señala que los elementos traza en la solución del suelo pueden ser lavados o precipitarse en forma de hidróxidos como carbonatos,

sulfatos y fosfatos, o bien incorporarse a silicatos generados en el suelo. También pueden ser adsorbidos en la superficie cargada de las partículas de arcilla o materia orgánica. La creación de complejos organometálicos, que posteriormente son absorbidos por las plantas, es otro aspecto que puede intervenir en este proceso, tanto el Cd como el Pb no se quedan solo en el suelo, sino que se trasladan a la planta, con el Pb presentando menor movilidad que el Cd en su desplazamiento hacia diferentes partes de la planta (Mantilla, 2023).

4.1.4.2. Densidad y Diversidad de Macrofauna en el Suelo

Los resultados revelaron que los puntos con mayor densidad fueron P1 y P5, por otro lado, se observó que el índice de diversidad (H') promedio es de 0.85 nats/individuos, lo que indica que la diversidad no es óptima (baja), muestra de ello los resultados obtenidos en los puntos P1 y P5, indican un posible impacto de las prácticas agrícolas:

En cuanto al orden Opisthophora y Symphyla, se reveló que sus densidades fueron mayores en P1 y P2, con una densidad de 1.1 individuos/ m^2 y 0.6 individuos/ m^2 , respectivamente, la presencia de Oligochaeta en el punto P1, indica suelos bien estructurados con un buen contenido de materia orgánica, caracterizadas por una pendiente baja de 7.1° factor que favorece la drenabilidad y retención de nutrientes esenciales para el desarrollo de una biota saludable. Esto coinciden con lo encontrado por Castro (2021) los órdenes *Lumbricidae* (Oligochaeta) y *Julidae* (Myriapoda) en dos agroecosistemas fueron las más abundantes, se destaca que en el agroecosistema Los Reyes se presenta una textura óptima, catalogada en la categoría 5, lo que sugiere suelos bien estructurados. Sin embargo, la profundidad del suelo y la cantidad de MO son factores limitantes en ambos agroecosistemas analizados.

En cuanto al orden Hymenoptera, se reveló la densidad fue mayor en el punto P5 con una densidad de 5.4 individuos/ m^2 , que coincide con un contenido alto de MO (5.18%), una textura de suelo franco y una pendiente de 22.1 (Anexo 3 y 4), subraya la importancia de este grupo no solo para la polinización sino también para la estructura del suelo y los procesos ecológicos. Este patrón concuerda con observaciones previas que resaltan la importancia de Hymenoptera en la promoción de un suelo saludable y bien estructurado. Tal como lo indica Cabrera et al. (2011) en entornos como los pastizales y cultivos varios, Hymenoptera, especialmente la familia Formicidae, mostró densidades comparativamente altas, reflejando su papel significativo en estos ecosistemas.

La baja diversidad en general y las variaciones en la densidad entre los órdenes Aranea, Coleoptera, Isopoda, Stylommatophora y Blattodea encontradas en los puntos muestreados, podría implicar que los suelos de los cultivos de cacao pueden estar experimentando diferentes grados de estrés o perturbación. Estos resultados pueden estar asociados a las diferentes prácticas de manejo de suelos. Lo cual se respalda con los hallazgos de Lazo & Aguirre (2018), quien reportó diferencias significativas en la densidad de lombrices de tierra, siendo mayor la densidad en pastizales orgánicos en comparación a la agricultura orgánica con hortalizas. Además, Lazo determinó que el manejo agronómico influye en la calidad del suelo, lo cual es un indicativo importante de que las prácticas de manejo sostenible pueden influir positivamente en la biodiversidad del suelo y la salud del ecosistema de los cultivos de cacao.

Alava (2023) en su investigación: “Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín”, encontró que la macrofauna edáfica de un bosque tropical secundario tenía 16 grupos taxonómicos, con índices promedio de diversidad ($S=15$; $n=2257$; $H'=1,336$) y concentración promedio de materia orgánica ($MO=46\%$) superiores a los registrados en la presente investigación, que mostró únicamente 8 grupos taxonómicos, con índices promedio de diversidad ($S=3.9$; $n=67$; $H'=0,85$) y un contenido promedio de materia orgánica menor. Esto refuerza la idea de que los ecosistemas con una menor intervención antropogénica pueden mostrar mayor diversidad en los suelos.

De manera similar Cabrera et al. (2022) en su investigación “Macrofauna edáfica como bioindicador en ecosistemas semiáridos de la Península de Santa Elena, Ecuador” encontró que en un Bosque Seco Tropical regenerado los índices de diversidad de macrofauna edáfica ($H'=8,4$; $S=20$), fueron significativamente superiores al de Cultivo de Ciclo Corto ($H'=3,05$; $S=16$), esto puede ser atribuido a la destrucción de microhábitats y el manejo de suelos. Indicando que los suelos cultivados pueden mostrar menor diversidad, aunque no siempre por debajo de lo aceptable ($H'<2$).

4.1.4.3. Metales Pesados (Cd y Pb) en la Densidad y Diversidad de Macrofauna del Suelo

Los resultados revelaron correlaciones positivas muy débiles entre los metales pesados (Cd y Pb) y n (Cd $r=0.04$, Pb $r=0.13$), una correlación positiva muy débil entre Cd y H' ($r=0.05$), y una correlación negativa débil entre Pb y H' ($r=-0.11$). Las correlaciones entre los metales (Cd y Pb) y D de diferentes órdenes de macrofauna variaron de muy débiles a débiles: Hymenoptera ($r=0.1$, $r=0.22$), Opisthophora ($r=-0.14$,

$r=-0.06$), Symphyla ($r=-0.08$, $r=-0.15$), Aranea ($r=-0.14$, $r=-0.21$), Coleoptera ($r=-0.13$, $r=-0.07$) e Isopoda ($r=0.17$, $r=0.02$).

Estos resultados no comparten cierta coincidencia con los hallazgos de Cuyubamba (2021), quien en su tesis “Evaluación de la influencia del cadmio y plomo disponible en el suelo sobre la densidad del bioindicador *Eisenia Foetida* en los cultivos de cacao (*Theobroma cacao*), Huamalies”, determinó que existe influencia de la densidad poblacional de las lombrices sobre la concentración de Cd en el suelo empleado para cultivos de cacao en contraste a nuestros resultados que indican que existe una correlación negativa muy débil a débil. Esta discrepancia podría deberse a los datos utilizados en el muestreo, en el caso de Cuyubamba (2021), utilizó solamente una parcela de una hectárea en la cual fueron tomadas 5 calicatas, mientras que esta investigación abarcó 5 parcelas con una media de 1 hectárea, además obtuvo un valor promedio de MO de 52.5% en base seca en comparación al obtenido en este estudio que fue una concentración promedio de MO de 4.5% en base seca.

Según Batista et al., (2023) en su proyecto de investigación “Soil macrofauna correlations with soil chemical and physical properties and crop sequences under no-tillage” encontró que la densidad y diversidad de la macrofauna del suelo tienen una correlación positiva con la MO del suelo. Esto concuerda con que nuestros resultados no comparten cierta coincidencia con Cuyubamba (2021) debido a la gran diferencia de concentración promedio de MO.

La ausencia de un impacto negativo significativo de los metales pesados sobre la macrofauna edáfica podría deberse, en parte, a las prácticas agrícolas sostenibles adoptadas en los cultivos de cacao, como el mulch y la agricultura diversificada. Estas prácticas no solo mejoran la retención de nutrientes y la estructura del suelo, sino que también pueden crear condiciones menos propicias para la acumulación de metales pesados. Izabá y Acevedo (2009), en su estudio sobre la aplicación de diferentes grosores de mulch en cultivos de maíz, demostraron que el mulch es eficaz para controlar malezas como el coyolillo (*Cyperus rotundus L.*), minimizando la competencia por nutrientes. Esto reduce la necesidad de herbicidas, contribuyendo a la salud del suelo y al medio ambiente, mientras se aprovechan los residuos de cultivos y la mano de obra familiar, lo que convierte al mulch en una opción sostenible para los agricultores.

Además, la adaptabilidad y los mecanismos de compensación de la macrofauna local frente a la presencia de Cd y Pb podrían jugar un rol crucial en mantener el

ecosistema edáfico, ya que, aunque se encontró una correlación positiva débil entre estos metales solo en Hymenoptera e Isopoda, y correlaciones negativas, medias o débiles en otros casos, es crucial analizar por separado la interacción entre la biología de las especies y las propiedades del suelo, distinta influencia. Los resultados del estudio de Bautista (1999): “Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados.”, confirman la distinta influencia que ejercen el Cd y el Pb en la densidad de la macrofauna del suelo. Por ejemplo, el modelo establecido para explicar la densidad de Isoptera indica una relación positiva con la presencia de Cd en el suelo, lo cual podría atribuirse tanto al bajo contenido promedio de Cd en los suelos evaluados como a la incapacidad de las termitas para bioacumular Cd, evitando así su toxicidad. Por otro lado, tanto el Cd como el Pb disponible de los suelos influyó negativamente en la diversidad de macrofauna edáfica expresada con los índices de Shannon.

La variabilidad observada en la respuesta de diferentes órdenes de macrofauna subraya la complejidad de las interacciones ecológicas dentro de los suelos cultivados de cacao y la necesidad de una investigación más profunda. Es imperativo continuar explorando cómo las prácticas de manejo sostenible y las características intrínsecas del suelo influyen en la salud del ecosistema, especialmente en contextos donde se busca equilibrar la producción agrícola con la conservación ambiental. Este enfoque holístico no solo ayudará a mitigar posibles impactos de la contaminación por metales pesados, sino que también promoverá una comprensión más amplia de cómo fomentar ecosistemas de suelo resilientes y biodiversos (Herrera, 2024; Sprunger, 2022).

Finalmente, las limitaciones metodológicas del presente estudio, como el diseño del muestreo y la duración limitada del periodo de análisis, podrían haber influido en la capacidad de detectar correlaciones significativas. Asimismo, la investigación se enfocó exclusivamente en los metales pesados Cd y Pb, seleccionados por su prevalencia en suelos agrícolas de cultivos de cacao y su uso habitual en agroquímicos. Debido a su alta toxicidad y los riesgos que representan tanto para los ecosistemas como para la salud humana al ingresar a la cadena alimentaria.

4.2. Prueba de hipótesis

A continuación, se describe el proceso de contrastación de hipótesis, considerando un nivel de confianza del 5%. Se ha seleccionado la prueba de Spearman para determinar si existe correlación entre metales pesados (Cd y Pb) y macrofauna.

H_a : Existe correlación significativa entre las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

H_0 : No existe correlación significativa entre las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

Tabla 11

Prueba de hipótesis específica 3

Hipótesis estadística	Prueba de normalidad	Prueba de hipótesis	Coefficiente de correlación; P-Value	Decisión
METALES VS DIVERSIDAD				
Cadmio vs diversidad				
Ho= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=0.16 p-value=0.44	Se acepta la H_0
Plomo vs diversidad				
Ho= $\beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación H1= $\beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=0.10 p-value=0.63	Se acepta la H_0
METALES VS RIQUEZA ESPECÍFICA				
Cadmio vs riqueza				
Ho= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=0.19 p-value=0.36	Se acepta la H_0
Plomo vs riqueza				
Ho= $\beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación H1= $\beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=0.22 p-value=0.29	Se acepta la H_0
METALES VS DENSIDAD				
Cadmio vs densidad				
Cadmio vs densidad opisthoptera				
Ho= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=-0.23 p-value=0.25	Se acepta la H_0
Cadmio vs densidad symphyla				
Ho= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=-0.06 p-value=0.74	Se acepta la H_0
Cadmio vs densidad hymenoptera				
Ho= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=0.04 p-value=0.82	Se acepta la H_0

Cadmio vs densidad araneae				
Ho= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=-0.04 p-value=0.85	Se acepta la H ₀
H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación				
Cadmio vs densidad coleptera				
Ho= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=-0.03 value=0.9	p- Se acepta la H ₀
H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación				
Plomo vs densidad				
Plomo vs densidad opisthoptera				
Ho= $\beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=-0.14 p-value=0.50	Se acepta la H ₀
H1= $\beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación				
Plomo vs densidad symphyla				
Ho= $\beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=-0.19 p-value=0.36	Se acepta la H ₀
H1= $\beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación				
Plomo vs densidad hymenoptera				
Ho= $\beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=0.09 p-value=0.66	Se acepta la H ₀
H1= $\beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación				
Plomo vs densidad araneae				
Ho= $\beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=-0.16 p-value=0.42	Se acepta la H ₀
H1= $\beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación				
Plomo vs densidad coleptera				
Ho= $\beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación	Shapiro Wilk	Spearman	r=-0.21 p-value=0.30	Se acepta la H ₀
H1= $\beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación				

Según los coeficientes obtenidos en la tabla 9, los cuales son próximos a cero se indica la ausencia de una correlación lineal. Asimismo, los p-valores obtenidos en la misma tabla son mayores que el valor del alfa ($\alpha = 0.05$), se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, no existe una correlación significativa entre metales pesados (Cd y Pb) y macrofauna en los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023 (p-valor > 0.001).

CONCLUSIONES

Las concentraciones de Cd (0.5 mg/kg) y Pb (22.9 mg/kg) en suelos de cultivo de cacao en San Juan de Tulumayo, San Ramón, Chanchamayo, para el año 2023, se mantuvieron por debajo de los límites establecidos por los ECA. Lo que indica que la calidad de los suelos cultivados de cacao no presenta riesgo significativo a la salud de la población, bajo las condiciones actuales de manejo y las características geológicas del área, no se identifican riesgos significativos de contaminación por estos metales que puedan comprometer la calidad del suelo o la producción del cultivo de cacao.

La densidad y diversidad de la macrofauna edáfica en los suelos cultivados de cacao en la zona analizada fueron generalmente bajas, donde el orden con densidad mayor (5.4 individuos/m²) y más abundante encontrada fue Hymenoptera (432 individuos). Aunque los suelos no muestran niveles preocupantes de contaminación por metales pesados, la biodiversidad del suelo podría estar siendo influenciada por otros factores, como las prácticas de manejo agrícola, la estructura del suelo, y la disponibilidad de materia orgánica.

Los resultados no evidencian una correlación significativa entre las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna edáfica en la zona analizada, esto indica que, bajo las condiciones del estudio, la presencia de estos Pb y Cd no afecta directamente la diversidad del suelo.

Existe una relación compleja entre los metales pesados y la macrofauna edáfica en los suelos de cacao en San Ramón, Chanchamayo, durante 2023, bajo las condiciones específicas del estudio, la presencia de estos metales no tiene un impacto directo observable en la diversidad del suelo respecto a metales pasados Pb y Cd, posiblemente gracias a la resiliencia inherente de la macrofauna edáfica y a la implementación de prácticas agrícolas sostenibles.

El S desempeñó un papel crucial en la dinámica de los metales pesados en el suelo, especialmente en la fijación de Cd y Pb. La alta concentración de S en conjunto con la MO presente en los suelos estudiados, facilita la formación de complejos organometálicos, lo que contribuye a la inmovilización de Cd y Pb en las raíces de las plantas. Este proceso reduce la biodisponibilidad de estos metales pesados, disminuyendo su movilidad y potencial toxicidad en el agroecosistema.

RECOMENDACIONES

Es relevante continuar con el monitoreo de metales pesados y la salud del ecosistema del suelo para garantizar prácticas agrícolas sostenibles. La ausencia de una correlación significativa entre los metales pesados evaluados y la macrofauna edáfica en esta investigación no descarta la necesidad de investigar otros metales pesados y profundizar investigar otros factores como el pH del suelo, la textura, materia orgánica, fertilizantes y pesticidas, que podrían influir en la comunidad de macrofauna y la concentración de metales.

Es necesario realizar una revisión detallada de las prácticas agrícolas respecto a las concentraciones de azufre (S) que excedieron valores máximos permisibles, potencial influencia de factores naturales o antropogénicos adicionales en la salud del suelo y el cultivo. Asimismo, llevar a cabo acciones para investigar y mitigar las altas concentraciones de S en estas áreas.

La diversidad generalmente baja en todos los puntos de muestreo, resaltan la necesidad de estrategias de conservación y manejo que promuevan una mayor diversidad de macrofauna, lo cual es esencial para el funcionamiento ecológico y la resiliencia de los ecosistemas. Estudios futuros deberían considerar un diseño de muestreo más extenso y periodos de estudio más largos para capturar la variabilidad temporal en la dinámica de la macrofauna y su posible relación con la presencia de metales pesados en el suelo.

Considerando que el rango de valores de H' se utilizan frecuentemente para medir y contrastar el nivel de diversidad de ecosistemas inalterados, es imperativo considerar valores de referencia (lo blanco) medidos específicamente en suelos inalterados de cacao, ya que servirán como el estándar de comparación para una mayor calidad y fiabilidad de los datos obtenidos.

Las prácticas agrícolas sostenibles, incluyendo el uso de mulch y diversificación de cultivos, son clave para mejorar la estructura del suelo y minimizar la acumulación de metales pesados. Estas estrategias fomentan un hábitat saludable para la macrofauna, mejorando la MO y la porosidad del suelo, lo cual incrementa la biodiversidad y permite la prosperidad de la macrofauna edáfica. Este manejo sostenible del suelo subraya cómo prácticas respetuosas con el medio ambiente pueden coexistir con la productividad agrícola, protegiendo la biodiversidad del suelo y reduciendo impactos ambientales negativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasti, E., Sarzanini, C., & Barberis, R. (2002). Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutant profiles. *Environmental Pollution*, 119(2), 177–193. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00333-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00333-5)
- Affa Montoya, R. F. (2021). *Efecto del cadmio de la roca fosfórica en la macro fauna del suelo en cultivos de cacao, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2046>
- Aguirre Cuenca, K. Y. (2020). *Estudio del contenido del cadmio (cd) en el cultivo de cacao* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2485>
- Ahumada, I. T., & Schalscha, E. B. (1995). Efecto de la sorcion de fosfatos sobre la sorcion de cadmio y cobre en suelos. *Agrochimica* 39(2-3) 101-110. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121530>
- Alava Aguilar, M. C. (2023). *Efecto del uso del suelo en la macrofauna edáfica en el distrito de Soritor, departamento de San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/28e018bc-5af0-459e-a40a-02617b401ade>
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (3rd ed.). Springer Science & Business Media. <https://acortar.link/GJYCEp>
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1990). Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. *The Journal of Ecology*, 78(2), 547. <https://doi.org/10.2307/2261129>
- Ansin, A., Botasini, S., & Méndez, E. (2022). *Convivir con el plomo. Un aprendizaje necesario*. Ediciones Universitarias. <https://acortar.link/FR67a3>
- Apún Molina, J. P. (2007). *Efecto de bacterias con potencial probiótico en el crecimiento y supervivencia de la tilapia Oreochromis niloticus (Linneaus 1758), cultivada en el laboratorio* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/7108363>
- Arieta, V. (2006). *Densidad poblacional y sus implicancias en el sitio arqueológico de San Lorenzo, Veracruz* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ciencianueva.unam.mx/handle/123456789/156>

- Banat, K. M., Howari, F. M., & Al-Hamad, A. A. (2005). Heavy metals in urban soils of central Jordan: Should we worry about their environmental risks? *Environmental Research*, 97(3), 258–273. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.07.002>
- Barraza, F., Shreck, E., Léveque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., & Maurice, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao : A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador * v e. *Environmental Pollution*, 229, 950–963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Barrow, N. J., & Shaw, T. C. (1975). The slow reactions between soil and anions: 3. The effects of time and temperature on the decrease in isotopically exchangeable phosphate. *Soil Science*, 119(3), 190–197. <https://acortar.link/E5ulbh>
- Barua, A., Williams, C. D., & Ross, J. L. (2021). A literature review of biological and bio-rational control strategies for slugs: current research and future prospects. *Insects*, 12(6), 541. <https://doi.org/10.3390/insects12060541>
- Batista, I., Machado, D. L., Correia, M. E. F., Spinelli, M. H. M., & Corá, J. E. (2023). Soil macrofauna correlations with soil chemical and physical properties and crop sequences under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 47, 1–17. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230006>
- Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. <https://acortar.link/lbosf7>
- Bonomelli, C., Bonilla, C., & Valenzuela, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(10), 1179–1186. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003001000007>
- Cabrera Dávila, Grisel de la C., Sánchez Rendón, J. A., & de León Lima, D. P. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221, 1–21. <https://cu-id.com/2402/v221e01>
- Cabrera Dávila, Grisel de la C, Ponce de León, D., Cortez Pozo, E., & Pozo Quiroz, J. (2022). Macrofauna edáfica como bioindicador en ecosistemas áridos de la Península de Santa Elena, Ecuador. *Poyeana*. <https://revistasgeotech.com/index.php/poey/article/view/430>
- Cabrera Dávila, Grisel de la Caridad. (2019). *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba* [Tesis de doctorado, Universidad de Alicante].

https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88889/1/tesis_grisel_de_la_caridad.pdf

- 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*, 34(3), 313–330. <https://acortar.link/oUvqKb>
- Calderón, C. L., Bautista, G. P., & Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141–157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Calderón Suárez, G. A., & Rozo Correa, C. E. (2023). Análisis de la movilidad de cadmio y plomo en suelos, hojas, frutos y lixiviados en plantaciones de cacao [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <http://hdl.handle.net/11634/5329>
- Candell Soto, J. E. J. (2017). *Diversificación de cultivos y tipificación de sistemas para la sustentabilidad en el área de influencia del trasvase Santa Elena, Ecuador* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2932>
- Cárdenas, P. (2008). *Determinación de la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Cartes Sánchez, G. (2013). *Degradación de suelos agrícolas y el SIRSD-S*. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). <https://www.odepa.gob.cl>
- Castro Guzmán, J. N. (2021). *Calidad de suelo y macrofauna edáfica en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (Theobroma cacao L.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4463>
- Chanatasig-Vaca, C. I., Huerta Lwanga, E., Rojaz Fernández, P., Ponce-Mendoza, A., Morón Ríos, A., Van Der Wal, H., & Dzib-Castillo, B. B. (2011). Efecto del uso de suelo en las hormigas (Formicidae: Hymenoptera) de Tikinmul, Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372011000200016
- Chancay Alcívar, L. F., Delgado Demera, M., & Salas Macías, C. A. (2022). Cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y sus efectos ambientales. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*, 5(1), 91–110. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.4324
- Charter, R. A., Tabatabai, M. A., & Schafer, J. W. (1993). Metal contents of fertilizers marketed

- in Iowa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24(9–10), 961–972.
<https://doi.org/10.1080/00103629309368852>
- Cuyubamba, J. (2021). *Evaluación de la influencia del cadmio y plomo disponible en el suelo sobre la densidad del bioindicador (Eisenia foetida) en los cultivos del cacao (Theobroma cacao), Huamalies, Huánuco – 2020* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco].
http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/238/uzuriaga_cespedes_ever_tesis_maestria_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dagnino, J. S. (2014). Correlación. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(2), 150–153.
<https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n02.15.pdf>
- De la Cal Rodríguez, A. (2015). *Análisis, biodisponibilidad y vigilancia de contaminantes orgánicos hidrofóbicos en el medio acuático* [Tesis de doctorado, Universidad de Barcelona]. <http://hdl.handle.net/2445/98186>
- Dinham, B. (1996). The success of a voluntary code in reducing pesticide hazards in developing countries. *Green Globe Yearbook of International Cooperation on Environment and Development 1996*, 29–36. <https://acortar.link/kfVN05>
- Dionicio Garay, M. A. (2019). *Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de Calycophyllum spruceanum (capirona) y Tectona grandis (teca), en Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/dc1be597-e2d0-47a1-89aa-f2698eb009cf/content>
- Es fácil ser Verde. (2016). *Micro-Macro Organismos en el suelo*. [Fotografía]. Es Fácil Ser Verde. <https://acortar.link/Uc2FjS>
- Espinoza Asencio, R. (2023). *Prospección actualizada de la entomofauna en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el cultivar CCN 51 en el sector Cerecita, provincia del Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67634>
- FAO. (2015). *Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables*. FAO, 4. <http://www.fao.org/3/a-i4405s.pdf>
- Fernández Guevara, I. (2023). *Influencia del uso del suelo en la disponibilidad de macronutrientes de los suelos del caserío La Palma, Chota 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
<https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/456?show=full>

- Frutos Pinto, J. V. (2015). *Efecto de la utilización de mulch natural, maíz (Zea mays L.), caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), vicia (Vicia sativa L.) y avena (Avena sativa L.) sobre la producción de brócoli (Brassica oleracea L.) en el campus Querochaca* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/18279>
- García Montoya, S. R. (2015). Análisis de la contaminación por el uso de plaguicidas en los suelos agrícolas de la provincia del Carchi, bioacumulación y propuesta de un modelo productivo sostenible [Proyecto de tesis, Universidad Internacional SEK]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1474>
- Gonzales, C., Perez, J., Vallarino, A., & Low, A. (2014). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental* (1st ed.). <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Bioindicadores-Guardianes-de-nuestro-futuro-ambiental.pdf>
- Gonzales Valle, S. (2017). Evaluación de la distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26886>
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Paniagua, J. C., Armengot, L., Schneider, M., & Schulin, R. (2016). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>
- Han, F. X., Banin, A., Kingery, W. L., Triplett, G. B., Zhou, L. X., Zheng, S. J., & Ding, W. X. (2003). New approach to studies of heavy metal redistribution in soil. *Advances in Environmental Research*, 8(1), 113–120. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00142-9](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00142-9)
- Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3), 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- Helmke, P. A. (1999). Chemistry of cadmium in soil solution. In M. J. McLaughlin & B. R. Singh (Eds.), Kluwer Academic Publisher, 39–64. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5_3
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). Mc Graw Hill Educación. <https://acortar.link/I03so>

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5th ed.). <https://es.slideshare.net/slideshow/metodologia-de-la-investigacion-5ta-fernandez-sampieripdf/258068584>
- Herrera Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Hettiarachchi, G. M., & Pierzynski, G. M. (2002). In Situ Stabilization of Soil Lead Using Phosphorus and Manganese Oxide. *Journal of Environmental Quality*, 31(2), 564–572. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.5640>
- Huaman Alejandro, S. E. (2022). Análisis comparativo de los niveles de cadmio en cultivos de *Theobroma cacao* L. en diferentes etapas fenológicas en Nauta-Loreto 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31689>
- Huamani, H., & Huauya, M. (2014). Huauya, M., & Huamaní, H. (2014). Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, *Theobroma cacao* L. (Malvaceae). *The Biologist*, 12(1), 45–55. <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/385>
- Huamaní Yupanqui, H. A., Mansilla Minaya, L. G., Florida Rofner, N., & Neira Trujillo, G. M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*, 61(4), 339–344. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169926831006>
- Ignacio, J., & Martirena, A. (2001). *Contenido de metales pesados en suelos forestales de Navarra*. 18–24. http://www.guiavisualgorosti.org/gorostiwweb_ant/Html/docs/gorosti1603.pdf
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], FONTAGRO, & Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). *La cadena de Valor del cacao en América Latina y El Caribe*. https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf
- Jaime Ruiz, O. I., Castellanos González, L., & Margarita Becerra-Rozo, W. (2024). Acción molusquicida de extractos de agaváceas para el manejo de babosas plagas en fresa. *Prospectiva*, 22(1), 71-82. <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/3197>
- Juan A., Á., De la Fuente, B., & Alicia, V. (2011). *Estadística*. Editorial de la Universidad

Oberta de Catanuya. <https://pubhtml5.com/jypm/jbsr/estadistica/203>

- Juárez, R. (2020). *Análisis de la respiración del suelo como indicador de la degradación biológica en el sureste del estado de Coahuila durante la temporada de secas* [Proyecto de tesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/11473>
- Laegreid, M., Bockman, O. C., & Kaarstad, O. (1999). *Agriculture, fertilizers and the environment*. CABI Publishing. <https://doi.org/10.1017/S0021859699248149>
- Laperche, V., Logan, T. J., Gaddam, P., & Traina, S. J. (1997). Effect of apatite amendments on plant uptake of lead from contaminated soil. *Environmental Science and Technology*, 31(10), 2745–2753. <https://doi.org/10.1021/es961011o>
- Lazo Saire, M. A., & Aguirre Cortez, A. A. (2018). *La macrofauna como indicador de calidad biológica del suelo en diferentes sistemas de producción en la Universidad Nacional Agraria La Molina* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3259>
- Lee, B. H., & Khor, S. M. (2022). Biodegradation for Metal Extraction. En G. A. M. Ali & A. S. H. Makhoulf (Eds.), *Handbook of Biodegradable Material*, 1–36. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83783-9_71-1
- Li, J., Hong, M., Yin, X., & LIU, J. (2010). Effects of the accumulation of the rare earth elements on soil macrofauna community. *Journal of Rare Earths*, 28(6), 957–964. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(09\)60233-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(09)60233-7)
- Loganathan, P., Hedley, M. J., Gregg, P. E. H., & Currie, L. D. (1996). Effect of phosphate fertiliser type on the accumulation and plant availability of cadmium in grassland soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46, 169–178. <https://doi.org/10.1007/BF00420551>
- Loli Figueroa, O., & Caverro Rojas, J. (2011). *Guía técnica curso – taller fertilización y post cosecha de cacao*. <https://acortar.link/1wx2ki>
- López Sánchez, M. V., & Moret Fernández, D. (Eds.). (2017). *Estudios en la zona no saturada del suelo. Vol. XIII. ZNS'17: Zaragoza*, 8-10 noviembre 2017. Estación Experimental de Aula Dei (CSIC). <http://hdl.handle.net/10261/156874>
- Loyde de la Cruz, L. A., González Méndez, B., Cruz Avalos, A. M., & Loredó Portales, R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *Epistemos*, 16(33). <https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i33.228>
- Luque Luque, A. R. (2020). *Desempeño exportador del cacao en la selva central, a partir de*

- cambios en los factores de calidad*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4471>
- Maffei, J. A., Vallone, R. C., González, M., Olmedo, G. F., Haist, W., Maffei, E., & Mastrantonio, L. (2012). *Metales pesados disponibles y totales en suelos irrigados del río Mendoza*. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina. <https://acortar.link/rsz2iM>
- Manga, V. E., Fru, B. N., & Sendze, G. Y. (2020). Heavy metal soil contamination in cocoa plantations in South West Region, Cameroon. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 12(3), 95–103. <https://academicjournals.org/journal/JENE/article-full-text-pdf/575E0FD64440>
- Maria de Aquino, A., Ferreira da Silva, R., Mercante, F. M., Fernandes Correia, M. E., de Fátima Guimarães, M., & Lavelle, P. (2008). Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *European Journal of Soil Biology*, 44(2), 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.05.001>
- Martí, L., Burba, J. N., & Cavagnaro, M. (2002). Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 34(2), 43–48. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2829/martiagrarias2-34-02.pdf
- Martin, C. (2000). Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany. *Catena*, 39(1), 53–68. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00080-6)
- Martínez-Guijarro, R., Paches, M., Romero, I., & Aguado, D. (2021). Sources, mobility, reactivity, and remediation of heavy metal(loid) pollution: A review. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 2(4), Article 33. <https://doi.org/10.21926/aeer.2104033>
- Martínez Gonzales, R. (2020). *El secreto de una tesis* (1st ed.). Crea Imagen S.A.C. <https://es.scribd.com/document/692327267/El-Secreto-Detras-de-Una-Tesis>
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017
- McLaughlin, M. J., & Singh, B. R. (1999). Cadmium in soils and plants. En *Cadmium in soils and plants*, (3) 1–9. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5_1
- Mendoza-Escalona, B., Torres-Rodríguez, D., Merú Marcó, L., Gómez, C., Estanga-Barrios,

- M., & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, 24(51), e1738. <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>
- Merchan, K. (2022). *Variación en el contenido de cadmio en cultivos de cacao (Theobroma cacao) en Pauna y Coper (Boyacá - Colombia): Análisis desde la diversidad de las comunidades vegetales* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/61259>
- Mezo, B. (2010). *Manual básico para hacer compost*. Amigos de la Tierra España. https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost_esp_v04.pdf
- MINAM. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. Ministerio Nacional del Ambiente (MINAM). <https://acortar.link/74fXcA>
- MINAM. (2015). *Memoria Descriptiva: Zonificación Ecológica y económica del departamento de Junín a nivel meso y escala 1:100000*. Gobierno Regional Junín <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/memoria-descriptiva-zonificacion-ecologica-economica-departamento>
- MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM ECA suelos. *El Peruano*, 1–4. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-011-2017-minam/>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). *Observatorio de commodities de cacao: Enero-Marzo 2023*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://acortar.link/nZ6YGd>
- Mugala, T., Brichler, K., Clark, B., Powell, G. S., Taylor, S., & Crossley, M. S. (2023). Ground beetles suppress slugs in corn and soybean under conservation agriculture. *Environmental Entomology*, 52(4), 574-582. <https://doi.org/10.1093/ee/nvad047>
- Municipalidad Provincial de Chanchamayo[MPCH]. (2013). *Plan de desarrollo concertado 2013-2021*. Municipalidad Provincial de Chanchamayo. <https://www.munichanchamayo.gob.pe/documentos/pdc-2014.pdf>
- Núñez, I., González, É., & Barahona, A. (2003). La biodiversidad: Historia y contexto de un concepto. *Interciencia*, 28(7), 1–9. <https://acortar.link/SIVvHG>
- Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V., & Toro, L. (2004). Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area: Pollution detection and affinity series. *Environmental Pollution*, 132(2), 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.05.002>

- Pasesku Petsayit, G. (2020). *Efecto de dosis del extracto de cola de caballo (Equisetum bogotense Kunth.) en la prevención de moniliasis (Moniliophthora roreri) en frutos de cacao orgánico (Theobroma cacao L.), Amazonas-2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]. <http://repositorio.unia.edu.pe/handle/unia/211>
- Pineda, R. (2004). *Presencia de hongos micorrízicos arbusculares y contribución de Glomus intraradices en la absorción y translocación de cinc y cobre en girasol (Helianthus annuus L.) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina* [Tesis de doctorado, Universidad de Colima]. <http://bvirtual.ucol.mx/consultaxcategoria.php?categoria=3&id=5515>
- Pintado, M. (2023). *La poca práctica de análisis de suelos en el Perú*. Centro Peruano de Estudios Sociales [CEPES]. <https://cepes.org.pe/2023/03/23/la-poca-practica-de-analisis-de-suelos-en-el-peru/>
- Pinto, J. E. M. (2018). *Metodología de la investigación social: Paradigmas: cuantitativo, sociocrítico, cualitativo, complementario*. Ediciones de la U. <https://acortar.link/FUTRSs>
- Plunkett, M., Aspel, C., Forrestal, P., Wall, D., Castle, J., Sheil, T., Bolger, J., O'Connor, P. J., & Carroll, J. (2022). *The role of sulphur (S) in crop production* (Technical Bulletin Series No. 6). The Fertilizer Association of Ireland in association with Teagasc. <https://acortar.link/krk2Gs>
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Prochnow, L. I., Plese, L. P. M., & Abreu, M. F. (2001). Bioavailability of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brazilian raw materials. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(1–2), 283–294. <https://doi.org/10.1081/CSS-100103007>
- RAE. (2024). Edáfica. *Real Academia Española*, 2–3. <https://dle.rae.es/edáfico>
- Raven, K. P., & Loeppert, R. H. (1997a). Trace Element Composition of Fertilizers and Soil Amendments. *Journal of Environmental Quality*, 26(2), 551–557. <https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600020028x>

- Reis de Araujo, Q., Nascimento Gattward, J., Cloviane de Oliveira Freitas, J., Sacramento de Almeida, S., & Baligar, V. C. (2022). Potentially toxic elements in soils and Cacao beans in Agroforestry Systems of Bahia, Brazil. *Agrotrópica*, 34. <https://acortar.link/HierH1>
- Ren Fang, S., & Teng, Y. (2023). The frontier of soil science: Soil health. *Pedosphere*, 33(1), 6–7. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.007>
- Rendón, S., Artunduaga, F., Ramírez, R., Quiroz, A., & Leiva, I. (2011). The Macroinvertebrates as Indicators of the Quality of Soil in Blackberry, Grass and Avocado Crops. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 5793–5802. <https://acortar.link/SMOPap>
- Roose, E. (1996). Land husbandry: Components and strategy. FAO. <https://www.fao.org/4/t1765e/t1765e00.htm#Contents>
- Rosales Huamani, J. A., Centeno Rojas, L., Cajacuri Perez, J. R., Breña Ore, J., & Chávez Chapana, C. (2021). Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de Cacao ubicados en la zona de Satipo - Junín. *TECNIA*, 31(2), 83–89. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1062>
- Ruiz Cardenas, F. F. (2023). *Macrofauna edáfica asociada en cuatro sistemas de producción en el distrito de Pueblo Nuevo, Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/322a7322-8ac4-42f2-bf6f-ecb84c602a0e>
- Sánchez Barrón, G. (2016). *Ecotoxicología del cadmio: Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio* [Tesis de pregrado, Universidad Complutense de Madrid]. <https://docta.ucm.es/entities/publication/611eeb20-2b85-4ef5-a4ea-e9011351f510>
- Sánchez Rodríguez, M., & Rengifo Trigozo, J. P. (2017). Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapa fenológica del cultivo de cacao en dos zona del Alto Huallaga, Huánuco (Perú). *Agroproducción Sustentable*, 1(1), 87–94. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.356>
- Santa Cruz, S., & Burga, A. (2020). Macrofauna edáfica como bioindicador de la calidad de suelo en el cultivo de arroz del distrito de San Rafael, Bellavista, San Martín [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3646>
- Sanzano, A. (2019). El azufre del suelo. *Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad*

Nacional de Tucumán, 1–6. <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-mayor-de-san-andres/edificaciones-4/el-azufre-del-suelo-para-entender-su-efecto/24051981>

- Sauvé, S., Hendershot, W., & Allen, H. E. (2000). Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter. *Environmental Science and Technology*, 34(7), 1125–1131. <https://doi.org/10.1021/es9907764>
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press. https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383164_3/component/file_2383163/content
- Sprunger, C. (2022). A holistic approach to assessing soil health. *Экономика Региона*, 470–471. <http://dx.doi.org/10.56367/OAG-037-10403>
- Tique, H. (2023). *Análisis multianual de la fragmentación de las coberturas naturales de la cuenca del Caño Iraca, Departamento del Meta, para identificar impactos causados por el avance de los cultivos de palma de aceite* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/2020/
- Trejo, R., García, N. C., Flores, A., & Arreola, J. (2006). Evaluación De Niveles De Contaminación Con Plomo En Suelos De Bermejillo, Dgo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 5(2), 225-229. <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545070016.pdf>
- Valderrama Mendoza, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación Científica (1 ra ed.) Lima Perú: Editorial San Marcos* (1st ed.). Editorial San Marcos. <https://acortar.link/bJTupK>
- Valdivia Risco, M. (2015). *Niveles de azufre en el suelo alcalino y microelementos en la productividad de palto (Persea americana L.) Hass y Fuerte en San Miguel y Ocros - Ayacucho* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. <https://acortar.link/XdXJ93>
- Valencia, K. (2021). Indicadores biológicos para cuantificar la resiliencia de los suelos periurbanos en ciudades andinas. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21380.65920>
- Vásquez, R. (2021). *Determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelo, en el sector Las Merced del Cantón Isidro Ayora* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://acortar.link/SAWPos>
- Velásquez, E., Lavelle, P., & Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil

quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(12), 3066–3080.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>

Volke Sepúlveda, T., Velasco Trejo, J. A., & De la Rosa Pérez, D. A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación* (1ª ed., Vol. 59). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INE-Semarnat).
<https://acortar.link/Jy6OPJ>

Waddington, C. H. (2017). The basic idea of biology. *The origin of life*, 1–41. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315133638-1>

Wiberg, E., & Holleman, A. F. (2001). *Inorganic chemistry* (1st ed.). Academic press.
<https://acortar.link/h9V0uH>

Wiggenhauser, M., Aucour, A.-M., Bureau, S., Campillo, S., Telouk, P., Romani, M., Ma, J. F., Landrot, G., & Sarret, G. (2021). Cadmium transfer in contaminated soil-rice systems: Insights from solid-state speciation analysis and stable isotope fractionation. *Environmental Pollution*, 269, 115934. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115934>

Williams, C., & David, D. (1973). The effect of superphosphate on the cadmium content of soils and plants. *Soil Research*, 11(1), 43. <https://doi.org/10.1071/SR9730043>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES		METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
<p>Problema General</p> <p>¿Existe una relación entre las concentraciones de metales pesados (cadmio y plomo) y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la relación entre las concentraciones de metales pesados (cadmio y plomo) y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>H_a: Existe correlación significativa entre las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023.</p> <p>H₀: No existe correlación significativa entre las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023.</p>	<p>a) Variable 1</p> <p>Macrofauna edáfica</p>	<p>Abundancia</p> <p>Número de individuos <i>n(individuals)</i></p> <p>Densidad poblacional</p> <p>Número de individuos por metro cuadrado <i>(individuos/m²)</i></p> <p>Riqueza específica</p> <p>Unidades taxonómicas <i>S</i></p> <p>Diversidad (Riqueza y equitatividad)</p> <p>Cantidad de diferentes especies presentes en una comunidad y proporción de individuos distribuidos entre especies <i>(nats/individuo)</i></p>	<p>a) Tipo, Nivel y diseño de investigación: Tipo: no experimental Nivel: Descriptivo-correlacional Diseño correlacional</p> <p>b) Población y muestra Población: 25 muestras compuestas de suelo y 25 monolitos de suelo Muestra 1: 05 muestras compuestas de suelo obtenidas en cada punto de muestreo, donde cada una estará constituida por 4 submuestras de suelo. Muestra 2: 05 monolitos de suelo obtenidos en cada punto de muestreo</p> <p>c) Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Técnica: Observación Instrumentos para variable 1: Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), ficha de campo y Resultados del ICP-MS Instrumentos para variable 2: Sondeo manual, Conteo directo y ficha de campo</p> <p>d) Análisis de datos Promediar datos de concentraciones de metales, cálculo de la densidad e Índice de Shannon Weaver Procesamiento mediante el uso del Past Prueba de normalidad: Shapiro Wilk Prueba de hipótesis Para objetivo 3: Spearman Para objetivo general: Análisis de regresión múltiple</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuál es la concentración de metales pesados (cadmio y plomo) en los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar la concentración de metales pesados (cadmio y plomo) en los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023.</p>		<p>b) Variable 2</p> <p>Metales pesados</p>	<p>Concentración de cadmio</p> <p>ECA-suelo para uso agrícola (Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM) <i>(1 ppm = 1mg/kg)</i></p> <p>Concentración de plomo</p> <p>ECA-suelo para uso agrícola (Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM) <i>(1 ppm = 1mg/kg)</i></p>	
<p>¿Cuál es la densidad y diversidad de macrofauna edáfica en los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023?</p>	<p>Determinar la densidad y diversidad de macrofauna edáfica en los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023.</p>				
<p>¿Cuál es la correlación de las concentraciones de cadmio y plomo, con la densidad y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023?</p>	<p>Determinar la correlación entre metales pesados (cadmio y plomo) y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (<i>Theobroma cacao</i>), San Ramón 2023.</p>				

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

Anexo 2.1. Ficha de Campo

FICHA DE MUESTREO DE SUELO					
DATOS GENERALES:					
Nombre del sitio en estudio:			Departamento:		
Razón social:			Provincia:		
Uso principal:			Dirección del predio:		
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO:					
Nombre del punto de muestreo:			Operador (empresa/personal):		
Coordenadas: X: (UTM, WGS84)			Descripción de la superficie (asfaltado, cemento, vegetación):		
Temperatura: (°C):			Precipitación (si/no, intensidad):		
Técnica de muestreo (p.e. sondeo manual/semimecánico/mecánico, zanja), etc.:			Instrumentos usados:		
Profundidad final (en metros bajo la superficie):			Napa freática (si/no profundidad en m):		
Instalación de un pozo en el agujero (si/no, descripción):			Relleno del agujero después del muestreo (si/no, descripción):		
DATOS DE LAS MUESTRAS:					
Clave de muestra:					
Fecha:					
Hora:					
Profundidad desde (en metros bajo superficie):					
Profundidad hasta (en metros bajo superficie):					
Características organolépticas:					
Color:					
Textura:					
Compactación/ consistencia:					
Humedad:					
Cantidad de la muestra (volumen o peso):					
Medidas de conservación:					
Tipo de muestra (simple/compuesta):					
Estado Fenológico					
DATOS DE LA PARCELA					
Área de muestreo (m^2):					
Numero de muestras:					
Comentarios:			Croquis		



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n telef.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 020216

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : DANA NICOLE CRUZ CERRÓN
PROYECTO : "METALES PESADOS Y MACROFAUNA EDÁFICA EN CULTIVOS DE CACAO (THEOBROMA CACAO), SAN RAMÓN, 2022"
UBICACIÓN : Anexo Daniel Alvarez Tulumayo - San Ramón- Chanchamayo - Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 05 de diciembre de 2023

Lab.	Número de muestra Campo	CE dS m ⁻¹ Relación 1:1	Análisis Mecánico			pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					Elementos pesados solubles		
			Arena %	Limo %	Arcilla %						Textura	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K	Al ³⁺ H ⁺	Pb ppm	Cd ppm
20216	BOPEC32	0.41	61.12	23.28	15.60	Francos arenoso	6.49	18.14	540.60	-	15.03	9.70	1.95	0.03	0.43	0.15	5.01	0.20



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Rocio Pastor
 Dra. Rocio Pastor Juregui
 JEFA DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 020217

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : DANA NICOLE CRUZ CERRÓN
PROYECTO : "METALES PESADOS Y MACROFAUNA EDÁFICA EN CULTIVOS DE CACAO (THEOBROMA CACAO), SAN RAMÓN, 2022"
UBICACIÓN : Anexo Daniel Alvarez Tulumayo - San Ramón- Chanchamayo - Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 05 de diciembre de 2023

Número de muestra Lab.	Campo	CE dS m ⁻¹ Relación 1:1	Análisis Mecánico			pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables Cmol (+) Kg ⁻¹					Elementos pesados solubles ppm		
			Arena %	Limo %	Arcilla %						Textura	CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ ,H ⁺	Pb
20217	BOCIS41	0.87	35.12	35.28	29.60	Franco arcilloso	2.22	28.39	576.60	9.77	16.75	10.33	1.20	0.04	0.68	-	2.62	0.10

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Rocio Pastor Jauregui
 Dra. Rocio Pastor Jauregui
 JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 020218

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : DANA NICOLE CRUZ CERRÓN
 PROYECTO : "METALES PESADOS Y MACROFAUNA EDÁFICA EN CULTIVOS DE CACAO (THEOBROMA CACAO), SAN RAMÓN, 2022"
 UBICACIÓN : Anexo Daniel Alvarez Tulumayo - San Ramón- Chanchamayo - Junín
 RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 05 de diciembre de 2023


Lab.	Número de muestra Campo	CE dS m ⁻¹ Relación 1:1	Análisis Mecánico			pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables Cmol(+) Kg ⁻¹					Elementos pesados solubles		
			Arena %	Limo %	Arcilla %						Textura	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	Pb ppm	Cd ppm
20218	BOMECS5	0.73	41.12	35.28	23.60	Franco	5.18	13.80	412.20	-	16.13	10.03	2.12	0.05	0.48	0.13	7.53	0.47


LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO


Rocio Pastor
 Dra. Rocio Pastor Jauregui
 JEFA DE LABORATORIO

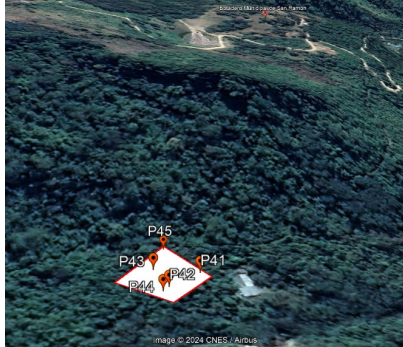


Anexo 4. Fichas de muestreo completadas

FICHA DE MUESTREO DE SUELO N°1					
DATOS GENERALES:					
Nombre del sitio en estudio: San Juan de Tulumayo Alto	Departamento: Chanchamayo				
Razón social: Aurelio Chanorro	Provincia: Chanchamayo				
Uso principal: Agrícola	Dirección del predio: Agua flor				
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO:					
Nombre del punto de muestreo: P1	Operador (empresa/personal): Dana Cruz Cerrón				
Coordenadas: (UTM, WGS84): 461270.172E - 8768329.327N	Descripción de la superficie (asfaltado, cemento, vegetación): cultivo de cacao				
Temperatura: (°C): 27	Precipitación (si/no, intensidad): no				
Técnica de muestreo (p.e. sondeo manual / semimecánico /mecánico, zanja), etc.: manual	Instrumentos usados: Barreno de Oakfield				
Profundidad final (en metros bajo la superficie):	Napa freática (si/no profundidad en m): no				
Instalación de un pozo en el agujero (si/no): no	Relleno del agujero después del muestreo (si/no, descripción): si				
DATOS DE LAS MUESTRAS:					
Clave de muestra:	P11	P12	P13	P14	P15
Coordenadas UTM: NORTE ESTE	8768329.327 461270.172	8768331.136 461285.097	8768306.537 461278.782	8768282.182 461291.707	8768290.396 461317.903
Fecha:	31/08/2023	31/08/2023	31/08/2023	31/08/2023	31/08/2023
Hora:	12:10	01:14	01:34	02:15	02:45
Profundidad desde (en metros bajo superficie):	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m
Profundidad hasta (en metros bajo superficie):	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m
Características organolépticas:	-	-	-	--	-
Color:					
Textura:	-	-	-	-	-
Compactación/ consistencia:	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco
Humedad:					
Cantidad de la muestra (volumen o peso):	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg
Medidas de conservación:	bolsa hermética de polietileno denso				
Tipo de muestra (simple/compuesta):	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta
Estado Fenológico	maduración	maduración	maduración	maduración	maduración
DATOS DE LA PARCELA					
Área de muestreo (m ²):	---				
Numero de muestras:	5 muestras				
Comentarios:	Croquis P1 <ul style="list-style-type: none"> • Punto circundante a la población del anexo San Juan de Tulumayo alto. • Tipo de cultivo: monocultivo • Se observa la presencia de algunas gallinas • Ausencia de especies forestales circundantes • Manto vegetal basado en hojarascas 				
					

FICHA DE MUESTREO DE SUELO N°2					
DATOS GENERALES:					
Nombre del sitio en estudio: San Juan de Tulumayo Alto	Departamento: Chanchamayo				
Razón social: Fidel Bovis	Provincia: Chanchamayo				
Uso principal: Agrícola	Dirección del predio: Cercano al botadero municipal de San ramón				
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO:					
Nombre del punto de muestreo: BOPEZ	Operador (empresa/personal): Dana Cruz Cerrón				
Coordenadas: X(UTM, WGS84): 460289.967E 87677392.486N	Descripción de la superficie (asfaltado, cemento, vegetación): cultivo de cacao				
Temperatura: (°C): 27	Precipitación (si/no, intensidad): no				
Técnica de muestreo (p.e. sondeo manual/semimecánico/mecánico, zanja), etc.: manual	Instrumentos usados: Barreno de Oakfield,				
Profundidad final (en metros bajo la superficie):	Napa freática (si/no profundidad en m): no				
Instalación de un pozo en el agujero (si/no): no	Relleno del agujero después del muestreo (si/no, descripción): si				
DATOS DE LAS MUESTRAS:					
Clave de muestra:	P21	P22	P23	P24	P25
Coordenadas UTM: ESTE NORTE	87677392.486 460289.967	8767409.348 460235.373	8767432.43 460293.597	8767367.557 460327.895	8767353.369 460293.258
Fecha:	1/08/2023	1/08/2023	1/08/2023	1/08/2023	1/08/2023
Hora:	11:10	12:04	12:47	01:18	01:58
Profundidad desde (en metros bajo superficie):	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m
Profundidad hasta (en metros bajo superficie):	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m
Características organolépticas:	-				
Color:					
Textura:					
Compactación/ consistencia:	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco
Humedad:					
Cantidad de la muestra (volumen o peso):	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg
Medidas de conservación:	bolsa hermética de polietileno denso				
Tipo de muestra (simple/compuesta):	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta
Estado Fenológico	maduración	maduración	maduración	maduración	maduración
DATOS DE LA PARCELA					
Área de muestreo (m ²):	---				
Numero de muestras:	5 muestras				
Comentarios:	Croquis P2 				
	<ul style="list-style-type: none"> • A unos metros del botadero municipal de San ramón • Presencia de especies forestales circundantes • Agricultura diversificada: Cacao (cultivo principal), plátano, especies forestales • Manto vegetal basado en hojarascas 				

FICHA DE MUESTREO DE SUELO N°3					
DATOS GENERALES:					
Nombre del sitio en estudio: San Juan de Tulumayo Alto	Departamento: Chanchamayo				
Razón social: Soraida Sotomayor	Provincia: Chanchamayo				
Uso principal: Agrícola	Dirección del predio: Tramo medio hacia el botadero municipal S.R				
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO:					
Nombre del punto de muestreo: P3	Operador (empresa/personal):				
Coordenadas: X(UTM, WGS84): 460841.552E 8767420.15N	Descripción de la superficie (asfaltado, cemento, vegetación): cultivo de cacao				
Temperatura: (°C):	Precipitación (si/no, intensidad): no				
Técnica de muestreo (p.e. sondeo manual/semimecánico/mecánico, zanja), etc.: manual	Instrumentos usados: Barreno de Oakfield,				
Profundidad final (en metros bajo la superficie):	Napa freática (si/no profundidad en m):no				
Instalación de un pozo en el agujero (si/no, descripción): no	Relleno del agujero después del muestreo (si/no, descripción): si				
DATOS DE LAS MUESTRAS:					
Clave de muestra:	P31	P32	P33	P34	P35
Coordenadas UTM: ESTE NORTE	8767420.15 460841.552	8767425.417 460872.043	8767420.54 460898.756	8767395.108 460908.145	8767442.213 460927.022
Fecha:	1/08/2023	1/08/2023	1/08/2023	1/08/2023	2/08/2023
Hora:	04:15:00	05:02:00	05:51:00	06:28:00	09:10:00
Profundidad desde (en metros bajo superficie):	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m
Profundidad hasta (en metros bajo superficie):	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m
Características organolépticas:					
Color:					
Textura:					
Compactación/ consistencia:	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco
Humedad:					
Cantidad de la muestra (volumen o peso):	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg
Medidas de conservación:	bolsa hermética de polietileno denso				
Tipo de muestra (simple/compuesta):	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta
Estado Fenológico	maduración	maduración	maduración	maduración	maduración
DATOS DE LA PARCELA					
Área de muestreo (m ²):	---				
Numero de muestras:	5 muestras				
Comentarios:	Croquis P3 <ul style="list-style-type: none"> • Punto circundante a la población del anexo San Juan de Tulumayo alto • Monocultivo • Manto vegetal basado en hojarascas 				
					

FICHA DE MUESTREO DE SUELO N°4					
DATOS GENERALES:					
Nombre del sitio en estudio: San Juan de Tulumayo Alto	Departamento: Chanchamayo				
Razón social: Elmer Muños	Provincia: Chanchamayo				
Uso principal: Agrícola	Dirección del predio: Cercano al botadero municipal de San ramón				
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO:					
Nombre del punto de muestreo: P4	Operador (empresa/personal):				
Coordenadas: X(UTM, WGS84): 460149.144E 8766648.406N	Descripción de la superficie (asfaltado, cemento, vegetación): cultivo de cacao				
Temperatura: (°C):	Precipitación (si/no, intensidad): no				
Técnica de muestreo (p.e. sondeo manual/semimecánico/mecánico, zanja), etc.: manual	Instrumentos usados: Barreno de Oakfield,				
Profundidad final (en metros bajo la superficie):	Napa freática (si/no profundidad en m):no				
Instalación de un pozo en el agujero(si/no, descripción): no	Relleno del agujero después del muestreo (si/no, descripción): si				
DATOS DE LAS MUESTRAS:					
Clave de muestra:	P41	P42	P43	P44	P45
Coordenadas UTM: ESTE NORTE	8766648.406 460149.144	8766639.698 460129.98	8766657.432 460125.395	8766636.59 460125.825	8766677.095 460136.333
Fecha:	2/08/2023	2/08/2023	2/08/2023	2/08/2023	2/08/2023
Hora:	12:15:00				
Profundidad desde (en metros bajo superficie):	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m
Profundidad hasta (en metros bajo superficie):	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m
Características organolépticas:					
Color:					
Textura:					
Compactación/ consistencia:	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco
Humedad:					
Cantidad de la muestra (volumen o peso):	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg
Medidas de conservación:	bolsa hermética de polietileno denso				
Tipo de muestra (simple/compuesta):	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta
Estado Fenológico	maduración	maduración	maduración	maduración	maduración
DATOS DE LA PARCELA					
Área de muestreo (m ²):	---				
Numero de muestras:	5 muestras				
Comentarios:	Croquis P4 <ul style="list-style-type: none"> • A unos metros del botadero municipal de San ramón • Presencia de especies forestales circundantes • Cercano a una quebrada • Agricultura diversificada 				
					

FICHA DE MUESTREO DE SUELO N°5

DATOS GENERALES:



Nombre del sitio en estudio: San Juan de Tulumayo Alto	Departamento: Chanchamayo
Razón social: José Mercado	Provincia: Chanchamayo
Uso principal: Agrícola	Dirección del predio: Cercano al botadero municipal de San ramón

DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO:

Nombre del punto de muestreo: P5	Operador (empresa/personal): Dana Cruz
Coordenadas: X(UTM, WGS84): 460166.464E 8767311.041N	Descripción de la superficie (asfaltado, cemento, vegetación): cultivo de cacao
Temperatura: (°C):	Precipitación (si/no, intensidad): no
Técnica de muestreo (p.e. sondeo manual/semimecánico/mecánico, zanja), etc.: manual	Instrumentos usados: Barreno de Oakfield,
Profundidad final (en metros bajo la superficie):	Napa freática (si/no profundidad en m):no
Instalación de un pozo en el agujero(si/no, descripción): no	Relleno del agujero después del muestreo (si/no, descripción): si

DATOS DE LAS MUESTRAS:

Clave de muestra:	P51	P52	P53	P54	P55
Coordenadas UTM: ESTE NORTE	8767311.041 460166.464	8767332.43 460187.98	8767302.526 460220.021	8767285.106 460215.937	8767295.903 460247.567
Fecha:	2/08/2023	2/08/2023	2/08/2023	2/08/2023	2/08/2023
Hora:					
Profundidad desde (en metros bajo superficie):	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m
Profundidad hasta (en metros bajo superficie):	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,3 m
Características organolépticas:					
Color:					
Textura:					
Compactación/ consistencia:	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco	media/ seco
Humedad:					
Cantidad de la muestra (volumen o peso):	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg
Medidas de conservación:	bolsa hermética de polietileno denso				
Tipo de muestra (simple/compuesta):	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta	compuesta
Estado Fenológico	maduración	maduración	maduración	maduración	maduración

DATOS DE LA PARCELA

Área de muestreo (m ²):	
Numero de muestras:	5 muestras
Comentarios:	<p>Croquis P5</p> <ul style="list-style-type: none"> • A unos metros del botadero municipal de San ramón • Presencia de especies forestales circundantes • Cercano a una quebrada • Agricultura diversificada • El punto más alto



Anexo 4. Panel fotográfico

Figura 1

Equipos utilizados para muestreo e identificación de órdenes de macrofauna



Nota: a) Microscopio con cámara b) Barreno Oakfield

Figura 2

Obtención de muestra de suelo



Nota: a) limpieza de la maleza y armado de barreno, b) extracción de muestra a 20 cm de profundidad, c) orificios referenciales para la toma de muestra simple, d) mezclado de submuestras, e) técnica de partición de muestra, f) pesado, embolsado y rotulado de muestra compuesta

Figura 3

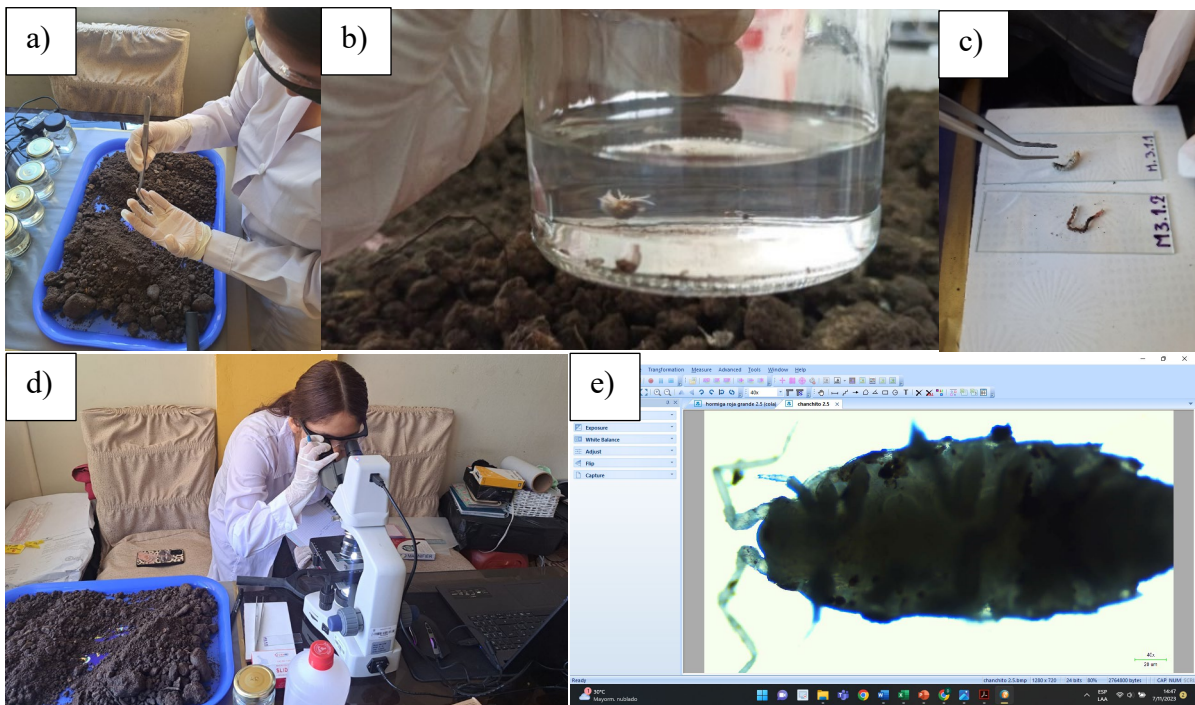
Obtención de monolito de suelo



Nota: a) incrustar el cuadrante muestreador, b) retirar el monolito, embolsado y codificado

Figura 4

Separado, selección, identificación de macrofauna del monolito



Nota: a) separado y sección de macrofauna, b) preservación de macrofauna en frasco con alcohol, c) rotulado de macrofauna d) Identificación mediante microscopio de cámara incorporada, e) vista del individuo mediante el programa Scopelimage

Figura 5

Muestras compuestas de suelo y monolitos de suelo obtenidos



Figura 6

Macrofauna edáfica de los monolitos obtenidos vistos desde un microscopio y el programa Scopelimage

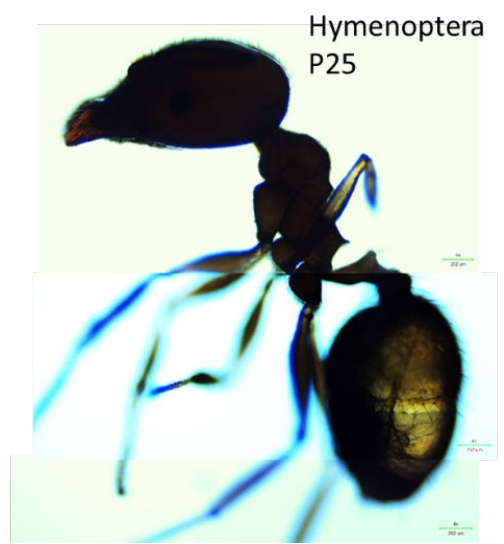
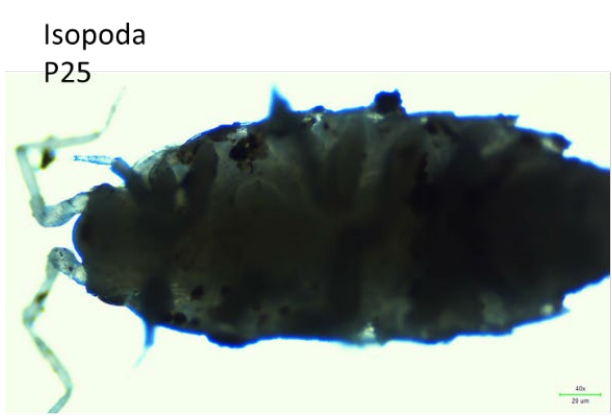
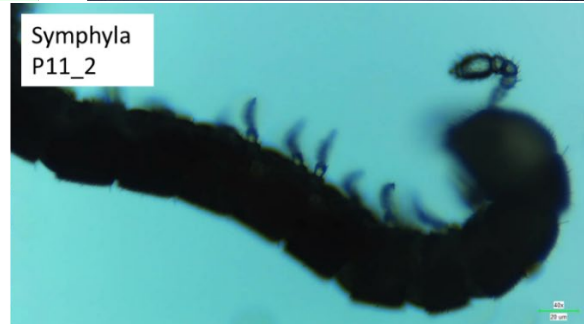
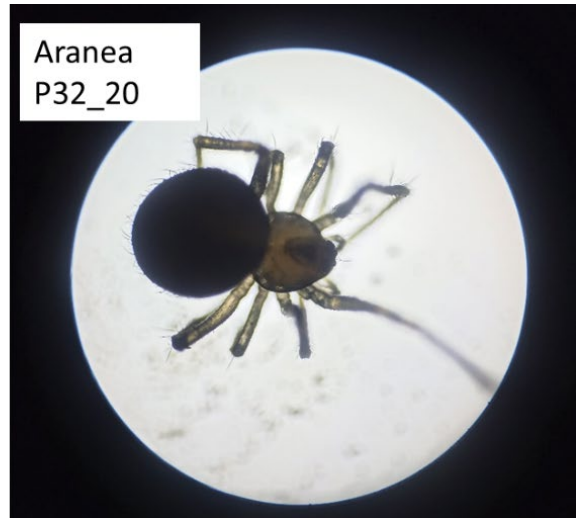


Figura 7

Macrofauna edáfica de los monolitos obtenidos vistos desde un estereoscopio



Anexo 5. Contrastación de hipótesis detallada

Anexo 5.1. Hipótesis específica 3

Hipótesis de Investigación

Ha3: Existe correlación entre metales pesados (cadmio y plomo) y macrofauna en los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

H03: No existe correlación significativa entre metales pesados (cadmio y plomo) y macrofauna en los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023

METALES VS DIVERSIDAD

CADMIO VS DIVERSIDAD

Hipótesis estadística

H0= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación

H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

pvalue $< \alpha$, se rechaza la H0, se acepta la H1

pvalue $> \alpha$, se rechaza la H1, se acepta la H0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=0.16$ y un p-value=0.44, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que se acepta la H0, por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el cadmio y diversidad de macrofauna.

PLOMO VS DIVERSIDAD

Hipótesis estadística

H0= $\beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación

H1= $\beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

pvalue $< \alpha$, se rechaza la H0, se acepta la H1

pvalue $> \alpha$, se rechaza la H1, se acepta la H0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=0.10$ y un p-value=0.63, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que se acepta la H0, por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el plomo y diversidad.

METALES VS RIQUEZA ESPECÍFICA

CADMIO VS RIQUEZA

Hipótesis estadística

H0= $\beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación

H1= $\beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=0.19$ y un $p\text{-value}=0.36$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el cadmio y riqueza específica de macrofauna.

PLOMO VS RIQUEZA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=0.22$ y un $p\text{-value}=0.29$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el plomo y riqueza específica de macrofauna.

CADMIO VS DENSIDAD

CADMIO VS DENSIDAD OLIGOCHAETA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=-0.23$ y un $p\text{-value}=0.25$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el cadmio y densidad de Oligochaeta.

CADMIO VS DENSIDAD MYRIAPODA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{\text{cadmio}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{cadmio}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$pvalue < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$pvalue > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=-0.06$ y un $pvalue=0.74$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha=0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el cadmio y densidad de Myriapoda.

CADMIO VS DENSIDAD HYMENOPTERA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{cadmio} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{cadmio} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$pvalue < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$pvalue > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=0.04$ y un $pvalue=0.82$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha=0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el cadmio y densidad de hymenoptera.

CADMIO VS DENSIDAD ARANEAE

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{cadmio} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{cadmio} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$pvalue < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$pvalue > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=-0.04$ y un $pvalue=0.85$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha=0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el cadmio y densidad de araneae.

CADMIO VS DENSIDAD COLEOPTERA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{cadmio} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{cadmio} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$pvalue < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$pvalue > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=-0.03$ y un $p\text{-value}=0.9$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha =0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el cadmio y densidad de coleoptera.

PLOMO VS DENSIDAD

PLOMO VS DENSIDAD OLIGOCHAETA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=-0.14$ y un $p\text{-value}=0.50$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha =0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el plomo y densidad de oligochaeta.

PLOMO VS DENSIDAD MYRIAPODA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=-0.19$ y un $p\text{-value}=0.36$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha =0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el plomo y densidad de Myriapoda.

PLOMO VS DENSIDAD HYMENOPTERA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r=0.09$ y un $p\text{-value}=0.66$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha =0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el plomo y densidad de hymenoptera.

PLOMO VS DENSIDAD ARANEA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r = -0.16$ y un $p\text{-value} = 0.42$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el plomo y densidad de aranea.

PLOMO VS DENSIDAD COLEOPTERA

Hipótesis estadística

$H_0 = \beta_{\text{plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación de Spearman se tiene un $r = -0.21$ y un $p\text{-value} = 0.30$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que se acepta la H_0 , por lo tanto, no existe una correlación significativa entre el cadmio y densidad de coleoptera.

Anexo 5.2. Hipótesis general

Hipótesis de Investigación

H_a : Existe relación entre los metales pesados (cadmio y plomo) y los índices de diversidad de macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

H_0 : No existe relación entre los metales pesados (cadmio y plomo) y la macrofauna de los suelos cultivados de cacao (*Theobroma cacao*), San Ramón 2023.

METALES VS DIVERSIDAD

Hipótesis Estadística

$H_0 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$pvalue > \alpha$, se rechaza la H1, se acepta la H0

Según la prueba estadística de correlación múltiple se tiene un $R^2 = -0.003$, con ajuste bajo y $p\text{-value} = 0.39$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que no existe una correlación significativa entre el cadmio y plomo con la diversidad de macrofauna de parcelas muestradas de uso agrícola.

METALES VS DENSIDAD

METALES VS DENSIDAD OLIGOCHAETA

Hipótesis Estadística

$H_0 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$pvalue < \alpha$, se rechaza la H0, se acepta la H1

$pvalue > \alpha$, se rechaza la H1, se acepta la H0

Según la prueba estadística de correlación múltiple se tiene un $R^2 = -0.027$, con ajuste bajo y $p\text{-value} = 0.73$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que no existe una correlación significativa entre el cadmio y plomo con la densidad de Oligochaeta de parcelas muestradas de uso agrícola.

METALES VS DENSIDAD MYRIAPODA

Hipótesis Estadística

$H_0 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$pvalue < \alpha$, se rechaza la H0, se acepta la H1

$pvalue > \alpha$, se rechaza la H1, se acepta la H0

Según la prueba estadística de correlación múltiple se tiene un $R^2 = -0.057$, con ajuste bajo y $p\text{-value} = 0.71$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que no existe una correlación significativa entre el cadmio y plomo con la densidad de myriapoda de parcelas muestradas de uso agrícola.

METALES VS DENSIDAD HYMENOPTERA

Hipótesis Estadística

$H_0 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación múltiple se tiene un $R^2 = -0.013$, con ajuste bajo y $p\text{-value} = 0.44$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que no existe una correlación significativa entre el cadmio y plomo con la densidad de himenoptera de parcelas muestreadas de uso agrícola.

METALES VS DENSIDAD ARANEAE

Hipótesis Estadística

$H_0 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación múltiple se tiene un $R^2 = -0.036$, con ajuste bajo y $p\text{-value} = 0.57$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que no existe una correlación significativa entre el cadmio y plomo con la densidad de araneae de parcelas muestreadas de uso agrícola.

METALES VS DENSIDAD COLEOPTERA

Hipótesis Estadística

$H_0 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} = 0$, no hay correlación

$H_1 = \beta_{\text{cadmio y plomo}} \neq 0$, si hay correlación

Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$

$p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1

$p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Según la prueba estadística de correlación múltiple se tiene un $R^2 = -0.065$, con ajuste bajo y $p\text{-value} = 0.76$, el cual es mayor a valor del alfa ($\alpha = 0.05$) por lo que no existe una correlación significativa entre el cadmio y plomo con la densidad de coleóptera de parcelas muestreadas de uso agrícola.