

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**MACROFAUNA EDÁFICA ASOCIADA A PLANTACIONES DE  
*Calycophyllum spruceanum* (CAPIRONA) Y *Tectona grandis* (TECA), EN  
LEONCIO PRADO.**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR:**

**MARCO ANTONIO DIONICIO GARAY**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 064-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 29 de Mayo de 2024, a horas 5:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“MACROFAUNA EDÁFICA ASOCIADA A PLANTACIONES DE  
*Calycophyllum spruceanum* (CAPIRONA) Y *Tectona grandis* (TECA), EN  
LEONCIO PRADO”**

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

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 5 de junio de 2024

  
**Dr. JOSÉ D. LEVANO CRISÓSTOMO**  
**PRESIDENTE**



  
**Ing. MSc. RAÚL ARAUJO TORRES**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. MARIBEL FLORA ROCA CAPCHA**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA**  
**ASESOR**

  
**Ing. MSc. BRAYAN ANDRÉ CALDAS DE LA CRUZ**  
**ASESOR**



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

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 186 - 2024 - CS-RIDUNAS

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

### CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniero Forestal

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
MACROFAUNA EDÁFICA ASOCIADA A PLANTACIONES DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> (CAPIRONA) Y <i>Tectona grandis</i> (TECA), EN LEONCIO PRADO.	MARCO ANTONIO DIONICIO GARAY	<b>22 %</b> <b>Veintidós</b>

Tingo María, 19 de junio de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Matiqui  
JEFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**PROYECTO DE TESIS**

Título : Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) y *Tectona grandis* (teca), en Leoncio Prado.

Programa de investigación : Gestión de bosques y plantaciones forestales

Línea de investigación : Biomasa y ecología forestal

Eje temático : Biomasa en el suelo y necromasa

Autor : DIONICIO GARAY, MARCO ANTONIO

Asesor(es) : Ing. MSc. DIAZ QUINTANA, EDILBERTO

Ing. Mg. Sc. CALDAS DE LA CRUZ, BRAYAN

Lugar de ejecución : LEONCIO PRADO

Duración : 6 meses

Financiamiento : 2 259,18

FEDU : NO

Propio : SI

Otros : NO

Tingo María – Perú

Marzo, 2024

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION  
OFICINA DE INVESTIGACION



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL  
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE  
Y TESISISTA

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

<b>Universidad</b>	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva.
<b>Facultad</b>	:	Recursos Naturales Renovables.
<b>Título de tesis</b>	:	Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de <i>Calycophyllum spruceanum</i> (capirona) y <i>Tectona grandis</i> (teca), en Leoncio Prado.
<b>Autor</b>	:	Dionicio Garay, Marco Antonio
<b>Asesor de tesis</b>	:	Diaz Quintana, Edilberto Caldas De La Cruz, Brayan
<b>Escuela Profesional</b>	:	Ingeniería Forestal.
<b>Programa de investigación</b>	:	Gestión de bosques y plantaciones forestales
<b>Línea(s) de investigación</b>	:	Biomasa y ecología forestal
<b>Eje Temático</b>	:	Biomasa en el suelo y necromasa.
<b>Lugar de ejecución</b>	:	Leoncio Prado, Huánuco.
<b>Duración</b>	:	Inicio : Diciembre 2022 Término : Junio 2023
<b>Financiamiento</b>	:	FEDU : S/0.00 Propio : S/2259,18 Otros : S/.0.00

Tingo María, Perú, junio 2024.

A blue ink signature of Marco Antonio Dionicio Garay.

Marco Antonio Dionicio Garay

Tesista

A blue ink signature of Brayan Caldas De La Cruz.

Brayan Caldas De La Cruz

Asesor

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de sabiduría, amor y fortaleza. Que su guía y bendiciones hayan iluminado cada paso de este camino de aprendizaje y crecimiento. Que este trabajo sea un reflejo de mi gratitud por todas las bendiciones que me ha otorgado y un testimonio de mi compromiso de honrarle en todo lo que hago."

Este trabajo a mis amados padres, Milcerio y Salustria Su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio han sido la base de mi éxito. Gracias por su infinita paciencia, sabiduría y ejemplo de perseverancia. Este logro es también suyo, y les estoy eternamente agradecido por ser mis guías y mi inspiración en la vida."

A mis queridos hermanos, Magdalena, Lidia y Maribel. Su amor, complicidad y aliento han sido un sostén invaluable en mi vida. A través de risas compartidas, momentos difíciles superados juntos y el vínculo inquebrantable que nos une, ustedes han sido mi mayor inspiración. Gracias por estar siempre a mi lado, los llevo en mi corazón en cada paso que doy.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su invaluable apoyo y orientación a lo largo de mi formación académica.

A mis asesores, el Ing. Mg. Sc. Brayan Caldas de la Cruz y el Ing. M. Cs. Edilberto Díaz Quintana, por su dedicación, conocimientos y guía durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Su compromiso y asesoramiento han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.

A los miembros del jurado, Ing. MSc. José Lévano Crisóstomo, Ing. Raúl Araujo Torres y Ing. MCs. Maribel Flora Roca Capcha, por la confianza que depositaron en mí, así como por las correcciones y sugerencias proporcionadas durante la realización de la investigación.

A mis amigos Elias, Jeyson, Cleide y Yorlin, por su constante apoyo, ánimo y comprensión a lo largo de esta travesía académica. Sus palabras de aliento y su amistad han sido un pilar fundamental en los momentos difíciles y en las celebraciones de los logros alcanzados.

A mi enamorada Yoseli su amor, comprensión y apoyo incondicional han sido mi mayor fortaleza durante este tiempo. Su presencia ha iluminado cada día y su aliento ha sido mi impulso para seguir adelante en este camino. Gracias por ser mi compañera de vida y por estar siempre a mi lado en cada paso que doy.

## ÍNDICE

	Página.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Marco teórico .....	3
2.1.1. Fauna del suelo .....	3
2.1.2. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia .....	5
2.1.3. Factores que influyen en la macrofauna edáfica .....	7
2.1.4. Diversidad biológica.....	8
2.1.5. Organismos del suelo como valor funcional de diversidad.....	10
2.1.6. Efecto de la actividad antrópica en la biodiversidad, riqueza y abundancia ..	10
2.1.7. <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	11
2.1.8. <i>Tectona grandis</i> .....	12
2.2. Estado del arte.....	13
2.2.1. Nivel local .....	13
2.2.2. Nivel nacional.....	14
2.2.3. Nivel internacional .....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
3.1. Lugar de ejecución.....	20
3.1.1. Zona de vida .....	21
3.1.2. Condiciones climáticas .....	21
3.1.3. Descripción de plantaciones .....	21
3.2. Material y métodos .....	21
3.2.1. Materiales y herramientas.....	21
3.3. Metodología.....	22
3.3.1. Para determinar la biomasa y densidad de macrofauna edáfica asociada a plantaciones de <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	22
3.3.2. Calcular los índices de diversidad alfa y beta en plantaciones de <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	23
3.1. Características de la investigación .....	25
3.1.1. Tipo, nivel y diseño de investigación .....	25
3.1.2. Variables en estudio.....	26

3.1.3. Población y muestra .....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
4.1. Biomasa y densidad de macrofauna edáfica .....	27
4.1.1. Biomasa (g/m <sup>2</sup> ) .....	27
4.1.2. Densidad (Ind/m <sup>2</sup> ) .....	32
4.2. Índices de diversidad alfa y beta .....	34
4.2.1. Abundancia de macrofauna .....	34
4.2.2. Diversidad alfa .....	37
4.2.3. Diversidad beta .....	39
V. CONCLUSIONES .....	41
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	42
VII. REFERENCIAS .....	43
ANEXO .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página.</b>
1. Estadísticos descriptivos de la biomasa de macrofauna edáfica en <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	27
2. Prueba de U-Mann Whitney .....	27
3. Prueba de Kruscall Wallis para la biomasa edáfica de (g/m <sup>2</sup> ) <i>C. spruceanum</i> en profundidades.....	30
4. Prueba de Kruscall Wallis en <i>T. grandis</i> en profundidades .....	31
5. Estadísticos descriptivos de la densidad (Ind/m <sup>2</sup> ) .....	32
6. Prueba de U Man Witney .....	33
7. Abundancia de las familias de macrofauna edáfica en <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	35
8. Índices de diversidad alfa en dos plantaciones forestales.....	37
9. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con plantación de <i>C. spruceanum</i> .....	51
10. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con plantación de <i>T. grandis</i> .....	53
11. Biomasa de macrofauna (g) registrada en <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página.</b>
1. Mapa de ubicación.....	20
2. Biomasa de macrofauna edáfica en <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	28
3. Comparación de medias de la biomasa edáfica (g/m <sup>2</sup> ) para <i>C. spruceanum</i> .....	30
4. Comparación de medias de la biomasa edáfica (g/m <sup>2</sup> ) para <i>T. grandis</i> .....	31
5. Densidad (ind/m <sup>2</sup> ) en las especies <i>T. grandis</i> y <i>C. spruceanum</i> .....	33
6. Macrofauna edáfica en <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	36
7. índices de diversidad alfa en <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	38
8. Índice de similitud de Jaccard para la plantación de <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> .....	40
9. Constancia de identificación de macrofauna registrada en <i>C. spruceanum</i> y <i>T. grandis</i> ....	57
10. Delimitación de los monolitos de 25 x 25 x 30 cm .....	58
11. Medición de profundidades de monolito .....	58
12. Extracción de las muestras por profundidades .....	59
13. Separación de las muestras de suelo por profundidades .....	59
14. Conteo y separación de los individuos por monolito y profundidades.....	60
15. Identificación de las familias correspondientes.....	60
16. Pesaje de las muestras.....	61

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue estudiar la macrofauna edáfica de dos plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* y *Tectona grandis* en Centro de investigación y Producción Anexo La Divisoria – Puerto Sungaro, en el distrito de Pueblo Nuevo, Leoncio Prado, donde se evaluaron la densidad, biomasa y diversidad de macrofauna teniendo, para lo cual se establecieron transeptos con cinco (05) muestras cada diez metros para cada plantación considerando tres profundidades de suelo (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm), en la diversidad se determinó la diversidad alfa de cada plantación y la diversidad alfa (Jaccard) con el fin de comparar ambos ecosistemas. Los resultados obtenidos fueron: la biomasa de la especie *C. spruceanum* resultando a la profundidad de 0-10 cm un valor de 68,15 g/m<sup>2</sup>, de 10-20 cm presentó 88,86 g/m<sup>2</sup>, de 20-30 cm obtuvo un 7,87 g/m<sup>2</sup>, por otro lado, para la especie *T. grandis* se presentó resultando a la profundidad de 0-10 cm un valor de 70,66 g/m<sup>2</sup>, de 10-20 cm presentó 14,83 g/m<sup>2</sup>, de 20-30 cm obtuvo un 0,08 g/m<sup>2</sup>; para la variable de la densidad se obtuvo para la especie *C. spruceanum* 700,80 ind/ m<sup>2</sup> y para la especie *T. grandis* 294,40 ind/ m<sup>2</sup>. Los índices de diversidad alfa para la plantación de *C. spruceanum* fueron: un índice de Simpson de 0,547, un índice de Shannon\_H de 1,124 y, por último, un índice de Margalef de 1,480; por otro lado, para el caso de la plantación de *T. grandis* se registró un índice de Simpson de 0,458, un índice de Shannon\_H de 1,164 y por último, un índice de Margalef de 2,433; por otro lado, para la diversidad beta con el índice de similitud de Jaccard presentó un 0,50.

Palabras claves: macrofauna edáfica, plantaciones, *Calycophyllum spruceanum*, *Tectona grandis*

## ABSTRACT

The objective of the research was to study the edaphic macrofauna of two *Calycophyllum spruceanum* and *Tectona grandis* plantations at the Centro de investigación y Producción Anexo La Divisoria – Puerto Sungaro, in the Pueblo Nuevo district of Leoncio Prado, [Peru]; where the density, biomass, and diversity of the macrofauna were evaluated. In order to do this, transects were established for each plantation, with five samples every ten meters; three soil depths were considered (0-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm). For the diversity, the alpha diversity of each plantation and the alpha diversity (Jaccard) were determined with the goal of comparing both ecosystems. The results that were obtained were: the biomass of the *C. spruceanum* specie had a value of 68.15 g/m<sup>2</sup> at a depth of 0-10 cm, at 10-20 cm the value was 88.86 g/m<sup>2</sup>, [and] at 20-30 cm, 7.87 g/m<sup>2</sup> was obtained. On the other hand, for the *T. grandis* specie, the results presented [were that] at a depth of 0-10 cm the value was 70.66 g/m<sup>2</sup>, at 10-20 cm [the value was] 14.83 g/m<sup>2</sup>, [and] at 20-30 cm, 0.08 g/m<sup>2</sup> was obtained. For the density variable, for the *C. spruceanum* specie, 700.80 ind/ m<sup>2</sup> was obtained and for the *T. grandis* specie, 294.40 ind/ m<sup>2</sup>. The alpha diversity indices for the *C. spruceanum* plantation were: a Simpson index of 0.547, a Shannon\_H index of 1.124, and finally, a Margalef index of 1.480. On the other hand, in the case of the *T. grandis* plantation, a Simpson index of 0.458, a Shannon\_H index of 1.164, and finally, a Margalef index of 2.433 were recorded. On the other hand, for the beta diversity, the Jaccard similitude index presented a [value] of 0.50.

Keywords: edaphic macrofauna, plantations, *Calycophyllum spruceanum*, *Tectona grandis*

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los organismos del suelo desempeñan un rol crucial en los bosques, dado que tienen la capacidad de alterar el entorno del suelo mediante la formación de espacios porosos grandes, el cambio y la dispersión de materia orgánica, la descomposición de la vegetación muerta y la fragmentación de restos vegetales. Estos procesos son especialmente relevantes en sistemas agrícolas donde se añaden residuos vegetales con una proporción alta de carbono a nitrógeno.

La fauna del suelo de gran tamaño desempeña una función crucial en los bosques plantados, ya que son comúnmente empleados como señales de la salud biológica y diversidad del suelo, lo cual ejerce un impacto significativo en las características físicas y químicas de los suelos bajo cultivo y sin cultivar, promoviendo la fertilidad y rendimiento de los sistemas.

En Leoncio Prado se cuenta con plantaciones forestales con fines de aprovechamiento y de investigación; sin embargo, existe pocos estudios sobre el aporte de la macrofauna edáfica a estas especies, por lo cual se desconoce el aporte de los indicadores biológicos del suelo de estos ecosistemas, por ende se plantea la siguiente interrogante ¿Cuál será la macrofauna edáfica asociada a plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) y *Tectona grandis* (teca), en Leoncio Prado?, y la hipótesis a contrastar será: existen efectos significativos de la de macrofauna en plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) y *Tectona grandis* (teca).

Teniendo en cuenta que la macrofauna del suelo constituye un ente fundamental para los procesos formadores del suelo y la principal actividad que se desarrolle en el suelo tendrá efecto en ello. Actualmente la mayoría de los tipos de uso de suelo vienen siendo perjudicados por factores edafoclimáticas, calidad de sitio, uso de agroquímicos, por tal motivo surge la iniciativa de cuestionar si es probable o no que exista efecto de las plantaciones forestales sobre la población de los organismos del suelo.

Lo que se busca es generar datos importantes que aporten sobre la funcionalidad y cómo actúan la macrofauna edáfica en el comportamiento del suelo, bajo este escenario que contribuya a la toma de decisiones en las instalaciones de plantaciones forestales, teniendo en cuenta la calidad de sitio.

En base a lo anterior el estudio tiene como finalidad brindar información sobre la diversidad y densidad de fauna edáfica que habitan en dos plantaciones forestales de *C. spruceanum* y *Tectona grandis*, y de esta manera identificar la diferencia en ambas plantaciones, con el propósito de aportar conocimientos sobre las plantaciones que aportan mayor macrofauna en Leoncio Prado

### **Objetivo general**

- Determinar la macrofauna edáfica asociada a plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) y *Tectona grandis* (teca), en Leoncio Prado

### **Objetivos específicos**

- Evaluar la biomasa y densidad de macrofauna edáfica asociada a plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) y *Tectona grandis* (teca), en Leoncio Prado.
- Determinar los índices de diversidad alfa y beta asociada a plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) y *Tectona grandis* (teca), en Leoncio Prado

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Marco teórico**

#### **2.1.1. Fauna del suelo**

##### **2.1.1.1. Macrofauna**

La macrofauna edáfica incluye invertebrados de más de 2 mm de diámetro. Estos organismos son importantes porque influyen en diversas propiedades del suelo, como los Annelida, Isoptera y Formicidae, conocidos como ingenieros del suelo, ya que contribuyen a la formación de poros, la filtración del agua y la retención de humedad del suelo (Cabrera, 2012). Estos beneficios proporcionados por la macrofauna del suelo ayudan a regular los procesos edáficos, el funcionamiento y el equilibrio de los ecosistemas (Cabrera et al., 2011).

La fauna del suelo de mayor tamaño abarca invertebrados que son fácilmente visibles y habitan total o parcialmente en el suelo o en sus cercanías. Esta amplia variedad de organismos, que incluye desde lombrices de tierra hasta escorpiones y larvas de insectos, puede llegar a superar las mil especies en un solo entorno. Además, estas especies pueden alcanzar densidades y biomasa que exceden el millón de ejemplares; asimismo pueden superar más de 1000 kg por hectárea, de forma respectiva. El papel que desempeñan estos organismos en el ecosistema es diverso y pueden ser clasificados en diferentes categorías según distintas clasificaciones funcionales (Brown, 2000).

La macrofauna del suelo habita y se alimenta en la capa superficial de la tierra, donde descompone la materia vegetal en descomposición, facilitando así las fases donde estos se descomponen y liberan minerales de la materia orgánica; sin embargo; varias investigaciones señalan que la cantidad de estos organismos está influenciada por condiciones climáticas como la humedad y la temperatura, así como por la presencia de árboles en los sistemas agroforestales, la proporción de residuos vegetales que se encuentran en disgregación presente en el suelo y la salud nutricional de las plantas en el estrato arbóreo (Coleman y Wall, 2015).

Los seres vivos que habitan en el suelo representan un elemento crucial en los ecosistemas del suelo y en sus cadenas tróficas (Brussaard et al., 2012). Según su tamaño medio, estos organismos se han categorizado en microfauna, mesofauna y macrofauna; dentro

de esta última categoría se encuentran los no vertebrados que se caracteriza por tener un tamaño superior a 1 cm, donde estos tienen la facilidad de auto crearse hábitats propios mediante actividades de excavación y formación de cavidades (Coleman y Wall, 2015).

La macrofauna del suelo abarca una diversidad de clases, órdenes y familias, entre las cuales destacan los Annelida: Oligochaeta (lombrices), Myriapoda (ciempiés y milpiés), y Arthropoda, que incluye hormigas (Hymenoptera), termitas (Blattodea), así como larvas y adultos de varios insectos (Coleoptera, Diptera, Isopoda, Lepidoptera) (Coleman y Wall, 2015). En el proceso de formación del suelo, las lombrices, hormigas y termitas son consideradas los componentes más significativos de la macrofauna del suelo (Ruiz et al., 2008).

Las actividades de la macrofauna del suelo tienen un efecto significativo en las características químicas del suelo, incluyendo la descomposición de la materia orgánica, de esta manera permitiendo que se libere los nutrientes. Además, su presencia influye reflejándose a través del suelo en la acumulación de excrementos (Coleman y Wall, 2015).

#### **2.1.1.2. Mesofauna**

Estos organismos miden entre 0.1 y 2.0 mm. Entre ellos se encuentran los enquitreidos (Annelida: Oligochaeta), que contribuyen al mantenimiento de la estructura del suelo, y los microartrópodos (Symphylla, Pauropoda, Acarina, Collembola, Protura y Diplura), que facilitan el ciclo de nutrientes mediante la ingestión de hongos y bacterias y la fragmentación de material vegetal en descomposición (Gizzi et al., 2009). La mesofauna es crucial para el suelo, desempeñando un papel esencial en el mantenimiento de su calidad y en las funciones de los ecosistemas, tales como la descomposición del material vegetal, el ciclo de nutrientes, la formación y retención de humedad del suelo, y la regulación de la erosión (George et al., 2017). Los organismos de la mesofauna responden a las perturbaciones naturales y antropogénicas del medio, lo que provoca cambios en su riqueza y abundancia, así como pérdida de diversidad de especies, disminuyendo la estabilidad y fertilidad del suelo (Corrales Flores et al., 2018).

#### **2.1.1.3. Microfauna**

Está compuesta por protozoarios, nemátodos, rotíferos, tardígrados, colémbolos, ácaros, hongos, bacterias y otros organismos de menos de 0.2 mm (Colonese, 2017). Las funciones ecológicas de estos microorganismos del suelo incluyen la mineralización

de nutrientes, la descomposición de materia orgánica, la degradación de sustancias tóxicas y la regulación de patógenos (Mogollón et al., 2020). Su abundancia en el suelo está relacionada con la humedad y la disponibilidad de nutrientes (Leguizamo & Parada, 2008), lo que facilita la producción de biomasa y la conservación de la biodiversidad, entre otros servicios ecosistémicos (Safaei et al., 2019).

### **2.1.2. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia**

Los invertebrados que habitan en el suelo, también llamada fauna edáfica, lo cual se encuentra formada por seres vivos que pasan todo o alguna parte de su ciclo de vida en la superficie cercana a la superficie terrestre de ecosistemas, fustes de árboles en descomposición, en la capa superior de hojas caídas y debajo de la superficie terrestre. Esta comunidad incluye desde microorganismos hasta vertebrados de tamaño medio. Si bien es cierto para sobrevivir en el suelo, estos seres han tenido que ajustarse a un entorno denso, con poco oxígeno y luz, escasos espacios abiertos, comida limitada en cantidad y calidad, y también a cambios extremos en las condiciones climáticas locales (Lavelle et al., 1992).

En las zonas tropicales, la macrofauna constituye la forma más notable de vida animal en el suelo, conformada por invertebrados con un tamaño superior a los 2 mm, que son vistos notablemente en la superficie del suelo o dentro de este. Este grupo de organismos incluye termites, lombrices de tierra, escarabajos, arañas, larvas de moscas y mariposas, caracoles, milpiés, ciempiés y hormigas. Aunque los escarabajos suelen exhibir la mayor diversidad de especies, en términos de cantidad predominan los termites y las hormigas, mientras que las lombrices de tierra destacan por su biomasa (Lavelle et al., 1994).

La macrofauna del suelo comprende los invertebrados que habitan completamente o en parte dentro del suelo, su superficie cercana, así como en la hojarasca y los troncos descompuestos. Estos organismos tienen un ancho de cuerpo o diámetro que supera los 2 mm y una longitud de al menos 10 mm, lo que los hace fácilmente visibles a simple vista (Brown et al., 2001).

Además, la macrofauna del suelo se puede clasificar en diferentes grupos funcionales según su función y su impacto en el suelo, así como su estilo de vida y fuente de alimentación. Estos grupos incluyen detritívoros, herbívoros y depredadores, cada uno con un

papel particular en la evolución y productividad del suelo, lo que les confiere el título de ingenieros del ecosistema (Zeberino et al., 2008).

#### **2.1.2.1. Grupos funcionales**

##### **a) Detritívoros**

Residen en diferentes áreas del suelo, como la capa de hojas caídas, la superficie y el interior, donde desempeñan un papel activo descomponiéndose en materia orgánica. Específicamente, la fauna del suelo que viven en estos ecosistemas se ocupa principalmente de descomponer los restos de plantas y animales que forman la hojarasca. Esta descomposición mecánica de los desechos orgánicos aumenta la cantidad de alimento disponible que necesitan diversos invertebrados con tamaños menores y para microorganismos como hongos y bacterias, lo que resulta fundamental en el ciclo de nutrientes. Según la investigación científica, se ha planteado que algunos detritívoros pueden tener una dieta omnívora no selectiva, lo que significa que consumen una amplia variedad de materiales de origen vegetal o animal (Cabrera, 2014).

##### **b) Herbívoros o depredadores**

Habitan tanto en el suelo como en su superficie. Los que residen dentro del suelo sirve como sustento alimenticio de las plantas, controlando así la cantidad de material vegetal que se añade al suelo. Por otro lado, los depredadores se alimentan de una diversidad de invertebrados, lo que modifica el equilibrio entre las poblaciones de los invertebrados y la disponibilidad de los recursos en el ecosistema (Biosil, 2015).

##### **c) Ingenieros del suelo o del ecosistema.**

Los ingenieros del suelo mayormente residen dentro de este y tienen un fin importante en la formación de poros, la oxigenación y la permeabilidad del agua al construir complejas redes de galerías. Además, estas facilitan al descomponerse en materia orgánica al interactuar con ciertos microorganismos. Su impacto se extiende al proceso de agregación y estructuración del suelo, ya que aportan sus excrementos, que son el resultado de la mezcla en sus intestinos de materiales minerales (como arena y arcilla) y orgánicos del suelo, convirtiéndose en importantes reservas de nutrientes (Biosil, 2015).

### **2.1.3. Factores que influyen en la macrofauna edáfica**

Los sucesos que tienen lugar en el suelo son controlados por una variedad de factores que operan en distintas escalas temporales y espaciales. A una escala mayor, el clima y las características del suelo son factores cruciales, ya que impactan en las comunidades vegetales, las cuales, a su vez, influyen en la calidad y cantidad de los aportes orgánicos al suelo para los macroinvertebrados y microorganismos (Lavelle y Spain, 2001).

Además, en el ámbito local, la estructura y el reparto de estas comunidades se ven afectados por variables de accesibilidad de sustento (recursos), circunstancias microambientales y la productividad y la composición del suelo (Correia, 2002).

#### **- Clima**

El clima ha sido el factor primordial que ha influenciado los procesos de evaluación a largo plazo, configurando la composición y aspectos de las comunidades, así como la distribución y cantidad de los invertebrados. Las variaciones en el microclima, relacionadas con la densidad y tipo de vegetación, junto con la presencia de residuos, ejercen una influencia significativa en la distribución de los invertebrados en áreas de pastoreo y su capacidad para adaptarse a condiciones climáticas adversas (Curry, 1987).

#### **- Suelo**

Los atributos físico-químicos del suelo tienen un impacto directo en la fauna que lo habita, afectando aspectos como la cantidad de materia orgánica, la humedad, el pH, la estructura y la aireación del suelo; además, estas propiedades tienen un efecto indirecto a través de su impacto en la vegetación cercana (Curry, 1987).

La organización del suelo desempeña una función vital en la dispersión de los invertebrados; asimismo, se encuentran una correlación positiva entre la cantidad y tamaño de los poros del suelo y el tipo de organismos que residen en él. Los invertebrados de mayor tamaño tienden a ocupar los poros que contienen aire (Hendrickes, 1985). En general, los organismos del suelo muestran preferencia por entornos con altos niveles de humedad. Cuando hay escasez de agua, tienden a moverse hacia capas más profundas del suelo y a distribuirse de manera más densa.

## - **Prácticas de manejo**

Cuando se llevan a cabo prácticas agrícolas que alteran un entorno natural, los cambios principales ocurren en las características del suelo y en la cantidad, biomasa y diversidad de la vida que lo habita. La composición de las comunidades presentes en el suelo dependerá de la magnitud de la alteración en relación con el ecosistema original, así como de la capacidad de los organismos para ajustarse a estos cambios (Brown et al., 2001).

La manera en que la macrofauna responde al manejo del suelo, que abarca desde la rotación de cultivos hasta la formación del suelo y la incorporación de materia orgánica, está condicionada por las perturbaciones físicas resultantes, la disposición de residuos y como las comunidades de las plantas se descomponen (Lavelle y Spain, 2001).

### **2.1.4. Diversidad biológica**

De acuerdo con Gil et al. (2005), la abundancia y la variedad de la macrofauna del suelo cambiarán en función del nivel de actividad agrícola y la utilización de distintas prácticas agrícolas. Por lo tanto, un manejo apropiado del suelo promoverá una mayor diversidad y cantidad de organismos del suelo, lo que beneficiará el ciclo de nutrientes, el desarrollo de las plantas y la sostenibilidad del sistema de producción (Gálvez-Cerón, 2016).

Además, estas herramientas posibilitan efectuar comparaciones rápidas y estadísticamente comprobables entre la diversidad de hábitats diferentes o la diversidad dentro de un mismo hábitat a lo largo del tiempo (Gálvez-Cerón, 2016).

#### **2.1.4.1. Índice de diversidad**

Estos patrones que miden la diversidad son métricas que examinan la variedad que existe en una zona determinada, considerando tanto el número global de especies (llamado riqueza) como la manera en que los individuos se distribuyen entre esas especies (BOLFOR, 2000).

La riqueza se describe como el número de especies presentes en un conjunto específico (como plantas, animales, bacterias, hongos, mamíferos, árboles, etc.) dentro de un área delimitada. En contraste, la diversidad de especies engloba tanto la cantidad total de especies como la distribución de individuos (abundancia) de cada especie en una región determinada (BOLFOR, 2000).

## - Índice de diversidad alfa

Los elementos clave de la diversidad alfa se pueden condensar en la cantidad de especies, la equidad en su distribución y la dominancia. El índice de diversidad de Renyi se relaciona con estos aspectos de la siguiente manera: cuando alfa es 0, el índice refleja la cantidad observada de especies; a medida que alfa se aproxima a 1, el perfil se asemeja al índice de Shannon-Weaver; cuando alfa representa un valor 2, actuando como el índice de Simpson; y mientras con índices superiores de alfa, tiende a parecerse al índice de Berger-Parker (Gómez, 2011).

### • Índice de diversidad de Shannon – Wiener ( $H'$ )

La métrica de Shannon, fundamentada en la teoría de la información, representa la probabilidad de hallar un organismo particular dentro de un ecosistema. Aunque su valor máximo típicamente ronda alrededor de 5, existen ecosistemas extraordinariamente diversos que pueden superar esta cifra. Cuanto mayor sea el valor del índice, mayor será la biodiversidad del ecosistema. Se considera que los valores de Shannon entre 1.5 y 3.5 son típicos para este índice, siendo poco común exceder el valor de 4.5 (Odúm, 1986; Venegas, 2004).

### • Índice de dominancia de Simpson ( $D$ )

El índice de Simpson ( $\lambda = \sum p_i^2$ ) mide la posibilidad de que dos individuos elegidos al azar en una comunidad que sean de la misma especie. En comunidades donde unas pocas especies son dominantes, hay una mayor probabilidad de que dos individuos escogidos de forma al azar sean de la misma especie, en comparación con aquellas comunidades donde la distribución de especies es más uniforme. Este índice varía entre 0 y 1, y una alternativa para medir la diversidad es  $D = 1 / \sum p_i^2$ , donde  $D$  aumenta cuando  $\lambda$  disminuye, y viceversa (Rodríguez, 2004).

## - Índice de distancia de Bray-Curtis o diversidad beta

La diversidad beta se utiliza para medir la diferencia ecológica entre dos comunidades o subsistemas dentro de una misma comunidad. Esta diferencia se evalúa mediante la comparación de la abundancia de los grupos taxonómicos presentes en ambos. Los valores de la diversidad beta varían entre 0 y 1. Cuando el valor se acerca a 0, los subsistemas

o agroecosistemas son considerablemente diferentes en su composición taxonómica. A medida que el valor se acerca a 1, los subsistemas o agroecosistemas muestran una mayor similitud (Rodríguez, 2004).

### **2.1.5. Organismos del suelo como valor funcional de diversidad**

La biodiversidad se describe como la cantidad y disposición de la información biológica presente en los sistemas vivos, los cuales están organizados en una jerarquía.

El grupo funcional de organismos detritívoros reside en diferentes estratos del suelo, como la capa de hojarasca y la superficie del suelo. Su principal función es descomponer la materia orgánica, particularmente los residuos vegetales y animales presentes en la hojarasca. Este proceso de descomposición mecánica aumenta la disponibilidad de alimento para otros organismos más pequeños y para microorganismos como hongos y bacterias, lo que influye notablemente en el ciclo de nutrientes. Algunos detritívoros tienen una dieta omnívora, lo que implica que consumen una variedad de materiales de origen vegetal o animal. Aparte de los detritívoros, otros grupos de macrofauna, como los herbívoros y los depredadores, también se encuentran en el suelo, tanto en la superficie como en el interior. Los herbívoros consumen vegetación viva, regulando de esta manera las proporciones de material vegetal que llega al suelo, mientras que los depredadores se alimentan de otros invertebrados, lo que afecta el equilibrio de las poblaciones y la disponibilidad de recursos en el ecosistema.

Un segundo conjunto de la macrofauna, compuesto por herbívoros y depredadores, habita en distintas profundidades del suelo, ya sea en la superficie o en su interior.

### **2.1.6. Efecto de la actividad antrópica en la biodiversidad, riqueza y abundancia**

Los efectos de la actividad agrícola, que implica el arado del suelo para el cultivo de productos destinados al consumo humano, afectan la diversidad de organismos que viven en los ecosistemas del suelo (Lema, 2016).

Según Lavelle P. (2001), la reducción de la complejidad de los ecosistemas debido a la actividad humana conlleva a una disminución en los servicios ecológicos previamente ofrecidos, lo cual impacta procesos vitales como la desintegración de la materia orgánica y la circulación de nutrientes.

### 2.1.7. *Calycophyllum spruceanum*

Según, Torres (1993), la especie de *Calycophyllum spruceanum* pertenece a la clasificación taxonómica de:

Reino	: Plantae
División	: Fanerógama
Clase	: Dicotiledónea
Orden	: Rubiales
Familia	: Rubiaceae
Género	: <i>Calycophyllum</i>
Especie	: <i>Calycophyllum spruceanum</i>

#### 2.1.2.1. Descripción

Reynel et al. (2003) describen que el árbol presenta un diámetro que oscila entre 50 y 120 cm y una altura de entre 20 y 35 m, con un tronco muy recto y cilíndrico regular, y una copa que se forma en el último tercio. La corteza exterior es lisa y de color verde, uniforme y brillante, similar a un poste bien pulido, con una capa exterior de ritidoma papiráceo de tono rojizo que se desprende en placas grandes e irregulares, dejando al descubierto la superficie verdosa de la corteza. Por otro lado, la corteza interna es uniforme, muy delgada, con un espesor de 1 a 2 mm y de color crema verdoso.

Tiene hojas simples dispuestas de manera opuesta, elípticas u oblongas, con una base que tiende a ser obtusa y una nerviación pinnada. Las inflorescencias se presentan en cimas terminales de aproximadamente 10-15 cm de longitud, con numerosas flores hermafroditas que poseen tanto cáliz como corola, cada una con una longitud de alrededor de 1-1,5 cm. Los frutos son cápsulas pequeñas de forma alargada, que miden entre 5 y 8 mm de longitud, con una superficie pubescente y contienen semillas diminutas, aladas y alargadas.

Según Toledo (1999), la capirona muestra cualidades sobresalientes para su cultivo en áreas abiertas, ya sea en plantaciones puras o en combinaciones agroforestales. Además, destaca su capacidad de regeneración natural, lo que la convierte en una opción ideal

para la gestión de sucesiones secundarias. Señala que esta especie puede ser manejada en rotaciones cortas de 20-30 años para la producción de madera de tamaño mediano.

### 2.1.8. *Tectona grandis*

Según, Fonseca (2004), la especie de *Tectona grandis* pertenece a la clasificación taxonómica de:

Reino	: Plantae
División	: Fanerógama
Clase	: Dicotiledónea
Orden	: Lamiales
Familia	: Lamiaceae
Género	: <i>Tectona</i>
Especie	: <i>Tectona grandis</i>

#### 2.1.2.1. Descripción

Los árboles de teca se caracterizan por tener troncos altos y rectos. Su corteza externa es de tono castaño claro, con escamas y grietas, mientras que la interna es de color blanquecino y tiene un grosor que varía entre 1 y 1,5 centímetros. Las hojas, dispuestas en forma opuesta, son ovaladas y se agrupan en verticilos en las plantas jóvenes. Su haz presenta un tono verde intenso, mientras que en el envés exhiben un verde más claro y son de textura consistente y áspera al tacto. Por lo general, miden entre 40 y 50 centímetros de largo y entre 20 y 25 centímetros de ancho, aunque en las plantas jóvenes algunas pueden ser más grandes (Betancourt, 1987).

El sistema de raíces de la teca es extenso y profundo. Inicialmente, se desarrolla una raíz principal gruesa que puede mantenerse o desaparecer a medida que el árbol madura, dando paso al crecimiento de raíces laterales robustas. Esta característica le confiere resistencia a los vientos fuertes (Terranova, 2004).

La especie *Tectona grandis* se encuentra naturalmente en la India, Birmania, Tailandia, Indochina (especialmente en Jaba) y Malasia. Sin embargo, ha sido introducida en Filipinas, África, Guyana Británica, Puerto Rico, Costa Rica, Cuba, Haití,

Jamaica, Trinidad y Tobago, Honduras, Ecuador, Colombia, Venezuela, Brasil, Camboya, Laos y Vietnam (tanto en el Norte como en el Sur) (Betancourt, 1987).

El nivel de humedad juega un papel fundamental para las gestiones de las plantaciones de teca. Durante el crecimiento de los cultivos, la posibilidad de una distribución irregular de las precipitaciones, junto con el requerimiento de agua, hace que la aplicación de riego adicional pueda ser esencial en esta etapa (Bebarta, 1999). La fertilidad del suelo desempeña un papel crucial, especialmente en los primeros años posteriores a la plantación. Durante este período inicial, la falta de ciertos elementos esenciales puede ser crítica (Chávez y Fonseca, 1991).

## 2.2. Estado del arte

### 2.2.1. Nivel local

Álvarez *et al.* (2016) en su estudio sobre la macrofauna como indicador biológico de los suelos en diferentes sistemas ecológicos de UNAS, donde se buscó determinar la diversidad alfa y beta de la macrofauna, en la metodología se evaluaron dos zonas de estudio: Bosque y Pastizal; como resultados se obtuvo en cuanto al índice de diversidad Jaccard se presentó un valor de 0,658 y por otro lado con el índice de Witthaker se obtuvo un 0,246.

Huarauya (2014) realizó un estudio que examinó la macrofauna en los suelos de las plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) en Santa Rosa Tealera, Distrito Hermilio Valdizan. Se identificó que los especímenes más comunes en estos suelos eran el Japigider (Campodeida), las hormigas (Formicidae) y la lombriz de tierra (Lumbricidae). Se encontró la mayor concentración de organismos del grupo taxonómico a una profundidad de entre 0 y 10 cm en el suelo. La densidad más alta se registró en las plantaciones de 10 años (392 ind/m<sup>2</sup>) y a una profundidad del suelo de 0 a 10 cm (239 ind/m<sup>2</sup>). A pesar de estos hallazgos, la diversidad en las parcelas fue limitada, con índices de 1,56 (H'), 0,6217 (E) y 0,5567 (D). Se estableció una relación entre la densidad de la macrofauna y el tiempo transcurrido desde el establecimiento de los cafetales (R2: 0,3648) y la profundidad del suelo (R2: -0,2451). Además, se observó que los grupos taxonómicos estaban relacionados con la profundidad (R2: -0,4518) y la densidad de la macrofauna (R2: 0,3552).

Sagawa (2014) en su investigación sobre la determinación de la macrofauna en diversos sistemas del Parque Nacional de Tingo María, con la finalidad de evaluar la diversidad, biomasa y densidad de la macrofauna, se evaluaron diferentes zonas de estudio, como resultado se obtuvo en cuanto a la densidad de macrofauna en la zona de Bosque primario 880 ind/m<sup>2</sup>, en el Bosque secundario 896 ind/m<sup>2</sup>; en cuanto a la variable biomasa se obtuvo en la zona de Sistema Agroforestal Café 18,55 g/m<sup>2</sup>, Sistema Agroforestal Cultivos 15,45 18,55 g/m<sup>2</sup>; por otro lado, la variable del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') en la zona de Bosque primario 1,37, Bosque secundario 2,25, Sistema Agroforestal Café 1,36 y por ultimo Sistema Agroforestal Cultivo 1,34.

Panduro (2013) en su investigación sobre la macrofauna en diversos sistemas en el suelo del BRUNAS, donde se determinó la biomasa, densidad y diversidad, la metodología se llevó a cabo en las siguientes zonas de estudio: Pastizal, Bosque secundario, Bambuzal, Tornillal, Cacaotal, como resultado se obtuvo en cuanto a la variable densidad en la zona Tornillal 1152 ind/m<sup>2</sup>, en el Bambuzal 496 ind/m<sup>2</sup>, en el Pastizal 2704 ind/m<sup>2</sup>, en el Bosque 704 ind/m<sup>2</sup>, en la zona de cacao 1200 ind/m<sup>2</sup>; para el otro caso, de la variable biomasa se registró en la zona Tornillal 27,36 g/m<sup>2</sup>, en el Bambuzal 14,69 g/m<sup>2</sup>, en el Pastizal 332,13 g/m<sup>2</sup>, en el Bosque 50,29 g/m<sup>2</sup>, en la zona de cacao 156,26 g/m<sup>2</sup>; sin embargo, en las profundidades se registró mayor biomasa en los primeros 10 cm con valores de 15,35 g/m<sup>2</sup>, 10,27 g/m<sup>2</sup>, 197,61 g/m<sup>2</sup>, 30,37 g/m<sup>2</sup> y 111,50 g/m<sup>2</sup> respectivamente. Para la variable de índice de diversidad en cuanto a Shannon- Wiener (H') en el Tornillal de 1,47, en el Bambuzal 1,50, en el Pastizal 0,48, en el cacaotal 1,76, para el índice de equidad (E) se registró en la zona del Tornillal 0,64, en el Bambuzal 0,72, en el Pastizal 0,30, en el Bosque 0,67, en el cacaotal 0,77.

### **2.2.2. Nivel nacional**

Ccoycca (2018) en su investigación sobre la macrofauna presente en la superficie del suelo en plantaciones agrícolas y forestales en Madre de Dios, el fin de la investigación fue cuantificar y evaluar la biomasa y la densidad en el sistema agrícola-forestal, se obtuvo como resultado en la biomasa en los sistemas agroforestales de 17,09 g/m<sup>2</sup>, para el caso de la densidad total fue de 163,09 ind/m<sup>2</sup>, asimismo se reportaron para el índice de diversidad de Shannon fue de 2,60, para el índice de Evenness fue de 0,68 y para la dominancia de Simpson fue de 0,09.

Sánchez (2018) en su investigación sobre la macrofauna del suelo en diversos sistemas en Madre de Dios, con el propósito de estudiar la densidad, diversidad y biomasa de

la macrofauna del suelo se llevó a cabo la metodología evaluando los siguientes sistemas: Monocultivo, Bosque, Sistema Agroforestal y Pastizal; como resultado se obtuvo siguiente: en cuanto a la densidad de macrofauna se registraron un total de 1751 individuos, con 16 órdenes, de los cuales para el sistema Bosque resultaron 163 individuos, para Monocultivo 263 individuos, para Pastizal 289 individuos y para Sistemas Agroforestales 1036 individuos; para el caso de la biomasa se registró en el sistema Pastizal 20,26 g/m<sup>2</sup>, para el Sistema Agroforestal 11,06 g/m<sup>2</sup>, para el Monocultivo 7,99 g/m<sup>2</sup>, y para el Bosque 5,68 g/m<sup>2</sup>; por último para el caso de índice de diversidad de Shannon se registró en el Pastizal un 1,62, en el Sistema Agroforestal 1,58, para el Monocultivo 1,51 y para el Bosque 1,48.

Vilca (2018) en su investigación sobre los ecosistemas de producción en la macrofauna edáfica en Chachapoyas, con la finalidad de determinar la diversidad de macrofauna edáfica presente en el suelo se llevó a cabo el estudio de las zonas de Bosque primario, Eucalipto, Campo abierto y Pino. En los resultados se obtuvo el índice de diversidad Jaccard donde presentó a la zona de Bosque primario y Campo abierto con un valor de 0,06, por otro lado, la zona de Eucalipto y Pino con un valor de 0,12, por último, para las cuatro zonas se obtuvo un valor de similitud de 0,28.

### **2.2.3. Nivel internacional**

En su estudio realizado en Ecuador, Trávez (2020) examinó la macrofauna del suelo como un marcador para evaluar la calidad del suelo, con la meta de analizar la diversidad de esta macrofauna. Su enfoque metodológico incluyó el estudio de diferentes áreas, como bosque nativo, bosque plantado, pastizal y monocultivo. Según los resultados obtenidos a través del índice de diversidad beta (Sorensen), se observó una similitud del 0,70 entre el bosque plantado y el bosque nativo. Por el contrario, se observó que el pastizal, monocultivo, bosque plantado y bosque nativo compartían una similitud de 0,50.

Royero (2019) estudio la macrofauna del suelo y las propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes zonas con diversos enfoques de manejo en el departamento del Atlántico, Colombia. En la evaluación de la macrofauna del suelo, se tuvieron en cuenta variables como la cantidad de individuos, la diversidad de especies, el índice de diversidad de Shannon-Wiener y el índice de equidad de Pielou. Se recogieron en total 641 macroinvertebrados del suelo, que pertenecían a tres grupos principales, siete clases y 13 órdenes, siendo Coleoptera y Formicidae los grupos más comunes. Se notó que la macrofauna del suelo reaccionó de manera variada ante las distintas características del suelo; aunque la

mayoría de los grupos taxonómicos mostraron una asociación positiva con la presencia de materia orgánica. Algunos grupos estuvieron vinculados a suelos con alta capacidad de filtración, niveles de humedad y estructura estable, y una menor resistencia a la penetración. Este estudio sugiere que adoptar sistemas silvopastoriles podría tener un efecto positivo en la calidad biológica, física y química del suelo, así como en la preservación de la diversidad biológica en áreas que previamente estaban bajo sistemas de ganadería convencionales. Sin embargo, estos beneficios podrían manifestarse a largo plazo.

Chavarría et al. (2017) llevaron a cabo una investigación sobre la evaluación de los diseños y el manejo de la diversidad biológica, así como la macrofauna del suelo en dos agroecosistemas ganaderos en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua, durante el periodo 2015-2016. Los resultados revelaron un índice de biodiversidad y manejo de 3,26 en Buena Vista y 1,16 en San Juan, calificados como complejo y poco complejo, respectivamente. Se notó una mayor cantidad de macroinvertebrados en el agroecosistema Buena Vista, donde la clase Insecta fue la más prevalente, con las familias más comunes siendo Formicidae, Lumbricidae, Rhinotermitidae y Scarabaeidae. Los fitófagos fueron el grupo funcional predominante en ambos agroecosistemas, seguidos por los detritívoros, omnívoros y depredadores. Buena Vista mostró una mayor diversidad y riqueza según el índice de Renyi en Clases, Órdenes y Familias. Se observó una marcada diferencia en las familias Pyralidae, Noctuidae, Lumbricidae, Tettigonidae y Scarabaeidae. Se resaltó la importancia de la complejidad y la gestión de la biodiversidad en los agroecosistemas ganaderos para mantener la estabilidad de la macrofauna del suelo como un indicador de la salud biológica de los suelos.

Castro (2009) evaluó el estado actual de la macrofauna del suelo en el área experimental de la cantera Soratama, ubicada en Bogotá, D.C. Se analizaron varios aspectos de la macrofauna del suelo, incluyendo su diversidad, riqueza, distribución vertical, dominancia y equidad. En términos de diversidad, los diferentes tratamientos exhibieron valores similares, aunque el tratamiento T1 mostró una ligera ventaja. Esta misma tendencia se observó en los valores de dominancia y equidad entre los tratamientos, donde el T1 demostró una mayor equidad entre especies y ninguna especie dominante en particular. Las familias más comunes fueron Lycosidae, Enchytraeidae y Lumbricidae, mientras que para los estados inmaduros se destacaron Scarabeidae y Staphylinidae. Respecto a la distribución vertical, los individuos adultos se encontraron mayormente a una profundidad de 15-30 cm, mientras que los inmaduros se localizaron a una profundidad de 0-15 cm. Se notó que las cantidades menores de biosólidos

ofrecieron los mejores resultados en cuanto a la variedad de la macrofauna de la superficie, mientras que mayores cantidades de materia orgánica resultaron beneficiosas para la diversidad de la macrofauna subterránea. Esto favoreció el aumento de la cantidad, especialmente en las familias Lumbricidae y Enchytraeidae.

El estudio realizado por Brown et al. (2001) exploró la diversidad y el papel de la macrofauna del suelo en los ecosistemas tropicales de México. Se realizaron muestreos en 127 comunidades de macrofauna del suelo en 37 ubicaciones, principalmente en el estado de Veracruz, así como en el este y sureste del país, empleando el método estándar (método TSBF). Se analizaron nueve tipos principales de ecosistemas, donde predominaban pastizales, bosques y selvas, así como cultivos anuales, cítricos y cafetales. Los primeros resultados indicaron que las lombrices de tierra eran las más abundantes en términos de biomasa en la mayoría de los ecosistemas, mientras que las hormigas predominaban en densidad. Los cultivos de maíz y cocoteros mostraron la menor biomasa total ( $<15 \text{ g m}^{-2}$ ), mientras que los bosques superaban los  $25 \text{ g m}^{-2}$ , y otros ecosistemas presentaban biomásas de más de  $35 \text{ g m}^{-2}$ . Se registró un promedio de casi 3000 individuos  $\text{m}^{-2}$  en los campos de caña de azúcar, mientras que las densidades en otros ecosistemas no excedían los 1600 individuos  $\text{m}^{-2}$ . Se resaltó el impacto adverso de la degradación de los hábitats naturales en estos organismos, subrayando la importancia de contar con taxónomos mexicanos especializados en estos grupos de invertebrados y de llevar a cabo más investigaciones a nivel de poblaciones y comunidades, dada su relevancia en la agricultura.

El estudio realizado por Delgado et al. (2011) evaluó la presencia de macrofauna del suelo en distintos sistemas de cultivo de café *Coffea arabica* L. Los resultados revelaron que la mayor cantidad de macrofauna se encontraba en los sistemas de bosque y en el sistema agroforestal de *C. arabica* asociado con *M. sapientum*, seguido por el sistema de *C. arabica* asociado con *I. edulis*, mientras que los porcentajes más bajos se observaron en el monocultivo de *C. arabica*. Se determinó que tanto el bosque como el sistema agroforestal de *C. arabica* e *I. edulis* presentaban una mayor diversidad y biomasa en comparación con el sistema de monocultivo de *C. arabica*, que registró los niveles más bajos. En cuanto a la disposición en altura, se notó una mayor cantidad, variedad y diversidad en la capa de 0 a 10 cm, donde se encontraron 15 familias y un total de 4496 individuos por metro cuadrado (i.p.m<sup>2</sup>). La diversidad oscilaba entre 0,52 para el sistema con *C. arabica* e *I. edulis* y 0,32 para *C. arabica* en monocultivo según el índice de Simpson.

Obdulio (2018) contrastó la variedad de la meso y macrofauna del suelo en un bosque natural de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. M.) con una zona sometida a una tala intensiva. Para este enfoque, se marcaron cinco transeptos lineales de 20 metros cada una, y se extrajeron tres muestras en intervalos de 10 metros a lo largo de cada línea. Se recolectaron muestras de suelo y hojarasca superficial, de las cuales se separaron los organismos de la meso y macrofauna del suelo. Posteriormente, todos los especímenes fueron analizados e identificados en el laboratorio.

Se contabilizaron un total de 9,983 organismos, que pertenecían a ocho categorías: Insecta, Diplopoda, Chilopoda, Arachnida, Malacostraca, Gastropoda, Symphyla y Clitella; con 29 órdenes, 61 familias y 113 morfoespecies presentes en los lugares examinados. Se observó que la densidad de organismos en el bosque natural fue de 2532 individuos/m<sup>2</sup>, mientras que en el área sometida a tala intensiva fue de 780 individuos/m<sup>2</sup>, lo que representa una reducción y/o pérdida del 69,19% de organismos edáficos. Además, se evaluó el índice de similitud de Jaccard, que indicó una similitud del 91,15%, confirmando que la perturbación causada por la tala intensiva afectó la densidad de la entomofauna del suelo.

En su estudio sobre la macrofauna del suelo en una región forestal de pinos, Hernández (2018) donde su estudio se justifica en estudiar los índices de diversidad alfa y beta de la macrofauna del suelo. En su enfoque metodológico, Se exploraron los siguientes terrenos: Zona de preservación, Bosque adulto, Bosque en desarrollo y Área de explotación. Como resultado, en el índice de diversidad beta (Jaccard), se observó que la similitud entre el Bosque maduro y la Zona de aprovechamiento fue de 0,41, mientras que para el Bosque maduro y el Área de conservación fue de 0,6, lo que indica una mayor semejanza en términos de composición entre estos últimos.

Cabrera (2012) en su investigación de la macrofauna edáfica para la conservación tomado desde un punto biológico en el país de Cuba, se realizaron los estudios de la macrofauna de forraje, policultivo y pastizal que se encuentra en el suelo y además de su potencialidad como un indicador desde el punto de biológico, donde se obtuvo como resultado en la biomasa que registro en el área de forraje con 57,50 g/m<sup>2</sup>, en el área de policultivo con 37,00 g/m<sup>2</sup>, en el área de pastizal con 32,00 g/m<sup>2</sup>, por otro lado para la densidad en el área de forraje se presentó un 1225 ind/m<sup>2</sup>, en el área de policultivo con 860 ind/m<sup>2</sup>, en el área de pastizal con 450 ind/m<sup>2</sup>.

Cabrera et al. (2011) realizaron una investigación para estudiar la diversidad y cantidad de la macrofauna del suelo en cuatro categorías de uso de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. La recolección de la macrofauna del suelo se llevó a cabo siguiendo el método sugerido por el TSBF. Se evaluaron la variedad taxonómica, la densidad y la cantidad de biomasa de la macrofauna del suelo, y se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas en el análisis de los datos. Los bosques secundarios exhibieron los valores más elevados en cuanto a diversidad, densidad y biomasa de la macrofauna, mientras que los pastizales, cultivos diversos y áreas con cañaverales mostraron los valores más bajos. Haplotaxida, Formicidae, Isoptera, Coleoptera y Diplopoda destacaron como los grupos taxonómicos principales en términos de densidad y biomasa en la mayoría de las categorías de uso de la tierra examinadas. Los hallazgos relativos a la diversidad taxonómica, densidad y biomasa de la macrofauna del suelo indicaron el nivel de degradación del suelo asociado con la intensidad del uso de la tierra.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en dos plantaciones de 13 años de *C. spruceanum* y *T. grandis*, y está ubicada en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo La Divisoria - Puerto Súngaro (CIPTALD), situado políticamente en el distrito Pueblo Nuevo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco.

Geográficamente, las plantaciones *C. spruceanum* y *T. grandis*, se encuentran ubicadas en las siguientes coordenadas:

**Tabla 1.** Ubicación geográfica de la zona en estudio

Plantaciones	Coordenadas (UTM)		Altitud (m.s.n.m.)
	(Centroides de las parcela)		
	Este	Norte	
<i>C. spruceanum</i>	386131	8990478	553
<i>T. grandis</i>	385276	8991656	612

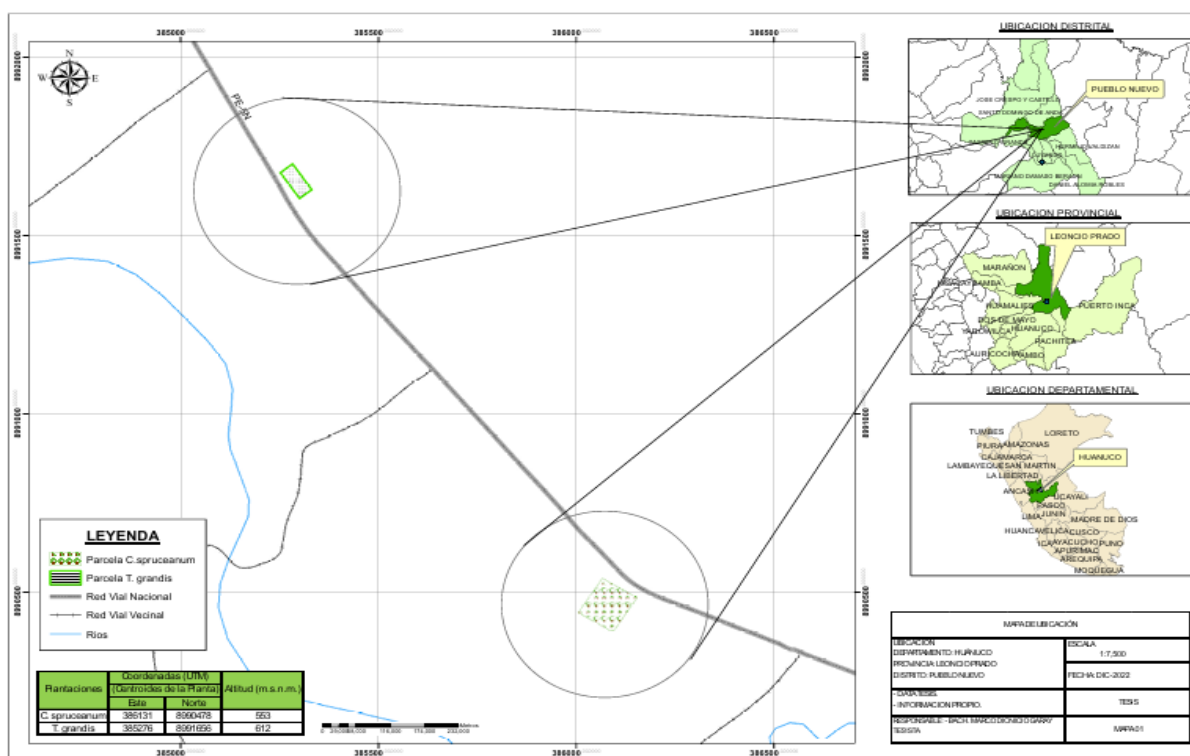


Figura 1. Mapa de ubicación

### **3.1.1. Zona de vida**

El área de investigación abarca un tipo de ecosistema conocido como bosque muy húmedo pre montado tropical (Bmh - pt) según la clasificación de Villota (1991). Esta región experimenta una precipitación pluvial anual promedio de 3300 mm y una temperatura media anual de 24 °C. Los meses con mayor cantidad de lluvia son de noviembre a marzo.

### **3.1.2. Condiciones climáticas**

Según Minaya (2013) en su investigación menciona que CIPTALD presenta las siguientes condiciones climáticas que presentó: temperatura máxima 31.2 °C, mínima 18.9 °C, y media 25.18 °C, precipitación promedio anual de 2521.40 mm, humedad relativa 85.23% y altitud 613 msnm, información obtenida de la estación meteorológica Tulumayo.

### **3.1.3. Descripción de plantaciones**

La plantación de *C. spruceanum* tuvo un distanciamiento de 5 x 5 m, mientras la de *T. grandis* es de 4 x 5 m, alrededor del área de estudio se puede observar plantaciones de aguaje, bolaina, arboles de cético, pastizal etc,

## **3.2. Material y métodos**

### **3.2.1. Materiales y herramientas**

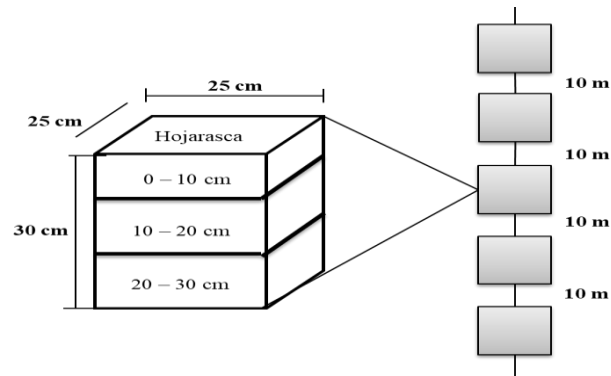
Los materiales y herramientas que se utilizaron en campo fueron: cinta métrica de 30 cm, GPS Garmin, brújula, pala de desfonde, machete, cámara digital, bolsas de polietileno, libreta de campo, rafia, cuadrante de 25 x 25 cm, jalones, y plumones indelebles.

Con respecto a los materiales y equipos que se utilizaron en laboratorio serán los siguientes: material biológico colectado, alfileres, jeringas, alcohol al 96%, formol al 10% y microscopio estereoscópico.

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Para determinar la biomasa y densidad de macrofauna edáfica asociada a plantaciones de *C. spruceanum* y *T. grandis*

Se realizó una recolección sistemática de macrofauna en las plantaciones de *C. spruceanum* y *T. grandis*. Para ello, se trazó una línea recta en cada plantación y se tomaron cinco muestras separadas a una distancia de 10 metros entre sí a lo largo de esta línea. Se procedió a colocar un marco de dimensiones 25 cm x 25 cm para definir la ubicación del monolito, seguido de la extracción de una sección de suelo. Cada monolito fue dividido en tres capas: 0 - 10 cm, que abarcaba la capa de hojarasca, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm.



Esquema de muestreo por el método Tropical Soil Biology and Fertility de Anderson & Ingram (1993).

**Figura 1.** Esquema de transecto.

Después, se retiró el suelo y se colocó en bolsas de polietileno etiquetadas con la designación establecida en el sitio, para su posterior análisis.

Luego, las muestras se llevaron al laboratorio de entomología de la Facultad de Agronomía, donde un experto procedió a identificarlas. Estas muestras fueron transportadas en bolsas de polietileno correctamente etiquetadas. Los organismos del suelo de cada muestra fueron seleccionados con pinzas y colocados en recipientes plásticos, siendo preservados en alcohol al 96% para los adultos y en formol al 10% para larvas e insectos sin endurecer, antes de realizar el conteo. Se emplearon manuales y guías descriptivas para identificar los especímenes hasta el nivel de familia, utilizando además un microscopio estereoscópico para un análisis más detallado.

#### - Biomasa y densidad de macrofauna edáfica

Se calculó la densidad considerando el número de individuos del mismo grupo taxonómico presentes por especie en cada estrato de 10 cm, 20 cm y 30 cm, utilizando

un estereoscopio para la identificación morfológica. Esta medida se expresó en individuos por metro cuadrado y se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad poblacional} = \frac{\text{Número de individuos}}{\text{Área de estudio (m}^2\text{)}}$$

Por otro lado, la biomasa se determinó dividiendo el peso de los organismos entre el área en estudio, expresada en gramos por metro cuadrado. Este cálculo se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Biomasa (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{Peso de los organismos (g)}}{\text{Área de estudio (m}^2\text{)}}$$

### 3.3.2. Calcular los índices de diversidad alfa y beta en plantaciones de *C. spruceanum* y *T. grandis*

En las plantaciones de *C. spruceanum* y *T. grandis* se determinaron los índices de diversidad alfa (Shannon - Wiener, Equidad y de Simpson) y diversidad de Beta (Jaccard, Sorensen y Morisita).

#### 3.3.2.1. Diversidad alfa

Se emplearon los índices de diversidad de Shannon, equidad y Simpson para evaluar las disparidades en la macrofauna del suelo, considerando tanto individuos adultos como inmaduros recolectados en cada plantación.

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

Se empleó la siguiente fórmula para calcular este índice, que considera la recolección aleatoria de todas las especies en cada transecto, abarcando tanto la riqueza de especies presentes en el área estudiada como la proporción relativa de individuos de cada especie.

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

Dónde:

H' = Diversidad de especies

ln = logaritmo natural.

$p_i$  = proporción de individuos encontrados en la especie  $i$ -enésima respecto al total de individuos (la abundancia relativa de la especie  $i$ ):  $n_i/N$

Siendo:

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

Dónde:

$n_i$ : número de individuos de la familia  $i$ .

$N$ : número total de individuos para todo el número total de familias en la comunidad.

Tabla 1. Valores de significancia para el Índice de Shannon Wiener

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

Fuente: Aguirre (2013)

#### - Índice de Margalef

$$DM_g = \frac{S-1}{\ln(n)}$$

Donde:

$S$ = número total de especies

$n$ = número total de individuos observados

Tabla 2. Valores de Significancia para el Índice de Margalef

Valores	Significancia
< a 2	Baja riqueza
2.1 - 5	Riqueza media
> 5	Alta riqueza

Fuente: Moreno (2001).

#### - Índice de Simpson (D)

Este índice, conocido como índice de dominancia de Simpson, recibe su nombre porque refleja la probabilidad de seleccionar individuos de una misma especie. Se calculó de la siguiente manera:

$$D = \frac{\sum(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Dónde:

D = índice de dominancia.

$n_i$  = número de individuos de la  $i$ -ésima especie.

N = número total de individuos.

**Tabla 3.** Valores de significancia para el Índice de Dominancia de Simpson

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

Fuente: Aguirre (2013)

### 3.3.2.2. Diversidad beta

Se emplearon los siguientes índices para evaluar la similitud de diversidad de macrofauna del suelo entre diferentes estratos:

#### - Similitud de Jaccard

$$J_3 = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a = número de familias presentes en la plantación de *C. sprucianum*.

b = número de familias presentes en la plantación de *T. grandis*.

c = número de familias presentes en ambos sitios (*C. sprucianum* y *T. grandis*).

## 3.1. Características de la investigación

### 3.1.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, porque se recurrió a la ciencia ecológica para estimar y describir la biomasa, densidad y diversidad biológica edáfica por estrato. Y de esta manera solucionar problemas prácticos en la calidad del suelo con el fin de potenciar la gestión de las plantaciones forestales en Leoncio Prado.

El enfoque de la investigación fue descriptivo, utilizando el método comparativo, ya que se analizó la población de macrofauna del suelo en dos plantaciones a través de observaciones científicas, tanto directas (examinando y clasificando los organismos) como indirectas (recopilando información de fuentes bibliográficas).

El diseño de esta investigación se clasificó como no experimental, ya que no implicó la manipulación de variables. Para el análisis de los datos, se utilizaron pruebas no paramétricas, como los tests de Kolmogorov-Smirnov, con el fin de confirmar que los datos recopilados no cumplieran con los supuestos de normalidad.

### **3.1.2. Variables en estudio**

- **Variable dependiente.**- la biomasa, densidad y diversidad de macrofauna
- **Variable independiente** .- plantaciones de *C. spruceanum* y *T. grandis*

### **3.1.3. Población y muestra**

La población estuvo conformada por la parcela de plantaciones de *C. spruceanum* y *T. grandis*. Con respecto al tamaño de la muestra se consideró a las subparcelas o transectos de conformados por 10 monolitos de 25 cm x 25 cm x 30 cm, dentro de cada plantación.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Biomasa y densidad de macrofauna edáfica

#### 4.1.1. Biomasa (g/m<sup>2</sup>)

En la **Tabla 4** se puede observar en los estadísticos descriptivos de la biomasa de macrofauna edáfica donde la especie *C. spruceanum* presentó en la profundidad de 0-10 cm una media de 68,15 gr/ m<sup>2</sup>, de 10-20 cm con una media de 88,68 gr/ m<sup>2</sup>, de 20-30 cm con una media de 7,87 gr/ m<sup>2</sup>, por otro lado, para la especie de *T. grandis* presentó en la profundidad de 0-10 cm una media de 70,66 gr/ m<sup>2</sup>, de 10-20 cm con una media de 14,83 gr/ m<sup>2</sup>, de 20-30 cm con una media de 0,08 gr/ m<sup>2</sup>.

**Tabla 4.** Estadísticos descriptivos de la biomasa de macrofauna edáfica en *C. spruceanum* y *T. grandis*

Especie	Profundidad	N	Media	Min	Max	D.E	CV (%)
Capirona	0-10 cm	5	68.15	29.51	98.7	28.56	41.91
	10-20 cm	5	88.86	1.94	319.24	134.82	151.72
	20-30 cm	5	7.87	0.18	37.19	16.39	208.17
Teca	0-10 cm	5	70.66	21.41	124.5	41.80	59.16
	10-20 cm	5	14.83	1.07	36.41	14.84	100.06
	20-30 cm	5	0.08	0.00	0.41	0.19	223.61

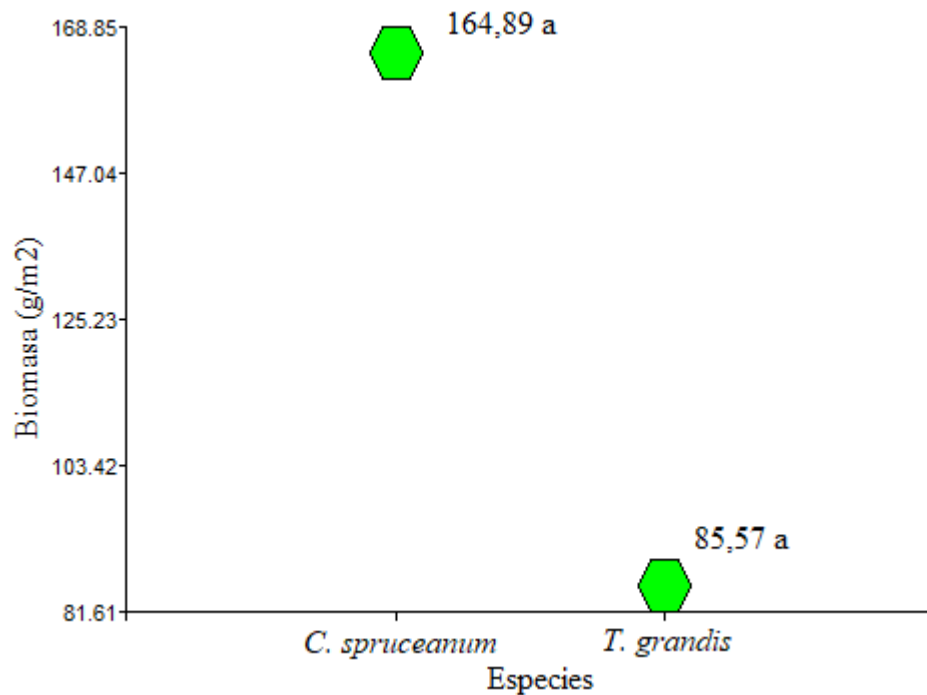
N: Numero de muestras, Min: valor mínimo; Mx: valor máximo; D.E: Desviación estándar; C.V(%): Coeficiente de variación

Como se puede observar en la **Tabla 5** mediante el análisis estadístico U- Mann Whitney presenta que para las especies no se registraron diferencias estadísticas significativas con un p-valor (0,4206), siendo este valor superior al 5%.

**Tabla 5.** Prueba de U-Mann Whitney

Especie	N	Media	D.E	W	Sig. (bilateral) p-valor
<i>C. spruceanum</i>	5	164.89	145.76	32	0.4206 <sup>NS</sup>
<i>T. grandis</i>	5	85.57	42.36		

\*\* : altamente significativo; \* : significativo; NS: no significativo; CM: cuadrado medio.



**Figura 2.** Biomasa de macrofauna edáfica en *C. spruceanum* y *T. grandis*

En la **Figura 2** se muestra la comparación de medias de la biomasa de macrofauna edáfica ( $\text{gr/m}^2$ ) en las siguientes especies, para la especie *C. spruceanum* con una media de  $164,89 \text{ gr/m}^2$ , por otro lado, para la especie *T. grandis* presento una media de  $85,57 \text{ gr/m}^2$ , Valores inferiores obtuvieron Panduro (2013) donde estudió la biomasa en sistemas uso en el BRUNAS, donde registro en un tornillal con un valor de  $27,36 \text{ g/m}^2$ , bosque con  $50,29$  y bambuzal con  $14,69 \text{ g/cm}^3$ ; sin embargo, el mismo autor registro valores superiores en pastizal con  $332,13 \text{ g/cm}^2$  y cacao con  $156,26 \text{ g/cm}^2$ . Por su parte Sánchez (2018) en su investigación sobre la macrofauna del suelo en diversos sistemas en Madre de Dios; como resultado se obtuvo siguiente: para el caso de la biomasa se registró en el sistema Pastizal  $20,26 \text{ g/m}^2$ , para el sistema agroforestal  $11,06 \text{ g/m}^2$ , para el monocultivo  $7,99 \text{ g/m}^2$ , y para el bosque  $5,68 \text{ g/m}^2$ ; del mismo modo, Cabrera (2012) en su investigación de la macrofauna edáfica para la conservación, donde se obtuvo como resultado en la biomasa que registro en el área de forraje con  $57,50 \text{ g/m}^2$ , en el área de policultivo con  $37,00 \text{ g/m}^2$ , en el área de pastizal con  $32,00 \text{ g/m}^2$ ; de igual forma, Ccoycca (2018) en su investigación sobre la macrofauna presente en la superficie del suelo obtuvo como resultado en la biomasa en los sistemas agroforestales de  $17,09 \text{ g/m}^2$ ; también, Sagawa (2014) en su investigación sobre la determinación de la macrofauna en diversos sistemas del Parque Nacional de Tingo María, como resultado se obtuvo en cuanto a la biomasa

se obtuvo en la zona de sistema agroforestal café 18,55 g/m<sup>2</sup>, sistema agroforestal cultivos 15,45 g/m<sup>2</sup>; Por último, Brown et al. (2001) llevó a cabo un estudio sobre la diversidad y el papel funcional de la macrofauna del suelo en los ecosistemas tropicales mexicanos. Los resultados iniciales mostraron que las lombrices de tierra predominaban en términos de biomasa en la mayoría de los ecosistemas, mientras que las hormigas eran más abundantes en términos de densidad. Se observó que las milpas y los cocotales tenían la menor biomasa total de todos los ecosistemas (<15 g/m<sup>2</sup>), mientras que los bosques tenían más de 25 g/m<sup>2</sup>, y los demás ecosistemas se caracterizaban por tener biomásas superiores a los 35 g/m<sup>2</sup>.

Los resultados de biomasa de macrofauna edáfica obtenidos en este estudio revelan cifras significativamente mayores en comparación con estudios anteriores. Por ejemplo, Brown et al. (2001) reportaron una biomasa total que variaba desde menos de 15 g/m<sup>2</sup> en milpas y cocotales hasta más de 35 g/m<sup>2</sup> en otros ecosistemas tropicales mexicanos, cifras considerablemente inferiores a las obtenidas en nuestra investigación. De manera similar, Panduro (2013) registró valores que oscilaban entre 14,69 g/m<sup>2</sup> y 332,13 g/m<sup>2</sup> en diferentes sistemas, donde los valores mínimos aún están por debajo de los resultados de nuestro estudio. Además, Cabrera (2012) encontró valores más bajos en áreas de forraje (57,50 g/m<sup>2</sup>), policultivo (37,00 g/m<sup>2</sup>) y pastizal (32,00 g/m<sup>2</sup>), lo que sugiere que la biomasa de macrofauna en nuestro estudio es significativamente superior en comparación con estas condiciones. En contraste, los valores superiores obtenidos por Panduro (2013) en pastizal con 332,13 g/m<sup>2</sup> y cacao con 156,26 g/m<sup>2</sup> son comparativamente mayores a los registrados en nuestro estudio para *C. spruceanum* y *T. grandis*. Similarmente, los resultados de Sánchez (2018) en sistemas como Pastizal (20,26 g/m<sup>2</sup>), agroforestal (11,06 g/m<sup>2</sup>), monocultivo (7,99 g/m<sup>2</sup>) y bosque (5,68 g/m<sup>2</sup>) en Madre de Dios son significativamente menores en comparación con nuestros hallazgos. Estas discrepancias entre los resultados pueden atribuirse a factores como la variabilidad en la composición del suelo, el tipo de vegetación, el manejo del terreno y las condiciones climáticas locales, que influyen en la disponibilidad de recursos y en la comunidad de macrofauna presente.

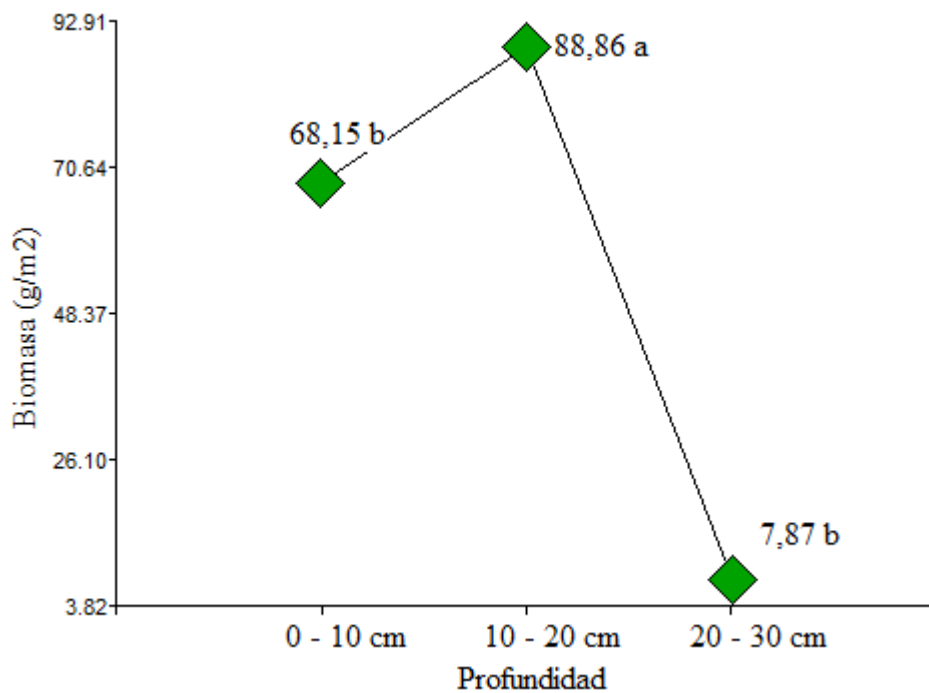
En base a los resultados obtenidos por los anteriores autores manifiestan una variabilidad en sus datos, esto se debe posiblemente a los diversos factores climáticos, edáficos, y de especies que influyen en la producción de biomasa, además cabe recalcar que macrofauna cumple un rol primordial en cuanto a los servicios del ecosistema y la función ecológica, que influyen en el proceso de descomponer materia orgánica.

Para la **Tabla 6** en el análisis estadístico de la prueba Kruskal Wallis para la variable profundidad en la especie *C. spruceanum* muestra que, existen diferencias estadísticas significativas ( $p$ -valor= 0,0324) lo que significa que los niveles hormonales son diferentes entre sí.

**Tabla 6.** Prueba de Kruskal Wallis para la biomasa edáfica de ( $\text{g/m}^2$ ) *C. spruceanum* en profundidades

Profundidad	N	Medias	D.E	Medianas	gl	H	P
0 - 10 cm	5	68.15	28.56	63.85	2	6.86	0.0324*
10 - 20 cm	5	88.86	134.82	15.05			
20 - 30 cm	5	7.87	16.39	0.7			

\*\* : altamente significativo; \* significativo; NS: no significativo; CM: cuadrado medio.



**Figura 3.** Comparación de medias de la biomasa edáfica ( $\text{g/m}^2$ ) para *C. spruceanum*.

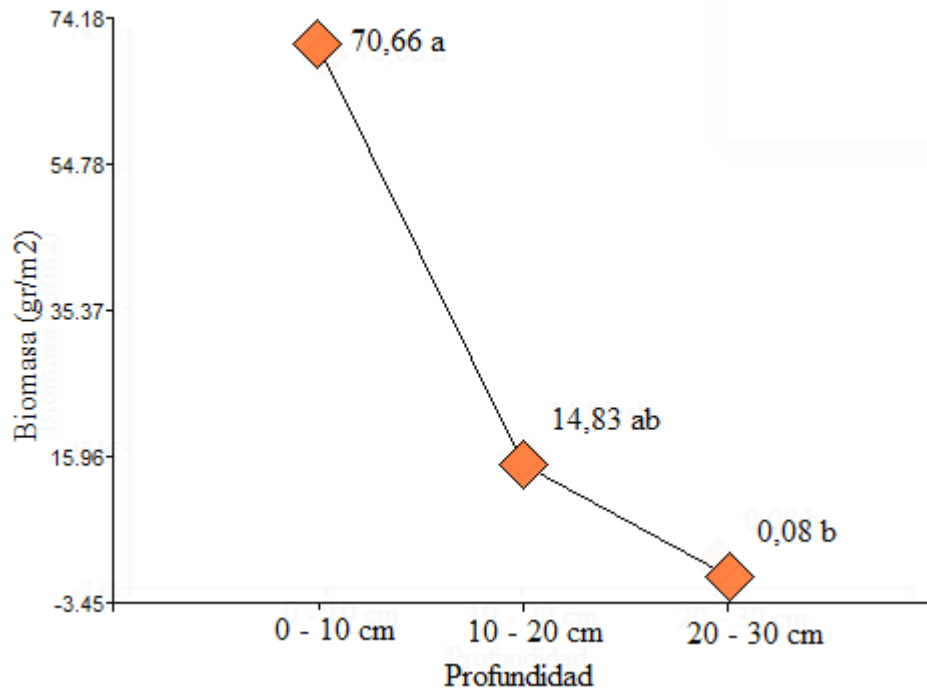
Como se puede observar en la **Figura 3** en la comparación de medias de la biomasa edáfica ( $\text{g/m}^2$ ) con respecto a las profundidades en la especie *C. spruceanum*, para el caso de la profundidad de 0-10 cm se presentó un  $68,15 \text{ g/m}^2$ , del mismo modo para la profundidad de 10-20 cm se registró un  $88,86 \text{ g/m}^2$ , y por último, para la profundidad de 20-30 cm se presentó un  $7,87 \text{ g/m}^2$ , concluyendo que en la profundidad de 10-20 cm fue superior con respecto a los demás.

Para la **Tabla 7** mediante la prueba de Kruscall Wallis en las diferentes profundidades en la especie *T. grandis*, donde se registraron diferencias estadísticas altamente significativas con p-valor de 0,0028, lo que significa que al menos un nivel de profundidad es diferente entre sí.

**Tabla 7.** Prueba de Kruscall Wallis en *T. grandis* en profundidades

Profundidad	N	Medias	D.E	Medianas	gl	H	P
0 - 10 cm	5	70.66	41.8	55.98	2	11.58	0.0028**
10 - 20 cm	5	14.83	14.84	8.4			
20 - 30 cm	5	0.08	0.19	0			

\*\* : altamente significativo; \* significativo; NS: no significativo; CM: cuadrado medio.



**Figura 4.** Comparación de medias de la biomasa edáfica (g/m<sup>2</sup>) para *T. grandis*

En la siguiente **Figura 4** mediante la comparación de medias de la biomasa edáfica (g/m<sup>2</sup>) en los diferentes niveles de profundidad para la especie *T. grandis*, donde para la profundidad de 0-10 cm se registró un 70,66 (g/m<sup>2</sup>), además en la profundidad de 10-20 cm se presentó un 14,83 (g/m<sup>2</sup>), y finalmente para la profundidad de 20-30 cm se registró un 0,08 (g/m<sup>2</sup>), concluyendo que la profundidad de 0-10 cm fue superior en cuanto a las demás profundidades.

Teniendo en cuenta a las profundidades Panduro (2013) registro valores inferiores a lo encontrado en la investigación donde se reportó mayor biomasa en los primeros 10 cm con 15,35 g/cm<sup>2</sup> en tornillal y bosque con 30,37 g/cm<sup>2</sup>. Según Huarauya (2014) en su investigación sobre macrofauna en suelos cafetales manifiesta que en los 10 primeros centímetros se registra mayor biomasa debido que a la vez se registran mayores grupos taxonómicos y debido una mayor densidad poblacional.

En referencia a los valores registrados por Panduro (2013) y Huarauya (2014), es importante considerar que las diferencias pueden deberse a variaciones en los tipos de suelo, el manejo de la plantación y las condiciones climáticas específicas de cada ubicación. Además, las diferencias en los métodos de muestreo y análisis también pueden contribuir a las disparidades en los resultados observados entre diferentes estudios. A comparación de la investigación, la diferencia en la biomasa de macrofauna en diferentes profundidades del suelo, como se observa en la comparación de medias de biomasa edáfica para *C. spruceanum* y *T. grandis*, puede atribuirse a la distribución desigual de nutrientes y materia orgánica, así como a las variaciones en condiciones ambientales como temperatura y humedad a lo largo del perfil del suelo. Además, los hábitos alimenticios y el ciclo de vida de la macrofauna pueden influir en su preferencia por ciertas profundidades, mientras que las interacciones biológicas y la competencia por recursos también pueden desempeñar un papel significativo.

#### 4.1.2. Densidad (Ind/m<sup>2</sup>)

Como se muestra en la **Tabla 8** en los estadísticos descriptivos de la densidad (Ind/m<sup>2</sup>) en el cual se puede observar que para la especie *C. spruceanum* se presentó una media de 700,8 Ind/m<sup>2</sup>, por otro lado, para la especie *T. grandis* se registró una media de 295,4 Ind/m<sup>2</sup>

**Tabla 8.** Estadísticos descriptivos de la densidad (Ind/m<sup>2</sup>)

Especie	N	Media	D.E	CV	Min	Max
<i>C. spruceanum</i>	5	700.8	564.03	80.48	352	1680
<i>T. grandis</i>	5	294.4	53.78	18.27	240	384

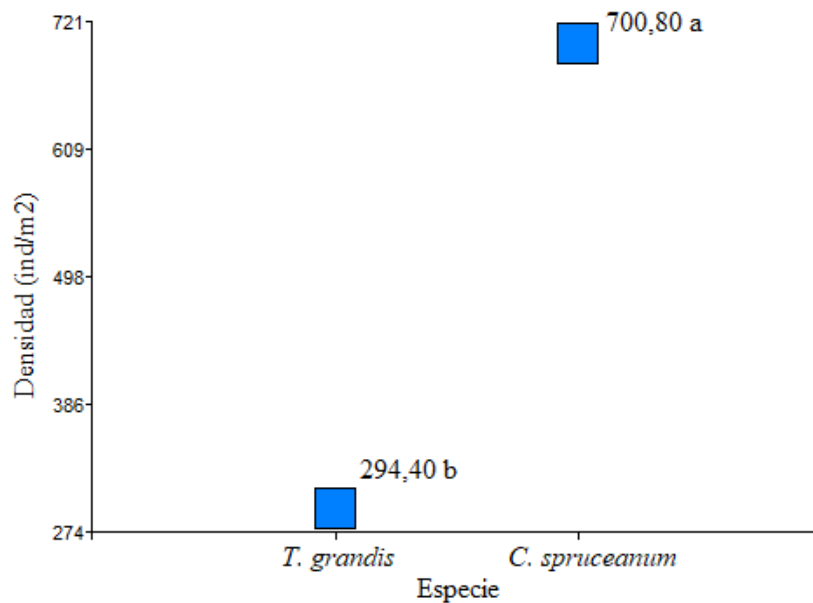
En la **Tabla 9** en la prueba estadística de U-Mann Whitney con respecto a la variable especie se registran diferencias estadísticas significativas donde se presenta un p-valor

de (0,0238), siendo p-valor inferior al 5% y por lo que se concluye que las especies son diferentes entre sí.

**Tabla 9.** Prueba de U Man Witney

Especie	N	Media	D.E	W	Sig. (bilateral) p-valor
<i>C. spruceanum</i>	5	700.8	564.03	38	0.0238*
<i>T. grandis</i>	5	294.4	53.78		

\*\* : altamente significativo; \* significativo; NS: no significativo; CM: cuadrado medio.



**Figura 5.** Densidad (ind/m<sup>2</sup>) en las especies *T. grandis* y *C. spruceanun*

En la **Figura 5** se muestra la densidad (ind/m<sup>2</sup>) en la comparación de medias para la especie *C. spruceanum* con 700,80 ind/m<sup>2</sup> quien resultado ser superior con respecto a la especie *T. grandis* quien registró un 294,40 ind/m<sup>2</sup> quien fue inferior.

En esta línea, Obdulio (2018) llevó a cabo una comparación de la diversidad de la meso y macrofauna del suelo. Se observó que, en el bosque natural, la densidad de organismos alcanzó los 2532 ind/m<sup>2</sup>, mientras que en el área sometida a tala rasa fue de 780 ind/m<sup>2</sup>, cifras que superaron lo registrado en nuestra investigación. Cabrera (2012) en su investigación de la macrofauna edáfica para la conservación tomado desde un punto biológico, donde se obtuvo como para la densidad en el área de forraje se presentó un 1225 ind/m<sup>2</sup>, en el

área de policultivo con 860 ind/m<sup>2</sup>, en el área de pastizal con 450 ind/m<sup>2</sup>, de igual forma, Ccoycca (2018) en su investigación sobre la macrofauna presente en la superficie del suelo en plantaciones agrícolas y forestales en Madre de Dios, para el caso de la densidad total fue de 163,09 ind/m<sup>2</sup> inferior a lo reportado en la plantaciones *C. spruceanum*, esto debido a que variabilidad en la composición del suelo, el tipo de vegetación, el manejo del terreno y las condiciones climáticas locales, factores que influyen en la disponibilidad de recursos y en la comunidad de macrofauna presente.

Igualmente, Sánchez (2018) en su investigación sobre la macrofauna del suelo en diversos sistemas, como resultado se obtuvo siguiente: en cuanto a la densidad de macrofauna se registraron un total de 1751 ind/m<sup>2</sup>, con 16 órdenes, de los cuales para el sistema Bosque resultaron 163 ind/m<sup>2</sup>, para Monocultivo 263 ind/m<sup>2</sup>, para Pastizal 289 ind/m<sup>2</sup> y para Sistemas Agroforestales 1036 ind/m<sup>2</sup>; finalmente, el autor Brown *et al.* (2001) Llevó a cabo una investigación sobre la diversidad y la función de la macrofauna del suelo, encontrando que en los campos de caña de azúcar, la densidad promedio era de casi 3000 individuos por metro cuadrado, mientras que en otros tipos de ecosistemas, las densidades no superaban los 1600 individuos por metro cuadrado, asimismo, Panduro (2013) en su investigación sobre la macrofauna en diversos sistemas en el suelo del BRUNAS, como resultado se obtuvo en cuanto a la variable densidad en la zona Tornillal 1152 ind/m<sup>2</sup>, en el Bambuzal 496 ind/m<sup>2</sup>, en el Pastizal 2704 ind/m<sup>2</sup>, en el Bosque 704 ind/m<sup>2</sup>, en la zona de cacao 1200 ind/m<sup>2</sup>; finalmente, Sagawa (2014) en su investigación sobre la determinación de la macrofauna en diversos sistemas del Parque Nacional de Tingo María, como resultado se obtuvo en cuanto a la densidad de macrofauna en la zona de Bosque primario 880 ind/m<sup>2</sup>, en el Bosque secundario 896 ind/m<sup>2</sup>;

Con lo mencionado a lo anterior, se presentan diferencias en los resultados posiblemente en la densidad de la macrofauna edáfica por factores climáticos, topográficos, y características de la vegetación, además de verse afectado por la actividad antropogénica con la contaminación del suelo como un factor negativo, generando una disminución en su densidad de individuos. En tal sentido, se sabe que la macrofauna genera el mantenimiento de la composición del suelo para la producción de cultivo.

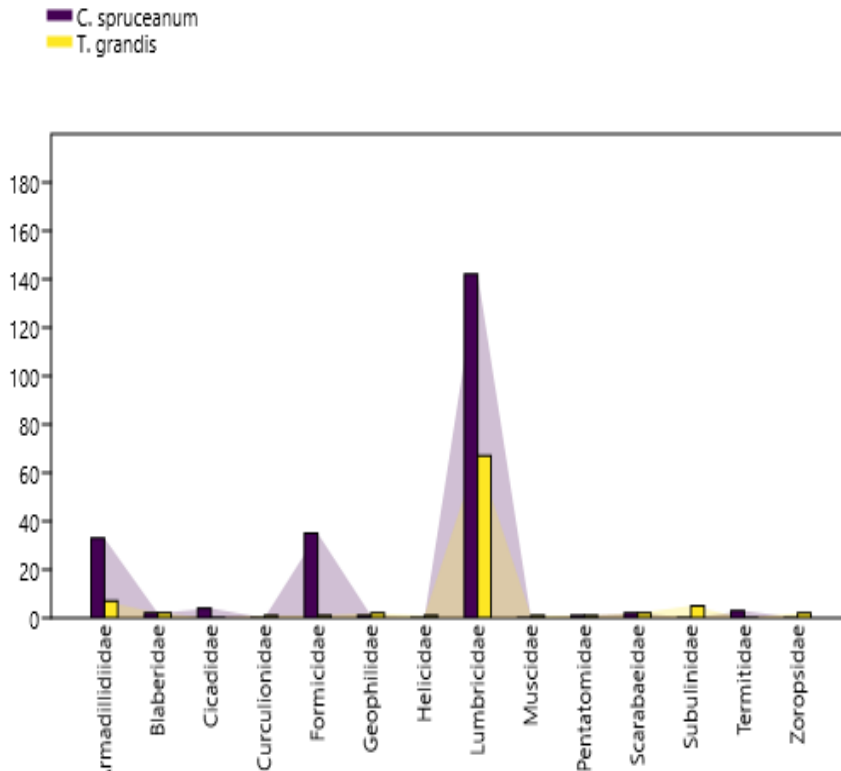
## **4.2. Índices de diversidad alfa y beta**

### **4.2.1. Abundancia de macrofauna**

En la **Tabla 10** se presenta la abundancia de macrofauna en las especies *C. spruceanum* y *T. grandis*, donde de acuerdo con la familia de cada especie de macrofauna se identificaron un total general de 315 individuos presentes en las plantaciones de *C. spruceanum* y *T. grandis*, por otro lado, para el caso de la plantación de *C. spruceanum* se registró a la familia Lumbricidae siendo superior con 142 individuos, seguida por la familia Formicidae con 35 individuos, finalmente con un total entre las familias de 223 individuos; por otra parte, para la plantación de *T. grandis* se registró a la familia Lumbricidae que resultó ser superior, para finalizar se presentó un total de 92 individuos.

**Tabla 10.** Abundancia de las familias de macrofauna edáfica en *C. spruceanum* y *T. grandis*

Familia	<i>C. spruceanum</i>	<i>T. grandis</i>	Total general
Armadillidiidae	33	7	40
Blaberidae	2	2	4
Cicadidae	4	0	4
Curculionidae	0	1	1
Formicidae	35	1	36
Geophilidae	1	2	3
Helicidae	0	1	1
Lumbricidae	142	67	209
Muscidae	0	1	1
Pentatomidae	1	1	2
Scarabaeidae	2	2	4
Subulinidae	0	5	5
Termitidae	3	0	3
Zoropsidae	0	2	2
Total general	223	92	315



**Figura 6.** Macrofauna edáfica en *C. spruceanum* y *T. grandis*

Como se puede observar en la **Figura 6** de la macrofauna edáfica en la especie *C. spruceanum* y *T. grandis*, donde se registra que la familia Lumbricidae como la familia con mayor existencia de individuos con respecto a las plantaciones de *C. spruceanum* y *T. grandis*, con 142 y 67 individuos, respectivamente.

En relación con lo expuesto anteriormente, diversos estudios han abordado la evaluación de diseños y manejo de la biodiversidad en agroecosistemas, así como la caracterización de la macrofauna edáfica en diferentes contextos. Por ejemplo, Chavarría et al. (2017) examinaron la presencia de macroinvertebrados en el agroecosistema Buena Vista, encontrando una notable representación de la clase Insecta, con la presencia destacada de familias como Formicidae, Lumbricidae, Rhinotermitidae y Scarabaeidae. En un contexto similar, Cabrera et al. (2011) estudiaron la riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en diversas áreas de Artemisa y Mayabeque, identificando a Haplotaxida, Formicidae, Isoptera, Coleoptera y Diplopoda como las unidades taxonómicas dominantes tanto en densidad como en biomasa. Por otro lado, Castro (2009) llevó a cabo una evaluación del estado actual de la macrofauna edáfica, destacando la presencia significativa de familias como Lycosidae, Enchytraeidae y Lumbricidae, así como de los estados inmaduros de Scarabaeidae y

Staphylinidae. Asimismo, Huarauya (2014) exploró la macrofauna presente en suelos de cafetales, identificando al Japigider (Campodeida), las hormigas (Formicidae) y la lombriz de tierra (Lumbricidae) como las especies más representativas en estos entornos agrícolas.

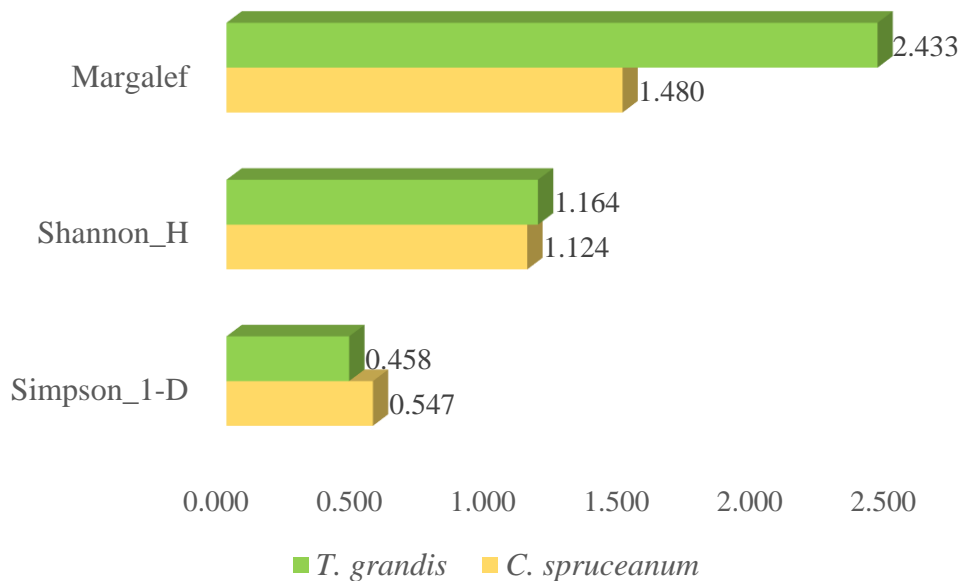
En lo revisado anteriormente, entre la información de los autores se registran una variedad de familias que se encuentran presentes en el suelo, como parte de macrofauna edáfica existente, una de las más frecuentes es de la familia Lumbricidae y Formicidae. Además, cabe recalcar que la macrofauna cumple un rol fundamental en la descomposición de la materia orgánica, facilitando que exista una perpetuación de las cadenas tróficas y un ciclo de materia y energía favorable.

#### 4.2.2. Diversidad alfa

En la **Tabla 11** y **Figura 7** de acuerdo con el índice de diversidad alfa en dos plantaciones forestales, se presentó para la plantación de *C. spruceanum* un índice de Simpson\_1-D de 0,547, un índice de Shannon\_H de 1,124 y por último, un índice de Margalef de 1,480; por otro lado, para el caso de la plantación de *T. grandis* se registró un índice de Simpson\_1-D de 0,458, un índice de Shannon\_H de 1,164 y por último un índice de Margalef de 2,433.

**Tabla 11.** Índices de diversidad alfa en dos plantaciones forestales

Especie	Índice de diversidad alfa		
	Simpson_1-D	Shannon_H	Margalef
<i>C. spruceanum</i>	0.547	1.124	1.480
<i>T. grandis</i>	0.458	1.164	2.433



**Figura 7.** índices de diversidad alfa en *C. spruceanum* y *T. grandis*

En la siguiente **Figura 7** se observa que para el índice de Margalef en la plantación *C. spruceanum* presentó un 1,480 y para la plantación *T. grandis* presentó un 2,433; asimismo, para el índice de Shannon\_H en la plantación *C. spruceanum* presentó un 1,124 y para la plantación *T. grandis* presentó un 1,124; por último, para el índice de Simpson\_1-D en la plantación *C. spruceanum* presentó un 0,547 y para la plantación *T. grandis* presentó un 0,458.

Con referencia a lo anterior, Sánchez (2018) en su investigación sobre la macrofauna del suelo en diversos sistemas en Madre de Dios, como resultado se obtuvo siguiente: para el caso de índice de diversidad de Shannon se registró en el pastizal un 1,62, en el sistema agroforestal 1,58, para el monocultivo 1,51 y para el bosque 1,48, del mismo modo, Panduro (2013) en su investigación sobre la macrofauna en diversos sistemas en el suelo del BRUNAS, como resultado se obtuvo en cuanto a la variable de índice de diversidad en cuanto a Shannon- Wiener ( $H'$ ) en el tornillal de 1,47, en el bambuzal 1,50, en el Pastizal 0,48, en el cacaotal 1,76, para el índice de equidad (E) se registró en la zona del tornillal 0,64, en el bambuzal 0,72, en el Pastizal 0,30, en el bosque 0,67, en el cacaotal 0,77, de igual forma, Ccoycca (2018) en su investigación sobre la macrofauna presente en la superficie del suelo en plantaciones agrícolas y forestales en Madre de Dios, se reportaron para el índice de diversidad de Shannon fue de 2,60, para el índice de Evenness fue de 0,68 y para la dominancia de Simpson

fue de 0,09, del mismo modo, Sánchez (2018) en su investigación sobre la macrofauna del suelo en diversos sistemas en Madre de Dios, en los resultados para el caso de índice de diversidad de Shannon se registró en el Pastizal un 1,62, en el sistema agroforestal 1,58, para el monocultivo 1,51 y para el Bosque 1,48.

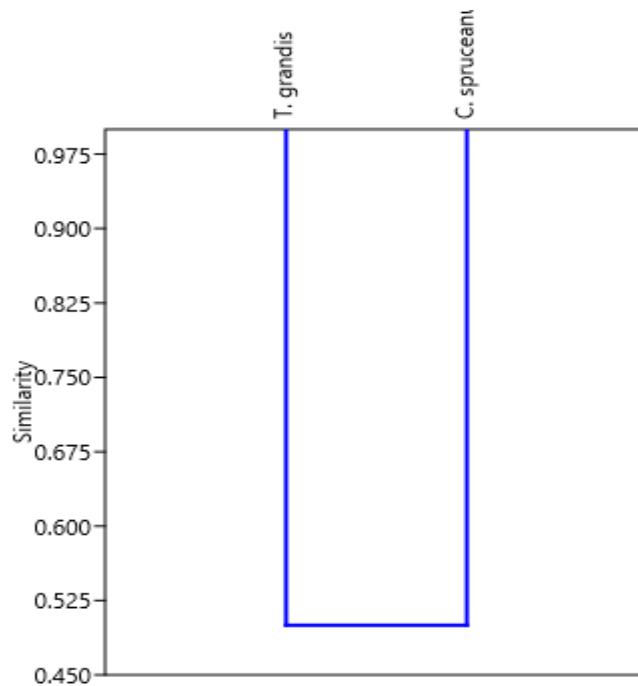
En cuanto a lo relacionado anteriormente, la diversidad puede verse influenciado debido a la densidad y biomasa que existe en la macrofauna de los diferentes sistemas en estudio, a esto añadirle el uso de algún fertilizante químico o inorgánico que se empleó, ocasionando un perjuicio en la diversidad y densidad en el suelo, disminuyendo el hábitat de macrofauna. Además, se recalca que el elemento suelo es de vital importancia debido a que se encarga de la captura de carbono, y fijación de nutrientes que sirven de beneficios para las futuras producciones.

#### 4.2.3. Diversidad beta

Para la **Figura 8** se muestra al índice de similitud Jaccard para la plantación de *C. spruceanum* y *T. grandis* donde se registra un 0.50 de similitud en cuanto a las dos plantaciones.

En relación con los datos anteriores, los siguientes autores en sus investigaciones presentaron Álvarez *et al.* (2016) en su estudio sobre la macrofauna como indicador biológico de los suelos en diferentes sistemas ecológicos de UNAS, en la metodología se evaluaron dos zonas de estudio: Bosque y pastizal; como resultados se obtuvo en cuanto al índice de diversidad Jaccard se presentó un valor de 0,658 y por otro lado con el índice de Witthaker se obtuvo un 0,246, de la misma forma, Hernández (2018) examinó la macrofauna edáfica en un área de bosque de pino, observando un índice de diversidad beta (Jaccard) que reveló una similitud de 0,41 entre el área de bosque maduro y la zona de aprovechamiento, mientras que para el bosque maduro y la zona de aprovechamiento la similitud fue de 0,6. Por otro lado, Trávez (2020) llevó a cabo una investigación sobre la macrofauna edáfica como indicador de la calidad del suelo en Ecuador. Según el índice de diversidad beta (Sorensen), se encontró una similitud de 0,70 entre el bosque plantado y el bosque nativo, mientras que la zona que incluye pastizal, monocultivo, bosque plantado y bosque nativo presentó un valor de similitud de 0,50, por último, el autor Vilca (2018) en su investigación sobre los ecosistemas de producción en la macrofauna edáfica en Chachapoyas. En los resultados se obtuvo el índice de diversidad Jaccard donde presentó a la zona de Bosque primario y Campo abierto con un valor de 0,06, por otro

lado, la zona de Eucalipto y Pino con un valor de 0,12, por último, para las cuatro zonas se obtuvo un valor de similitud de 0,28.



**Figura 8.** Índice de similitud de Jaccard para la plantación de *C. spruceanum* y *T. grandis*

En tal sentido la similitud o disimilitud en los estudios anteriores pueden darse posiblemente al tipo de especies en la zona de estudio, con sus características respectivas, además de las condiciones climatológicas y edafológicas que influyen directamente en la diversidad de la macrofauna edáfica, por otro lado, se recalca que la diversidad beta determina las variaciones entre las relaciones filogenéticas en el tiempo o espacio determinado.

## V. CONCLUSIONES

- Se evaluó la biomasa de la especie *C. spruceanum* resultando a la profundidad de 0-10 cm un valor de 68,15 g/m<sup>2</sup>, de 10-20 cm presentó 88,86 g/m<sup>2</sup>, de 20-30 cm obtuvo un 7,87 g/m<sup>2</sup>, por otro lado, para la especie *T. grandis* se presentó resultando a la profundidad de 0-10 cm un valor de 70,66 g/m<sup>2</sup>, de 10-20 cm presentó 14,83 g/m<sup>2</sup>, de 20-30 cm obtuvo un 0,08 g/m<sup>2</sup>; para la variable de la densidad se obtuvo para la especie *C. spruceanum* 700,80 ind/ m<sup>2</sup> y para la especie *T. grandis* 294,40 ind/ m<sup>2</sup>.
- Los índices de diversidad alfa para la plantación de *C. spruceanum* fueron: un índice de Simpson de 0,547 lo que indica una dominancia media, un índice de Shannon\_H de 1,124 representando una diversidad baja, por último, un índice de Margalef de 1,480 considerado una baja riqueza; por otro lado, para el caso de la plantación de *T. grandis* se registró un índice de Simpson de 0,458 (dominancia media) , un índice de Shannon\_H de 1,164 (diversidad baja) y por último, un índice de Margalef de 2,433 (riqueza media) ; por otro lado, para la diversidad beta con el índice de similitud de Jaccard presentó un 0,50.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

- Realizar un estudio a detalle con características físicas, químicas y biológicas del suelo, con el fin de relacionar dichos datos con la biomasa, densidad y diversidad de la macrofauna edáfica.
- Identificar la macrofauna en el nivel de especies, esto ayudará a obtener una mejor aproximación en la diversidad de las especies.
- Evaluar el comportamiento de la macrofauna con referencia a los niveles de altitud, fisiografía y las características de bosque, con el fin de una posterior investigación de índole más específica.
- Realizar un estudio en cuanto al contenido de humedad, y a variables de iluminación y temperatura, con el fin de evaluar mas a detalle la biomasa en la macrofauna edáfica del área de estudio.

## VII. REFERENCIAS

- Álvarez, A., Barrueta, M., Cristancho, K., Figueroa, Y., Fernández, A., Osorio, E., Rengifo, L., Santillán, B., Toledo, G., Torres, L., Zelaya, A., Beteta, V. (2016). Macrofauna bioindicadora y uso en los suelos de los ecosistemas Bosque y Pastizal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Aguirre, Z. (2013). Guía de métodos para medir la biodiversidad. [Archivo PDF] [https://www.academia.edu/20419375/metodos\\_para\\_medir\\_la\\_biodiversidad](https://www.academia.edu/20419375/metodos_para_medir_la_biodiversidad)
- Anderson, J., & Ingram, J. (1993). Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods (Segunda ed.). C.A.B International.
- Bebarta, K. (1999). *Teak: Ecology, Silviculture, Management and profitability*. International Book Distributors.
- Betancourt, A. (1987). *Silvicultura especial de árboles maderables tropicales*. Editorial Científico Técnica Madrid.
- Biosil. (2015, Agosto 18). Macrofauna. Obtenido 07 16, 2015, de [www.soilrdpress.com/2015/02/18/macrofauna/](http://www.soilrdpress.com/2015/02/18/macrofauna/)
- Blondel, J. (1995). Biogeographie: Approche ecologique et evolutive. Masson, Paris, Francia.
- Brown, G. (2000). Macrofauna edáfica. México.  
BOLFOR (Proyecto de Manejo Forestal Sostenible). (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. El País.
- Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., Bueno, J., Moreno, A., Lavelle, P., Ordaz, V., & Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los Ecosistemas tropicales mexicanos. *Instituto de Ecología*, 4(32), 167-183.
- Brussaard, L. (2012). Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Ecology*, 9, 123-135.
- Cabrera, G. (2014). Manual práctico sobre macrofauna edáfica. Cuba.

- Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35(4), 346-363.
- Cabrera, C., 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.
- Castro, S. (2009). Evaluación del estado actual de la macrofauna edáfica en el área experimental de la cantera Soratama, Bogotá, D.C. [Tesis de Ingeniero, Universidad Javeriana]. Tesis no publicada.
- Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/ perturbación del suelo, resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y forrajes*, 35(4), 346- 363.
- Ccoycca, S. (2018). Estudio de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales en los Distritos de Laberinto e Inambari del Departamento de Madre de Dios. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. Repositorio institucional UNAMAD.
- <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/353/004-2-3-079.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Coleman, D., & Wall, D. (2015). Soil Fauna: Occurrence, Biodiversity, and Roles in Ecosystem Function. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*, 4, 111-149.
- Colonese, M. del C. (2017). Rol de nematodos en la evaluación de la calidad del suelo de lomadas arenosas del sector tabacalero (goya, corrientes).
- Correia, M. (2002). Relações entre a diversidade da fauna do solo e os processos de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas. Rio de Janeiro, Embrapa Seropédica. Documentos no.156. 33 p.

- Corrales Flores, M. K., Montenegro Cardenas, K. J., & Talavera Zamora, I. A. (2018). Diversidad de macro y mesofauna en el norte del corredor seco Nicaragüense. <https://repositorio.unan.edu.ni/9391/>
- Chávez, E., & Fonseca, W. (1991). *Teca: Tectona Grandis L. f., especies de árbol de uso múltiple en América Central*. CATIE.
- Chavarría, B., & Martínez, J. (2017). Evaluación de los diseños, manejo de la biodiversidad y macrofauna edáfica en dos agroecosistemas ganaderos, Las Lagunas, Boaco, Nicaragua 2015-2016. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Agraria]. Tesis no publicada.
- Curry, J. (1987). The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. I. The composition of the fauna. *Grass and forage science* 42:103-120.
- Delgado, G., Burbano, A., & Silva, A. (2011). Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas con café *Coffea arabica* L. *Ciencias agrícolas*, 28(1), 91 – 106.
- Fonseca, W. (2004). *Manual para productores de teca (Tectona grandis L.f.) en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica.
- Gálvez-Cerón, A., Reina-López, A., & Meneses-Estrada, E. (2016). Cuantificación de macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril y uno convencional en bosque seco. *Investigación Pecuaria*, 4 (2), 13-25.
- George, P. B. L., Keith, A. M., Creer, S., Barrett, G. L., Lebron, I., Emmett, B. A., Robinson, D. A., & Jones, D. L. (2017). Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology and Biochemistry*, 115, 537–546. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.022>
- Gil, J., Espinoza, Y., & Obispo, N. (2005). Relaciones suelo-planta-animal en sistemas silvopastoriles. *Ceniap*, 9, 226-231.
- Gizzi, A. H., Castillo Álvarez, H. A., Manetti, P. L., López, A. N., Clemente, N. L., & Studdert, G. A. (2009). Caracterización De La Meso Y Macrofauna Edáfica En Sistemas De Cultivo Del Sudeste Bonaerense. *Ciencia Del Suelo*, 27(1), 1–9.

- Gómez S. M. (2011). *Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicas entre plantaciones forestales y bosques secundarios sub andinos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Hendricks, M. (1985). Animals and Soil in Arizona. In Hendricks, D.M. (Ed.) *Arizona Soils*. Tucson, University of Arizona. Editor Haney, R.A. Jr. p. 55-62.
- Hernández, U. (2018). Macrofauna edáfica asociada a un bosque de Pino con Aprovechamiento Foresta en Eloxochitlán, Zacatlán, Puebla. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio institucional BUAP. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/8098/351118T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huarauya, M. (2014). *Determinación de macrofauna en suelos de cafetales (Coffea arabica L.) en Santa Rosa Tealera, Distrito Hermilio Valdizan*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1079>
- Lavelle, P., Dangerfield, M., Fragoso, C., Eschenbrenner, V., López-Hernández, D., Pashanasi, B., & Brussaard, L. (1994). The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *Chichester*, 137-169.
- Lavelle, P., Spain, A., Lanchart, E., Martin, A., & Martin, S. (1992). The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. *Chichester*, 169-185.
- Leguizamo, M. C., & Parada, J. C. (2008). Nematodos del suelo en el sistema maíz-soya y en hábitats naturales adyacentes de la Altillanura colombiana (Meta). 9, 61–65.
- Lema, N. (2016). "Determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelo en tres agroecosistemas de la comunidad de Naubug". Riobamba- Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Minaya, F. (2013). Comportamiento silvicultural de cinco especies forestales en linderos del CIPTALD, Aucayacu. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/53f96758-7bf9-440f-9775-0030d3d9ff0d>

- Mogollón, E. A., Castellano, L., & Castellanos, L. (2020). Variaciones de la microfauna del suelo con la implantación de 18 modelos agroecológicos en 6 municipios de Norte de Santander, Colombia. *INGE CUC*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.07> Artículo
- Obdulio, S. (2018). *Comparación de la diversidad de la meso y macrofauna edáfica en un bosque Natural de pino candelillo (pinus maximinoi h. M.), y de un área sometida a tala Rasa; San Juan Chamelco, Alta Verapaz*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Rafael Landívar]. Tesis no publicada.
- Odúm, E.P. (1986). *La Habana: Ecología*. Revolucionaria.
- Panduro, F. (2013). Diversidad de Macrofauna en diferentes sistemas de uso del suelo en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva -Tingo María. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1060/TS\\_FPG\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1060/TS_FPG_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T., Flores, C., & Daza, A. (2003). *Árboles útiles de la amazonía peruana y sus usos*. PE, Darwin initiative – ICRAF.
- Royero, S. (2019). *Macrofauna edáfica y características físicas y químicas del suelo en áreas con diferentes sistemas de manejo en el departamento del Atlántico, Colombia*. [Tesis de Magister, Universidad Nacional de Colombia]. Tesis no publicada.
- Rodríguez, J. (2004). *Ecología. Colección Ciencia y Tecnología*. Pirámide.
- Ruiz, N., Lavelle, P., & Jiménez, J. (2008). Soil macrofauna field manual. Technical level. *Acta Zoológica Mexicana*, 2, 165-178.
- Safaei, M., Bashari, H., Mosaddeghi, M. R., & Jafari, R. (2019). Assessing the impacts of land use and land cover changes on soil functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. *Catena*, 177(March), 260– 271. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.021>

- Sagawa, L. (2014). Evaluación de macrofauna en diferentes ecosistemas en el Parque Nacional Tingo María- Huánuco- Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/612/T.FRS-217.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, G. (2018). Evaluación de la macrofauna del suelo en cuatro diferentes Sistemas de uso, en el Distrito Las Piedras, Provincia de Tambopata Departamento Madre de Dios. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. Repositorio institucional UNAMAD. <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/348/004-2-3-074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, S., & Hernández, M. (2011). Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 34(3), 359-366.
- TERRANOVA EDITORES LTDA. (2004). *Enciclopedia Agropecuaria Terranova, segunda edición*. Colombia.
- Trávez, K. (2020). Diversidad de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la calidad de suelo en un gradiente de intensidad de uso de la tierra en la Esperanza- Pedro-Moncayo- Ecuador. [Tesis de pregrado, Universidad central del Ecuador]. Repositorio institucional de UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21140/1/T-UCE-0016-CBI-052.pdf>
- Toledo, E. (1999). *Estudio sobre certificación de semillas de árboles y potencial demercado de los productos agroforestales*. PE, ICRAFIWINROCK.
- Torres, C. (1993). *Efecto del diámetro y altura del tocón en el rebrote de *Callycophyllum spruceanum* (Benth) (capirona), Toumavista - Pucallpa*. [Tesis de ingeniero, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Tesis no publicada.
- Venegas, V.R. (2004). *Propuesta agroecológica del CLADES - CET - ITAS*. Agroecología y Desarrollo.
- Vilca, N. (2020). Influencia de los Sistemas de Producción en la diversidad de macrofauna edáfica en el distrito de Molinopampa, Provincia de Chachapoyas, Amazonas. [Tesis de

pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas].  
Repositorio institucional UNTRM.  
<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1333/Carito%20Vilca%20Valqui.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villota, H. (1991). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y zonificación Física de las Tierras*. IGAC.

Zeberino, S., Altier, N., Rodriguez., A. (2008). Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción de siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia*. 13 (1), 44-45.

## **ANEXO**

Tabla 12. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con plantación de *C. spruceanum*.

Tracepto	ORDEN	FAMILIA	Nombre comun	Profundidad		
				C1 ( 0-10 cm )	C2 ( 10-20 cm)	C3 (20-30 cm)
M1	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	61		
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad	4		
	Battodea	BLABERIDAE	cucaracha	2		
	Hymenoptera	FORMICIDAE	hormigas picacuro o coloradas	1		
	Hymenoptera	FORMICIDAE	hormiga	4		
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		1	
	Hymenoptera	FORMICIDAE	hormiga		1	
	Hymenoptera	FORMICIDAE	hormiga			24
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad			7
M2	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	5		
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad	9		
	Chilopoda	GEOPHILIDAE	cien pies	1		
	Celeoptera	SCARABAEIDAE	escarabajo pelotero	1		
	Hemiptera	CICADIDAE	chicharra(larva)		2	
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		2	
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra			2
M3	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	11		

	Hymenoptera	FORMICIDAE	hormiga	1	
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad	1	
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		5
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	huevo de lombriz de tierra		2
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	huevo de lombriz de tierra		3
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	8	
	Hymenoptera	FORMICIDAE	hormiga	2	
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad	7	
M4	Hemiptera	CICADIDAE	chicharra común	2	
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		3
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		1
	Blattodea	TERMITIDAE	termita		3
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	17	
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad	5	
	Hemiptera	PENTATOMIDAE	chinche escudo	1	
M5	Hymenoptera	FORMICIDAE	hormigas picacuro o coloradas	2	
	Celeoptera	SCARABAEIDAE	escarabajo pelotero	1	
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		13
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		4
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	huevo de lombriz de tierra		4

Tabla 13. Unidades Taxonómicas encontradas en el suelo con plantación de *T. grandis*

Transecto	ORDEN	FAMILIA	Nombre común	Profundidades		
				C1 ( 0-10 cm )	C2 ( 10-20 cm)	C3 (20-30 cm)
M1	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	16		
	Hymenoptera	FORMICIDAE	hormiga	1		
	Pulmonata	HELICIDAE	caracol comun		1	
M2	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	10		
	Araneae	ZOROPSIDAE	araña	1		
	Hemiptera	PENTATOMIDAE	chinche escudo	1		
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		1	
	Chilopoda	GEOPHILIDAE	cienpiés		1	
	Chilopoda	GEOPHILIDAE	cienpiés			1
M3	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	6		
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad	2		
			<b>caracol degollado o</b>			
	Pulmonata	SUBULINIDAE	<b>churritos</b>	3		
	Battodea	BLABERIDAE	cucaracha	1		
	Coleoptera	CURCULIONIDAE	picudo	1		
	Celeoptera	SCARABAEIDAE	larva de escarabajo pelotero	1		
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra		2	

	Blattodea	BLABERIDAE	cucaracha	1
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad	1
M4	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	17
	Araneae	ZOROPSIDAE	araña	1
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad <b>caracol degollado o</b>	2
	Pulmonata	SUBULINIDAE	<b>churritos</b>	2
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	2
M5	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	11
	Isopoda	ARMADILLIDIIDAE	chanchito de humedad	2
	Diptera	MUSCIDAE	mosca domestica	1
	Coleoptera	SCARABAEIDAE	larva de escarabajo pelotero	1
	Haplotaxida	LUMBRICIDAE	lombriz de tierra	2

Tabla 14. Biomasa de macrofauna (g) registrada en *C. spruceanum* y *T. grandis*

Transecto	Profundidad	Peso de <i>C. spruceanum</i> (gr)	Peso de <i>T. grandis</i> (gr)
M1	C1	1.8445	7.7810
	C2	0.1210	0.0671
	C3	0.0149	0.0000
M2	C1	6.1685	1.3384
	C2	0.2912	0.2844
	C3	0.0436	0.0259
M3	C1	3.9908	6.3837
	C2	6.2140	1.4828
	C3	0.0666	0.0000
M4	C1	5.8500	3.0785
	C2	1.1904	2.2755
	C3	0.0112	0.0000
M5	C1	3.4430	3.4985
	C2	19.9528	0.5252
	C3	2.3242	0.0000



## UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Facultad de Agronomía

Laboratorio de Biodiversidad y Crianza de Artrópodos

Resolución N° 429-2013-CU-R-UNAS

Carretera Central Km.1.21, Tingo María. Tel. 062 562342 Fax. 062 56115



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Tingo María, 18 septiembre del 2023

### Constancia de identificación

De acuerdo con el material biológico que corresponde a organismos del suelo o macro artrópodos, se certifica que se han observado las muestras biológicas traídas al Laboratorio por el Bach. Marco Antonio Dionicio Garay correspondientes al muestreo del suelo de plantaciones de Capirona y Teca en Centro de Investigación Tulumayo, para su identificación a nivel de Orden y Familia.

Producto de la observación y la comparación con información de bibliográfica especializada, se da cuenta de información derivada de las muestras, tal como se indica a continuación:

Capirona y Teca		
ORDEN	FAMILIA	NOMBRE COMÚN
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Isopoda	Armadillidiidae	chanchito de humedad
Blattodea	Blattidae	cucaracha
Hymenoptera	Formicidae	hormiga picacuro
Hymenoptera	Formicidae	hormiga
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	huevo de lombriz de tierra
Hymenoptera	Formicidae	hormiga
Hymenoptera	Formicidae	hormiga
Isopoda	Armadillidiidae	chanchito de humedad
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Isopoda	Armadillidiidae	chanchito de humedad
Chilopoda	Geophilidae	ciempiés
Coleoptera	Scarabaeidae	escarabajo pelotero

Hemiptera	Cicadidae	chicharra (ninfa)
Haplotaxida	Lumbricidae	huevo de lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	huevo de lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Hymenoptera	Formicidae	hormiga
Isopoda	Armadillidiidae	chanchito de humedad
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	huevo de lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	huevo de lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	huevo de lombriz de tierra
Hymenoptera	Formicidae	hormiga
Isopoda	Armadillidiidae	chanchito de humedad
Hemiptera	Cicadidae	chicharra (ninfa)
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Isoptera	Termitidae	termita
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Isopoda	Armadillidiidae	chanchito de humedad
Hemiptera	Pentatomidae	chinche escudo
Hymenoptera	Formicidae	hormigas picacuro
Coleoptera	Scarabaeidae	escarabajo pelotero
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	huevo de lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	lombriz de tierra
Haplotaxida	Lumbricidae	huevo de lombriz de tierra

Sin otro particular me despido de usted.

  
Miguel E. Anteparra Paredes  
**Jefe del Laboratorio de Biodiversidad  
y Crianza de Artrópodos**  
963958113  
[miguelanteparra@unas.edu.pe](mailto:miguelanteparra@unas.edu.pe)

Figura 9. Constancia de identificación de macrofauna registrada en *C. spruceanum* y *T. grandis*



**Figura 10.** Delimitación de los monolitos de 25 x 25 x 30 cm



**Figura 11.** Medición de profundidades de monolito



**Figura 12.** Extracción de las muestras por profundidades



**Figura 13.** Separación de las muestras de suelo por profundidades



**Figura 14.** Conteo y separación de los individuos por monolito y profundidades



**Figura 15.** Identificación de las familias correspondientes



**Figura 16.** Pesaje de las muestras