

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**



TESIS

**“Variación estacional de la población de macro y microbioma edáfico
en las sabanas húmedas de las Pampas de Heath, Bahuaja Sonene,
Madre de Dios, Perú”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

AUTOR:

Bach. BARRIOS QUISPE, Said Jamil

Bach. CAÑARI MIRANO, Nay Ruth

**Asesor: Dr. PEÑA VALDEIGLESIAS,
Joel**

**Co-Asesor: Dr. HUAMANTUPA
CHUQUIMACO, Isau**

Puerto Maldonado, marzo de 2026

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**



TESIS

**“Variación estacional de la población de macro y microbioma edáfico
en las sabanas húmedas de las Pampas de Heath, Bahuaja Sonene,
Madre de Dios, Perú”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

AUTOR:

Bach. BARRIOS QUISPE, Said Jamil

Bach. CAÑARI MIRANO, Nay Ruth

**Asesor: Dr. PEÑA VALDEIGLESIAS,
Joel**

**Co-Asesor: Dr. HUAMANTUPA
CHUQUIMACO, Isau**

Puerto Maldonado, marzo de 2026

RST-RI_Variación estacional de la población de macro y microbioma edáfico en las sabanas húmedas de las Pampas de Heath, Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unamad.edu.pe

Fuente de Internet

4%

2

smcsmx.org

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A Dios, por su infinita bondad y por la fortaleza espiritual y física que me ha otorgado para seguir adelante. Gracias por manifestar su amor incondicional en mi vida a través de aquellas personas que me han brindado su apoyo, orientación y cariño.

A mi querida madre, Nely Betty Mirano Cañari, mujer a quien admiro profundamente. Aunque hoy descansa en paz, su recuerdo y fortaleza continúan siendo mi guía desde el cielo, impulsándome a la superación constante.

A mi padre, Juan Cañari Condori, por legarme valiosas enseñanzas de vida, inculcándome siempre el respeto, la humildad y la perseverancia necesaria para superar cualquier obstáculo.

A mis hermanos: Roger, Aquiles, Alex, Noe y Rosa María, por los momentos compartidos, tanto en las alegrías como en las dificultades. Cada uno de ustedes ha sido un pilar fundamental, brindándome su amor, consejos y fortaleza. Un reconocimiento especial a mi hermano Roger, quien ha asumido un rol de segundo padre, por su apoyo incondicional y por haberme enseñado con sabiduría y paciencia, actuando como mi guía y confidente.

A todos los Profesores y Compañeros de la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, por compartir sus valiosos conocimientos y por los momentos de camaradería que enriquecieron nuestra formación profesional.

Con mucho cariño, Nay Ruth.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, fuente infinita de sabiduría y fortaleza, por haberme permitido llegar hasta este momento tan significativo de mi vida. A Él le debo cada paso que he dado, cada obstáculo superado y cada aprendizaje alcanzado.

A mi madre, a quien debo no solo la vida, sino también la formación y los valores que hoy me acompañan a mi padre, Rómulo Loayza Quispe, por su ejemplo de perseverancia y trabajo constante. Gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con disciplina, dedicación y humildad. Tus consejos, tu apoyo y tu presencia han sido pilares fundamentales en mi formación personal y profesional.

Dedico este triunfo con todo mi cariño a mis hermanos Ayelén, Thiago y Ani, quienes son mi mayor inspiración para seguir adelante. A ellos les digo que crean en sus capacidades, que luchen por sus sueños y que me superen, porque nada me haría más feliz que verlos alcanzar sus propias metas.

Agradezco también, con especial cariño, a mi Mama linda, la matriarca de nuestra familia. A mi tía Enoy, a mis tíos Abran y Boris, y a todos mis tíos y tías que han estado conmigo. Cada gesto de apoyo y cada muestra de cariño han significado mucho más de lo que puedo expresar con palabras. Han sido parte esencial de mi crecimiento y de este logro que hoy celebro. A todos ustedes, que me acompañaron en los momentos buenos y malos, que creyeron en mí incluso cuando las fuerzas flaqueaban, les dedico con el corazón este logro.

Este triunfo no es solo mío, sino de todos los que me acompañaron con fe, paciencia y amor. Gracias por ser parte de mi historia, por motivarme a seguir adelante y por recordarme siempre que los sueños se alcanzan.

Con mucho cariño, Said Jamil.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra más sincera y profunda gratitud al Fondo de Becas Bahuaja Sonene 2024 por el invaluable apoyo y financiamiento otorgado. Reconocemos que esta iniciativa fue impulsada por el Parque Nacional Bahuaja Sonene, a través del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), y administrada por la Asociación para el Desarrollo Integral y Sostenible (AIDER), entidades a las cuales extendemos nuestro agradecimiento. Asimismo, agradecemos a la Ing. Silvana Gregorini Cabrerros, responsable del fondo, por su constante colaboración y valioso acompañamiento durante todo el proceso; así como al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios por el apoyo financiero brindado.

A nuestra Alma Máter, la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y a los docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, por la excelente formación profesional y guía que nos brindaron a lo largo de nuestra etapa como estudiantes.

Un agradecimiento especial a nuestro equipo asesor: al Dr. Joel Peña Valdeiglesias, nuestro asesor principal, y al Dr. Isau Huamantupa Chuquimaco, nuestro co-asesor, por su inmenso apoyo, dedicación y guía detallada tanto en la fase de gabinete como en el trabajo de campo. Extendemos nuestro agradecimiento también al M.Sc. Jorge Santiago Garate Quispe, por su guía y apoyo constante. Reconocemos la labor del Honorable Jurado Revisor: Dr. Percy Amílcar Zeballos Pollito, Dr. Víctor Pareja Auquipata y M.Sc. Jimmy Jeanine Miró Agurto, por sus observaciones críticas, valiosas sugerencias y rigor científico que enriquecieron significativamente el presente estudio.

Finalmente, agradecemos el apoyo logístico y la asistencia técnica brindada por el Ing. Sofer Báez y la Ing. Thalía Corahua. Hacemos extensivo nuestro reconocimiento a nuestros compañeros Iván Champi, Hilton Gómez, Farid Rocha, Anel Achulli y a todos los miembros del Herbario Alwyn Gentry "UNAMAD" por su incondicional apoyo durante el viaje a las Pampas de Heath.

PRESENTACIÓN

El presente estudio se realizó con el propósito fundamental de contribuir al entendimiento y la conservación de las Pampas del Heath dentro del Parque Nacional Bahuaja Sonene, un ecosistema único y frágil en la región amazónica de Madre de Dios. El objetivo principal de la investigación fue generar información detallada y actualizada sobre la dinámica de la macrofauna edáfica, las propiedades fisicoquímicas del suelo y la simbiosis de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en las raíces de las especies arbóreas y leñosas más representativas del área.

En el informe se analizó la variación de estos componentes en respuesta a los periodos estacionales. Además, se exploró el impacto de dicha estacionalidad en las poblaciones de microorganismos, estableciendo relaciones significativas entre la biología del suelo y sus propiedades fisicoquímicas. Se consideró que las investigaciones en ecosistemas afectados por presiones antrópicas, como las Pampas del Heath, eran y son cruciales.

Con este estudio se buscó llenar vacíos de información, aportando una base científica sólida que no solo amplió el conocimiento sobre el funcionamiento de estos sistemas naturales, sino que también respaldó la futura toma de decisiones informadas. Los resultados de esta tesis ofrecieron una visión integral de la abundancia, biomasa y diversidad de la macrofauna, junto con un análisis exhaustivo del suelo; se determinó, además, la tasa de colonización y la diversidad de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), elementos clave para comprender la nutrición y salud de la vegetación leñosa.

Finalmente, esta investigación se planteó con la expectativa de que la información generada fuera considerada una referencia valiosa para la comunidad académica y sirviera de base para la elaboración de estrategias efectivas de conservación y restauración de este ecosistema clave en la Amazonía peruana.

RESUMEN

Este estudio analizó la variación estacional de la macrofauna y el microbioma en las Sabanas Húmedas de las Pampas de Heath. Mediante un enfoque cuantitativo y transversal, se compararon las épocas seca y lluviosa bajo coberturas de bosque y pastizal. La metodología se basó en la cuantificación de la macrofauna (abundancia, biomasa, densidad y diversidad) mediante el método del Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF); la evaluación del microbioma (Hongos Micorrícicos Arbusculares - HMA) a través del porcentaje de colonización radicular (tinción) y el conteo de esporas (tamizado); y el análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo, cuyas muestras se obtuvieron a cuatro profundidades (50, 100, 150 y 200 cm). Los hallazgos principales indicaron una clara influencia estacional: la estación lluviosa registro la mayor actividad biológica, registrando la mayor abundancia de macrofauna (478 individuos), la mayor biomasa (26,73 g/m²) y la mayor diversidad (Shannon 1,30). Los órdenes sobresalientes fueron Isoptera (161,67 ind/m²), Annelida (108,33 ind/m²), Hymenoptera (83,33 ind/m²), Coleoptera (70,00 ind/m²) y Lepidoptera (48,33 ind/m²). El microbioma también alcanzó su pico en la estación lluviosa con un 19,42% de colonización radicular y 219,00 esporas/100 gr de suelo. Además, los suelos mostraron ser fuertemente ácidos (pH 4,48 y 4,23) con niveles de P y K muy bajos. Se confirmó que factores edáficos como la Materia Orgánica y la CIC se relacionaron positiva y significativamente con la biomasa de la macrofauna en la estación lluviosa, verificando que la población edáfica está fuertemente influenciada por la estacionalidad y el tipo de vegetación.

Palabras clave: Macrofauna, microbioma, Pampas de Heath, Variación estacional

ABSTRACT

This study analyzed the seasonal variation of macrofauna and the microbiome in the Humid Savannas of the Heath Pampas. Using a quantitative, cross-sectional approach, the dry and rainy seasons were compared under forest and grassland cover. The methodology was based on the quantification of macrofauna (abundance, biomass, density, and diversity) using the Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) method; the evaluation of the microbiome (Arbuscular Mycorrhizal Fungi - AMF) through root colonization percentage (staining) and spore count (sieving); and the analysis of the physicochemical properties of the soil, whose samples were obtained at four depths (50, 100, 150, and 200 cm). The main findings indicated a clear seasonal influence: the rainy season recorded the highest biological activity, with the greatest abundance of macrofauna (478 individuals), the highest biomass (26.73 g/m²), and the highest diversity (Shannon 1.30). The most abundant orders were Isoptera (161.67 ind/m²), Annelida (108.33 ind/m²), Hymenoptera (83.33 ind/m²), Coleoptera (70.00 ind/m²), and Lepidoptera (48.33 ind/m²). The microbiome also peaked during the rainy season, with 19.42% root colonization and 219.00 spores/100 g of soil. Furthermore, the soils were strongly acidic (pH 4.48 and 4.23) with very low levels of phosphorus (P) and potassium (K). It was confirmed that soil factors such as Organic Matter and CEC were positively and significantly related to macrofauna biomass in the rainy season, verifying that the soil population is strongly influenced by seasonality and vegetation type.

Keywords: Macrofauna, microbiome, Heath Pampas, seasonal variati

INTRODUCCIÓN

Las Sabanas Húmedas (Pampas de Heath), ubicadas en el Parque Nacional Bahuaja Sonene en Madre de Dios, Perú, constituyen un ecosistema singular y de gran valor ecológico. Estos humedales estacionales, caracterizados por una marcada variación en las condiciones ambientales a lo largo del año, albergan una diversidad de organismos edáficos que desempeñan roles fundamentales en el funcionamiento del ecosistema. Sin embargo, a pesar de su importancia, aún existen vacíos de conocimiento sobre los patrones de variación estacional de la población de macro y microbioma edáfico y su relación con las características fisicoquímicas del suelo en este ecosistema único.

Las Pampas de Heath se encuentran en una región de transición entre la Amazonía y los Andes, lo que les confiere características particulares en términos de clima, suelo y vegetación (MINAM, 2018). Durante la época seca, estos humedales experimentan una disminución significativa en el nivel freático, mientras que en la época lluviosa se inundan parcialmente, creando un mosaico de ambientes que alberga una diversidad de especies adaptadas a estas condiciones fluctuantes (Brack, 1986). Esta variabilidad ambiental se refleja en la dinámica de las poblaciones de macro y microbioma edáfico, cuya abundancia, biomasa y composición pueden variar considerablemente entre las épocas seca y lluviosa.

La importancia de este estudio en las Pampas de Heath es fundamental, ya que estos humedales están sujetos a una creciente presión antrópica debido a la expansión de la agricultura y la ganadería. Comprender la dinámica de las poblaciones de macro y microbioma edáfico y su relación con las características del suelo es clave para desarrollar estrategias de manejo y conservación adecuadas para este ecosistema frágil. Además, las Pampas de Heath albergan una diversidad de especies endémicas y amenazadas, como el ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*) y el lobo de crin (*Chrysocyon brachyurus*), por lo que su conservación fue prioritaria a nivel regional y nacional (Hofmann et al., 1973).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo general evaluar la variación estacional de la población de macro y microbioma edáfico en las Pampas de Heath, y su relación con las características fisicoquímicas del suelo.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

PRESENTACIÓN

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 1

1.1. Descripción del problema 1

1.2. Formulación del problema 2

1.2.1. Problema general..... 2

1.2.2. Problemas específicos 2

1.3. Objetivos..... 3

1.3.1. Objetivo General 3

1.3.2. Objetivos Específicos..... 3

1.4. Variables..... 3

1.4.1. Variables independientes 3

1.4.2. Variables dependientes..... 3

1.5. Operación de variables..... 4

1.6. Hipótesis..... 6

1.6.1. Hipótesis general 6

1.6.2. Hipótesis Especifico 6

1.7. Justificación 7

1.8. Consideraciones éticas..... 8

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO 9

2.1. Antecedentes del estudio 9

2.1.1. Antecedentes internacionales 9

2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	12
2.1.3. Antecedentes Locales	15
2.2. Marco teórico.....	17
2.2.1. Macrofauna de suelo	17
2.2.2. La macrofauna como indicador biológico	18
2.2.3. Micorrizas	19
2.2.4. Población de Microbiomas	19
2.2.5. Características químicas del suelo	20
2.2.6. Características físicas del suelo	20
2.2.7. Pampas de Heath.....	20
2.2.8. Causas de incendios en las Pampas de Heath	21
2.2.9. Variación estacional	21
2.2.10. Parque Nacional	22
2.2.11. Microbiomas	22
2.3. Definición de términos	22
2.3.1. Clima.....	22
2.3.2. Temporada lluviosa.....	23
2.3.3. Temporada seca	23
2.3.4. Cobertura vegetal.....	23
2.3.5. Cobertura boscosa.....	23
2.3.6. Cobertura de pastizal	23
2.3.7. Macrofauna	24
2.3.8. Profundidad.....	24
2.3.9. Hojarasca.....	24
2.3.10. Abundancia	24
2.3.11. Diversidad	25
2.3.12. Biomasa	25

2.3.13.	Raíz	25
2.3.14.	Colonización radicular	25
2.3.15.	Familia arbórea.....	25
2.3.16.	Esporas	25
2.3.17.	Vesícula.....	26
2.3.18.	Micelio	26
2.3.19.	Arbúsculos.....	26
2.3.20.	Porcentaje de colonización radicular (PCR)	26
2.3.21.	Suelo	26
2.3.22.	pH.....	26
2.3.23.	Materia orgánica.....	27
2.3.24.	Fósforo (P)	27
2.3.25.	Potasio (K).....	27
2.3.26.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	27
2.3.27.	Calcio intercambiable (Ca^{+2}).....	27
2.3.28.	Magnesio (Mg^{+2}).....	27
2.3.29.	Acidez intercambiable del suelo ($\text{AL}^{+3}\text{H}^{+}$).....	28
2.3.30.	Conductividad eléctrica (CE)	28
2.3.31.	Sodio intercambiable (Na^{+}).....	28
2.3.32.	Potasio Intercambiable (K^{+}).....	28
2.3.33.	Arena	28
2.3.34.	Limo.....	28
2.3.35.	Arcilla.....	28
2.3.36.	Clase textural.....	29
2.3.37.	Textura del suelo	29
CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....		30
3.1.	Tipo de estudio	30

3.2.	Diseño de estudio.....	30
3.3.	Población y muestra	31
3.3.1.	Población.....	31
3.3.2.	Muestra	31
3.4.	Métodos y técnicas	32
3.4.1.	Área de estudio	32
3.4.2.	Instalación de área de estudio.....	33
3.4.3.	Metodología para la colecta de macroinvertebrados.....	33
3.4.4.	Metodología de muestreo de suelo para análisis de las características fisicoquímicas.....	36
3.4.5.	Metodología para muestreo de micorrizas arbusculares.....	39
3.5.	Tratamiento de datos.....	43
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES		46
4.1.	Abundancia, diversidad y biomasa de la macrofauna del suelo.	46
4.1.1.	Abundancia de macroinvertebrados.....	46
4.1.2.	Diversidad de macroinvertebrados.....	50
4.1.3.	Biomasa de Macroinvertebrados.....	51
4.1.4.	Densidad de Macroinvertebrados	55
4.2.	Abundancia y presencia de micorrizas arbusculares.....	60
4.2.1.	Abundancia de micorrizas arbusculares en el suelo	60
4.2.2.	Abundancia de micorrizas arbusculares en la raíz.....	62
4.3.	Características físicas y químicas del suelo	64
4.3.1.	Características Químicas	64
4.3.2.	Características Físicas.....	71
4.4.	Relaciones entre las características fisicoquímicas y biológicas del suelo	73
CONCLUSIONES		83

SUGERENCIAS.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	86
ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables independiente de la investigación .	4
Tabla 2. Operacionalización de variables independientes de la investigación.	5
Tabla 3. Clasificación taxonómica de los organismos integrales de la macrofauna edáfica.	18
Tabla 4. Muestreo de suelo.	38
Tabla 5. Abundancia y presencia de micorrizas arbusculares en la raíz según la estación.....	62
Tabla 6. Presencia y abundancia de micorrizas arbusculares en la raíz según la cobertura vegetal.	63
Tabla 7. Textura del suelo	72
Tabla 8. Cantidad total de macroinvertebrados encontrados en las Pampas de Heath.	107
Tabla 9. Cantidad de macroinvertebrados según la cobertura vegetal.....	108
Tabla 10. Índice de diversidad Shannon de macroinvertebrados	108
Tabla 11. Biomasa de macroinvertebrados en la estación seca.	109
Tabla 12. Biomasa de macroinvertebrados en la estación lluviosa.	110
Tabla 13. Biomasa de macroinvertebrados según la cobertura vegetal. ...	111
Tabla 14. Biomasa por profundidad.....	112
Tabla 15. Densidad de macroinvertebrados.....	112
Tabla 16. Densidad de macroinvertebrados en la estación seca.	113
Tabla 17. Densidad de macroinvertebrados en la estación lluviosa.....	114
Tabla 18. Biomasa de macroinvertebrados según la cobertura vegetal	115
Tabla 19. Abundancia de micorrizas arbusculares en el suelo.....	116
Tabla 20. Características químicas del suelo en la estación seca.....	117
Tabla 21. Características químicas del suelo en la estación lluviosa.	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.	32
Figura 2. Separación de los diferentes bloques del suelo para la colecta de macroinvertebrados.	34
Figura 3. Barreno muestreador de suelo.	36
Figura 4. Distribución aleatoria de los puntos de submuestras (MINAM, 2014).	37
Figura 5. Cantidad de macroinvertebrados según la estación seca y lluviosa.	46
Figura 6. Cantidad de macroinvertebrados según la cobertura vegetal.	48
Figura 7. Cantidad de macroinvertebrados encontrados según la profundidad.	49
Figura 8. Índice de diversidad de Shannon de macroinvertebrados.	50
Figura 9. Biomasa de macroinvertebrados según la estación.	52
Figura 10. Biomasa de macroinvertebrados según la cobertura vegetal.	53
Figura 11. Biomasa de macroinvertebrados según la profundidad.	55
Figura 12. Densidad de macroinvertebrados según la estación.	56
Figura 13. Densidad de macroinvertebrados según la cobertura vegetal. ...	57
Figura 14. Densidad de macroinvertebrados según la profundidad.	58
Figura 15. Abundancia de micorrizas arbusculares en el suelo según la estación seca (<i>Ana: Anacardiaceae, Apo: Apocynaceae, Bur: Burceraceae, Clu: Clusiaceae, Fab: Fabaceae, Sap: Sapotaceae</i>)	60
Figura 16. Abundancia de micorrizas arbusculares según la cobertura vegetal (<i>Ana: Anacardiaceae, Apo: Apocynaceae, Bur: Burceraceae, Clu: Clusiaceae, Fab: Fabaceae, Sap: Sapotaceae</i>)	61
Figura 17. pH y Materia Orgánica (M.O) del suelo según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).	64

Figura 18. Fósforo (P) y Potasio (K) del suelo según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).....	66
Figura 19. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y Calcio intercambiable (Ca ⁺²) del suelo según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).	67
Figura 20. Magnesio (Mg) y Acidez intercambiable (AL ⁺³ +H ⁺) del suelo de según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).	69
Figura 21. Conductividad Eléctrica (C.E.) y Sodio intercambiable (Na ⁺) del suelo según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).....	70
Figura 22. Potasio intercambiable (K ⁺) del suelo de acuerdo a la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).....	71
Figura 23. Correlación triangular entre las características del suelo y la densidad, biomasa, orden y diversidad de macroinvertebrados.	73
Figura 24. Correlación de biomasa entre las características del suelo.	74
Figura 25. Correlación de densidad entre las características del suelo.	75
Figura 26. Correlación de diversidad entre las características del suelo.	76
Figura 27. Correlación de orden entre las características del suelo.	77
Figura 28. Correlación triangular entre las características del suelo y la densidad, biomasa, orden y diversidad de macroinvertebrados en la estación lluviosa.....	78
Figura 29. Correlación de biomasa de macroinvertebrados entre las características del suelo en la estación lluviosa.....	79
Figura 30. Correlación de densidad de macroinvertebrados entre las características del suelo en la estación lluviosa.....	80
Figura 31. Correlación de diversidad de macroinvertebrados entre las características del suelo en la estación lluviosa.....	81
Figura 32. Correlación de orden de macroinvertebrados entre las características químicas del suelo en la estación lluviosa.	82
Figura 33. Comparación de las características del suelo (pH, M.O, C.E y CIC) entre estaciones mediante la prueba U de Mann-Whitney.	119

Figura 34. Comparación de las características del suelo (Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} y Na^+) entre estaciones mediante la prueba U de Mann-Whitney.	119
Figura 35. Comparación de las características del suelo (P, K, AL^{+3} + H^+) entre estaciones mediante la prueba U de Mann-Whitney.....	120
Figura 36. Comparación de las características del suelo (pH, M.O, C.E y CIC) entre las coberturas vegetales mediante la prueba U de Mann-Whitney...	120
Figura 37. Comparación de las características del suelo (Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} y Na^+) entre las coberturas vegetales mediante la prueba U de Mann-Whitney...	121
Figura 38. Comparación de las características del suelo (P, K, AL^{+3} + H^+) entre las coberturas vegetales mediante la prueba U de Mann-Whitney.	121
Figura 39. Comparación del porcentaje de colonización radicular entre la estación mediante la prueba U de Mann-Whitney.	122
Figura 40. Comparación del porcentaje de colonización radicular entre la cobertura vegetal mediante la prueba U de Mann-Whitney.	122
Figura 41. Comparación de N° de esporas (gr/suelo) entre la estación mediante la prueba U de Mann-Whitney.....	123
Figura 42. Comparación de N° de esporas (gr/suelo) de colonización radicular entre la cobertura vegetal mediante la prueba U de Mann-Whitney.	123
Figura 43. Ingreso a las pampas de Heath en agosto del 2024 estación seca (A), ingreso a las pampas de Heath en marzo del 2025 en estación lluviosa (B).	124
Figura 44. A, marco muestreador en estación seca; B, área colectada en estación lluviosa; C, Búsqueda de macroinvertebrados estación seca; D, Búsqueda de macroinvertebrados en estación lluviosa.	124
Figura 45. Lavado, pesado e identificación de macroinvertebrados según el orden.....	125
Figura 47. A, Muestreo de suelo periodo seco; B, Extracción de muestras con el barreno; C, Muestro de suelo periodo lluvioso; D, Muestras colectadas; E, Secado de muestras en estufa a 105°C ; F y G, Muestras rotuladas para ser enviados al laboratorio de la universidad nacional Agraria La Molina.....	127

Figura 48. A, B, Colecta de muestras de raíces; C, D, Muestra de raíces; E, Muestra de raíces en placa Petri para pasar al microscopio.	128
Figura 49. Esporas encontradas en las raíces.....	129
Figura 50. Vesículas.	130
Figura 51. Arbúsculos	131
Figura 52. Esporas con micelio y hifas.	131
Figura 53. Micelio.....	132
Figura 54. A, Separación del suelo de las raíces; B, pesado 25 gr; C, conteo de esporas con el stereo; G, esporas de suelo.....	133

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia de la investigación.	96
Anexo 2: Instrumentos de análisis fisicoquímico del suelo.	99
Anexo 3: Solicitud de autorización para realización de estudio.	103

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

Las Pampas de Heath constituyen un ecosistema singular y frágil ubicado en la región de Madre de Dios, Perú (FCDS, 2023). Estas áreas se caracterizan por extensas formaciones de pastizales herbáceos con vegetación baja y dispersa, así como suelos arenosos y pobres en nutrientes (MINAM, 2018). A pesar de su aparente simplicidad, albergan una alta diversidad de especies vegetales y animales, muchas de las cuales son endémicas y presentan adaptaciones específicas a estas condiciones específicas. (Reynel et al. 2013).

No obstante, existe un vacío de información significativo debido a la escasez de estudios científicos detallados que aborden la diversidad de la macrofauna y el microbioma en este tipo de microclima. Esta situación resulta crítica, ya que el limitado conocimiento sobre la biología edáfica restringe la comprensión de su función en los procesos ecológicos y biogeoquímicos (Otazu y Farfan, 2016)

La macrofauna del suelo desempeña un rol fundamental en diversos procesos ecológicos, incluida la circulación de nutrientes, la formación y estabilidad de la estructura del suelo y la descomposición de la materia orgánica. Por otro lado, el microbioma edáfico ejecuta tareas esenciales como la fijación de nitrógeno y la promoción del crecimiento vegetal. Estos organismos son vitales para el mantenimiento de la salud del ecosistema y su capacidad para sostener la biodiversidad (Otazu y Farfán, 2016).

La comprensión de la dinámica de estos organismos en las Pampas de Heath es fundamental para la conservación y gestión de este ecosistema, el cual enfrenta amenazas como la deforestación y el cambio climático. Por lo tanto,

resulta imperativo llevar a cabo investigaciones profundas que permitan conocer mejor la diversidad y función de la macrofauna y el microbioma en estos suelos, así como su respuesta a las variaciones ambientales.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo varía la población de macrofauna y microbioma edáfico en las Pampas de Heath, Bahuaja Sonene, Madre de Dios, entre la estación seca y lluviosa, ¿según la cobertura vegetal?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo varía la abundancia y biomasa de la macrofauna en los suelos de las Pampas de Heath entre la estación seca y lluviosa, según la cobertura vegetal?
- ¿Cómo varía la presencia y abundancia de micorrizas arbusculares en los suelos de las Pampas de Heath entre la estación seca y lluviosa, según la cobertura vegetal?
- ¿Cuáles son las diferencias en las características físicas y químicas de los suelos de las Pampas de Heath entre la estación seca y lluviosa, según la cobertura vegetal?
- ¿Qué relación existe entre las características fisicoquímicas del suelo y la población de macroinvertebrados presentes en las Pampas de Heath entre la estación seca y lluviosa?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la variación estacional de las poblaciones de macro y microbiomas en los suelos de las Pampas de Heath, Bahuaja Sonene, Madre de Dios según la cobertura vegetal.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la abundancia, diversidad, biomasa y densidad de la macrofauna en los suelos de las Pampas de Heath, en la estación seca y lluviosa, según el tipo de cobertura vegetal.
- Determinar la presencia y abundancia de micorrizas arbusculares en los suelos de las Pampas de Heath, en la estación seca y lluviosa, según el tipo de cobertura vegetal.
- Determinar las características físicas y químicas en los suelos de las Pampas de Heath en la estación seca y lluviosa, según la cobertura vegetal.
- Determinar las relaciones que existen entre las características fisicoquímicas y la población de macroinvertebrados del suelo según la estación seca y lluviosa.

1.4. Variables

1.4.1. Variables independientes

- Suelos de Pampas de Heath
- Variación estacional
- Cobertura vegetal

1.4.2. Variables dependientes

- Macrofauna
- Micorrizas arbusculares
- Características del suelo

1.5. Operación de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables independiente de la investigación

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Suelos	Son suelos ácidos y ricos en materia orgánica, ubicados en regiones templadas con alta biodiversidad, resultantes de la acumulación de restos vegetales y condiciones climáticas húmedas.	Muestreo para determinar la macro y microbiomas del suelo.	Profundidad	- 50 cm - 100 cm - 150 cm - 200 cm
Variación Estacional	Se refiere a los cambios periódicos y predecibles que ocurren en un fenómeno o características ambientales a lo largo de las estaciones del año.	Madre de Dios, recibe entre 2.200 y 3.000 mm de lluvia al año. Tiene un periodo seco de mayo a septiembre (menos de 100 mm mensuales), siendo agosto el más seco. Los meses lluviosos son de noviembre a marzo, con más de 200 mm mensuales.	2 estaciones del año	- Estación Seca - Estación Lluviosa
Cobertura Vegetal	Se refiere a la cantidad y tipo de vegetación en las Pampas de Heath, que influye en la diversidad de la macro y microbioma del suelo y es fundamental para los procesos ecológicos.	Los tipos de cobertura vegetal son clasificadas por criterios geográficos, fisonómicos y de humedad (MINAM, 2017)	Tipos de cobertura vegetal	- Pastizal - Bosque

Tabla 2. Operacionalización de variables independientes de la investigación.

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Macrofauna	Se hace referencia a organismos invertebrados que son visibles a simple vista, normalmente con una longitud que varía entre 2 y 20 mm. Este grupo abarca una amplia variedad de organismos que viven en la superficie del suelo.	Organismos visibles capturados y registrados en un ecosistema para estudiar su identidad, abundancia y distribución.	Abundancia	- N° de individuos por monolitos
			Biomás	- Peso de macrofauna por monolito
			Diversidad y riqueza	- N° de ordenes - Índice de diversidad de Shannon
Micorrizas Arbusculares	Relación simbiótica entre plantas y hongos, en la cual los hongos facilitan a las plantas la absorción de nutrientes del suelo, a cambio de compuestos orgánicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Examinar raíces en busca de estructuras micorrízicas arbusculares. - Confirmar presencia y características mediante observación microscópica. - Cuantificar colonización en raíces. - Contar y recolectar esporas de hongos arbusculares del suelo 	Colonización radicular en las raíces	- % de colonización por parcela
			Conteo de esporas en el suelo	- N° de esporas por parcela
Características del suelo	son propiedades físicas y químicas que determinan su capacidad para soportar vida vegetal y su funcionamiento en el ecosistema.	Se evaluó las características físicas y químicas del suelo en seis parcelas de las Pampas de Heath.	Características físicas Características químicas	Textura, % M.O, CIC (capacidad de intercambio catiónico) pH, P, K, CaCO ₃ , Acidez cambiante, C.E, y cationes cambiables.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La población de macrofauna y microbioma en los suelos de las Pampas de Heath, región de Madre de Dios, varía estacionalmente en respuesta a la estación seca y lluviosa, y es influenciada por la cobertura vegetal, la cual afecta la disponibilidad de recursos y, por ende, la diversidad y abundancia de estos organismos.

1.6.2. Hipótesis Especifico

H1: La abundancia y biomasa de la macrofauna en los suelos de las Pampas de Heath varían significativamente entre la estación seca y lluviosa, así como en función de la heterogeneidad de la cobertura vegetal.

H2: La presencia y abundancia de micorrizas arbusculares en los suelos de las Pampas de Heath varían significativamente entre las estaciones seca y lluviosa, dependiendo del tipo de cobertura vegetal.

H3: Las características físicas y químicas de los suelos en las Pampas del Heath presentan diferencias significativas determinadas por la interacción entre la estacionalidad (seca y lluviosa) y el tipo de cobertura vegetal.

H4: Existen relaciones significativas entre las características fisicoquímicas del suelo y la población de macroinvertebrados, sugiriendo que la variación estacional influye en la dinámica de estos organismos en función del tipo de cobertura vegetal.

1.7. Justificación

Entender cómo varía la composición y abundancia de la macrofauna y el microbioma del suelo a lo largo del año en las Pampas de Heath, ubicadas en el Parque Nacional Bahuaja Sonene, es esencial para obtener una comprensión precisa de los procesos ecológicos de este ecosistema. La evaluación de la dinámica estacional de estos organismos proporciona información valiosa sobre su respuesta a cambios en factores ambientales, como la disponibilidad de nutrientes y la humedad del suelo. Las Pampas de Heath son un área de gran relevancia en términos de biodiversidad, ya que albergan especies únicas. Los organismos edáficos desempeñan un papel crucial en la salud y el funcionamiento del ecosistema, siendo su estudio vital para evaluar la ciclificación de nutrientes.

El Parque Nacional Bahuaja Sonene es crucial para preservar un ecosistema de gran biodiversidad que se encuentra en una situación de amenaza importante, como la expansión agrícola.

Este parque, que abarcan 133 000 hectáreas y alberga numerosas especies en peligro de extinción, es fundamental para la preservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades locales. A pesar de los esfuerzos de conservación realizados durante 25 años, la protección del parque sigue siendo un desafío. Por lo tanto, esta investigación busca generar información actualizada sobre la dinámica de la macrofauna y las propiedades fisicoquímicas del suelo, lo que permite respaldar decisiones informadas para la conservación y restauración del ecosistema. La colaboración con comunidades locales también es esencial para consolidar el parque como un destino turístico sostenible, beneficiando tanto a la conservación como a la economía local. Finalmente, los resultados de este estudio tienen implicaciones prácticas en la gestión de las Pampas de Heath y en el diseño de estrategias de conservación. Si se identifica una variación estacional significativa en los macro y microbiomas del suelo, se pueden desarrollar medidas de manejo específicas para promover la salud del suelo y conservar la biodiversidad en esta región.

1.8. Consideraciones éticas

Esta investigación se llevó a cabo siguiendo las directrices del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (Resolución de Consejo Universitario N° 288-2022-UNAMAD-CU). Todos los autores y trabajos citados fueron debidamente referenciados, y se siguieron los lineamientos del método científico para garantizar resultados comparables y replicables. Para la evaluación de la macrofauna, se utilizó el método del “Tropical Soil Biology and Fertility Program” (TSBF), mientras que la caracterización fisicoquímica del suelo se realizó conforme al protocolo de Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente 2014.

La ejecución de las actividades en campo se realizó con la plena autorización de la autoridad correspondiente, que es el SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas), a través de su puesto de control San Antonio. Esto garantizó que no hubo ningún tipo de riesgo para los tesisistas ni para la recolección y extracción de muestras del área natural protegida.

Se tuvieron en cuenta las disposiciones de la Ley Forestal N° 29763 y la Ley General del Ambiente N° 28611. El estudio se llevó a cabo con responsabilidad y respeto por el medio ambiente, implementando las medidas necesarias para evitar cualquier deterioro o impacto negativo durante las actividades en campo. Además, se prestó especial atención a las etnias locales, asegurando que sus derechos y conocimientos tradicionales fueron respetados y considerados en todas las fases del estudio. Esto incluye la consulta previa y el consentimiento informado, promoviendo así un enfoque inclusivo y equitativo en la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Vélez (2016) destacó que la caracterización del microbioma proporciona acceso a información genética valiosa, con aplicaciones tanto ecológicas como biotecnológicas. A través del análisis metagenómico, lograron identificar organismos, así como su abundancia y diversidad taxonómica y funcional. Para este análisis, utilizaron parámetros fisicoquímicos, extracción de ADN total y secuenciación aleatoria con la plataforma Illumina HiSeq en muestras de suelo. Se generaron y limpiaron 13 metagenomas, con un total de 64 GB de datos, utilizando el software Tripomatic. Los resultados mostraron que los microbiomas estaban dominados por bacterias, especialmente por los *phylums Proteobacteria* y *Acidobacteria*, mientras que *Euryarchaeota* fue la arquea más común identificada. Además, se descubrieron hongos descomponedores y formadores de micorrizas. El análisis reveló una diversidad más amplia de microorganismos presentes en el suelo, lo que resalta la complejidad y funcionalidad del microbioma estudiado.

Dávila et al., (2022) Buscaron reunir información reciente sobre las funciones ambientales de la macrofauna, así como la variación y el efecto de sus comunidades en relación con el uso y la calidad del suelo. También analizaban su potencial como indicadores biológicos para evaluar la salud del suelo y del ecosistema. Para ello, realizaban una revisión bibliográfica que destacó los hallazgos más relevantes en el Neotrópico, con un enfoque especial en Cuba.

Los resultados obtenidos a nivel nacional e internacional mostraron un impacto negativo del cambio y la intensidad del uso de la tierra sobre la macrofauna edáfica, lo que respaldó su utilización como bioindicadores de alteraciones ambientales. En cuanto a los indicadores de macrofauna propuestos globalmente, concluyeron que eran ventajosos porque no requerían un trabajo taxonómico complejo, eran económicos y podían aplicarse de manera rápida y sencilla en diversas regiones y ecosistemas que necesitaban evaluaciones comparativas. Sin embargo, recomendaron ampliar el uso de estos indicadores en diferentes suelos y ecosistemas en Cuba para fortalecer las acciones de investigación, validación y generalización de resultados.

Giraldo et al., (2019) Examinaron los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en suelos de sistemas ganaderos en ambas regiones de Antioquia. Estudiaron la relación entre la cantidad de esporas, el porcentaje de colonización, la diversidad de géneros de HMA y ciertas propiedades fisicoquímicas del suelo. Encontraron correlaciones significativas entre la densidad de esporas y los niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), fósforo (P) y pH en la región del Magdalena Medio. También identificaron una relación entre el porcentaje de colonización por HMA y el potasio en el Norte de Antioquia. El género *Glomus* fue el más prevalente, representando entre el 75% y el 100% en ambas subregiones, mientras que *Acaulospora spp.* y *Gigaspora spp.* se encontraron en menor cantidad en los suelos del trópico alto. Los hallazgos sugieren que las características climáticas de las áreas analizadas y el tipo de pastos presentes favorecen el desarrollo de diversas micorrizas arbusculares en los suelos, así como una mayor capacidad para establecer relaciones simbióticas con un mayor número de especies vegetales.

Quesada-Alvarado et al., (2020) revelaron que la distribución de los macroinvertebrados acuáticos en ríos tropicales está influenciada por diversos factores, incluyendo el tipo de sustrato, la forma del cauce, el régimen hidrológico y las interacciones bióticas y abióticas. Esta investigación examina las variaciones estacionales en las comunidades de macroinvertebrados en dos sitios a lo largo de un año, considerando variables como la velocidad del

agua, la profundidad, el caudal, el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad, los nutrientes y el tipo de sustrato. Los resultados mostraron que la abundancia de organismos era mayor durante la época seca y disminuía durante la transición hacia la temporada de lluvias. Además, encontraron relaciones entre los macroinvertebrados y factores ambientales como el sustrato, el flujo de agua y los nitratos. Aunque un aumento en el caudal y los niveles de nitratos podrían impactar a especies sensibles, no detectan cambios significativos en las comunidades de macroinvertebrados, lo que sugiere que la cuenca no enfrenta factores estresantes que provoquen una eliminación prolongada de organismos.

Calderón-Medina et al., (2018) evaluaron las propiedades como indicadores de la calidad del suelo en un sistema agroforestal. Analizaron tres tipos de uso del suelo en el Centro de Investigación La Libertad de Agrosavia: bosque, sistema agroforestal (SAF) y pradera, tomando muestras a dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm). Midieron variables químicas y físicas, además de realizar un recuento microbiano de hongos, bacterias y actinobacterias. El análisis estadístico incluyó el Análisis de Componentes Principales (ACP) y pruebas de varianza, centrándose en variables como pH, aluminio intercambiable, fósforo, calcio y magnesio. Los resultados indicaron que el SAF presentó una calidad química moderada con un pH de 5.30 y bajos niveles de AlH, Ca y Mg. Sin embargo, mostró una calidad física deficiente debido a altas densidades aparentes. Aunque las variables biológicas no mostraron diferencias significativas entre los sistemas, el bosque destacó por tener una mayor cantidad de actinobacterias y hongos micorrízicos arbusculares, lo que sugiere una mejor capacidad para nutrientes similares como el fósforo.

Peña-Venegas et al., (2007) Evaluaron la presencia natural de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en suelos ácidos con textura franco-arcillosa a arcillosa en el sur de la Amazonia colombiana, abarcando áreas de bosque, rastrojo joven y praderas establecidas, a dos profundidades distintas. Analizaron la riqueza y abundancia de esporas de HMA en relación con

factores como la acidez del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de carbono orgánico, fósforo total y las fracciones de fósforo soluble y fijado al aluminio, hierro y calcio, así como el contenido total de ADN del suelo. Los resultados mostraron diferencias significativas en el contenido total de ADN y en el número de esporas según la profundidad de muestreo. Se observó que el pH tiene un impacto considerable en el contenido de ADN y en la cantidad de esporas de HMA. Además, las concentraciones de fosfatos de aluminio afectaron el contenido de ADN del suelo, mientras que los fosfatos de hierro influyeron en la esporulación de HMA. En conclusión, se determinó que el número de esporas de HMA en los suelos amazónicos está condicionado por factores como la profundidad, el pH y el tipo de fosfatos minerales presentes.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Según Vásquez (2016) Menciona que la macrofauna del suelo es fundamental para los ecosistemas, ya que contribuye al reciclaje de elementos químicos. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la macrofauna en diferentes sistemas de uso en el Parque Nacional Tingo María, Huánuco, incluyendo Bosque Primario, Bosque Secundario, Sistema Agroforestal de café y cultivos de papaya y plátano. Se recolectaron cinco monolitos de 25 ×25 ×30 cm a lo largo de un transepto de 30 m, extrayendo la fauna manualmente y preservándola en alcohol al 70% y formol. Se registraron un total de 3,385 individuos por metro cuadrado, distribuidos de la siguiente manera: 896 ind/m² en el Sistema Agroforestal (SAC) y Sistema Agroforestal (SA), 880 ind/m² en el Bosque Primario (BP) y 713.6 ind/m² en el Bosque Secundario (BS). Se identificaron 16 unidades taxonómicas, con 13 en BP, BS y SAC, y 12 en SA. El grupo más dominante fue Oligochaeta, especialmente en BP (59%), mientras que en SAC predominó Diplopoda (99.20 ind/m²). La biomasa total de macroinvertebrados fue de 51.68 g/m², siendo SAC el que presentó la mayor biomasa (18.55 g/m²), seguido por SA (15.45 g/m²), BP (9.64 g/m²) y BS (8.03 g/m²), con Diplopoda predominando en SAC (44.67%) y coleópteros en BS (19%).

Delgado et al., (2021) evaluaron el impacto de dos edades del árbol faique (*Acacia macracantha*) sobre las características del suelo en un sistema silvopastoril que incluye el pasto. castilla (*Panicum máximo Jacq*). La investigación llevó a cabo en el distrito de Bellavista, Cajamarca, Perú. Analizaron aspectos como la resistencia mecánica, la densidad aparente, la humedad y la temperatura del suelo, así como el contenido de materia orgánica, fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) en tres ubicaciones: bajo la copa de árboles jóvenes (BCAj), bajo la copa de árboles medianos (BCAm) y fuera de la copa del árbol (FCA), durante dos estaciones del año (seca y lluviosa). Utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial de 3 ubicaciones y 2 épocas. Los resultados revelaron que bajo la copa de los árboles medianos registró una temperatura del suelo más baja ($27.96\text{ }^{\circ}\text{C}$) y una mayor humedad (15.23%), lo que también contribuyó a mejorar la fertilidad del suelo. Este estudio demostró que la presencia de árboles en sistemas silvopastoriles mejora tanto las condiciones físicas como químicas del suelo, además de crear un microclima que beneficia el entorno circundante.

Porras (2016) propuso analizar la relación entre la macrofauna del suelo y la salud biológica del paisaje en esta comunidad. Para llevar a cabo esta investigación, aplicó la metodología del Programa Internacional de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF). Utilizó un diseño no experimental correlacional que abarcó 14 tipos de uso del suelo, cada uno con 6 repeticiones. Las variables evaluadas incluyen la densidad de macrofauna por metro cuadrado, los índices de biodiversidad y las correlaciones entre materia orgánica y macrofauna total. Los resultados mostraron una relación significativa entre la macrofauna del suelo y la salud biológica, evidenciando que los usos de suelo en reposo, los bosques mixtos y los sistemas agrícolas sostenibles presentaron mayores índices de biodiversidad en términos de riqueza, dominancia y salud del suelo en comparación. con aquellos que no contaban con períodos de descanso. En conclusión, consideran que la biodiversidad edáfica influye positivamente en la salud del suelo, actuando como un indicador clave de calidad y sostenibilidad en la gestión de suelos en

áreas de altitud baja y media. Este hallazgo resalta la importancia de considerar la macrofauna del suelo como un elemento vital para mantener el equilibrio ecológico y mejorar las prácticas agrícolas en la región.

Trigoso (2019) tuvo como objetivo evaluar la calidad del suelo. La metodología aplicada basó en el Programa Internacional de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF), que consiste en extraer monolitos de suelo de dimensiones 25 x 25 x 30 cm, dividiéndolos en tres estratos utilizando una pala: hojarasca o mantillo, de 0 a 10 cm de profundidad, de 10 a 20 cm, y de 20 a 30 cm. Realizaron cinco repeticiones aleatorias por parcela. Los resultados revelaron la identificación de 15 órdenes de macrofauna, incluyendo Opiliones, *aranea*, *blattodea*, *orthoptera*, *himenoptera*, *isópoda*, *coleóptera*, *dermáptera*, *homoptera*, *crassiclitellata*, *hemiptera*, *collembola*, *zigontoma*, *pseudoescorpion* y *devonobiomorpha*. Las termitas destacaron con una densidad de 1213 ind/m², seguidas por escarabajos (768 ind/m²), hormigas (656 ind/m²) y ciempiés (560 ind/m²). En cuanto a las actividades funcionales, la parcela III mostró la mayor población detritívora con 720 ind/m² y la mayor población de no detritívoros con 1284 ind/m²; mientras que la parcela I reportó 640 ind/m² de detritívoros y 1168 ind/m² de no detritívoros. La parcela V presentó 176 ind/m² de población detritívora y 288 ind/m² de población no detritívora. El índice calculado fue de 0.56-0.55-0.61 respectivamente, indicando un nivel bajo de calidad del suelo al estar en el rango inferior a 1.

Santillana y Toro (2018) tuvieron como objetivo evaluar el estado de micorrización en cuatro especies de pastos naturales de la comunidad de Ccarhuaccpampa midió el número de esporas por cada 100 g de suelo, caracterizaron las esporas y calculó el porcentaje de colonización en las raíces. La cantidad de esporas por 100 g de suelo rizosférico varió según la especie vegetal, oscilando entre 66 y 732. Identificaron 16 morfotipos de hongos micorrízicos pertenecientes a tres géneros: *Glomus*, *Acaulospora* y *Entrophospora*, siendo *Glomus* el más destacado por su diversidad y presencia en los diferentes suelos analizados. Observó una baja micorrización

en las raíces estudiadas, con porcentajes del 20% y 27%, así como la confirmación de la existencia de asociaciones micorrízicos arbusculares en todas las especies examinadas. Además, encontró una fuerte correlación entre el número de esporas por 100 g de suelo y el porcentaje de micorrización en las raíces, lo que sugiere una tendencia similar entre ambas mediciones.

2.1.3. Antecedentes Locales

Otazu y Farfan (2016) presentaron la primera investigación sobre la diversidad de escarabajos coprófagos en esta área. Realizaron muestreos en dos hábitats: Pastizales de Suelos No Inundables (PSI) y Bosque de Tierra Firme (BTF), durante las estaciones seca y lluviosa, utilizando trampas cebadas con excremento humano y pescado. Recolectaron 2371 individuos de seis tribus, 17 géneros y 44 especies, incluyendo seis nuevos registros para Perú. Los géneros más abundantes fueron *Canthon* (866 individuos), *Onthophagus* (473) y *Canthidium* (458). El BTF mostró mayor riqueza con 36 especies, mientras que PSI presentó 18. La mayor abundancia en PSI registró en la estación seca, mientras que en BTF fue en la época de lluvias. El índice de diversidad de Shannon-Wiener fue más alto en BTF ($H' = 2.38$) que en PSI ($H' = 1.79$). Los hallazgos contribuyen al conocimiento sobre estos escarabajos y sugieren su utilidad para programas de monitoreo y conservación en las Pampas de Heath.

Ccoycca (2018) evaluaron la macrofauna del suelo en 25 predios agroforestales de estas localidades. Recolectaron muestras de hojarasca y suelo para identificar y pesar los macroinvertebrados, además de analizar las propiedades físicas y químicas del suelo y realizar un inventario de cultivos en cada predio. Registró una densidad total de 163.09 ind/m², con 20 órdenes diferentes y una biomasa de 17.09 g/m². Los órdenes más abundantes fueron *Haplotaxida*, *Hymenóptera*, *Isoptera* y *Coleoptera*, siendo *Haplotaxida* y *Coleoptera* los que más contribuyeron a la biomasa. La diversidad de la macrofauna fue baja. Aunque las variaciones en las características del suelo no afectaron a la macrofauna, la presencia de cultivos de cacao y especies

maderables como Achihua y Tornillo tuvo un impacto positivo, incrementando tanto la biomasa como la diversidad de la macrofauna.

López (2001) en su estudio sobre la materia orgánica y la mineralización de nutrientes mediante experimentos de incubación en montículos de *Nasutitermes ephratae* y en los suelos asociados de las sabanas del Orinoco. Las termitas desempeñan un papel crucial en los procesos de descomposición dentro de los ecosistemas de sabanas y bosques tropicales. Durante la construcción de sus montículos, estas termitas alteran las características físicas, químicas y bioquímicas del suelo que utilizan, así como el de las áreas adyacentes. Como resultado, los compuestos orgánicos, especialmente el carbono (C) y el nitrógeno (N), y en algunos casos el fósforo (P), son más abundantes en los nidos de termitas que en los suelos circundantes.

Hernández (2016) Tuvo como objetivo evaluar la densidad de esporas y la colonización de hongos micorrízicos arbusculares en cacao silvestre, así como su relación con las características del suelo. Se recolectaron 54 muestras de suelo y raíces en los departamentos de Madre de Dios y Ucayali, analizando propiedades químicas (como pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, capacidad de intercambio catiónico, aluminio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc) y físicas (textura) del suelo, además de la presencia de hongos micorrízicos. La densidad de esporas se determinó mediante tamizado húmedo, y la colonización se evaluó a través de la clarificación y coloración de las raíces. Se realizaron análisis de varianza y comparaciones entre los departamentos y zonas estudiadas usando el test de Tukey. Los resultados mostraron que Ucayali tenía una mayor densidad de esporas y colonización micorrítica, posiblemente debido a un mayor contenido de arcilla en sus suelos. Aunque no se encontraron diferencias significativas en la densidad de esporas entre los departamentos, se observó que el calcio (Ca) estaba más relacionado con la colonización, lo que sugiere su importancia en la comunicación química entre la planta y el hongo. El pH, el contenido de potasio, el hierro, la capacidad de intercambio catiónico efectiva y el porcentaje de arcilla mostraron correlaciones significativas con la

densidad de esporas. En general, la densidad de esporas se asoció más con factores del suelo, mientras que la colonización estuvo relacionada con factores fisiológicos de las plantas. La diversidad fue baja, encontrándose únicamente el género *Glomus* sp. Se concluyó que existe una dependencia geográfica en la colonización y la densidad de esporas.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Macrofauna de suelo

La macrofauna se refiere a los organismos de mayor tamaño que habitan en un ecosistema acuático o terrestre. Estos organismos son generalmente visibles a simple vista y se distinguen por su tamaño y complejidad estructural (Bardier, 2005).

En los ecosistemas terrestres, la macrofauna puede encontrarse en los suelos, bosques, pastizales y otros hábitats. Estos organismos contribuyen a la formación y estructuración del suelo, la descomposición de materia orgánica, la dispersión de semillas y la polinización de plantas terrestres. Además, muchos de ellos interactúan con otros organismos en complejas redes tróficas y desempeñan roles importantes en la regulación de poblaciones y la estabilidad del ecosistema (Bardier, 2005).

Tabla 3. Clasificación taxonómica de los organismos integrales de la macrofauna edáfica.

Filo	Clase	Sub-Clase	Orden
Annelida	<i>Clitellata</i>	–	<i>Oligochaeta</i>
Arthropoda	<i>Arachnida</i>	–	<i>Araneae</i>
		–	<i>Coleoptera (lavas y adultos)</i>
	<i>Insecta</i>	–	<i>Dictyoptera</i>
		–	<i>Diptera</i>
		–	<i>Hemiptera</i>
		–	<i>Hymenoptera</i>
		–	<i>Homoptera</i>
		–	<i>Isoptera</i>
		–	<i>Lepidoptera</i>
		–	<i>Orthoptera</i>
	<i>Crustacea</i>	–	<i>Isopoda</i>
	<i>Myriapoda</i>	–	
		<i>Chilopoda</i>	
		<i>Diplopoda</i>	
Nematoda	<i>Adenophorea</i>	–	<i>Mermithida</i>
Mollusca	<i>Gastropoda</i>	–	

Fuente: (Zerbino, 2010).

El estudio de la macrofauna es fundamental para comprender la biodiversidad, la dinámica de los ecosistemas y los impactos ambientales. Los investigadores utilizan diversas técnicas, como muestreos de campo, análisis de muestras y observaciones directas, para caracterizar y cuantificar la composición, abundancia, distribución y funciones de la macrofauna en diferentes entornos. Esta información es crucial para la conservación de los ecosistemas y el desarrollo de estrategias de gestión y restauración ambiental (Cabrera, 2012).

2.2.2. La macrofauna como indicador biológico

La macrofauna del suelo es un reflejo de la biodiversidad en los ecosistemas, impactando tanto la naturaleza como el funcionamiento de los suelos. Los invertebrados que forman parte de esta macrofauna presentan características que los convierten en indicadores biológicos eficaces. Entre estas características destacan su amplia diversidad tanto taxonómica como ecológica, su tendencia a ser relativamente sedentarios, su presencia

constante durante todo el año y la facilidad con la que pueden ser manipulados e identificados mediante tratamientos taxonómicos (Cabrera, 2012).

2.2.3. Micorrizas

Las micorrizas son la relación que se establece entre ciertos hongos (microbiotas) y las raíces de las plantas (fitobiontes). Desde una perspectiva funcional y estructural, se definen como "órganos de absorción dual que se desarrollan cuando los hongos simbióticos habitan en los órganos de absorción sanos, como raíces, rizomas o talos, de plantas terrestres, acuáticas o epífitas". En esta relación simbiótica, la planta proporciona al hongo carbohidratos (azúcares producidos durante la fotosíntesis) y un microhábitat que le permite llevar a cabo su ciclo de vida. A cambio, el hongo ayuda a la planta a absorber más agua y nutrientes minerales que son limitados en el suelo, especialmente fósforo, y también ofrece protección contra patógenos (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.2.4. Población de Microbiomas

a) Raíces

Una raíz es un órgano de las plantas que se desarrolla bajo el suelo y desempeña varias funciones vitales. Su principal función es la absorción de agua y nutrientes del suelo, lo que es esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta. Además, las raíces anclan la planta al sustrato, proporcionando estabilidad y soporte (Megías, 2020).

b) Micorrizas arbusculares

Las micorrizas arbusculares son hongos simbióticos mutualistas entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del grupo Glomeromycota. Estas asociaciones simbióticas son ampliamente distribuidas y se forman entre la mayoría de las plantas terrestres y los hongos arbusculares (Perez C et al., 2011).

c) Hongos Micorrizas Arbusculares (HMA).

Los HMA forman una red en el suelo mediante señales fitoquímicas que permiten la transferencia de nutrientes, el aumento de la biomasa y la mejora del estado hídrico (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.2.5. Características químicas del suelo

Estas propiedades como indicadores de la calidad del suelo afectan la relación suelo-planta, así como la disposición de nutrientes para las plantas. Los indicadores que reflejan los parámetros de fertilidad son: pH, materia orgánica y nitrógeno, trascendentales para la producción de cultivos; las concentraciones potencialmente tóxicas tal como el aluminio y el magnesio también son significativas (Calderón-Medina et al. 2018).

2.2.6. Características físicas del suelo

Las características físicas del suelo incluyen su textura (proporción de arena, limo y arcilla), estructura (organización de las partículas), porosidad (espacio vacío entre las partículas), densidad (compacidad del suelo), capacidad de retención de agua y permeabilidad (flujo de agua). Estas características afectan la capacidad de retención de nutrientes, la infiltración de agua, el desarrollo de raíces y la actividad biológica del suelo (FAO, 2023).

2.2.7. Pampas de Heath

Las Pampas de Heath, ubicadas en la región de Madre de Dios, Perú, son un ecosistema de sabana y llanuras que se caracterizan por su biodiversidad y paisajes únicos. Esta área se destaca por su vegetación compuesta principalmente de gramíneas y algunos árboles dispersos, y es hogar de diversas especies de flora y fauna, muchas de las cuales son endémicas. También son importantes para la conservación, ya que forman parte de iniciativas de protección de la biodiversidad en la Amazonía peruana, contribuyendo a la sostenibilidad de los recursos naturales y al bienestar de las comunidades locales. Además, son un área de interés para la investigación científica y el ecoturismo (MINAM, 2019).

Constituyen una formación de sabana tropical que se extiende entre los ríos Heath y Tambopata, dentro del Parque Nacional Bahuaja Sonene. Este ecosistema singular presenta un mosaico de pastizales, bosques enanos y

parches de selva alta, con suelos arenosos, pobres en nutrientes y sujetos a variaciones estacionales marcadas. Las Pampas de Heath son esenciales para la investigación ecológica, ya que representan una transición entre ambientes amazónicos húmedos y sabanas abiertas, ofreciendo un escenario natural para estudiar la dinámica de la macro y microfauna del suelo (Sandoval lake, 2022).

2.2.8. Causas de incendios en las Pampas de Heath

El Santuario Nacional Pampas de Heath, un ecosistema de sabana húmeda de palmeras en Madre de Dios, enfrenta una amenaza constante de incendios forestales que comprometen su biodiversidad. La razón fundamental de estos siniestros es la compleja interacción entre la acción humana y las condiciones climáticas extremas (Calzadilla et al., 2008).

La causa principal es la acción humana, ligada a las actividades de expansión territorial. Específicamente, los pobladores emplean la quema de vegetación, una práctica que se descontrola y se propaga rápidamente, con el fin de preparar la tierra para la agricultura de subsistencia o para renovar pastizales para la ganadería. Esto resulta en la degradación y fragmentación del hábitat (SERNAP, 2023).

Este factor humano es potenciado por el contexto ambiental. El cambio climático intensifica y prolonga las sequías o estiajes, que ocurren generalmente entre julio y septiembre, secando la vegetación y convirtiendo el ecosistema en un denso material combustible. Cualquier chispa, intencional o accidental, se transforma entonces en un desastre incontrolable.

2.2.9. Variación estacional

La variación estacional se refiere a los cambios cíclicos que ocurren en el clima, la flora y fauna, la agricultura y las actividades humanas a lo largo de las diferentes estaciones del año. Estos cambios afectan las temperaturas, precipitaciones, ciclos de vida de las especies, producción agrícola y patrones de salud, influyendo así en la vida cotidiana y en los ecosistemas de la Tierra (TNC, 2022).

2.2.10. Parque Nacional

Es un área natural protegida destinada principalmente a la conservación de ecosistemas representativos, comunidades biológicas y paisajes naturales de importancia científica, educativa y recreativa. Su gestión prioriza la preservación de la biodiversidad y el mantenimiento de procesos ecológicos esenciales, con un uso humano restringido o regulado. En el Perú, los parques nacionales forman parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), administrado por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANPE, 2025).

2.2.11. Microbiomas

Los microbiomas se refieren al conjunto de microorganismos que habitan en un ecosistema específico tal es el caso del suelo, los océanos, los ríos, los bosques, entre otros. Estos microorganismos desempeñan un papel fundamental en los ciclos de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, la producción de alimentos y la regulación de la salud de los ecosistemas.

En el ecosistema terrestre, el microbioma del suelo juega un papel fundamental. Este incluye una variedad de bacterias, hongos, virus y otros microorganismos que interactúan con los elementos físicos y químicos del suelo. Estos microorganismos ayudan en la descomposición de la materia orgánica, la fijación de nitrógeno, la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la defensa contra patógenos (Cruz-Leyva et al., 2015).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Clima

“indica que, desde la perspectiva del agente formador del suelo, el componente climático es primordial, ya que factores como la humedad, la precipitación, la temperatura, la radiación solar, la presión, la luz y otros influyen en la formación del suelo” Intagri (2024).

2.3.2. Temporada lluviosa

Corresponde al periodo del año en el que se registra la mayor cantidad de precipitaciones, generalmente entre noviembre y abril. Durante esta época, el incremento de la humedad favorece la actividad biológica, la descomposición de la materia orgánica y el desarrollo de las comunidades vegetales y edáficas. En el contexto de las Pampas de Heath, la temporada lluviosa determina una mayor infiltración de agua y una mayor disponibilidad de nutrientes en la capa superficial del suelo (SERNANP, 2017).

2.3.3. Temporada seca

“Abarca los meses de mayo a octubre, con lluvias escasas y mayor exposición solar. Las temperaturas pueden ser ligeramente más bajas durante las noches, y el suelo tiende a presentar condiciones más compactas y menos oxigenadas. Esta estacionalidad influye directamente en la abundancia, biomasa y comportamiento de los organismos del suelo, así como en la colonización micorrícica de las raíces” (SERNANP, 2017).

2.3.4. Cobertura vegetal

“Se refiere al tipo y extensión de vegetación que recubre el suelo, influyendo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La cobertura vegetal regula la erosión, la infiltración del agua y el reciclaje de nutrientes, además de proporcionar hábitat y alimento a numerosas especies de fauna” (MINAM, 2015).

2.3.5. Cobertura boscosa

“Caracterizada por la presencia de árboles de gran porte, dosel cerrado y abundante hojarasca. Los bosques tropicales mantienen una humedad constante, reducen la temperatura del suelo y fomentan la acumulación de materia orgánica, lo que favorece la biodiversidad del suelo y las interacciones simbióticas como las micorrizas” (MINAM, 2015).

2.3.6. Cobertura de pastizal

“Conformada principalmente por especies herbáceas y gramíneas, con escasa sombra y mayor exposición solar. Este tipo de cobertura presenta menor retención de agua y un ciclo de materia orgánica más rápido, lo que genera condiciones edáficas distintas respecto al bosque, particularmente en

lo que se refiere a temperatura del suelo, pH y contenido de nutrientes disponibles” (MINAM, 2015).

2.3.7. Macrofauna

“Este grupo de organismos se caracteriza por su tamaño, que oscila entre 2 y 20 mm. Está compuesto por formícidos (hormigas), isópodos (bicho bolita), isópteros (termitas), quilópodos (ciempiés), entre otros. La mayoría de estos organismos presentan un ciclo biológico prolongado, movimientos lentos y limitada capacidad de dispersión, así como una baja tasa de reproducción. Sus hábitos alimenticios son muy diversos, abarcando categorías como fitófagos, detritívoros, depredadores y geófagos, entre otros” (Zerbino-Altier, 2006).

Estos invertebrados de gran tamaño se desplazan con libertad, tienen la capacidad de excavar en el suelo y generar amplios poros. Tanto sus actividades físicas, como la mezcla del mantillo con el suelo, la construcción de estructuras y galerías, así como sus procesos metabólicos, que incluyen el aprovechamiento de fuentes orgánicas disponibles y el establecimiento de relaciones mutualistas y antagonistas, influyen en numerosos procesos del suelo. (Zerbino-Altier, 2006)

2.3.8. Profundidad

“Es la distancia vertical desde la superficie del suelo hasta un punto determinado dentro del perfil edáfico. La distribución de la macrofauna suele variar con la profundidad, concentrándose en los primeros centímetros donde existe mayor contenido de materia orgánica y oxígeno” (ZÚÑIGA et al., 2010).

2.3.9. Hojarasca

“Estrato superficial del suelo obtenido de desechos vegetales y animales recién acumulados o que han alcanzado alguna cota de descomposición” (FAO, 2023).

2.3.10. Abundancia

“Hace referencia al número total de individuos de una especie o grupo funcional en una unidad de muestreo. Es un indicador ecológico que permite evaluar la productividad y estabilidad de un ecosistema” (Mamabolo et al., 2024).

2.3.11. Diversidad

“La diversidad de especies considera tanto el número de especies; como el número de individuos o abundancia de cada especie existente en un lugar determinado. Se evalúa mediante índices, que son herramientas utilizadas en estudios florísticos y ecológicos para comparar la diversidad de especies, ya sea entre tipos de hábitat, tipos de bosques, etc. (Saldaña-Chafloque et al., 2022)”.

2.3.12. Biomasa

“Cantidad total de materia orgánica viva o muerta expresada generalmente en gramos o kilogramos de peso seco por metro cuadrado. En estudios ecológicos, la biomasa de la macrofauna del suelo refleja la productividad biológica y la capacidad de los organismos para transformar materia orgánica en nutrientes disponibles” (Idalmis et al. 2002).

2.3.13. Raíz

“Órgano vegetal que crece generalmente hacia el interior del suelo. Además de absorber agua y minerales, actúa como soporte y almacén de nutrientes. Su arquitectura y profundidad influyen en la colonización micorrícica y en la interacción con la fauna edáfica” (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.3.14. Colonización radicular

“Proceso por el cual los hongos micorrícicos penetran y colonizan los tejidos de la raíz, estableciendo una red simbiótica funcional. El grado de colonización depende de factores como el tipo de suelo, la especie vegetal y las condiciones ambientales” (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.3.15. Familia arbórea

“Categoría taxonómica que agrupa especies de árboles con características morfológicas, genéticas y ecológicas comunes. En los bosques amazónicos, la diversidad de familias arbóreas es un factor determinante para la diversidad de asociaciones micorrícicas” (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.3.16. Esporas

“Son los órganos de origen sexual responsables de la reproducción y expansión de la especie. Cumplen una función similar a la de las semillas en

las plantas superiores. Aunque su formación y función son distintas, operan de manera análoga a las semillas en las plantas” (Serrano, 2020).

2.3.17. Vesícula

“Estructura esférica formada dentro de las células radiculares o en el suelo, utilizada por los hongos como órgano de almacenamiento de lípidos y carbohidratos” (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.3.18. Micelio

“El micelio consiste en una red de filamentos o hifas que se entrelazan y pueden extenderse a lo largo de kilómetros. Su formación permite que los árboles y bosques capten una mayor cantidad de nutrientes del suelo” (Fungi, 2020).

2.3.19. Arbúsculos

“Estructura altamente ramificada que se forma dentro de las células corticales de la raíz. Es el principal sitio de intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta” (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

2.3.20. Porcentaje de colonización radicular (PCR)

Parámetro cuantitativo que expresa el grado de infección micorrícica de las raíces, calculado como el porcentaje de segmentos radiculares colonizados respecto al total observado. Este indicador refleja la intensidad de la relación simbiótica entre planta y hongo (Zúñiga, 2015).

2.3.21. Suelo

“El suelo es la capa externa de la Tierra que sirve como el entorno en el que se desarrollan las plantas. Tiene la capacidad de proporcionar los nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal y de retener agua de las lluvias, la cual se libera a las plantas según sus necesidades” (FAO, 2000).

2.3.22. pH

“Indicador del grado de acidez o alcalinidad del suelo. Los valores bajos (ácidos) limitan la disponibilidad de nutrientes esenciales y favorecen la solubilización de elementos tóxicos como el aluminio” (HANNA, 2020).

2.3.23. Materia orgánica

“A este lo definen como el elemento heterogéneo del suelo, que envuelve restos orgánicos de las plantas, aéreos o subterráneos, en múltiples fases de descomposición, desechos del dinamismo de los organismos del suelo y sus restos” (Pascual-Venegas, 2014).

2.3.24. Fósforo (P)

“El fósforo es el segundo nutriente mineral más importante en la agricultura, tanto a nivel nacional como internacional. Su relevancia se debe a que es un elemento altamente reactivo en el suelo, lo que lleva a que se transforme rápidamente en formas más complejas que son difíciles de absorber por las plantas”. (INTAGRI S.C., 2024).

2.3.25. Potasio (K)

Este macronutriente es fundamental para las plantas, que necesitan cantidades significativas, a veces comparables a las requeridas para el nitrógeno. El potasio es crucial para activar más de 60 enzimas que desempeñan un papel en varios procesos metabólicos, siendo especialmente importante en la fotosíntesis y en la síntesis de proteínas y carbohidratos. Además, contribuye al equilibrio hídrico y al crecimiento de los meristemos. (INTAGRI S.C. 2024).

2.3.26. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

“Es una característica del suelo que mide la cantidad de cationes (iones positivos) que puede retener y reemplazar. Esta propiedad es fundamental para la fertilidad del suelo, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas”. (Intagri, 2024).

2.3.27. Calcio intercambiable (Ca^{+2})

“Cación básico que mejora la estructura del suelo y contrarresta la acidez” (Lopes & Guimarães Guilherme, 2016).

2.3.28. Magnesio (Mg^{+2})

“Elemento esencial que participa en la síntesis de clorofila y en la activación enzimática” (Anastassakis, 2022).

2.3.29. Acidez intercambiable del suelo ($AL^{+3}H^{+}$)

“Refleja la presencia de iones de aluminio y de hidrógeno en el complejo de cambio del suelo. Altas concentraciones de Al^{3+} pueden ser tóxicas para las raíces e inhibir el crecimiento vegetal” (Escobar, 2009).

2.3.30. Conductividad eléctrica (CE)

Este representa una medida indirecta de la salinidad; a mayor facilidad para que la electricidad fluya en un medio acuoso, mayor será la concentración de sales. Actualmente, hay equipos innovadores diseñados para medir esta propiedad en diferentes contextos agrícolas (ya sea en líquidos o en suelo) y que convierten los datos en TDS, que significa "sólidos solubles totales" (Intagri, 2024).

2.3.31. Sodio intercambiable (Na^{+})

“Cación que, en exceso, deteriora la estructura del suelo y reduce su permeabilidad” (Bleam, 2017).

2.3.32. Potasio Intercambiable (K^{+})

“Porción de potasio retenida en el complejo de intercambio del suelo y disponible para ser absorbida por las plantas” (Islam et al., 2023).

2.3.33. Arena

“Fracción del suelo compuesta por partículas de gran tamaño (0.05–2 mm). Proporciona buena aireación y drenaje, pero baja capacidad de retención de agua” (Rucks et al. 2004).

2.3.34. Limo

“Fracción de tamaño intermedio (0.002–0.05 mm) que contribuye a la retención de humedad y a la cohesión del suelo” (Rucks et al 2004).

2.3.35. Arcilla

“Fracción más fina (<0.002 mm), con alta superficie específica y capacidad de adsorción de nutrientes” (Rucks et al 2004).

2.3.36. Clase textural

“Combinación de las proporciones de arena, limo y arcilla, que determina la textura del suelo (arenosa, limosa, arcillosa, franco-arenosa, etc.). La textura influye directamente en la fertilidad, la infiltración y la retención de agua, aspectos determinantes en la dinámica de macro y microbiota del suelo” (Rucks et al 2004).

2.3.37. Textura del suelo

“Se refiere a una característica del suelo que está determinada por la proporción de arena, limo y arcilla presentes. La textura del suelo influye en la facilidad de trabajo, la cantidad de agua y aire que puede retener, así como en la velocidad a la que el agua se infiltra y se desplaza a través del suelo” (LABISER, 2023).

CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

Enfoque: Cuantitativo

Diseño: No experimental

Nivel: Descriptivo /Exploratorio

Tipo: Básico o pura

La investigación se concibió con un propósito exploratorio y descriptivo debido a la ausencia de antecedentes de estudios previos sobre la variación estacional de macro y microbiomas, así como de las características físico-químicas del suelo en las Sabanas húmedas de las Pampas de Heath.

El enfoque metodológico fue cuantitativo ya que analizamos datos numéricos para probar la hipótesis y Fue descriptivo porque se recolectaron datos para medir y evaluar las características de las variables de interés, logrando una descripción detallada del fenómeno investigado (Álvarez, 2011). Asimismo, fue correlacional porque se buscó establecer y medir el nivel de relación entre dos o más variables mediante un análisis estadísticamente comparativo (Álvarez, 2011).

3.2. Diseño de estudio

La investigación fue de tipo no experimental con alcance transversal (Gonzales, 2024). Este enfoque implicó la recopilación de datos durante dos temporadas (estación seca y lluviosa), lo que permitió identificar patrones y relaciones entre las variables de interés sin manipularlas. Así, se obtuvo una visión clara de la situación analizada y se facilitó la generalización de los resultados.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está conformada por los suelos de Pampas de Heath que abarca 133 000 hectáreas, con coberturas vegetales (Pastizal y bosque).

3.3.2. Muestra

Tipo de muestra fue no probabilístico por conveniencia (Porrás, 2016). Esta metodología fue seleccionada debido a la accesibilidad y la conveniencia para el equipo de investigación, permitiendo una elección arbitraria de las unidades de estudio (Otzen y Manterola 2017). Específicamente, se tomó en cuenta la facilidad de acceso a los sitios dentro de las Pampas de Heath.

La elección de este método facilitó la eficiencia y la efectividad en la realización del estudio, dada la disponibilidad inmediata de las parcelas.

Para el estudio se evaluaron seis parcelas de 50×50 m², las cuales fueron ubicadas estratégicamente en las Pampas de Heath. En estas parcelas se evaluaron las siguientes variables:

a) Muestra de macrofauna:

El muestreo de la macrofauna fue de tipo superficial estratificado después de la colecta manual acorde al manual tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), comprendiendo así la extracción de 6 monolitos por cada parcela de muestreo efectuando así la extracción de muestra de suelo.

b) Muestra de suelo para las características físicas y químicas.

Para el análisis del suelo, se realizó el muestreo a diferentes profundidades, abarcando desde 50 cm hasta 200 cm (específicamente a 50 cm, 100 cm, 150 cm y 200 cm). Para la extracción, se utilizó un barreno espiral para obtener las muestras. Posteriormente, estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para obtener la caracterización físico-química del suelo.

c) Muestra de micorrizas arbusculares

Para esto se extrajeron las raíces superficiales de las especies leñosas circundantes al área de estudio, las muestras de las raíces fueron

acompañadas con sus muestras de superficie de suelo para la debida caracterización en el laboratorio.

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Área de estudio

La investigación se realizó en las sabanas húmedas Pampas de Heath. Este santuario se encuentra en el extremo sur-oriental de la región de Madre de Dios, justo en el territorio fronterizo con Bolivia. El área de estudio está delimitada por los ríos Heath y Palma Real, y sus coordenadas geográficas es 12°46'50" latitud sur y 68°54'03" longitud oeste.

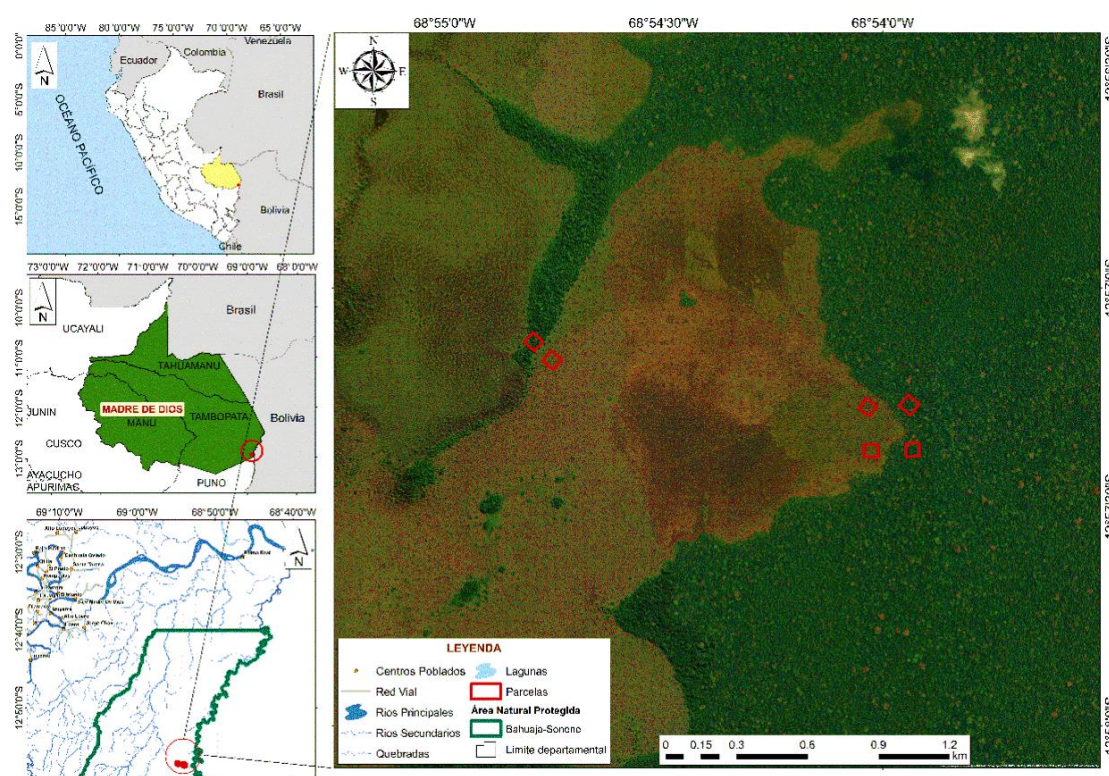


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

a) Suelo

El tipo de suelo observable es un aluvial antiguo afectado por un drenaje deficiente. Estos suelos se caracterizan por tener un pH que varía entre 5.7 y 3.5, con concreciones ferrosas de un color rojo intenso cuya cantidad aumenta con la profundidad. Además, se clasifican como Gleyson de desarrollo incipiente y contienen una cantidad muy baja de materia orgánica.

b) Periodo de precipitación y temperatura

El Parque Nacional Bahuaja Sonene se ubica en una región donde convergen el clima húmedo tropical y el subtropical amazónico. Este entorno crea condiciones ideales para una rica biodiversidad, con precipitaciones anuales que alcanzan los 2.400 mm. La temperatura promedio es de 30° C, y en verano puede elevarse hasta los 38° C, mientras que en invierno es posible que descienda a 8° C. Durante junio y julio, los 'friajes' traen vientos fríos de la Antártida, provocando estas bajas temperaturas. Entre diciembre y marzo, las lluvias inundan las pampas, formando vastos pantanos que son cruciales para diversas especies, incluyendo aves migratorias y residentes. Estas condiciones acuáticas son esenciales para la vida silvestre y contribuyen al equilibrio del ecosistema. El parque, además de ser un refugio para la flora y fauna, desempeña un papel clave en la regulación del clima local, y su conservación es vital para proteger la biodiversidad de la región amazónica. (SERNANP, 2020).

c) Clima

“La temperatura promedio varía entre los 18 y 32 °C anuales, teniendo un clima cálido y lluvioso todo el año” (SENAMHI, 2025).

3.4.2. Instalación de área de estudio

Para la instalación de las 6 parcelas se delimitó un área de 50×50 m en cada una de ellas, tratando de cubrir una mayor área que esté delimitada por cuerpos de agua y con presencia de vegetación circundante. Luego se realizó la limpieza del terreno para retirar los residuos de vegetación superficial con la ayuda de la herramienta (machete).

3.4.3. Metodología para la colecta de macroinvertebrados

Fase de campo

La colecta de muestras se llevó a cabo en dos temporadas distintas: la estación seca y la estación lluviosa, realizando una colecta por cada temporada. Para este proceso, se adoptó la metodología estándar recomendada por el “Programa de Biología y Fertilidad de los Suelos Tropicales” (TSBF)(Anderson, J.M. and Ingram, 1993), (Figura 2).

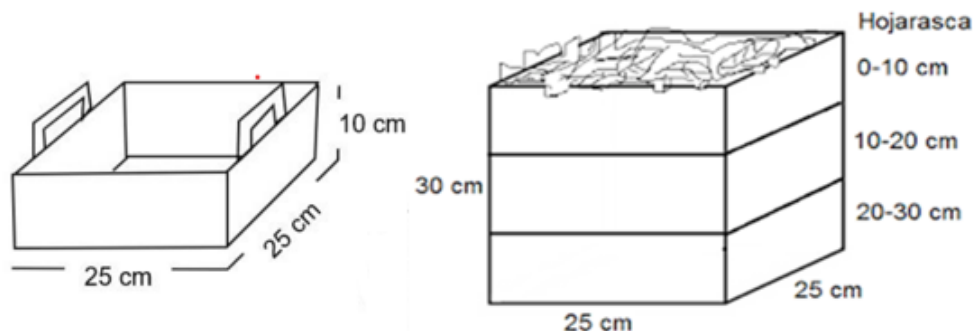


Figura 2. Separación de los diferentes bloques del suelo para la colecta de macroinvertebrados.

Fuente: Metodología de muestreo adaptado de Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) (Anderson y Ingram 1993).

En cada parcela de estudio, se utilizó un marco muestreador metálico (25×25×10 cm) para extraer seis monolitos de suelo por parcela, distribuidos en línea recta y separados por 5 metros entre sí. Para obtener la profundidad total de 30 cm por monolito, las muestras de suelo se extrajeron progresivamente, utilizando el marco para delimitar y muestrear la muestra de suelo cada 10 cm de profundidad (Figura 2).

La colecta de macroinvertebrados se realizó directamente en campo. Los organismos se agruparon en cuatro categorías según su procedencia dentro del perfil del suelo: la hojarasca y las tres profundidades del suelo (0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm). Los especímenes de cada uno de estos cuatro grupos fueron colocados en frascos separados y debidamente codificados, repitiéndose este procedimiento en cada parcela de estudio. Para la conservación de las muestras de macroinvertebrados, se utilizó alcohol de 96° como preservante hasta su traslado al laboratorio. (Anderson, J.M. and Ingram, 1993).

Fase de laboratorio

Una vez que las muestras llegaron al Laboratorio de Suelos Forestales de la UNAMAD, se inició su procesamiento con la limpieza de los especímenes. Posteriormente, se contaron y fotografiaron, se determinó su peso utilizando una balanza digital de precisión y se realizó la identificación taxonómica,

alcanzando al menos el nivel de Orden. A partir de estos datos, se procedió a la evaluación de las siguientes variables clave: abundancia, diversidad, biomasa y densidad.

- **Abundancia de los macroinvertebrados**

La abundancia de macroinvertebrados se determinó mediante el cálculo del número total de individuos por unidad experimental (parcela) y por estación de muestreo (seca y lluviosa).

- **Densidad de los macroinvertebrados**

La densidad se determinó calculando el número de individuos por cada metro cuadrado (individuos/m²) (Ecuación 1).

$$D = \frac{N * 10000}{3750} \quad [1]$$

Donde:

D = La densidad de medida en m²

N= Es el número de individuos.

10000 cm² = 1 m²

A = El área cm² del área muestreada (3750 cm²).

El marco muestreador es de 25 cm, es decir un punto de muestreo corresponde a 625 cm² y se realizó 6 puntos de muestreos por cada visita, que sumarían 3750 cm² de área muestreada por mes para evaluación de los macroinvertebrados.

- **Biomasa de los macroinvertebrados**

La biomasa se determinó en gramos de peso fresco por metro cuadrado (g/m²) (Ecuación 2).

$$B = W \times \frac{10000}{3750} \quad [2]$$

- **Diversidad de los macroinvertebrados - Índice de Shannon**

El Índice de Shannon (H') se calculó para evaluar la diversidad de la macrofauna. Este indicador tomó en cuenta tanto la riqueza (el número de Órdenes diferentes) como la equidad (la uniformidad en la abundancia de individuos por Orden), ya que la diversidad se consideró influenciada por ambos factores (Magurran, 1988). Los valores obtenidos se utilizaron para

estimar la incertidumbre de la comunidad, esperando que se encontraran dentro del rango de 1,5 a 3,5 (Ecuación 3)

Por lo tanto, el índice tiene en cuenta tanto la diversidad de especies en el área de estudio como la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia) (Magurran, 1988).

$$H' = -\sum_{i=1}^S (p_i \cdot \ln p_i) \quad [3]$$

Donde:

S = Riqueza taxonómica.

Pi = proporción de individuos.

ni = abundancia.

N = abundancia total

ln= log base n

3.4.4. Metodología de muestreo de suelo para análisis de las características fisicoquímicas.

Fase de campo

Para el muestreo de suelos, se realizaron sondeos con la ayuda de un barreno. Este instrumento, que mide 2,2 metros de longitud, es una herramienta de acero con una punta helicoidal (espiral) y un mango en forma de "T", diseñada para perforar el subsuelo (Figura 3).



Figura 3. Barreno muestreador de suelo.

El sistema fue bastante sencillo, rápido y económico. Dado que la cantidad de suelo extraída mediante esta técnica fue limitada, resultó necesario recolectar muestras combinadas de varios sondeos. El muestreo se llevó a cabo de forma aleatoria, ya que, según (MINAM, 2014) (Figura 4). Este método fue uno de los patrones utilizados en los métodos estadísticos, donde los puntos de submuestreo se seleccionaron al azar, resultando en un patrón muy irregular que no siguió ninguna lógica.

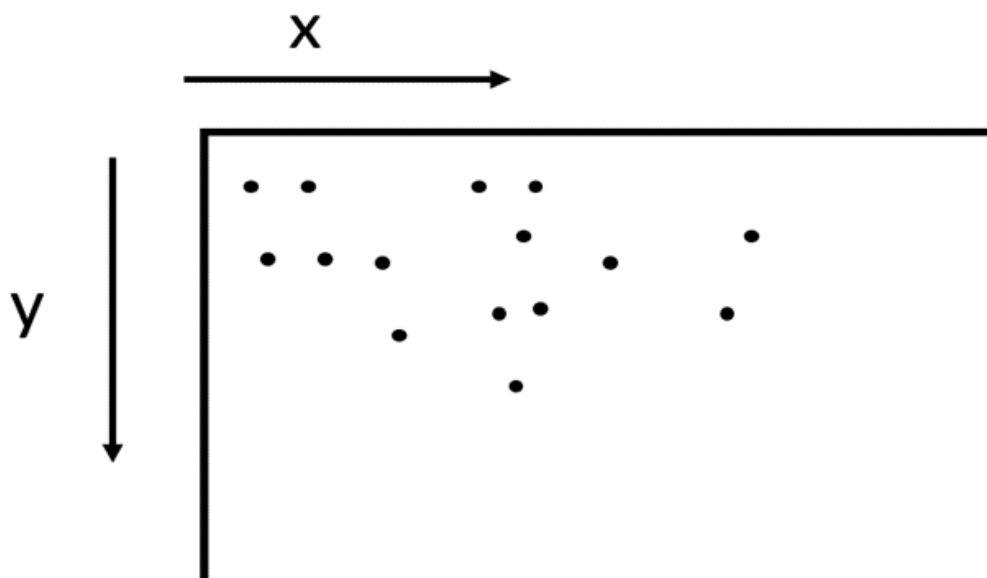


Figura 4. Distribución aleatoria de los puntos de submuestras (MINAM, 2014).

Según el estándar de muestreo (MINAM, 2014), como mínimo se deben tomar 10 puntos de submuestreo; sin embargo, si se hubieran podido hacer más puntos, la muestra habría representado con mayor precisión al área de estudio. Por lo tanto, para el estudio de investigación se realizaron 30 puntos de submuestreo seleccionados de forma aleatoria (Figura 4). En cada uno de estos puntos, las muestras de suelo fueron colectadas a cuatro profundidades predeterminadas: 50 cm, 100 cm, 150 cm y 200 cm, con el fin de evaluar el perfil vertical del área de estudio.

Tabla 4. Muestreo de suelo.

Áreas de estudio	Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	Muestras colectadas (gr)	Total, de muestras por zona
Parcela 1	30	0 a 50	1000	4
		50 a 100	1000	
		100 a 150	1000	
		150 a 200	1000	
Parcela 2	30	0 a 50	1000	4
		50 a 100	1000	
		100 a 150	1000	
		150 a 200	1000	
Parcela 3	30	0 a 50	1000	4
		50 a 100	1000	
		100 a 150	1000	
		150 a 200	1000	
Parcela 4	30	0 a 50	1000	4
		50 a 100	1000	
		100 a 150	1000	
		150 a 200	1000	
Parcela 5	30	0 a 50	1000	4
		50 a 100	1000	
		100 a 150	1000	
		150 a 200	1000	
Parcela 6	30	0 a 50	1000	4
		50 a 100	1000	
		100 a 150	1000	
		150 a 200	1000	
Total, de muestras colectadas				24

Fuente: Elaboración propia.

El muestreo se realizó a distintas profundidades (50, 100, 150 y 200 cm). Para la extracción, se enterró el barreno haciéndolo girar para que penetrara al suelo como un tornillo hasta alcanzar la profundidad deseada; posteriormente, se extrajo la muestra de suelo. A continuación, cada submuestra se depositó en una bolsa de plástico, la cual fue identificada con la profundidad y el lugar correspondiente, asegurándose de que estuviera limpia de impurezas. Posteriormente, y siguiendo los lineamientos del MINAM, 2014. después de obtener las submuestras, se procedió a mezclarlas muy bien (homogeneización). De esta mezcla, se tomó al azar 1 kg de suelo (la muestra

final), se codificó correctamente con todas las características requeridas y, finalmente, se envió al laboratorio de la UNALM para su análisis fisicoquímico.

3.4.5. Metodología para muestreo de micorrizas arbusculares.

3.4.5.1. Muestreo de raíces para calcular la abundancia y presencia de micorrizas arbusculares

Fase de campo

Se seleccionaron y muestrearon las dos especies de plantas leñosas y arbustivas más comunes en cada una de las seis parcelas preestablecidas, procediendo primero a su identificación taxonómica para determinar su familia. Para la extracción, se utilizó un machete para realizar una excavación superficial cerca de la base del tronco, de la cual se extrajo una cantidad representativa de raíces. Inmediatamente después de la recolección, las muestras se acondicionaron en bolsas herméticas (Ziploc) que contenían alcohol al 96%; esta solución se empleó como preservante para mantener la integridad biológica de las raíces hasta su posterior traslado y análisis en el laboratorio. En total, se obtuvieron 12 muestras, dos por cada parcela de estudio.

Fase de laboratorio

Una vez que las muestras de raíces llegaron al laboratorio, primero se procedió a una limpieza superficial con agua del grifo para eliminar el suelo adherido. Luego, se seleccionaron las raicillas más delgadas y claras, las cuales se almacenaron en frascos con alcohol y se guardaron en refrigeración. Para el análisis, las raíces se extrajeron de los frascos y se cortaron a una longitud uniforme de 2 cm; de cada muestra original se obtuvieron tres submuestras. Estas submuestras cortadas se envolvieron cuidadosamente en una malla de mosquitero que se amarró con ligas delgadas para mantener los fragmentos juntos, y se colocaron en casetes pequeñas codificados para su trazabilidad.

Tinción para hongos micorrízicos arbusculares

Posteriormente a la preparación inicial de las muestras, se inició el proceso de tinción para la visualización de los hongos micorrízicos arbusculares (MA) en las raíces, La técnica empleada por Vierheilig et al., (1998) en su artículo

“Ink and Vinegar, a Simple Standing Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi” se enfoca en la tinción de raíces utilizando hongos micorrízicos arbusculares (AM) a través de una mezcla de tinta y vinagre, proporcionando una opción segura y económica en comparación con los métodos tradicionales que utilizan compuestos tóxicos.

Despeje de Raíces

Para el proceso de despeje, se preparó una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10%; esto se logró pesando 10 gramos de KOH y disolviéndolos en 100 mililitros de agua destilada. Una vez lista, la solución de KOH se transfirió a un recipiente con tapa. Dentro de este recipiente, se colocaron los casetes que contenían las raíces previamente codificadas, y luego se llevaron a una estufa a baño maría a 90 °C durante 25 a 30 minutos. Esta ebullición sometió las raíces a un proceso de limpieza que permitió la transparencia del tejido radicular, haciéndolo apto para la tinción de las estructuras fúngicas. Transcurrido el tiempo establecido, se retiraron los casetes con las raíces y se enjuagaron con abundante agua para detener la acción del KOH. En caso de que las raíces no hubieran alcanzado la transparencia deseada, se procedió a un enjuague adicional utilizando una solución de lejía al 30% para maximizar la clarificación de los tejidos.

Tinción de raíces

Una vez que las raíces estuvieron limpias y transparentes tras el despeje, se procedió a su tinción siguiendo la técnica de tinta y vinagre. Para esto, se preparó una solución de tinción que combinó tinta con vinagre, asegurando que el vinagre contenía ácido acético al 5%. Los casetes que contenían las raíces y la solución de tinción se colocaron nuevamente en un baño maría a 90 °C dentro de la estufa por un periodo de 10 a 15 minutos. Este calentamiento facilitó que los componentes de la tinta se adhirieran selectivamente a las estructuras de los hongos micorrízicos arbusculares (MA), haciéndolas visibles y creando el contraste necesario con el tejido radicular clarificado.

Desteñido

Después de la tinción, se realiza un enjuague para eliminar el exceso de tinta. Este proceso de destiñe se lleva a cabo utilizando agua del grifo, que se acidifica con unas gotas de vinagre, o simplemente con vinagre puro. Este paso es crucial para resaltar el contraste entre las raíces y los hongos.

Montaje de raíces

Tras la tinción, las raíces se transfirieron a placas de Petri para su montaje. Para cada placa, se colocaron aproximadamente 30 fragmentos de raíces teñidas. Las raíces se cubrieron con una capa de PLG (Poli-Lactato de Glicerol). Este reactivo de consistencia similar a una goma transparente se empleó con el doble objetivo de preservar y mantener la integridad de las raicillas durante la manipulación y, crucialmente, de facilitar la evaluación de la colonización fúngica al inmovilizarlas y proporcionar un medio óptico adecuado. Finalmente, las raíces fijadas en PLG se cubrieron con portaobjetos para asegurar un montaje plano y uniforme, dejándolas listas para el análisis bajo el microscopio.

Evaluación de la Colonización

Finalmente, se evaluó la colonización fúngica de las raíces. Esto se realizó mediante el método de intersección de líneas, el cual permitió cuantificar el porcentaje de raíces colonizadas por los hongos. Este análisis se llevó a cabo utilizando un microscopio, donde de cada raíz se hizo el conteo detallado de las principales estructuras fúngicas de los hongos micorrícicos arbusculares (MA), incluyendo la presencia de esporas, micelios, arbusculos y vesículas. Este análisis proporcionó datos esenciales sobre la eficacia de la colonización y el estado de las asociaciones micorrícicas.

3.4.5.2. Muestreo de suelo para calcular la abundancia y presencia de micorrizas.

Fase de campo

El muestreo de suelo se realizó en las seis parcelas, tomándose las muestras en la base de las dos especies leñosas y arbustivas previamente seleccionadas e identificadas. Para la extracción, se utilizó un machete para realizar una excavación superficial en cada punto, de donde se extrajo una

muestra de suelo de medio kilogramo (kg). En total, se obtuvieron 12 muestras de suelo (una por cada especie muestreada), las cuales se colocaron en una bolsa sin aire para su conservación y se trasladaron al laboratorio.

Fase de laboratorio

Dispersión y Tamizado Húmedo

Se pesó inicialmente una muestra de 25gr. de suelo en una balanza. A esta muestra se le agregó agua para formar una suspensión. La muestra se agitó vigorosamente durante 10 a 15 minutos con el fin de desagregar los terrones de suelo y liberar las esporas (Gerdemann- Nicolson, 1963).

Luego, se vertió la suspensión a través de un sistema de tamices apilados. Los tamices se colocaron en orden descendente de apertura de malla, con la malla de 150 μm en la parte inferior y el tamiz de 38 μm en la parte superior. El material retenido en cada tamiz se lavó abundantemente con una piceta para asegurar que todas las esporas pasaran a la siguiente malla (Gerdemann- Nicolson, 1963).

Decantación y Primera Centrifugación

El material retenido en los tamices de interés se depositó en un tubo Falcon de 50ml. Los tubos se llevaron a la centrifugadora y se centrifugaron a 2000 rpm durante 5 minutos. Pasado este tiempo, se decantó y desechó el sobrenadante (agua) que arrastraba partículas ligeras de suelo, dejando el sedimento en el fondo (Aguilar-Ulloa et al., 2016).

Centrifugación en Gradiente de Sacarosa

Al sedimento en el tubo Falcon se le aplicó sacarosa al 50%, añadiéndola con cuidado hasta casi llenar el tubo. La sacarosa se mezcló con el sedimento. Posteriormente, los tubos se colocaron nuevamente en la centrifuga y se centrifugaron por 5 minutos a 2000 rpm. Una vez concluido el proceso, la sacarosa había provocado que las esporas del hongo flotaran y se suspendieran en la superficie (sobrenadante), mientras que el material inorgánico más denso permaneció en el fondo (Aguilar-Ulloa et al., 2016).

Conteo Microscópico y Cálculo

Según Aguilar-Ulloa et al., 2016 el sobrenadante, que contenía las esporas, se enjuagó con abundante agua destilada sobre un tamiz fino 38 o 53 para eliminar la sacarosa. El material final se rellenó en un nuevo tubo Falcon con un volumen conocido de agua para la observación. Finalmente, se extrajo 0.05ml de esta muestra en suspensión y se contó el número de esporas en una cuadrícula (ej. Placa de Petri cuadrículada o un portaobjetos) bajo el microscopio. Una vez contado el número resultante, se aplicó la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ por gr. de suelo} = \frac{N^{\circ} \text{ total de esporas contadas}}{\text{Peso inicial del suelo (gr)}} \times 100$$

3.5. Tratamiento de datos

Una vez que se haya realizado correctamente la metodología, esto dará origen a los resultados. Como último paso del diseño del estudio, se llevará a cabo la planificación de dos pasos adicionales que son significativos en el tratamiento de los datos:

3.5.1. Ordenamiento de los datos

Para esta etapa se señaló cómo se estructuró el levantamiento de los datos y se menciona los criterios que se utilizaron, ya sea por orden cronológico, por individuos o por familia u orden, estos datos se organizaron dependiendo al instrumento con el cual se utilizó para recogerlos:

- a) Conteo de los ejemplares
- b) Pesaje de los ejemplares
- c) Identificación taxonómica de los ejemplares
- d) Análisis de las características físicas y químicas del suelo
- e) Comparación y sumatoria de los promedios con los valores obtenidos de la abundancia, biomasa, riqueza y diversidad de los macroinvertebrados por repeticiones.
- f) El análisis estadístico se realizó con la ayuda de diversos programas, tales como RStudio, Past y SigmaPlot, para la creación de gráficos y el establecimiento de correlaciones entre las variables de estudio.

Todos los datos adquiridos se tabularon de acuerdo a la siguiente categoría:

- a) Tipo de evaluación de la macrofauna (abundancia, biomasa, densidad y diversidad)
- b) Periodo o temporada climatológica (Seca y lluviosa)
- c) Repetición o bloque (R)
- d) Identificación de macrofauna a nivel de orden
- e) Estrato del suelo (hojarasca, 0-10, 10-20, 20-30 cm).

3.5.2. Análisis de los datos

En esta etapa de la investigación, aplicamos múltiples métodos de análisis y comparación, utilizando programas informáticos especializados en estadística.

Para analizar las diferencias en la composición de órdenes de la macrofauna en relación con los tipos de cobertura vegetal y las estaciones del año, utilizamos el Índice de Shannon, lo que permitió evaluar cómo variaron las comunidades de macrofauna en función de estos factores.

Además, para determinar las características físicas y químicas del suelo entre las dos estaciones, utilizamos la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney (referida como "W wann whitdey" en el texto original), facilitando la identificación de diferencias significativas en las propiedades del suelo a lo largo del tiempo.

Para examinar la relación entre las características fisicoquímicas del suelo, la población de macrofauna y los microbiomas presentes, llevamos a cabo un análisis de correlación utilizando el coeficiente de Pearson, lo que ayudó a comprender cómo interactuaron estas variables entre sí.

Todos los análisis se realizaron con un nivel de significancia del 5%. Los resultados y la mayoría de los gráficos se generaron utilizando los programas profesionales I SigmaPlot 15, Past, y especialmente R Studio 4.5.0. Con este enfoque metodológico, logramos obtener una comprensión integral de las

interacciones entre la macrofauna, las características del suelo y los microbiomas en diferentes estaciones y tipos de cobertura vegetal.

3.6. Recursos humanos

Los tesisistas y personal de apoyo (1) en campo, además el presente proyecto de tesis conto con el soporte del Asesor (Dr. Joel Peña Valdeiglesias) y co - asesor (Dr. Isau Huamantupa Chuquimago), para el análisis de muestras.

3.6.1. Recursos físicos

Materiales que se utilizaron en el proyecto:

- a) GPS
- b) Pilas Duracell AA
- c) Cámaras fotográficas
- d) Libreta de campo
- e) Frascos de plásticos
- f) Materiales de laboratorio (Balanza analítica, Microscopio, Placa Petri, Tubos falcón, Cubre objetos, Pinzas, Alcohol, Agua destilada y rollos de papel higiénico).
- g) Reactivos (Hidróxido de Potasio, Tinta Azul, Vinagre al 5% y cloro 5%).
- h) Marco muestreador
- i) Pala
- j) Machete
- k) Wincha de 50 m
- l) Barrera rusa
- m) Bolsas de ziploc Medianas y grandes
- n) Fotocopias
- o) Laptop HP
- p) Linterna
- q) Carpa
- r) Sacos
- s) Plástico de 4 m
- t) Cargador portátil
- u) Poncho de agua y botas

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Abundancia, diversidad y biomasa de la macrofauna del suelo

4.1.1. Abundancia de macroinvertebrados

4.1.1.1. Abundancia por estación

En la abundancia de los macroinvertebrados en las Pampas de Heath, se encontró un total de 917 individuos pertenecientes a 17 Órdenes (Tabla 8 en anexos), donde identificamos a Isoptera (505 individuos) e Hymenoptera (165 individuos) como los grupos más abundantes, destacando su clara dominancia en la comunidad.

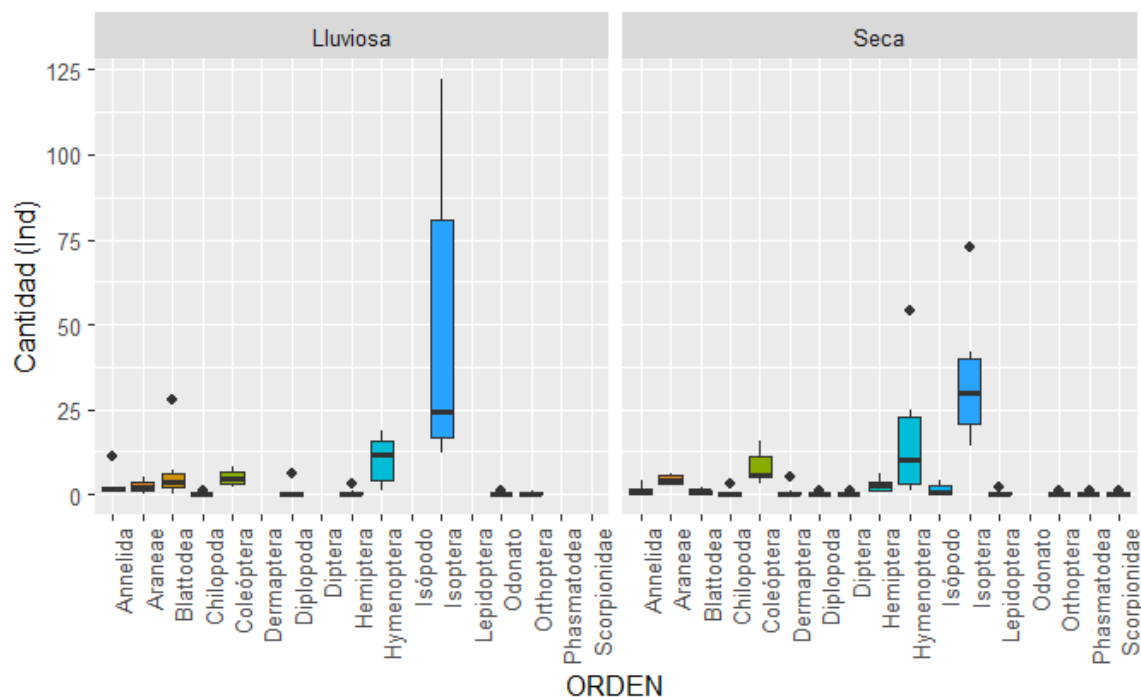


Figura 5. Cantidad de macroinvertebrados según la estación seca y lluviosa.

La dinámica estacional reveló que la estación lluviosa albergó una ligera cantidad superior de individuos (478), en comparación con los 439 individuos que

registramos en la estación seca. Además, el análisis de las órdenes específicas (Figura 5) mostró que la mayor abundancia de la orden dominante Isoptera se registró precisamente durante la estación lluviosa; mientras que, en la estación seca, las poblaciones de Isoptera e Hymenoptera siguieron siendo las predominantes, pero con una abundancia individual notablemente menor.

Comparando con el estudio en el Río Jingui identificaron 64 Órdenes y se centró en la diversidad funcional (Sun et al., 2024), mientras que en las Pampas de Heath se identificaron 17 Órdenes con dominancia de Isoptera (55,07 %) e Hymenoptera (18,00%), ambos demuestran una respuesta cuantitativa clara a la estacionalidad. La mayor abundancia de los grupos dominantes (Isoptera en su estudio) en la estación lluviosa es el reflejo de una ventana ecológica favorable. Por otro lado, la dominancia taxonómica en las Pampas de Heath de Isoptera e Hymenoptera (505 y 165 individuos) es un patrón regional consistente. Estudios amazónicos, como el de (Mamabolo et al., 2024) en Madre de Dios, confirman la importancia de estos dos órdenes como organismos clave en la transformación del suelo y la fertilidad en los trópicos. Esta similitud valida la función esencial de estos grupos en su estudio para la aireación y el ciclo de nutrientes, independientemente de las condiciones de uso de suelo.

4.1.1.2. Abundancia según la cobertura vegetal

Al analizar la abundancia total de macroinvertebrados del suelo según la cobertura vegetal, se encontró que la mayor abundancia total fue registrada en la cobertura de pastizal, con 462 individuos, superando ligeramente los 455 individuos que se encontró en el bosque (Tabla 9 en anexos). Sin embargo, al examinar las órdenes específicas (Figura 6), la cobertura de bosque concentró la mayor población de Isoptera (277 individuos) y Coleoptera (51 individuos), seguida por Hymenoptera (44 individuos) y Blattodea (33 individuos). Por su parte, el pastizal fue dominado por Isoptera (228 individuos) e Hymenoptera (121 individuos), seguidas por Coleoptera (26 individuos) y Araneae (25 individuos).

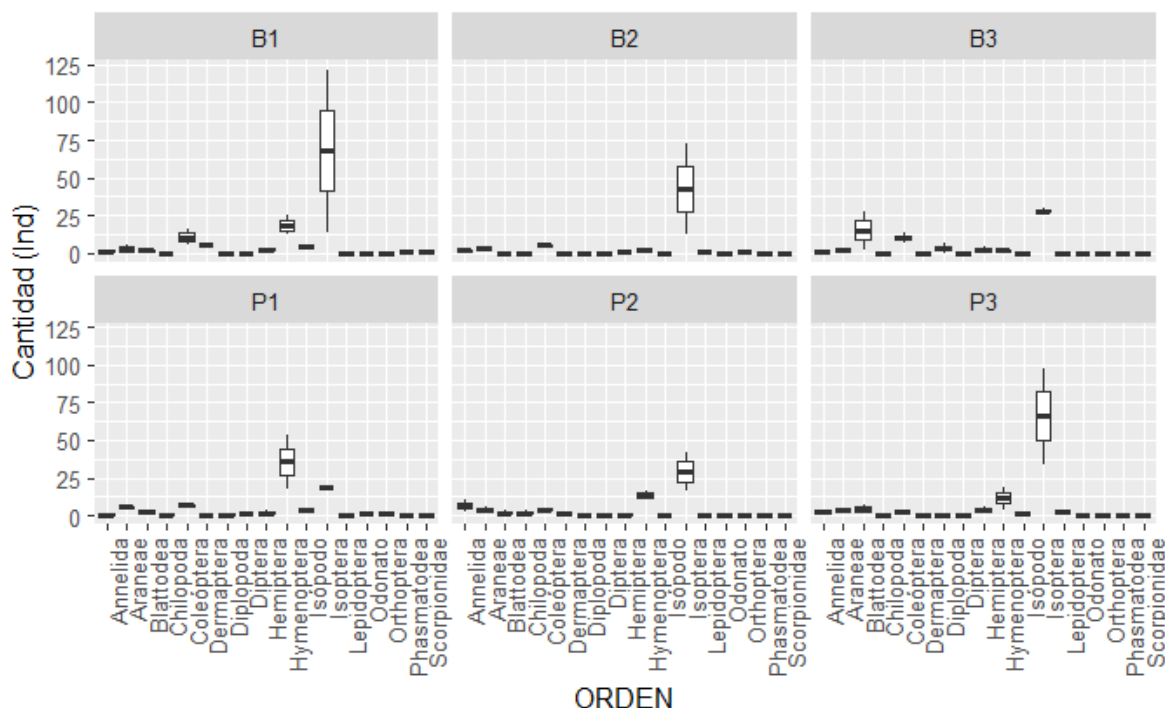


Figura 6. Cantidad de macroinvertebrados según la cobertura vegetal.

La abundancia total de individuos en el pastizal (462 individuos) fue similar a la del bosque, lo que, al igual que en el estudio de (Mamabolo et al., 2024) demuestra una alta resiliencia cuantitativa del sistema. Sin embargo, en las Pampas de Heath, el cambio de cobertura generó una reorganización funcional crucial: el pastizal aumentó la biomasa, impulsada por Annelida. Esto indica que el cambio de uso no solo alteró la distribución de especies, sino que intercambió la alta densidad de artrópodos del bosque por la alta biomasa de las lombrices, asegurando que la función vital de la bioturbación y el enriquecimiento de nutrientes continuara bajo un nuevo grupo dominante.

4.1.1.3. Abundancia por profundidad

Se observa en el diagrama de caja y bigotes una clara dominancia de macroinvertebrados en las capas superficiales del suelo (Figura 7), con la mayor cantidad y dispersión de datos en la profundidad de 0-10 cm (rojo), seguida por la capa de 10-20 cm (verde). Este elevado número de macroinvertebrados está impulsado principalmente por el Orden Isoptera, que alcanza una mediana de individuos cercana a 170-250 en la capa superior, mientras que el resto de los órdenes mantiene poblaciones mucho más bajas en todas las profundidades.

Este patrón sugiere que la actividad biológica y la biomasa están fuertemente restringidas a los primeros 20 centímetros del suelo, que son más ricos en materia orgánica y presentan las mejores condiciones para la vida. Por el contrario, las profundidades mayores y la hojarasca muestran zonas de actividad significativamente menor.

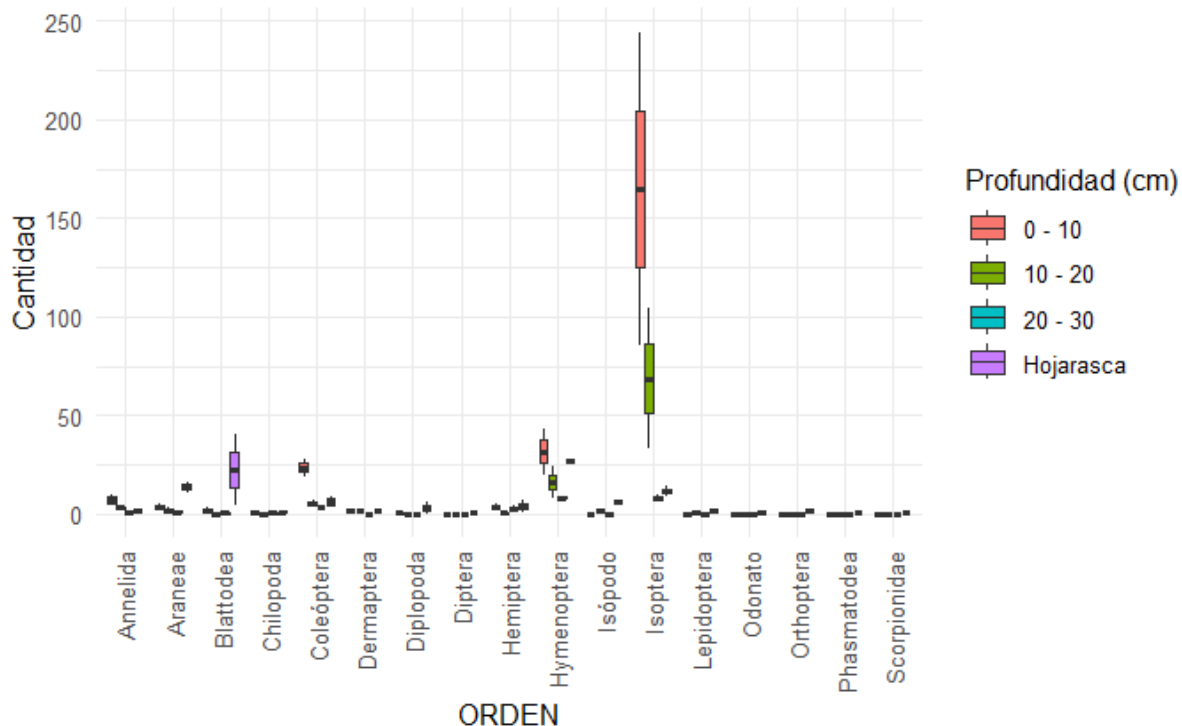


Figura 7. Cantidad de macroinvertebrados encontrados según la profundidad.

Un estudio similar realizado por Doblas-Miranda et al., (2009) en un ecosistema árido muestra patrones de distribución vertical de la fauna edáfica que coinciden con nuestros hallazgos. En su investigación, los autores documentaron que la abundancia y biomasa de macroinvertebrados disminuyen gradualmente con la profundidad del suelo, con una mayor concentración en las primeras capas superficiales. Este estudio subraya la importancia de las capas superficiales debido a la mayor disponibilidad de materia orgánica y mejores condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad. Al igual que en nuestro trabajo, las capas más profundas presentaron una menor biodiversidad, lo que refuerza la hipótesis de que las condiciones edáficas se vuelven menos favorables para estos organismos a medida que nos alejamos de la superficie.

4.1.2. Diversidad de macroinvertebrados

El diagrama de caja y bigotes, que ilustra el Índice de Diversidad de Shannon (H'), revela un claro cambio en la dominancia de la diversidad al comparar las estaciones en las dos coberturas vegetales (Figura 8). Durante la estación lluviosa, el pastizal presenta la diversidad media más alta (1,58), superando la del bosque (1,4), lo que indica que, en condiciones de humedad óptima, el pastizal alberga la comunidad más diversa. Por otro lado, la estación seca provoca una disminución de la diversidad media en el bosque (1,35), mientras que el pastizal logra mantener una diversidad media alta (1,48) (Tabla 10). Esta clara diferencia sugiere que el bosque es más vulnerable a la pérdida de diversidad durante el estiaje, mientras que el pastizal demuestra una mayor resiliencia ecológica al mantener una comunidad relativamente estable y diversa ante la escasez de agua.

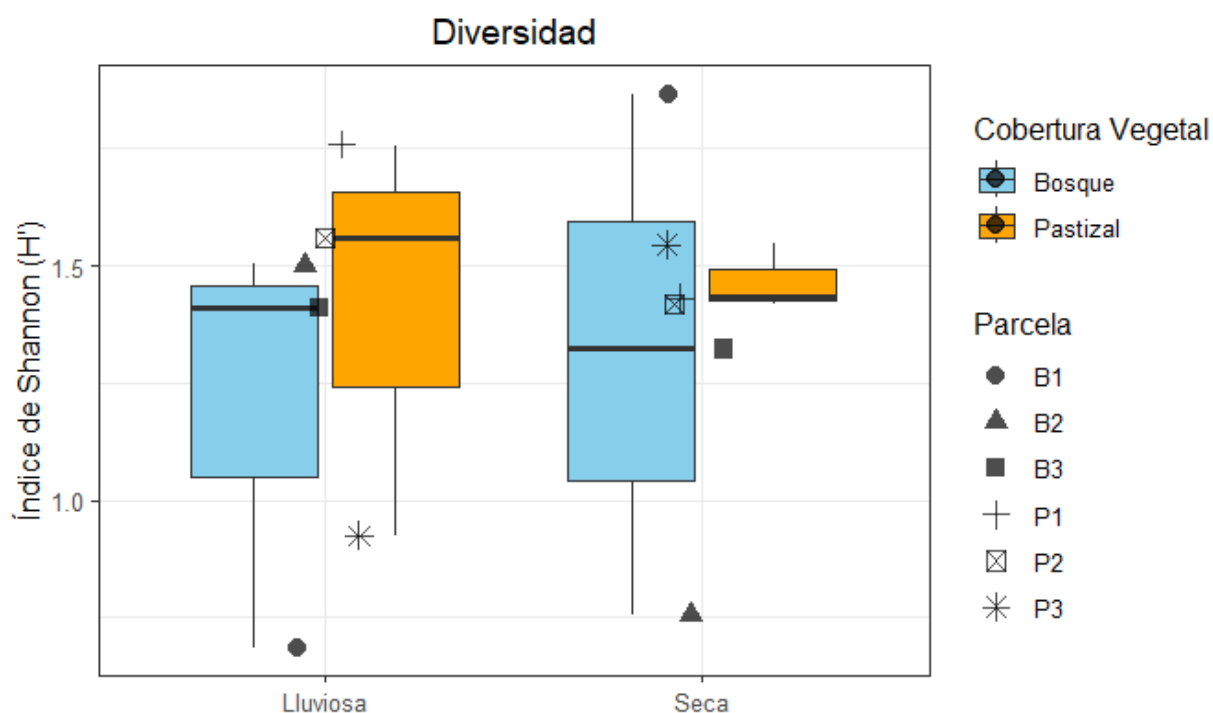


Figura 8. Índice de diversidad de Shannon de macroinvertebrados.

Un estudio realizado en el bosque Amazónico de Loreto, Perú por Chavarry Rojas (2012), documentó la densidad y diversidad de macroinvertebrados en tres parcelas forestales. En este trabajo, se observó que la mayor concentración de macroinvertebrados se encontraba en las primeras capas del suelo, con una

notable dominancia de organismos en el estrato de 0–10 cm, donde la materia orgánica y la humedad eran óptimas. Este patrón es muy similar al que encontramos en nuestro estudio, donde la mayor diversidad de macroinvertebrados se presentó en el pastizal, especialmente durante la estación lluviosa, lo que respalda la idea de que los ecosistemas con alta humedad y vegetación densa favorecen la proliferación de estas comunidades biológicas.

Por otro lado, (Castillo et al., 2024) En su estudio de bosques tropicales, señalan que la humedad del suelo es el principal determinante de la actividad biológica. El agua no solo facilita el movimiento de los organismos, sino que también mejora la oferta alimentaria en la materia orgánica.

4.1.3. Biomasa de Macroinvertebrados

4.1.3.1. Biomasa por estación

La biomasa total de macroinvertebrados del suelo fue claramente mayor durante la estación lluviosa, alcanzando un valor de 26,73 gr/m² (Tabla 10 del anexo), en contraste con la estación seca, que registró una biomasa total significativamente menor de 20,93 gr/m² (Tabla 12 del anexo). Esta diferencia de casi 6 gr/m² evidenció que la mayor disponibilidad de humedad y las mejores condiciones micro climáticas asociadas a la estación lluviosa favorecieron la actividad metabólica, el crecimiento poblacional y, consecuentemente, la acumulación de biomasa en la comunidad edáfica.

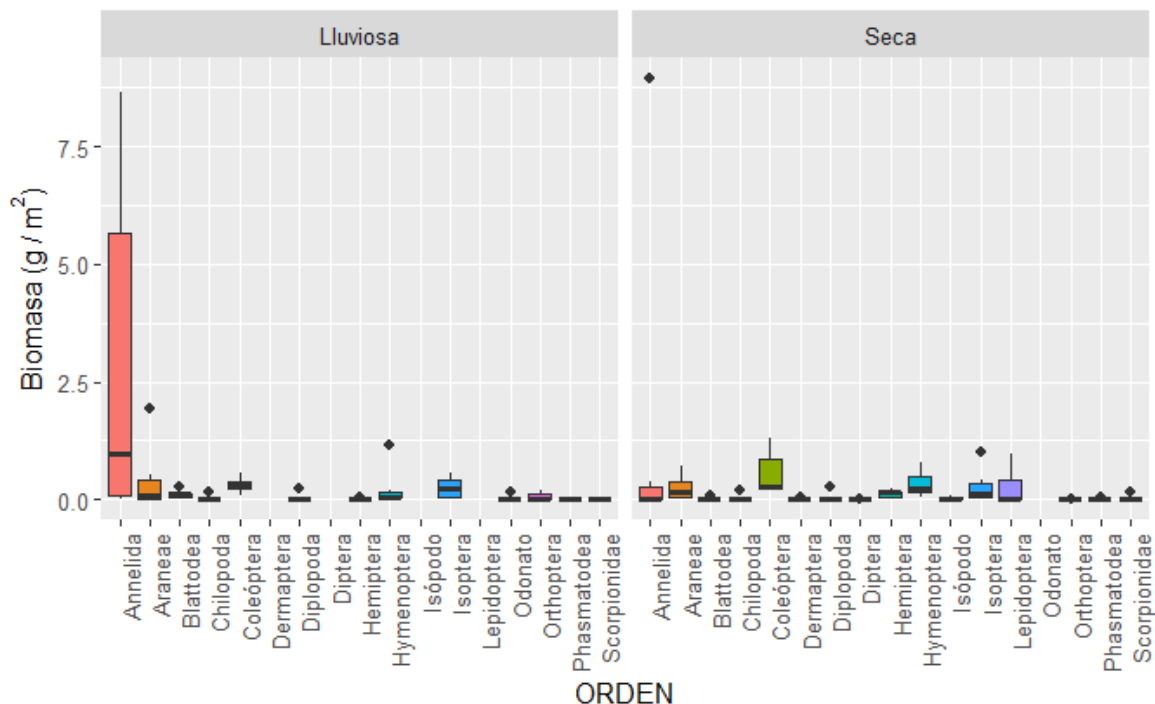


Figura 9. Biomasa de macroinvertebrados según la estación.

La orden Annelida presentó el mayor valor de biomasa en ambas estaciones, alcanzando 17,65 gr/m² en la estación lluviosa, seguida por Araneae con 2,59 gr/m², mientras que en la estación seca su biomasa descendió a 9,32 gr/m², siendo la segunda orden con mayor valor Coleoptera con 3,28 gr/m² (Figura 8).

De manera similar a nuestros resultados, el estudio de PASHANASI, (2001) en la Amazonía peruana revela una alta densidad y biomasa de macroinvertebrados del suelo en sistemas boscosos bien conservados. En su muestreo, que abarcó 22 sistemas de uso del suelo en las zonas de Yurimaguas y Pucallpa, los valores de densidad oscilaron entre 382 y 853 individuos/m², mientras que la biomasa, dominada principalmente por oligoquetos, isópteros y miriápodos, alcanzó rangos de 57,8 a 91,1 g de peso fresco/m².

Estos hallazgos apoyan fuertemente la idea de que los estratos superficiales del suelo caracterizados por elevada materia orgánica, humedad y condiciones macro ambientales favorables constituyen zonas críticas para el mantenimiento de comunidades edáficas densas y con alta biomasa. En nuestro estudio, la mayor abundancia/diversidad de macroinvertebrados en los primeros centímetros del suelo concuerda con ese patrón general, lo que sugiere que las condiciones

de humedad y riqueza orgánica son clave para explicar la distribución vertical de estos organismos.

4.1.3.2. Biomasa según la cobertura vegetal

La biomasa de macroinvertebrados según la cobertura vegetal fue mayor en pastizal con un valor de 36,51gr/m² y en bosque se registró un valor inferior de 11,16 gr/m², una diferencia significativa (Tabla 13 en anexos). La orden Annelida presentó el mayor valor de biomasa en pastizal, alcanzando 26,66 gr/m², lo que representa el 73,03 % del total registrado en esta cobertura. Seguidamente, en pastizal le siguen Coleoptera con 2,52 gr/m² (6,91%) e Hymenoptera con 1,77 gr/m² (4,85%).

Mientras que, en el bosque, la orden Annelida descendió drásticamente su contribución a solo 0,31gr/m² (2,76%). Las órdenes que dominaron en esta cobertura fueron Araneae con 2,82gr/m² (25,25 %), Coleoptera con 2,60 gr/m² (23,32 %) e Hymenoptera con 1,71gr/m² (15,36 %).

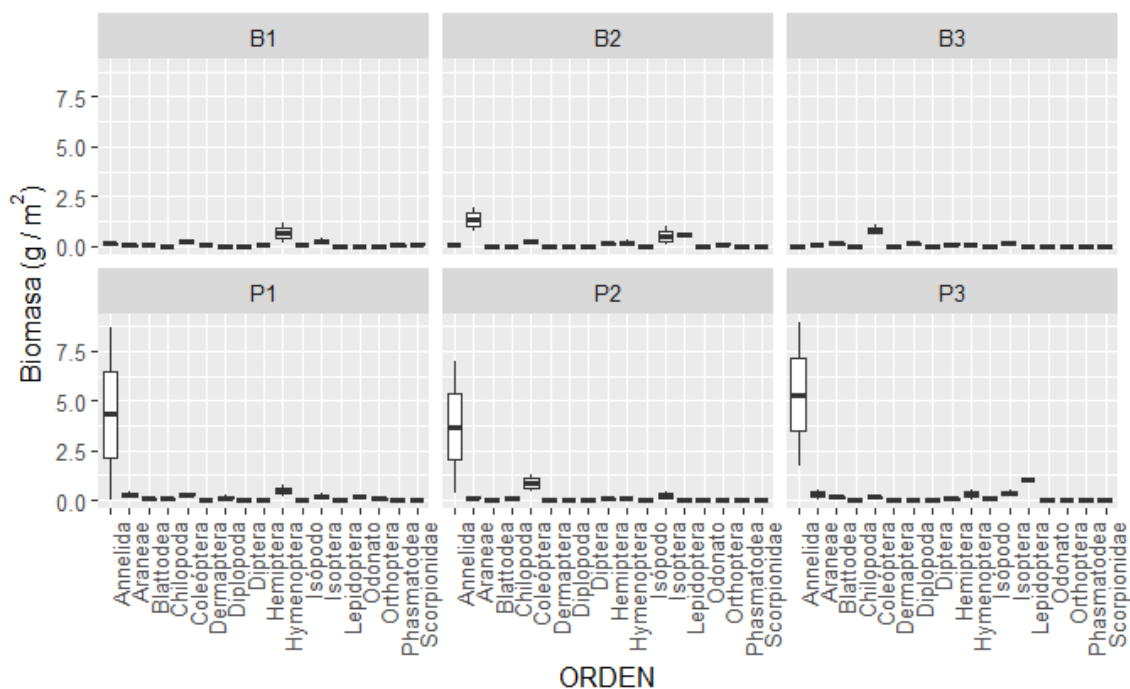


Figura 10. Biomasa de macroinvertebrados según la cobertura vegetal.

La Figura 10 confirma que, aunque la biomasa total es superior en pastizal, esta se concentra fuertemente en Annelida (73,03% del total), visible en los altos rangos de biomasa de esta orden en los sitios P1 y P3. Esta alta concentración indica que Annelida es el principal componente de la biomasa en el pastizal. Por

otro lado, la biomasa en el bosque (B1, B2, B3) es consistentemente baja, distribuyéndose de manera más equitativa entre Araneae, Coleoptera e Hymenoptera. La menor variabilidad y los valores reducidos en el bosque, excepto un ligero aumento en Coleoptera en B2, sugieren una comunidad menos productiva y menos dependiente de una sola orden, lo que subraya la marcada diferencia en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados entre ambas coberturas.

El estudio sudafricano de Mamabolo et al., 2024, confirmó que la macrofauna responde a las diferencias en la calidad y gestión del suelo, lo cual resultó coherente con nuestros hallazgos en las Pampas de Heath. En nuestro estudio, la persistencia de la alta abundancia total en el pastizal (462 individuos) (Tabla 13 en anexos), junto con el aumento de la Biomasa por Annelida, se interpretó como un indicador biológico directo de que el suelo, aunque alterado por el cambio de cobertura vegetal, mantenía una calidad o fertilidad aceptable que favorecía la proliferación de organismos tróficos clave (lombrices).

4.1.3.3. Biomasa por profundidad

La biomasa total de macroinvertebrados varió significativamente con la profundidad, siendo mayor en la capa superficial de 0-10 cm con 22,04 gr/m², seguida por la capa de 10-20 cm con 14,68 gr/m², la hojarasca con 8,14 gr/m² y, finalmente, la capa más profunda de 20-30 cm con solo 2,56 gr/m² (Tabla 14 en anexos).

La dominancia de la biomasa está impulsada por la orden Annelida, que por sí sola concentra 26,97 gr/m² del total, y alcanza su mayor concentración en la capa de 0-10 cm (15,90 gr/m²) y 10-20 cm (10,70 gr/m²), lo cual es claramente visible en el box-Plot (Figura 10). Después de Annelida, las órdenes con mayor biomasa son Coleoptera (4,88 gr/m²), Araneae (4,12 gr/m²) e Hymenoptera (3,48 gr/m²), y todas estas órdenes principales, a excepción de Annelida, muestran una biomasa relativamente alta en la capa de hojarasca, indicando que la mayor parte de la biomasa de la comunidad se encuentra concentrada en los primeros 20 cm del suelo, y que la hojarasca es un microhábitat importante para órdenes distintas a Annelida.

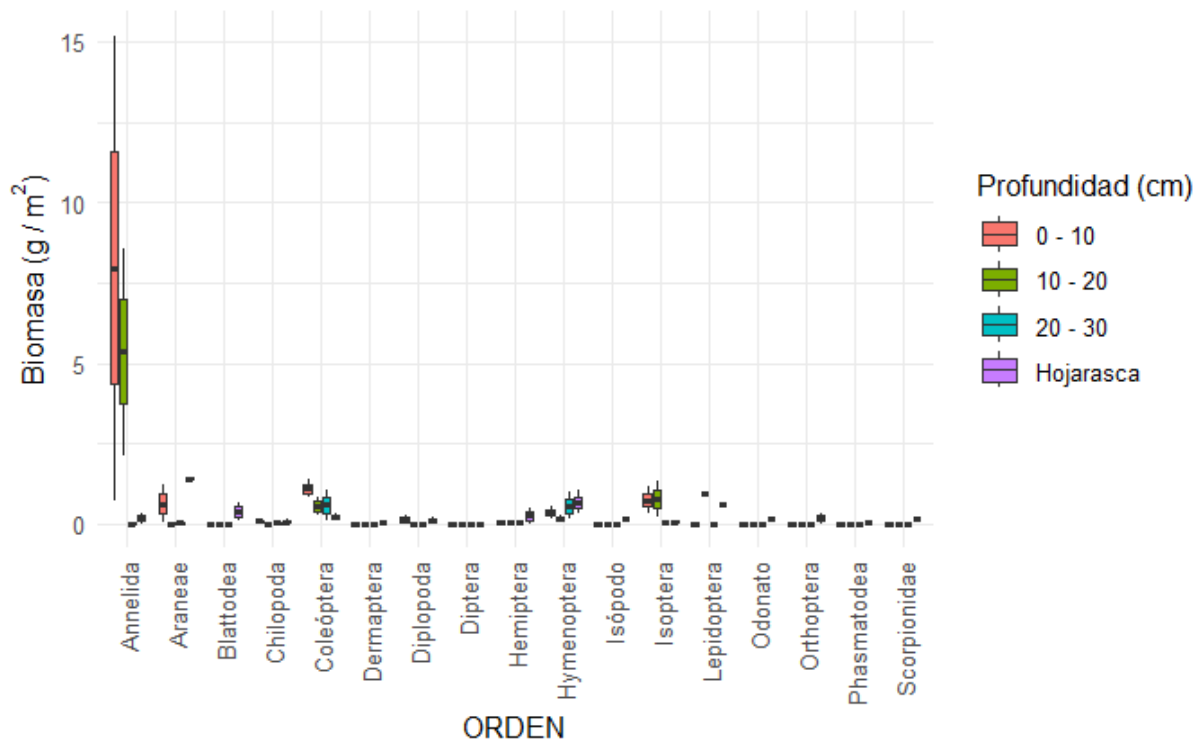


Figura 11. Biomasa de macroinvertebrados según la profundidad.

Asimismo, (Castillo et al., 2024) registró en su estudio que la mayor concentración de macroinvertebrados ocurrió en la profundidad de 0–10 cm, debido a que en este estrato superficial se optimizan los niveles de humedad y materia orgánica.

4.1.4. Densidad de Macroinvertebrados

4.1.4.1. Densidad por estación

La densidad de macroinvertebrados del suelo fue claramente mayor durante la estación lluviosa alcanzando un valor de 1275 Ind/m² (Tabla 16 en anexos). Por otro lado, en la estación seca alcanzó un valor menor de 1171 Ind/m² (Tabla 14. en anexos). Esta diferencia de casi 104 Ind/m² evidenció que las condiciones de mayor humedad y el ambiente micro climáticas más favorable de la estación lluviosa estimularon la actividad biológica y reproductiva, resultando en una mayor abundancia de individuos en la comunidad edáfica.

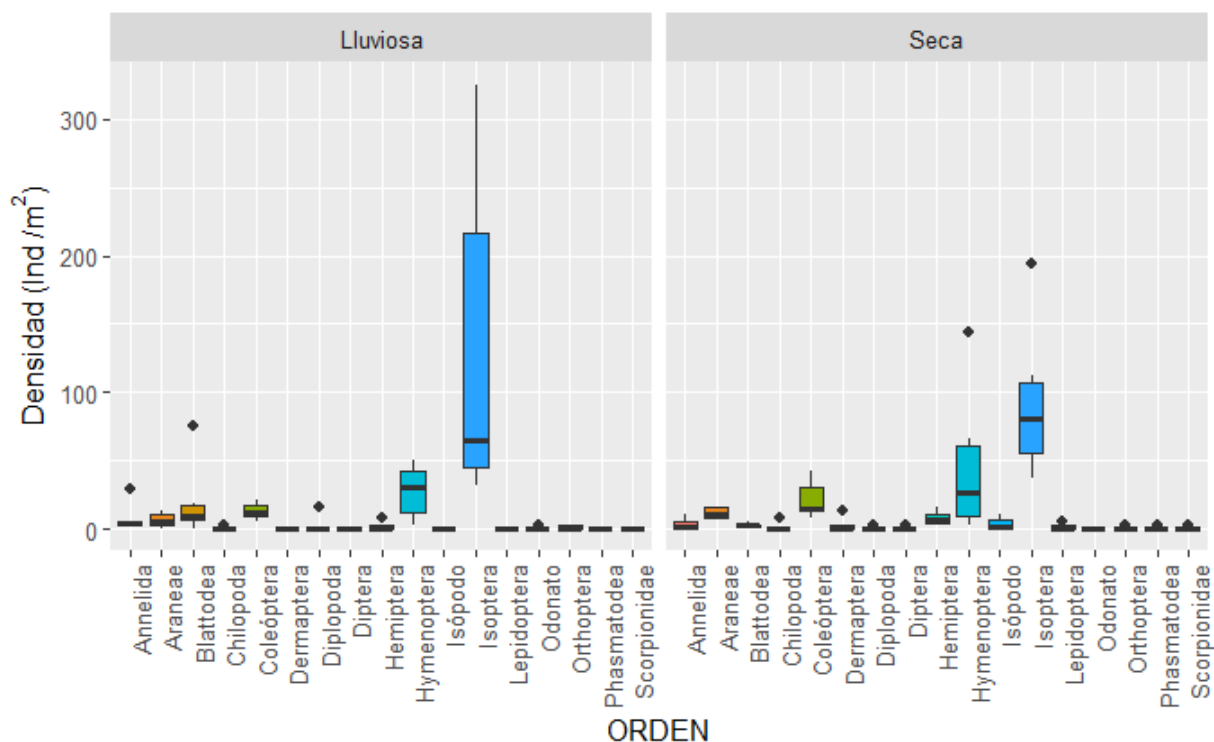


Figura 12. Densidad de macroinvertebrados según la estación.

La comunidad de macroinvertebrados estuvo fuertemente dominada por un grupo de órdenes en ambas estaciones. Durante la estación lluviosa, la densidad fue dominada por *Isoptera* (792 Ind/m²), *Hymenoptera* (165 Ind/m²) y *Blattodea* (117 Ind/m²), con *Isoptera* acaparando la mayoría de los individuos y presentando los rangos más altos y variables de densidad (Tabla 15 en anexos).

Por otro lado, la estación seca, aunque con una densidad total menor, mostró a *Isoptera* (555 Ind/m²), *Hymenoptera* (275 Ind/m²) y *Coleoptera* (128 Ind/m²) como las tres órdenes más abundantes (Tabla 16 anexos). Estos datos demuestran que, si bien *Isoptera* es la orden principal en ambos periodos (Figura 12).

Asimismo, (Najjari et al., 2024) la elevada densidad del orden *Isópteras* y *Blattodea* en microhábitats de madera muerta y suelo superficial no es fortuita, sino que responde a su rol fundamental como descomponedores primarios. Su predominancia en estos espacios los posiciona como indicadores biológicos clave; así, una abundancia robusta de estos organismos es señal de un ecosistema forestal con un ciclo de nutrientes activo y una gestión eficiente de la materia orgánica.

4.1.4.2. Densidad según la cobertura vegetal

La densidad de macroinvertebrados del suelo fue mayor en la cobertura de pastizal, con un valor total de 1232 Ind/m², mientras que en el bosque se registró un valor inferior de 1213 Ind/m², lo que representa una diferencia mínima. La orden Isoptera presentó la mayor densidad ambas coberturas, pero su contribución porcentual fue mayor en el bosque (60,39 % del total del bosque, 739 Ind/m²) que en el pastizal (49,35 % del total del pastizal, 608 Ind/m²) (Tabla 18 en anexos).

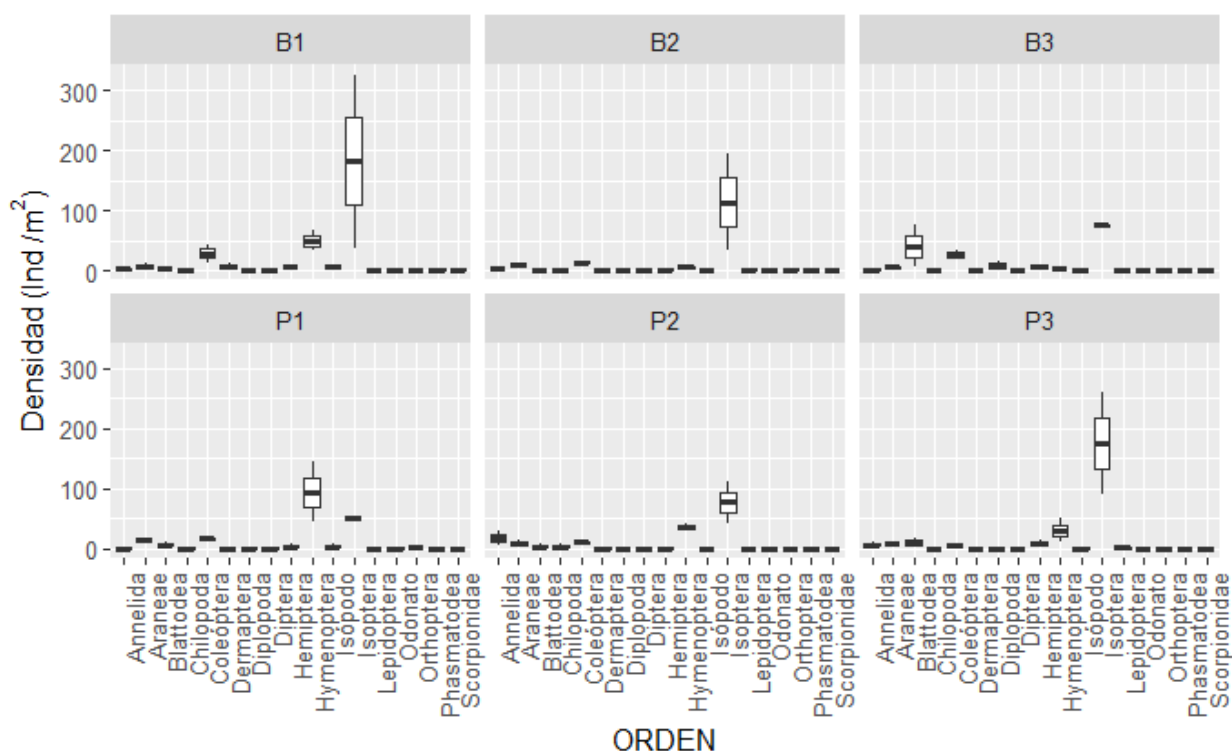


Figura 13. Densidad de macroinvertebrados según la cobertura vegetal.

En el pastizal a Isoptera le siguieron *Hymenoptera* con 323 Ind/m² (26,19 %) y *Araneae* con 67 Ind/m² (5,41 %). Mientras que, en el bosque, las órdenes que dominaron después de Isoptera fueron Hymenoptera con 117 Ind/m² (9,67 %) y Coleoptera con 136 Ind/m² (11,21 %) (Tabla 18 en anexos). Está marcada diferencia en la composición de las órdenes secundarias sugiere que, aunque la densidad total es similar, el pastizal favorece el desarrollo de *Hymenoptera*, mientras que el bosque mantiene un equilibrio más alto entre *Isoptera*, *Coleoptera* e *Hymenoptera* (Figura 13).

La estructura funcional de la comunidad de las Pampas de Heath también fue controlada por la vegetación. Nosotros observamos que la mayor densidad de Isoptera (Termitas) se registró en la cobertura de bosque. Este resultado fue coherente con el hallazgo de (Silva et al., 2019) quienes reportaron que la cobertura arbórea influyó en la abundancia de fragmentadores de hojarasca (el gremio funcional dominante al que pertenece Isoptera). Por lo tanto, la mayor complejidad estructural del dosel en el bosque proporcionó la calidad de hojarasca, la estabilidad de microclima y el refugio necesarios para sostener la densidad máxima de estos fragmentadores, mientras que la falta de esta cobertura limitó su abundancia en el Pastizal.

4.1.4.3. Densidad por profundidad

La densidad total de macroinvertebrados varió significativamente con la profundidad, siendo mayor en la capa de 0 – 10 cm con 1267 Ind/m², seguida por la hojarasca con 523 Ind/m² y la capa de 10 – 20 cm también con 523 Ind/m², y, finalmente, la capa más profunda de 20 – 30 cm con 367 Ind/m² (Tabla 15).

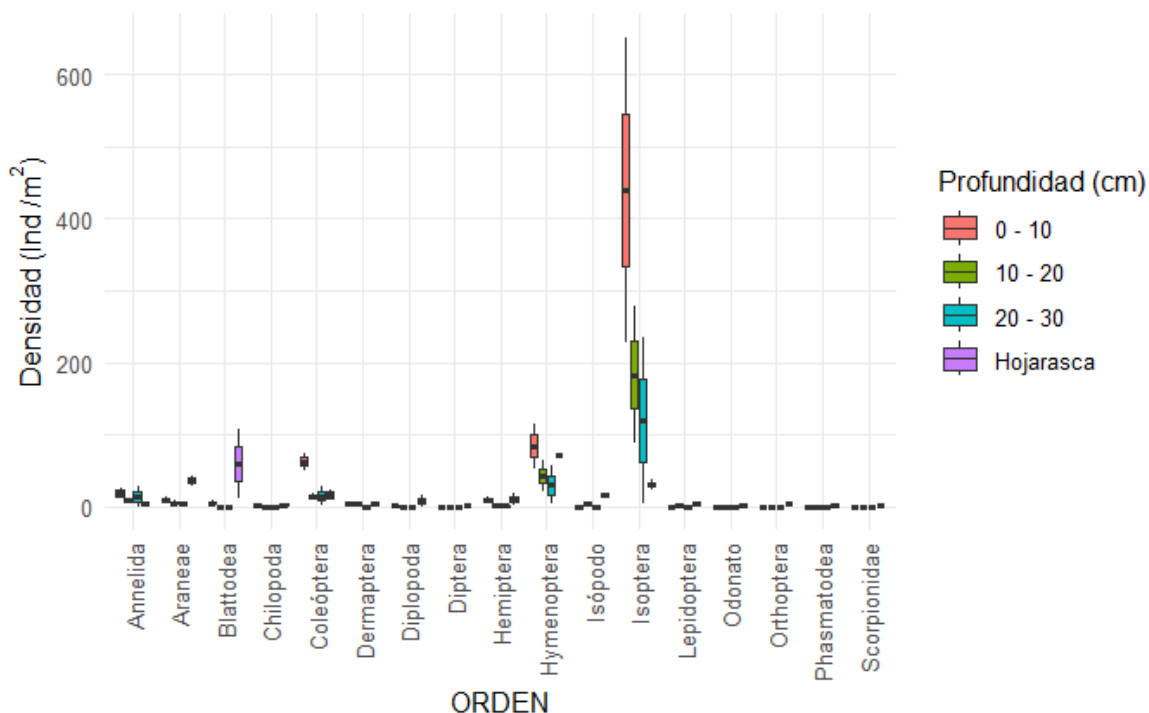


Figura 14. Densidad de macroinvertebrados según la profundidad.

La dominancia de la densidad está impulsada por la orden Isoptera, que por sí sola concentra 1542 Ind/m² del total, y alcanza su mayor concentración en la capa de 0 – 10 cm (877 Ind/m²) y 20 – 30 cm (238 Ind/m²). Después de Isoptera, los órdenes con mayor densidad son *Hymenoptera* (458 Ind/m²), Coleoptera (217 Ind/m²) y *Blattodea* (128 Ind/m²). A diferencia de Isoptera, la mayor densidad de *Hymenoptera*, *Blattodea* y *Araneae* se encontró en la Hojarasca (con 144 Ind/m², 117 Ind/m² y 72 Ind/m² respectivamente), indicando que la mayor parte de los individuos se concentra en la capa superficial de 0 – 10 cm y que la hojarasca es un microhábitat crucial para la diversidad de órdenes, siendo estos primeros 10 cm la zona de mayor abundancia (Figura 14).

4.2. Abundancia y presencia de micorrizas arbusculares

4.2.1. Abundancia de micorrizas arbusculares en el suelo

4.2.1.1. Según la estación

La abundancia de esporas fue significativamente superior en la estación seca, ya que todas las familias botánicas registraron sus valores máximos de producción durante este periodo. Esta tendencia se acentúa notablemente en la familia *Apocynaceae*, la cual exhibe la mayor abundancia, alcanzando un valor máximo de 83 gr (Tabla 19 en anexos). Por otro lado, la producción más baja se observó en la familia *Fabaceae* durante la estación lluviosa, con un registro mínimo de 29 gr (Tabla 19 en anexos).

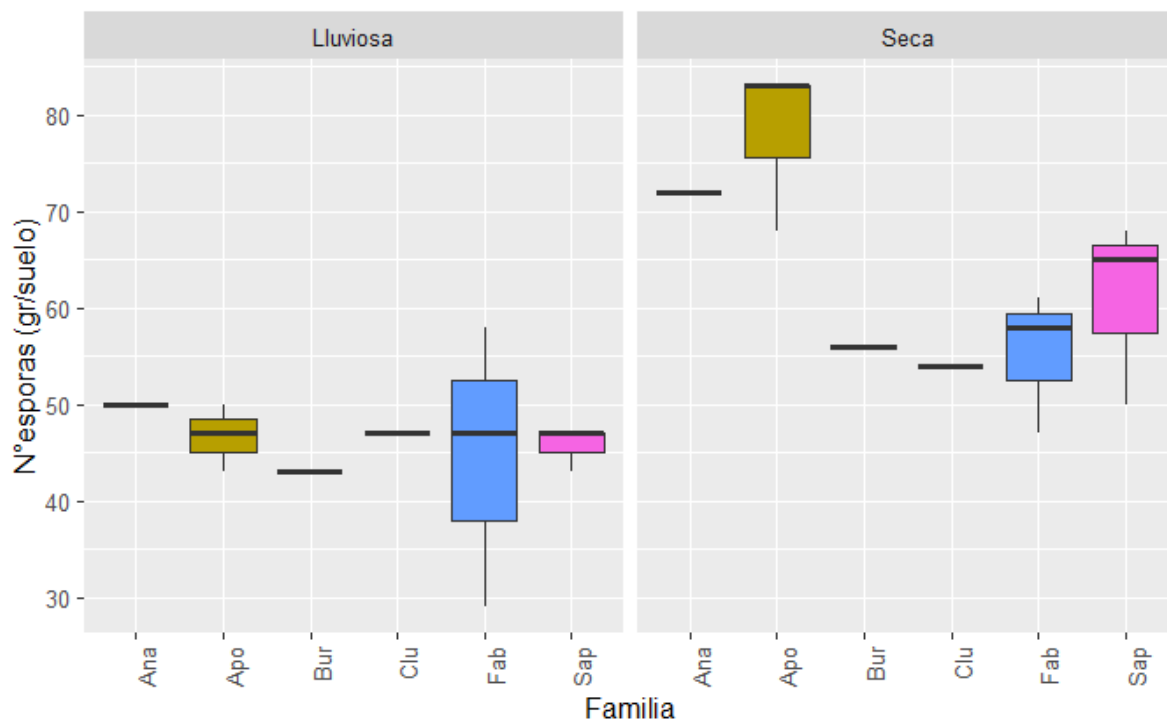


Figura 15. Abundancia de micorrizas arbusculares en el suelo según la estación seca (Ana: Anacardiaceae, Apo: Apocynaceae, Bur: Burceraceae, Clu: Clusiaceae, Fab: Fabaceae, Sap: Sapotaceae)

En el análisis de cajas se observó que, mientras que en la estación seca los valores medianos varían significativamente (con *Sapotaceae* cerca de 68 gr y *Clusiaceae* en 54 gr), la estación lluviosa presenta un patrón de baja producción y menor dispersión, con la mayoría de las medianas agrupadas estrechamente alrededor de los 47 gr indicando que las condiciones de la estación seca son un

factor determinante para la máxima expresión de la producción de esporas (Figura 15).

4.2.1.2. Según la cobertura vegetal

Se observó que la abundancia de micorrizas, analizada estratégicamente por cobertura vegetal (bosque y pastizal), demostró que la familia *Apocynaceae* concentró la mayor abundancia en ambas zonas, registrando la mediana más alta y el valor máximo absoluto en el pastizal (cercano a 83 gr). Al examinar las coberturas por separado, se identificó que la mayor abundancia en el bosque estuvo dominada por *Apocynaceae*, seguida de cerca por *Anacardiaceae* y *Sapotaceae*. Por otro lado, la alta concentración de *Apocynaceae* en el pastizal fue secundada en términos de abundancia por *Fabaceae* y *Sapotaceae* (Tabla 19 en anexos).

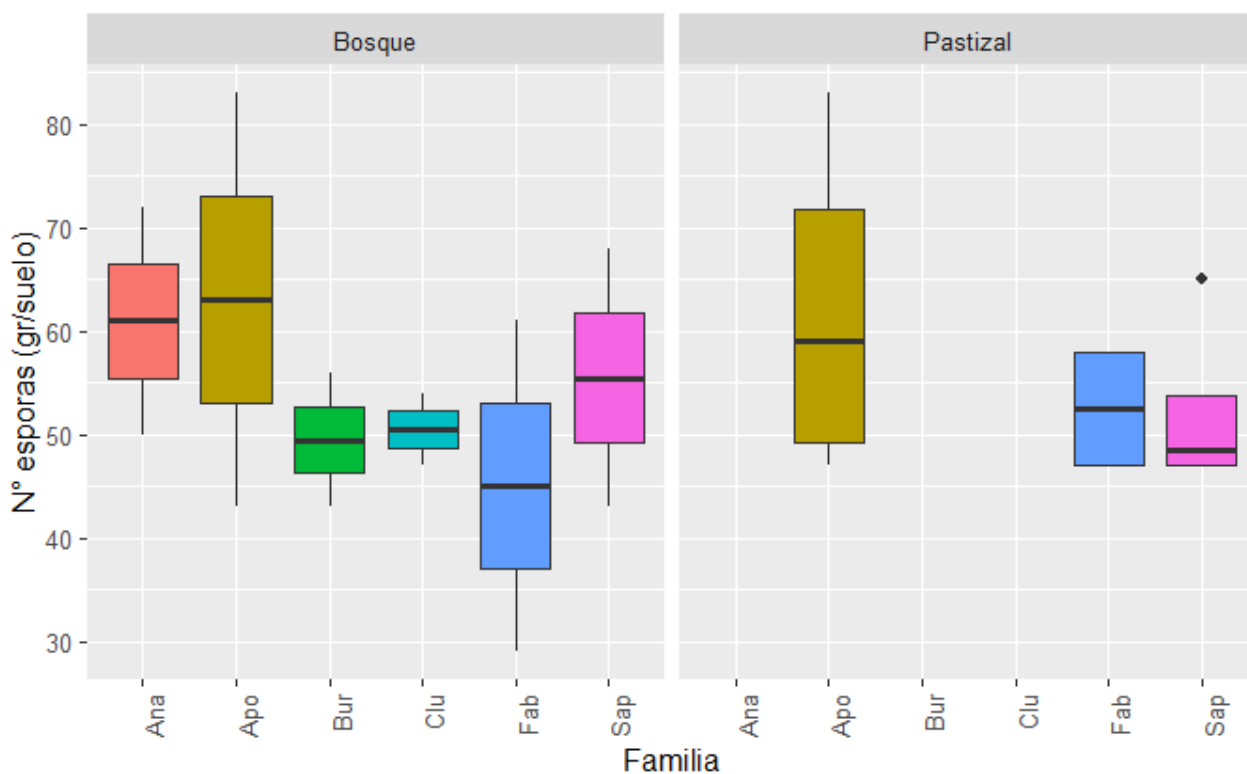


Figura 16. Abundancia de micorrizas arbusculares según la cobertura vegetal (Ana: Anacardiaceae, Apo: Apocynaceae, Bur: Burceraceae, Clu: Clusiaceae, Fab: Fabaceae, Sap: Sapotaceae)

Las familias botánicas registradas en la cobertura de bosque fueron *Anacardiaceae*, *Apocynaceae*, *Burceraceae*, *Clusiaceae*, *Fabaceae* y

Sapotaceae. En contraste, la cobertura de Pastizal presentó una menor diversidad, donde solo se identificaron tres familias: *Apocynaceae*, *Fabaceae* y *Sapotaceae* (Figura 16).

4.2.2. Abundancia de micorrizas arbusculares en la raíz

4.2.2.1. Según la estación

En la Tabla 5 se encontró que la estación influyó en la actividad de las micorrizas arbusculares (MA), aunque el porcentaje de colonización de raíz (PCR) se mantuvo consistentemente alto en ambas. Durante la estación Seca, las familias *Apocynaceae* y *Clusiaceae* mostraron los PCR más altas (98% y 97%), con *Clusiaceae* destacando por la mayor cantidad de esporas (118) y arbusculos (30%). En la estación lluviosa, el PCR alcanzó el 100% en *Burseraceae* y *Clusiaceae*, y *Sapotaceae* incrementó su micelio significativamente (a 81,11%); no obstante, desaparecieron los arbusculos en *Anacardiaceae*, *Clusiaceae*, y *Fabaceae* (0% de Arbusculos), sugiriendo un cambio en el ciclo o estructura de la simbiosis hacia la fase no activa de intercambio en estas familias, a pesar de que el número de esporas y la colonización total aumentaron o se mantuvieron estables en la mayoría de las familias.

Tabla 5. Abundancia y presencia de micorrizas arbusculares en la raíz según la estación.

Familia	Estación	N° esporas	Vesículas (%)	Micelio (%)	Arbusculo (%)	PCR (%)
<i>Anacardiaceae</i>	Seca	43	56,67	50	16,67	97
<i>Apocynaceae</i>	Seca	50	90	72,22	23,34	98
<i>Burseraceae</i>	Seca	24	47	0	26,67	90
<i>Clusiaceae</i>	Seca	118	56,67	43,33	30	97
<i>Fabaceae</i>	Seca	27	35,56	31,11	12,22	89
<i>Sapotaceae</i>	Seca	50	45,11	67,78	10	93,33
<i>Anacardiaceae</i>	Lluviosa	51	56,67	46,67	0	93
<i>Apocynaceae</i>	Lluviosa	84	57,78	41,11	2,22	99
<i>Burseraceae</i>	Lluviosa	113	60	56,67	6,67	100
<i>Clusiaceae</i>	Lluviosa	77	63,33	60	0	100
<i>Fabaceae</i>	Lluviosa	56	55,55	44,44	0	87,67
<i>Sapotaceae</i>	Lluviosa	53	73,33	81,11	6,67	95,67

PCR = Porcentaje de colonización de raíz.

4.2.2.2. Según la cobertura vegetal

Se encontró que la cobertura vegetal tuvo un efecto significativo en la abundancia de micorrizas arbusculares (MA), observándose la mayor actividad y éxito de colonización bajo la cobertura de bosque. Todas las familias presentaron una alta colonización, con *Apocynaceae* alcanzando el 100% de PCR y *Sapotaceae* mostrando la mayor proporción de micelio (66,67%) y arbusculos (18,34%). En contraste, la cobertura de pastizal resultó en la ausencia total de colonización (PCR de 0,00%) en *Anacardiaceae*, *Burseraceae*, y *Clusiaceae*, y redujo drásticamente la colonización en *Fabaceae* (al 84,00%). No obstante, *Apocynaceae* y *Sapotaceae* mantuvieron niveles altos de PCR en pastizal (97,75% y 92,50% respectivamente), demostrando una resiliencia particular a la condición de pastizal, a pesar de que *Burseraceae* y *Clusiaceae* carecieron de esporas y colonización en esta cobertura (Tabla 6).

Tabla 6. Presencia y abundancia de micorrizas arbusculares en la raíz según la cobertura vegetal.

Familia	Cobertura Vegetal	N° esporas	Vesículas (%)	Micelio (%)	Arbusculos (%)	PCR (%)
<i>Anacardiaceae</i>	Bosque	47	56,67	48,34	8,34	95,00
<i>Apocynaceae</i>	Bosque	85	70,00	71,67	5,00	100,00
<i>Burseraceae</i>	Bosque	69	53,50	28,34	16,67	95,00
<i>Clusiaceae</i>	Bosque	98	60,00	51,67	15,00	98,50
<i>Fabaceae</i>	Bosque	39	51,67	38,33	0,00	97,00
<i>Sapotaceae</i>	Bosque	70	85,00	66,67	18,34	98,50
<i>Anacardiaceae</i>	Pastizal	0	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Apocynaceae</i>	Pastizal	58	75,83	49,17	16,67	97,75
<i>Burseraceae</i>	Pastizal	0	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Clusiaceae</i>	Pastizal	0	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Fabaceae</i>	Pastizal	43	42,50	37,50	9,17	84,00
<i>Sapotaceae</i>	Pastizal	42	46,33	78,33	3,33	92,50

PCR = Porcentaje de colonización de raíz.

4.3. Características físicas y químicas del suelo

4.3.1. Características Químicas

4.3.1.1. pH y Materia Orgánica (%).

Se encontró que las características químicas del suelo, pH y porcentaje de materia orgánica (M.O.), mostraron patrones distintos de variación con la estación, la cobertura y la profundidad. El pH fue consistentemente ácido, manteniéndose alrededor de 4,0 en todas las condiciones y profundidades (50 cm a 200 cm), con solo una ligera tendencia a ser más alto durante la estación lluviosa. Esta estabilidad en el pH a lo largo de las profundidades y estaciones sugirió un fuerte control por la naturaleza geológica del suelo (Figura 17).

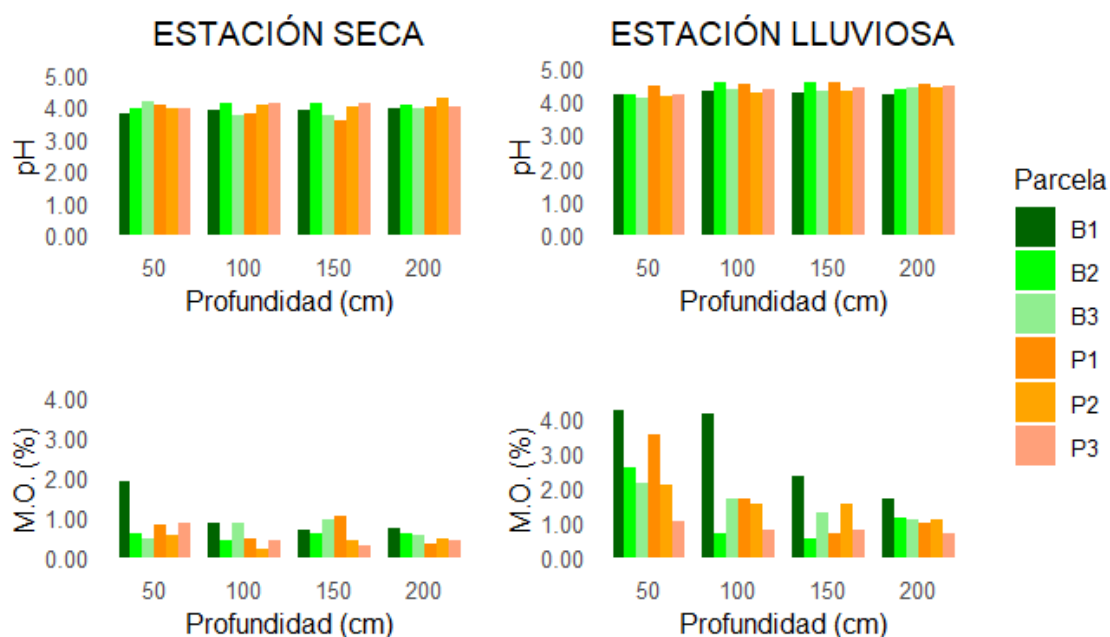


Figura 17. pH y Materia Orgánica (M.O.) del suelo según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).

La materia orgánica sí varió notablemente con la estación y la profundidad. En la estación seca, los niveles de M.O fueron bajos y decrecieron modestamente con la profundidad, con poca distinción entre las parcelas de bosque (B) y pastizal (P). Sin embargo, en la estación lluviosa, la M.O. incrementó significativamente, alcanzando sus valores máximos, cercanos al 4,00 %, en los horizontes superficiales (50 cm y 100 cm) y específicamente en las parcelas de bosque (B1 y

B2), evidenciando una mayor acumulación de hojarasca y biomasa en la superficie bajo esta cobertura. A mayor profundidad (150 cm y 200 cm), la M.O. disminuyó en todas las parcelas, aunque los niveles en el bosque permanecieron marginalmente más altos que en el pastizal, confirmando una distribución de carbono concentrada en la capa superior del suelo (Figura 17).

Salim-Kumar, 2022 registraron que el pH y la materia orgánica en el humedal Jhilmil Jheel presentan una dinámica estacional inversa: mientras que el pH alcanzó sus niveles más altos durante el verano (6,16 – 7,42) debido a la acumulación de sales por la evaporación, la materia orgánica registró sus valores máximos en invierno (hasta 3.17%) y los mínimos en verano (1.48%). Los autores explican que la reducción de materia orgánica en la época calurosa se debe a que las altas temperaturas aceleran la oxidación y la descomposición microbiana, mientras que el aumento del pH en verano se vincula al ascenso capilar de minerales.

Por su parte, Manirakiza et al., 2025 reportaron que el pH y la materia orgánica se mantuvieron estables en la mayoría de las coberturas, aunque destacaron incrementos puntuales en la temporada húmeda bajo condiciones de saturación hídrica y aportes específicos de residuos vegetales.

4.3.1.2. Fósforo (P) y Potasio (K)

Se encontró que el fósforo y el potasio variaron significativamente por estación, cobertura y profundidad. El fósforo (P) mostró una gran variabilidad, con picos de concentración registrados en las parcelas de bosque (B2 y B3) durante la estación seca a distintas profundidades (50 cm y 150 cm). En la estación lluviosa, el P disminuyó en general, con los valores más altos concentrándose cerca de la superficie (50 cm), sugiriendo una alta dinámica de lixiviación o asimilación en estas condiciones de humedad.

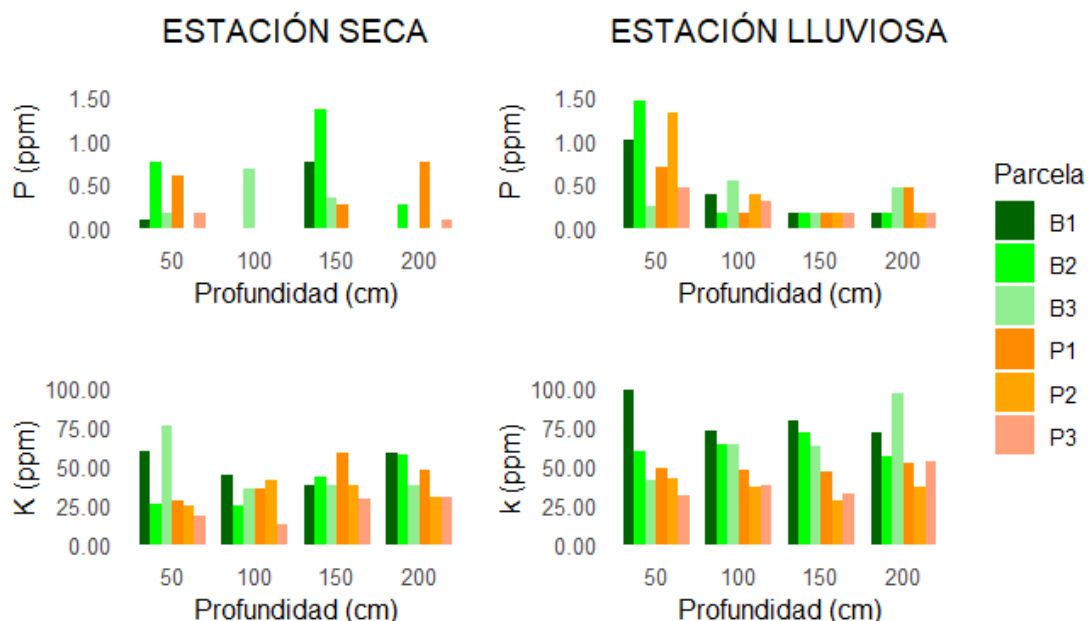


Figura 18. Fósforo (P) y Potasio (K) del suelo según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).

Por su parte, el potasio (K) fue consistentemente más alto en las parcelas de bosque en ambas estaciones y disminuyó con la profundidad. Los niveles más altos de K se observaron en el bosque durante la estación lluviosa a 50 cm (B1), evidenciando que esta cobertura favoreció la retención y disponibilidad de K en la capa superior del suelo. Las concentraciones de K en las parcelas de pastizal fueron notablemente inferiores a las del bosque en casi todas las profundidades (Figura 18).

Salim-Kumar, 2022 mencionaron que el fósforo y el potasio en el suelo alcanzaron sus niveles máximos en invierno (12,16 ppm y 109,21 ppm, respectivamente) y mínimos en verano. Los autores explican que la protección de la vegetación y la acumulación de hojarasca favorecen la disponibilidad de nutrientes en invierno, mientras que en verano las altas temperaturas y las lluvias provocan su pérdida por lixiviación y una mayor absorción vegetal.

Por otro lado, Solanki et al., 2024 mencionan que los niveles de nutrientes en el suelo alcanzaron sus valores máximos durante el verano, registrando concentraciones de 10.21 ppm de fósforo y 16.09 ppm de potasio. Los autores señalan que este incremento se debe a una mayor actividad microbiana y tasas de descomposición orgánica aceleradas por el calor estacional.

4.3.1.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y Calcio intercambiable (Ca^{+2})

Se encontró que los valores de CIC fueron consistentemente más altos durante la estación lluviosa en todas las parcelas y profundidades, alcanzando su máximo (mayor valor de 22,67 meq/100 gr) en la cobertura bosque a 50 cm de profundidad. Por otro lado, la CIC mostró su menor valor en la estación seca, específicamente en la parcela de pastizal 3 a 50 cm de profundidad, con un valor de 4 meq/100gr. Para el Ca^{+2} , las parcelas de pastizal (P1-P3) generalmente exhibieron los valores más altos, especialmente a 50 cm en la estación seca. Las parcelas de bosque (B1-B3) mostraron una menor concentración de Ca^{+2} en ambas estaciones, particularmente a 200 cm de profundidad en la estación lluviosa.

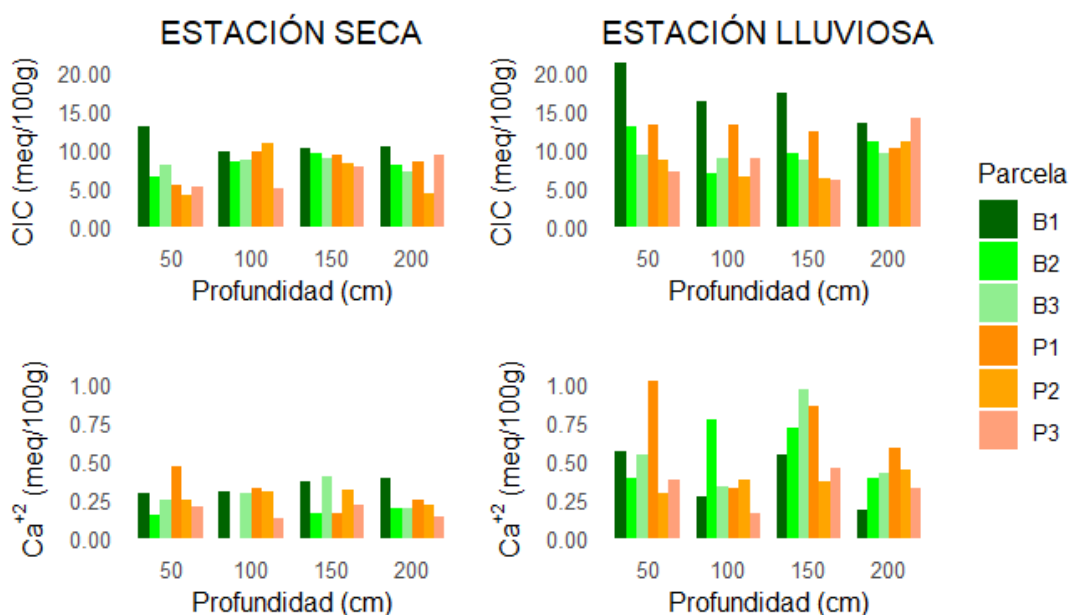


Figura 19. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y Calcio intercambiable (Ca^{+2}) del suelo según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).

El contenido de Ca^{+2} mostró menos dependencia de la estación, aunque los pastizales (P1-P3) tendieron a presentar las concentraciones más altas. El mayor valor de Ca^{+2} (cerca de 1,01 se registró en el pastizal 1 (P1) a 50 cm en la estación lluviosa. El menor valor de Ca^{+2} (aproximadamente 0,0 meq/100 gr) se observó en el pastizal 2 (P2) a 200 cm en la estación seca. En el pastizal, el Ca^{+2} se concentró en la superficie (50 cm) en la estación seca, pero se movió a mayores

profundidades (100-150 cm) en la estación lluviosa. Los sitios de bosque (B1-B3) mantuvieron niveles de Ca^{+2} bajos de manera más uniforme en todas las profundidades (Figura 19).

Ayo et al., 2014 mencionan que el calcio (Ca^{+2}) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuyen durante el pico de lluvias por lixiviación, alcanzando sus niveles máximos en la época seca. Los autores reportaron valores de calcio entre 2,52 y 4,14 meq/100 g y una CIC de hasta 6,22 meq/100 g, confirmando que el régimen de precipitaciones es el factor principal que regula la retención de cationes en el suelo de la sabana.

4.3.1.4. Mg^{+2} y $\text{AL}^{+3}+\text{H}^{+}$

Se encontró que el contenido de Mg^{+2} fue consistentemente más alto en la estación lluviosa que en la seca, mostrando un patrón de aumento con la profundidad en varias parcelas. El mayor valor de Mg^{+2} (aproximadamente 0,61 meq/100 gr) se registró en el bosque 3 a 150 cm de profundidad durante la estación lluviosa. Por otro lado, el menor valor de Mg^{+2} (cercano a 0,02 meq/100 gr) se observó en el pastizal 1 (P1) a 50 cm en la estación seca, donde los pastizales (P1-P3) generalmente mostraron las concentraciones más bajas de Mg^{+2} . Los sitios de bosque (B1-B3) mantuvieron niveles de Mg^{+2} más elevados, especialmente a profundidades de 100 cm y 150 cm en la estación lluviosa (Figura 20).

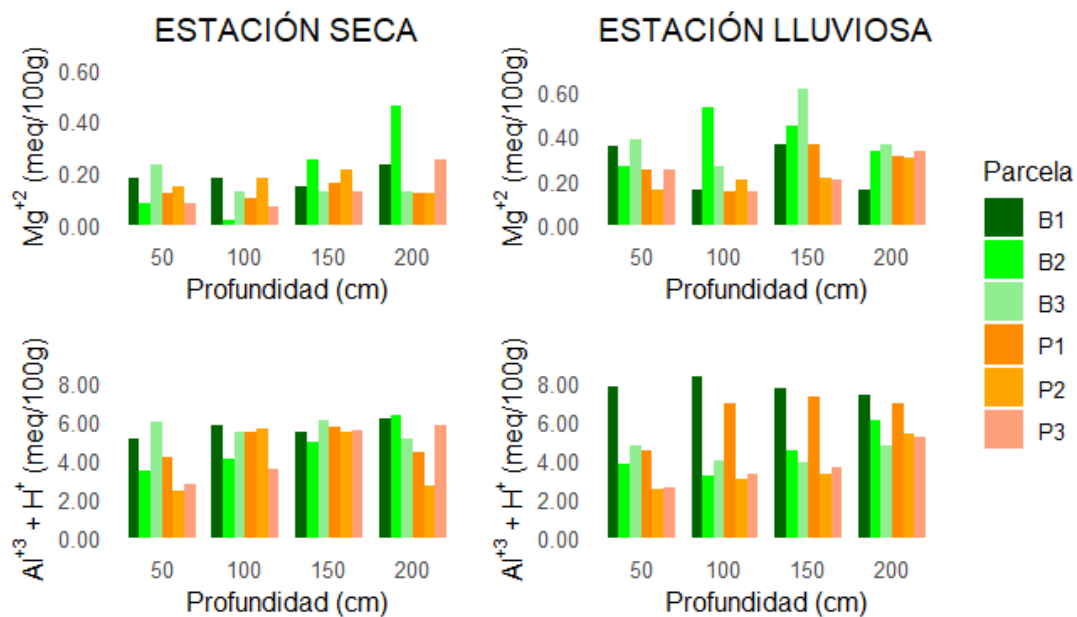


Figura 20. Magnesio (Mg) y Acidez intercambiable ($AL+3+H^{+}$) del suelo de según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).

La Acidez Intercambiable mostró concentraciones generalmente más altas en la estación lluviosa que en la seca. El mayor valor de Acidez Intercambiable (cercano a 8,30 meq/100 gr) se registró en el bosque 1 a 100 cm de profundidad en la estación lluviosa, aunque en esta misma estación el bosque 1 a 50 cm también alcanzó un valor máximo similar. El menor valor de Acidez Intercambiable (2,40 meq/100\ gr) se observó en el pastizal 2 a 50 cm de profundidad durante la estación seca.

Asimismo, Ayo et al., 2014, el magnesio (Mg^{2+}) disminuye durante el pico de lluvias por lixiviación, alcanzando máximos de 0,65 a 1,08 meq/100 g en la época seca. En contraste, la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$) aumenta en el periodo lluvioso hasta los 0.38 meq/100 g, debido a que el exceso de agua favorece la hidrólisis del aluminio y el lavado de bases, incrementando la concentración de iones de hidrógeno en el suelo.

En general, los valores fueron altos en todas las coberturas y profundidades, con los bosques (B1-B3) y las mayores profundidades (100-200 cm) mostrando una tendencia a concentraciones de acidez ligeramente mayores en ambas estaciones (Figura 20).

4.3.1.5. C.E y Na⁺

En la figura 21 se encontró que la C.E fue mayor en la estación seca, sugiriendo acumulación de sales. El mayor valor de C.E. (0,11 meq/100 gr) se registró en el Pastizal 2 a 150 cm en ambas estaciones. El menor valor de C.E. (0,1 meq/100 gr) se observó en la estación lluviosa. En la estación seca, los pastizales (P1-P3) tendieron a tener una C.E. más alta en las profundidades de 150-200 cm.

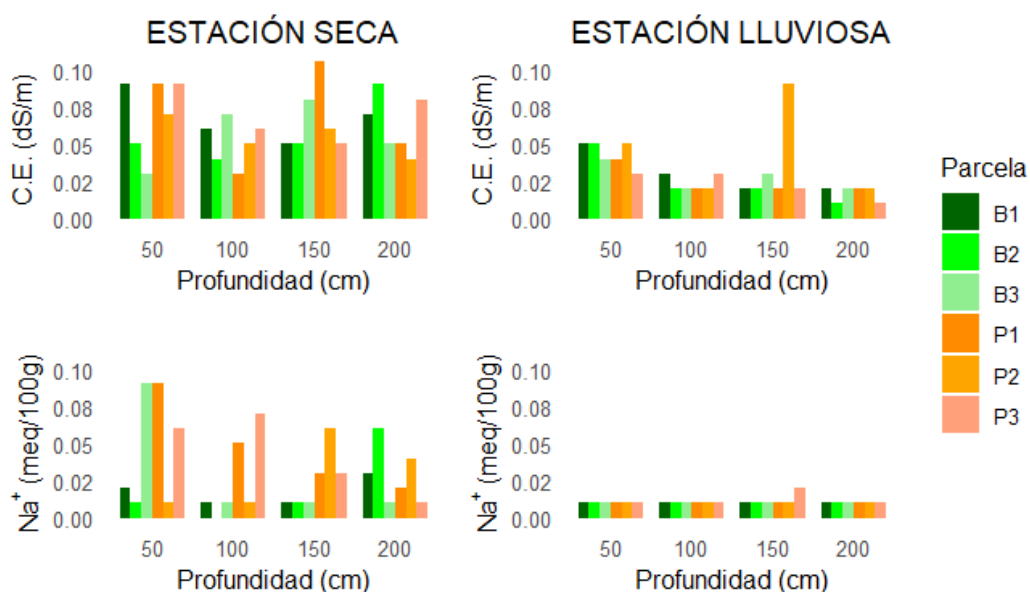


Figura 21. Conductividad Eléctrica (C.E.) y Sodio intercambiable (Na⁺) del suelo según la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).

Se encontró que el contenido de Na⁺ fue marcadamente mayor en la estación seca, lo que indica una fuerte dilución durante las lluvias. El mayor valor de Na⁺ (0,09 meq/100 gr) se registró en el pastizal a 50 cm durante la estación seca. El menor valor de Na⁺ (0,00 meq/100 gr) se observó en casi todas las parcelas en la estación lluviosa, donde las concentraciones fueron mínimas. Los pastizales (P1-P3) concentraron el Na⁺ en la superficie y a profundidad en la estación seca, mientras que los bosques (B1-B3) mantuvieron niveles bajos.

Por su parte Ayo et al., 2014, el sodio (Na⁺) alcanzó su nivel máximo en la época seca (0,05 meq/100 g) y disminuyó durante el pico de lluvias debido a la lixiviación.

4.3.1.6. K⁺

En la figura 22 se encontró que la concentración de K⁺ fue muy similar entre la estación seca y la lluviosa, con variaciones más notables por cobertura y profundidad. El mayor valor de K⁺ (0,25 meq/100 gr) se registró en el bosque 3 a 50 cm de profundidad en ambas estaciones, indicando una alta concentración en la capa superficial de ese sitio.

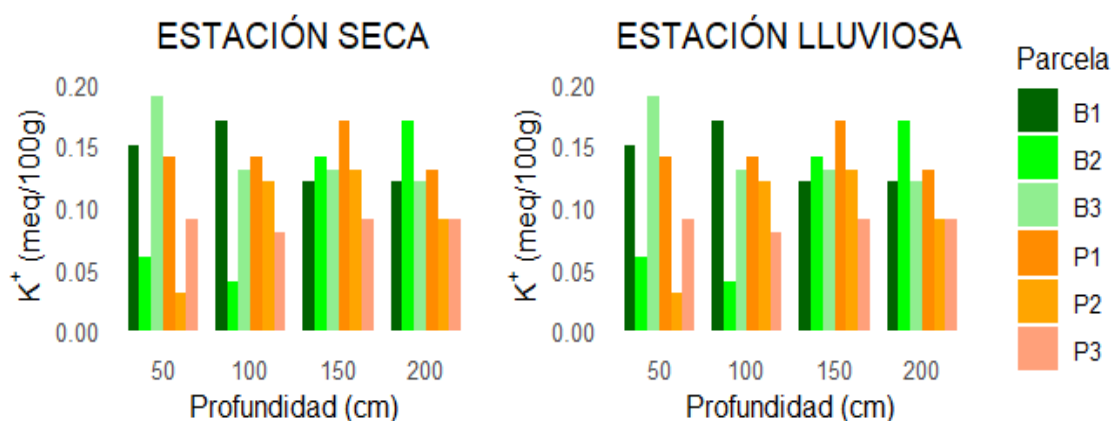


Figura 22. Potasio intercambiable (K⁺) del suelo de acuerdo a la profundidad (0-50 cm, 50-100 cm, 150-200cm).

El menor valor de K⁺ (0,03 meq/100 gr) se observó en la parcela de pastizal 2 a 50 cm en la estación seca. En general, las parcelas de pastizal (P1-P3) tendieron a mostrar una mayor fluctuación en el K⁺, con valores particularmente bajos en el P2. Las parcelas de bosque (B1-B3) mantuvieron concentraciones de K⁺ más uniformes y relativamente altas, especialmente en los primeros 100 cm, lo que sugiere una mayor retención de este nutriente. No se observó un patrón claro de acumulación o lavado del K⁺ relacionado con la estación.

4.3.2. Características Físicas

En la Tabla 7 se observó que la textura del suelo en la cobertura bosque fue predominantemente arcillosa y franco arcilloso en todas las profundidades. Por otro lado, la textura en el pastizal fue más variada, siendo inicialmente más gruesa y arenosa en la superficie, para luego volverse similarmente arcillosa en los horizontes más profundos.

Tabla 7. Textura del suelo

Parcela	Cobertura vegetal	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textura
P1	Pastizal	50	37	28	35	Fr.Ar.
P1	Pastizal	100	33	26	41	Ar.
P1	Pastizal	150	29	32	39	Fr.Ar.
P1	Pastizal	200	33	30	37	Fr.Ar.
B1	Bosque	50	43	20	37	Fr.Ar.
B1	Bosque	100	35	26	39	Fr.Ar.
B1	Bosque	150	27	28	45	Ar.
B1	Bosque	200	29	30	41	Ar.
P2	Pastizal	50	39	34	27	Fr.
P2	Pastizal	100	29	28	43	Ar.
P2	Pastizal	150	31	30	39	Fr.Ar.
P2	Pastizal	200	39	34	27	Fr.
B2	Bosque	50	27	42	31	Fr.Ar.
B2	Bosque	100	31	36	33	Fr.Ar.
B2	Bosque	150	25	38	37	Fr.Ar.
B2	Bosque	200	25	30	45	Ar.
P3	Pastizal	50	39	36	25	Fr.
P3	Pastizal	100	39	34	27	Fr.
P3	Pastizal	150	33	30	37	Fr.Ar.
P3	Pastizal	200	31	30	39	Fr.Ar.
B3	Bosque	50	25	34	41	Ar.
B3	Bosque	100	29	36	35	Fr.Ar.
B3	Bosque	150	27	38	35	Fr.Ar.
B3	Bosque	200	27	36	37	Fr.Ar.

Fr.Ar.A.=Franco Arcilloso Arenoso; Ar.= Arcilloso; Fr.Ar. = Franco Arcilloso; Fr. = Franco.

Encontramos que la proliferación de Annelida en el pastizal no solo se explicó por la materia orgánica, sino que también intervino la textura del suelo. El estudio de (nova-cruz, 2019) confirmó esta relación al reportar que el contenido de arcilla y limo se asoció con la abundancia de lombrices. Esto nos permitió inferir un efecto combinado en la biomasa: la composición de arcilla y limo en el pastizal pudo crear un microambiente con propiedades óptimas (mejor retención de humedad y aireación) que, junto con la disponibilidad de materia orgánica, potenció la capacidad del suelo para soportar la alta Biomasa de lombrices, algo que no se observó en el suelo del bosque.

4.4. Relaciones entre las características fisicoquímicas y biológicas del suelo

4.4.1. Estación seca

La matriz de correlación para la estación seca (Figura 9) evidenció que las variables estructurales y biológicas presentan asociaciones significativas con las propiedades del suelo. La biomasa mostró una correlación positiva con el neutro (K) y negativa con el pH. Por su parte, la densidad se correlacionó positivamente con la materia orgánica (MO), el K y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mientras que presentó una relación inversa con el orden. Este último mostró una fuerte correlación positiva con los cationes de calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}). La diversidad exhibió una relación directa con la MO y la conductividad eléctrica (CE), y una asociación negativa con el K, la acidez intercambiable ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^{+}$) y la biomasa (Figura 23).

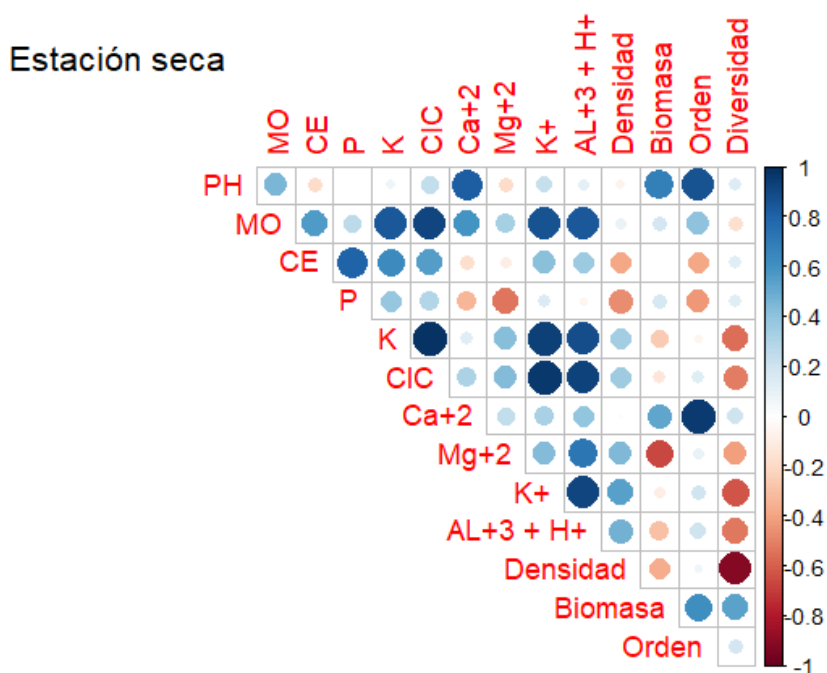


Figura 23. Correlación triangular entre las características del suelo y la densidad, biomasa, orden y diversidad de macroinvertebrados.

ESTACIÓN SECA

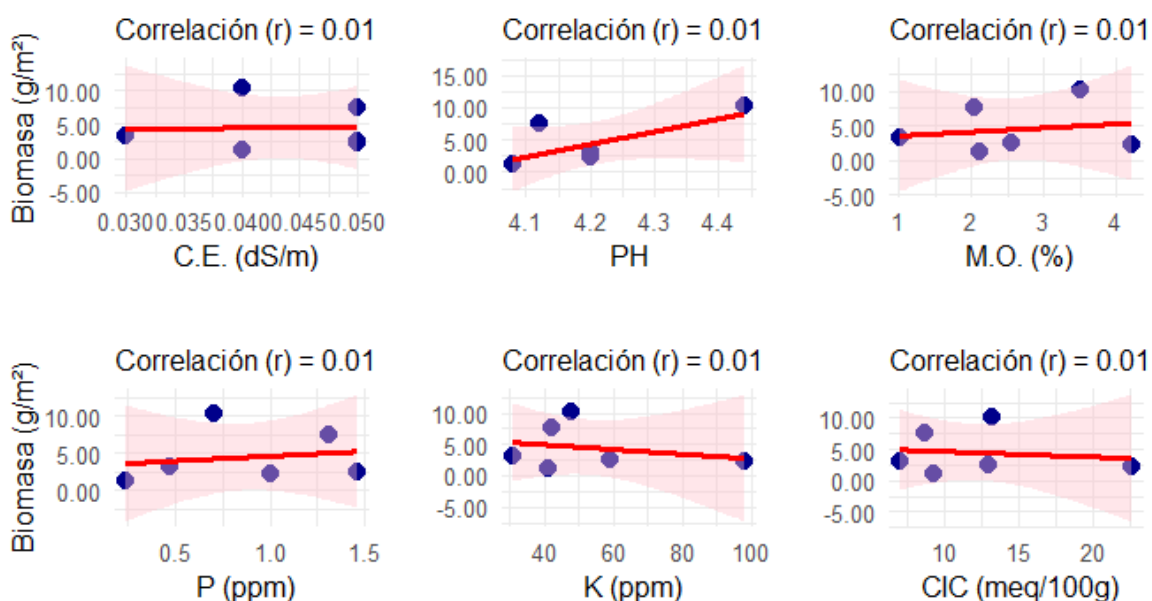


Figura 24. Correlación de biomasa entre las características del suelo.

se observó que la biomasa tuvo una relación extremadamente débil o casi inexistente con las seis características del suelo analizadas. Esto se evidencia porque el coeficiente de correlación fue 0,01 para los seis gráficos, un valor que está prácticamente en cero, indicando una ausencia de relación lineal. Aunque la línea de regresión de tendencia (roja) fue muy ligeramente ascendente para C.E., pH, M.O. y P (sugiriendo una mínima tendencia positiva) y ligeramente descendente para K y CIC (sugiriendo una mínima tendencia negativa), la dispersión de los puntos (la biomasa variando ampliamente sin importar el valor de la característica del suelo) y el valor de r confirman que no hubo una relación significativa entre la biomasa y estas propiedades edáficas durante la estación seca (Figura 24).

Encontramos que la biomasa en el pastizal de las Pampas de Heath estaba significativamente dominada por Annelida (lombrices). Esta observación fue fuertemente respaldada por el estudio de (Huerta & van der Wal, 2012) en Tabasco, México, quienes demostraron que la materia orgánica del suelo influyó directamente en la abundancia de lombrices. Interpretamos esta coherencia como una validación de que, a pesar de la diferencia en la cobertura vegetal (bosque y pastizal), la materia orgánica es el factor limitante y principal motor de la biomasa

de Annelida en los suelos tropicales. La correlación positiva de la Biomasa con la Materia Orgánica y el CIC en nuestros resultados fue, por lo tanto, la expresión local de un principio ecológico regional.

ESTACIÓN SECA

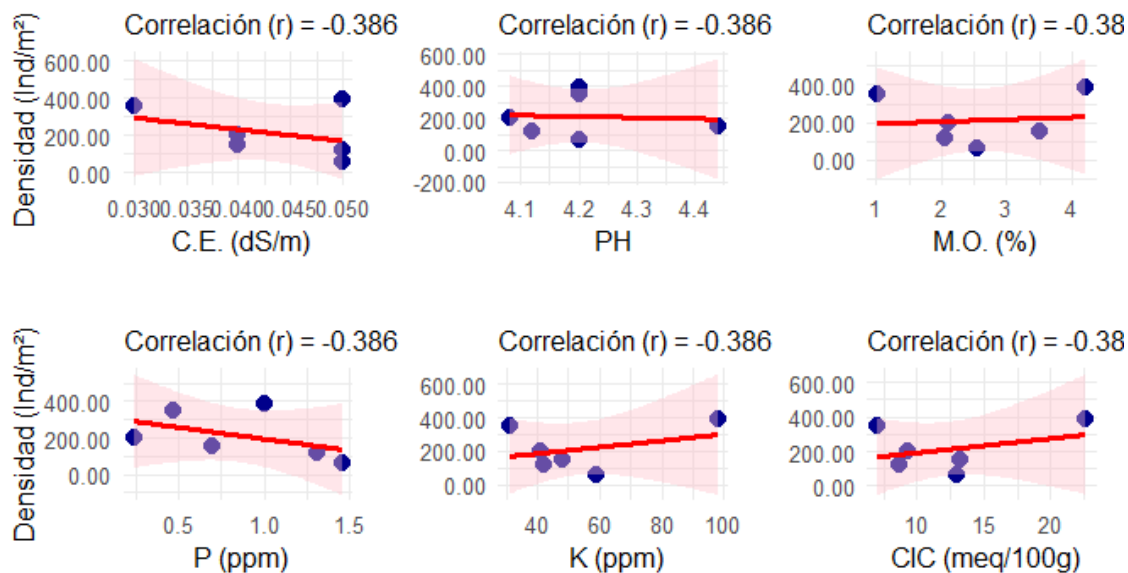


Figura 25. Correlación de densidad entre las características del suelo.

El conjunto de gráficos de dispersión para la estación seca ilustró la relación entre la densidad y seis características del suelo, revelando una correlación débil en general. El coeficiente de correlación r fue idéntico en todos los casos: $-0,386$. Este valor indica una relación negativa débil de la densidad con la conductividad eléctrica (C.E.), el pH, la M.O y P, lo que sugiere una tendencia a que la densidad disminuya ligeramente a medida que estas propiedades aumentan. No obstante, la línea de tendencia para el potasio (K) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue, contrariamente al valor r , ligeramente ascendente o plana, lo cual sugiere que el valor de $-0,386$ podría ser un resultado de la dispersión general de los datos, y que la relación lineal fue igualmente débil o insignificante con todas las propiedades del suelo (Figura 25).

ESTACIÓN SECA

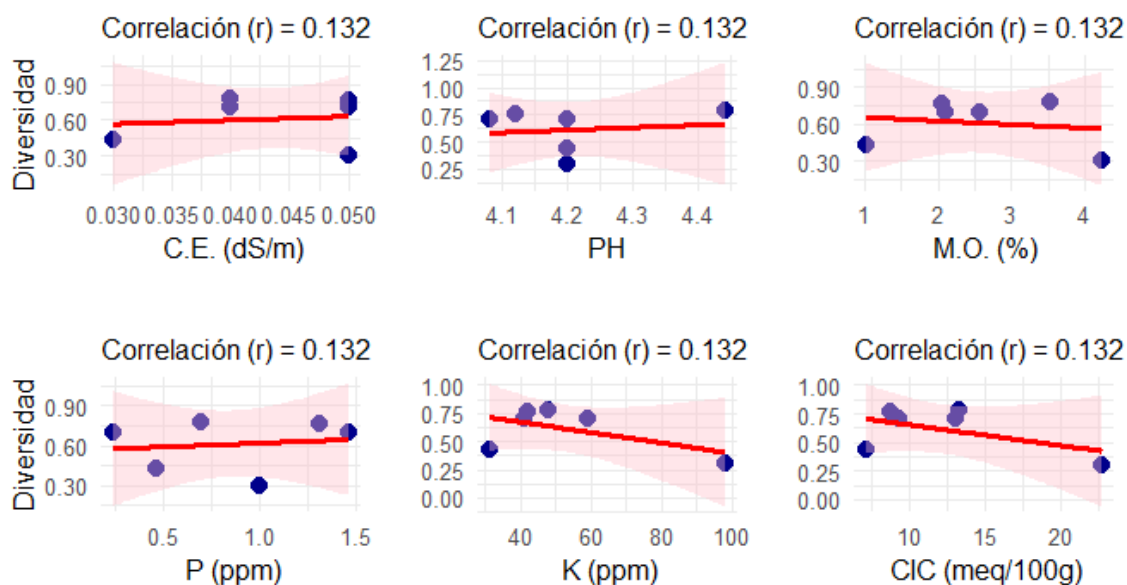


Figura 26. Correlación de diversidad entre las características del suelo.

En la estación seca, la diversidad mostró una relación extremadamente débil con las seis características del suelo. El coeficiente de correlación r fue de 0,132\$ en todos los gráficos, un valor muy cercano a cero. Esto indica que la relación lineal fue prácticamente inexistente. Aunque la diversidad tuvo una tendencia mínima positiva con C.E., pH, M.O. y P, y una tendencia mínima negativa con K y CIC, la varianza en los datos es alta, lo que confirma la falta de una relación significativa con estas propiedades del suelo (Figura 26).

ESTACIÓN SECA

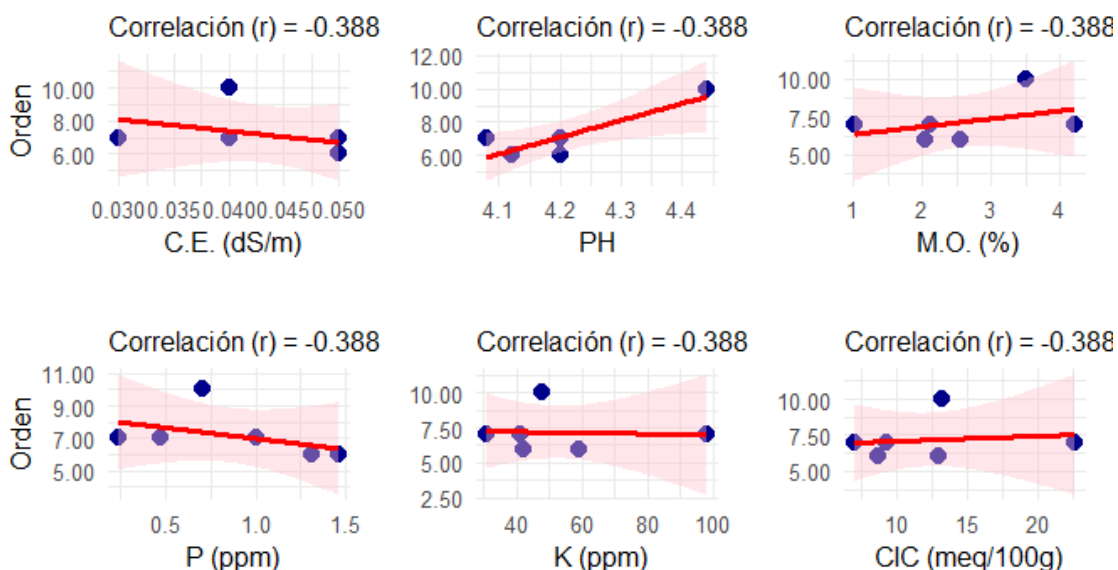


Figura 27. Correlación de orden entre las características del suelo.

Se observó que la relación entre el orden y seis características del suelo (C.E., pH, M.O., P, K y CIC), mostrando una correlación débil en todos los casos. El coeficiente de correlación (r) fue de $-0,388$ para las seis variables. Este valor sugiere una relación negativa débil del orden con la conductividad eléctrica (C.E.) y el Fósforo (P), lo que implicó una ligera tendencia a que el orden disminuya al aumentar estos factores. Sin embargo, las líneas de tendencia para el pH, la Materia Orgánica (M.O.), el Potasio (K) y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) fueron ligeramente positivas o casi planas, indicando que, a pesar del valor r común, la relación lineal fue igualmente débil o insignificante con todas las propiedades edáficas (Figura 27).

4.4.2. Estación Lluviosa

La estación lluviosa mostró un patrón de correlación distinto al de la estación seca. La Biomasa presentó una correlación positiva fuerte con el pH y el calcio (Ca^{+2}) y una negativa fuerte con el Potasio intercambiable (K^{+}) y el orden. La densidad se correlacionó positivamente fuerte con la materia orgánica (MO), la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y el $\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$, y negativamente fuerte con el orden. La variable orden estuvo negativamente correlacionada de forma fuerte con el pH, la densidad y la biomasa, mientras que mostró una correlación positiva moderada

con el potasio intercambiable (K^+). Finalmente, la diversidad mostró correlaciones neutras con la conductividad eléctrica y negativas moderadas con la materia orgánica (Figura 28).

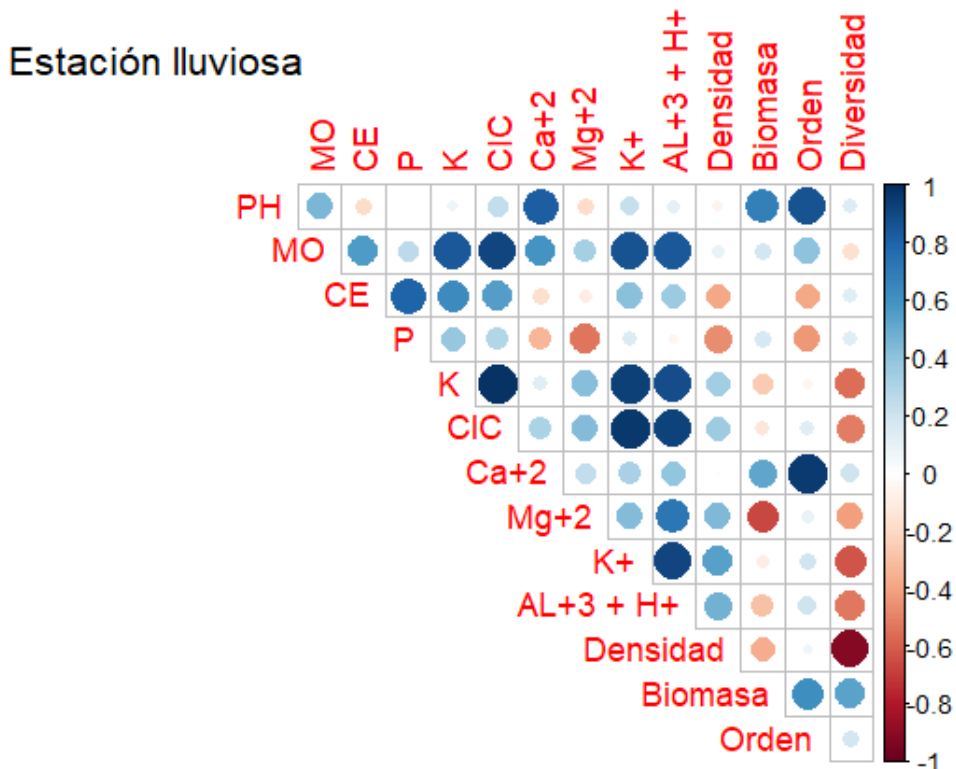


Figura 28. Correlación triangular entre las características del suelo y la densidad, biomasa, orden y diversidad de macroinvertebrados en la estación lluviosa.

ESTACIÓN LLUVIOSA

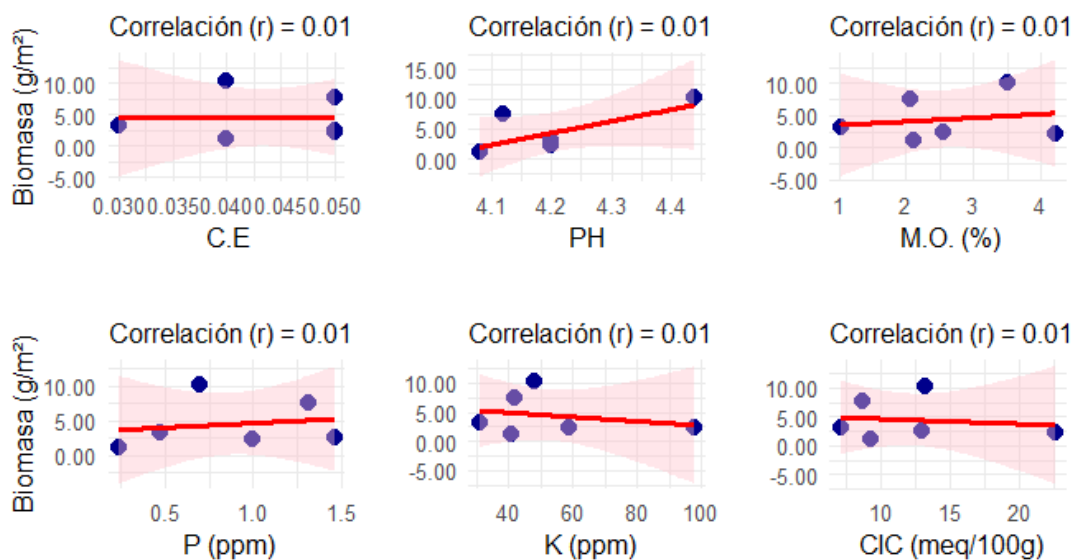


Figura 29. Correlación de biomasa de macroinvertebrados entre las características del suelo en la estación lluviosa.

Se observó en la figura 29, la cual representó la relación entre la biomasa y seis variables edáficas (C.E., pH, M.O. (%), P (ppm), K (ppm), y CIC (meq/100g)) durante la estación lluviosa, que el coeficiente de correlación (r) fue de 0,01 para todas las parejas de variables. Este valor extremadamente bajo y cercano a cero indicó que la correlación fue insignificante o prácticamente nula entre la biomasa y cada una de las características del suelo analizadas. Las líneas de regresión en los gráficos fueron esencialmente planas, confirmando que ninguna de las características del suelo mostradas ejerció una influencia o presentó una relación lineal considerable con la variabilidad de la biomasa en la estación.

ESTACIÓN LLUVIOSA

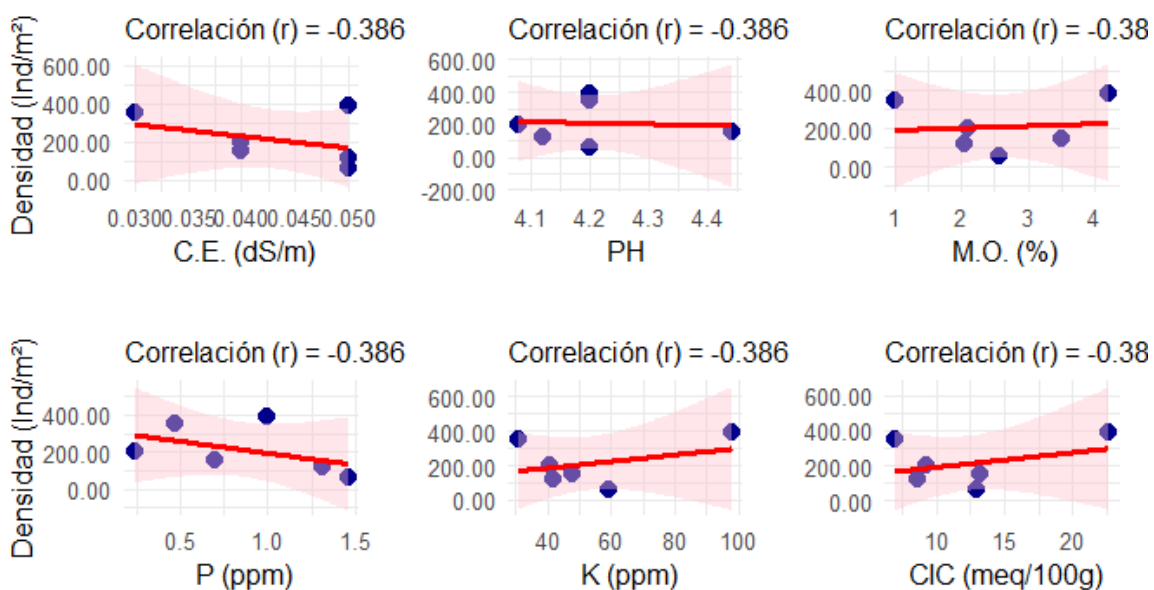


Figura 30. Correlación de densidad de macroinvertebrados entre las características del suelo en la estación lluviosa.

Se observó en la figura 30, la cual mostró gráficos de dispersión que evaluaron la correlación entre la diversidad y seis características del suelo durante la estación lluviosa. Un factor clave fue que el coeficiente de correlación (r) fue de $-0,386$ en todos los casos. Este valor indicó una correlación negativa débil a moderada entre la densidad y cada una de las variables edáficas mostradas. Específicamente, las líneas de regresión rojas en los gráficos de C.E., pH, M.O y P presentaron una ligera pendiente negativa, lo que sugirió que a medida que estas características del suelo aumentaron, la densidad tendió a disminuir. Por otro lado, la relación con K y CIC fue prácticamente nula, a pesar del valor general de r , lo que en conjunto sugirió que, aunque existió una ligera tendencia general negativa en la relación con la densidad, ninguna de las variables edáficas por sí sola tuvo una correlación lineal fuerte o un poder predictivo significativo sobre la densidad durante la estación lluviosa.

ESTACIÓN LLUVIOSA

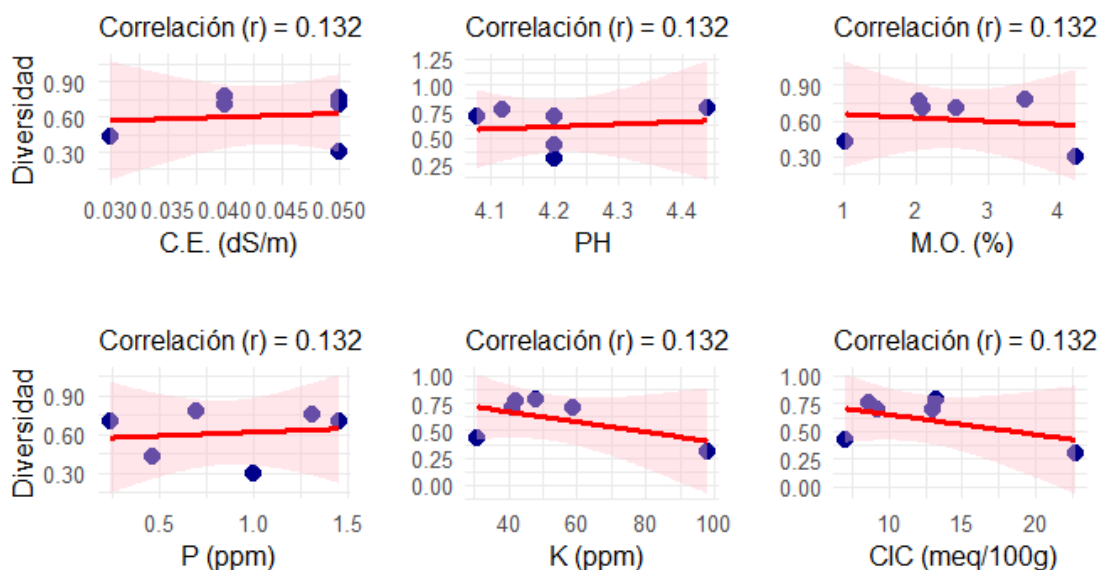


Figura 31. Correlación de diversidad de macroinvertebrados entre las características del suelo en la estación lluviosa.

Se observó que esta figura 31 presentó gráficos de dispersión que evaluaron la correlación entre la diversidad y seis características del suelo durante la estación seca. El coeficiente de correlación (r) fue de 0,132 en todos los casos, lo que indicó una correlación extremadamente débil y casi nula entre la diversidad y cada uno de los parámetros del suelo analizados. Las líneas de regresión rojas en los gráficos de C.E, pH, M.O y P fueron prácticamente planas, sugiriendo una relación lineal inexistente. Aunque las líneas para K (ppm) y CIC (meq/100g) mostraron una pendiente ligeramente negativa, la debilidad del coeficiente $r = 0,132$ y la amplia banda de confianza indicaron que las variables edáficas representadas no tuvieron una influencia lineal significativa ni poder predictivo sobre la diversidad durante la estación lluviosa.

ESTACIÓN LLUVIOSA

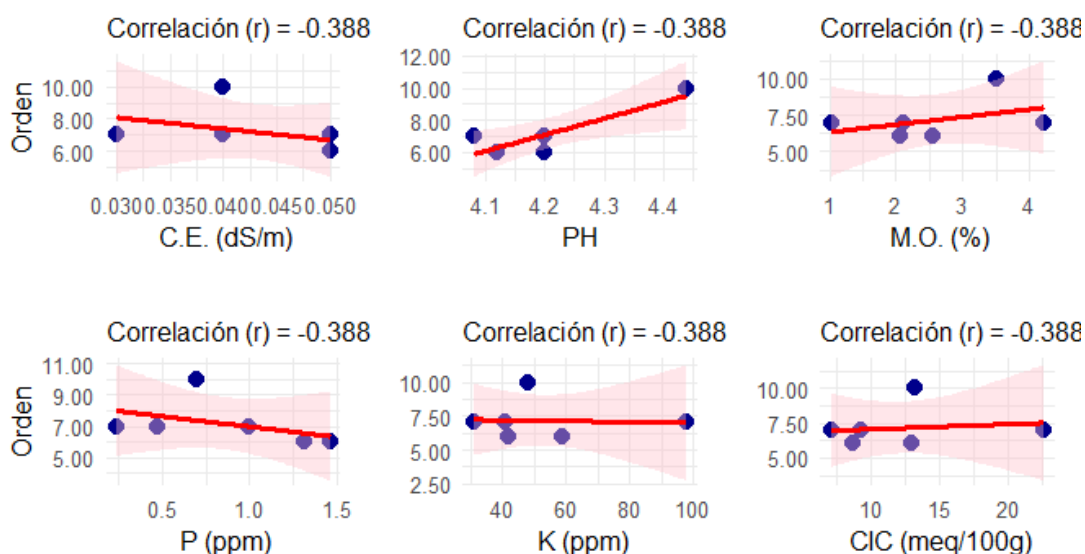


Figura 32. Correlación de orden de macroinvertebrados entre las características químicas del suelo en la estación lluviosa.

Se observó que esta figura 32 ilustró la correlación entre la variable orden y seis características del suelo durante la estación seca. El coeficiente de correlación (r) fue de $-0,388$ en todos los casos, lo que indicó una correlación negativa débil a moderada entre el orden y la mayoría de los parámetros edáficos mostrados. Las líneas de regresión rojas en los gráficos de C.E y Fósforo (P) presentaron una ligera pendiente negativa, mientras que las líneas para pH y M.O tuvieron una ligera pendiente positiva. Sin embargo, la magnitud del coeficiente r sugirió que, aunque existió una tendencia general negativa débil en la relación, ninguna de estas características del suelo ejerció una influencia lineal fuerte o significativa sobre la variabilidad de la variable orden durante la estación lluviosa.

CONCLUSIONES

En la evaluación de la macrofauna edáfica en las Pampas de Heath se identificó 917 individuos de 17 Órdenes, dominando Isoptera e Hymenoptera con una clara variación estacional. La estación lluviosa fue el periodo más activo, registrando la mayor abundancia (478 Ind.) y biomasa (26.73 gr/m²), lo que indica una ventana ecológica favorable por la humedad óptima. Aunque la abundancia total fue similar entre el pastizal y el bosque, la cobertura vegetal indujo una reorganización funcional: el pastizal concentró la biomasa de Annelida, mientras el bosque acumuló la densidad de Isoptera. Se concluye que la actividad de la macrofauna estuvo restringida a los primeros 10 cm de profundidad.

En la Colonización Radicular Total (PCR) de HMA no varió significativamente entre estaciones ($p = 0.88$), pero sí lo hizo de forma significativa según la cobertura vegetal ($p = 0.03$). La abundancia de esporas/gr de suelo registró una variación significativa, alcanzando su máxima concentración en la estación seca, lo que confirmó una estrategia fenológica de resistencia ante el estrés hídrico. El análisis fue mediante la prueba U de Mann-Whitney, determinando que el ciclo hidrológico es el modulador clave de las estructuras infectivas. Por otro lado, se evidenció el comportamiento estacional al observar la desaparición total de arbusculos (0%) en la estación lluviosa, a pesar de que la PCR (micelio y vesículas) se mantuvo alta.

En las propiedades fisicoquímicas hubo una diferencia significativa entre las estaciones (seca y lluviosa) y las coberturas (pastizal y bosque), verificada por la prueba U de Mann-Whitney. El pH fue el factor más consistente, manteniendo los suelos fuertemente ácidos con un promedio de 4,0 en todas las profundidades. Se determinó que el ciclo hidrológico estacional (alternancia entre inundación y estiaje) es el factor dominante que modula fuertemente la disponibilidad de elementos como el K, P y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

El análisis de correlación de Pearson reveló que existen relaciones significativas y complejas entre las características fisicoquímicas del suelo y la población de macroinvertebrados, lo cual sugiere que la variación estacional influye notablemente en la dinámica de estos organismos. Durante la estación seca, la Biomasa de macroinvertebrados mostró una correlación neutra con el Potasio (K) y negativa con el pH, mientras que la Diversidad se asoció positivamente con la Materia Orgánica (MO) y la CIC. En contraste, en la estación lluviosa, la Biomasa se correlacionó positivamente con el pH y el Calcio (Ca^{+2}), pero mostró una relación negativa con el Potasio (K^{+}). Esta inversión en las correlaciones entre las estaciones subraya que la disponibilidad de agua y nutrientes modifica los factores que controlan la distribución de los organismos del suelo

SUGERENCIAS

Para futuros estudios en este tipo de ecosistemas, se recomienda una estandarización metodológica comenzando por no limitar la estacionalidad a una simple clasificación de calendario, sino definirla mediante un índice hidrológico que incorpore la profundidad y la duración de las lluvias o el nivel del cauce del río, ya que el pulso de inundación es el principal factor de control biológico en la región Madre de dios.

En este sentido, es crucial considerar el acceso al área de estudio, puesto que la baja disponibilidad de agua durante la investigación dificultó el acceso, por lo que una adecuada planificación logística en función del nivel del río es fundamental para el éxito de las campañas de campo.

Asimismo, se sugiere implementar un protocolo de muestreo que no se limite a profundidades fijas, sino que utilice capas funcionales del suelo para correlacionar los datos fisicoquímicos con la actividad biológica.

De igual forma, en la estación húmeda, es indispensable complementar el muestreo edáfico con la toma de muestras de agua y sedimentos para incluir variables como el oxígeno disuelto y la conductividad, que son claves en humedales.

En cuanto al análisis biológico, se recomienda a futuros investigadores a invertir en la identificación taxonómica más profunda de la macrofauna, llegando a género o especie, para aumentar su valor como bioindicadores de cambios ambientales.

Finalmente, dado que las correlaciones edáficas han demostrado ser débiles en este estudio, se debe incluir variables de la estructura de la vegetación (como la densidad radicular o la diversidad vegetal), y se sugiere el uso de Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM) para analizar y desenredar la compleja red de interacciones directas e indirectas que modulan la biota edáfica en estos sistemas multifactoriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUILAR-ULLOA, W., ARCE-ACUÑA, P., GALIANO-MURILLO, F., & TORRES-CRUZ, T. J. (2016). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(7), 5. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i7.2700>
- ÁLVAREZ, C. A. M. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa- Guía didáctica*. Universidad surcolombiana.
- ANASTASSAKIS, K. (2022). Magnesium (Mg⁺²). In *Androgenetic Alopecia From A to Z* (pp. 367–371). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08057-9_42
- ANDERSON, J.M. AND INGRAM, J. I. S. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility* (W. , C.A.B. International (ed.); 2nd Editio).
- AYO, F., & M., R. O. (2014). Effect of rainfall season on the chemical properties of the soil of a Southern Guinea Savanna ecosystem in Nigeria. *Journal of Ecology and The Natural Environment*, 6(4), 182–189. <https://doi.org/10.5897/JENE2013.0433>
- BLEAM, W. (2017). Acid-Base Chemistry. In *Soil and Environmental Chemistry* (pp. 253–331). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804178-9.00006-9>
- 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), 349–364.
- CALDERÓN-MEDINA, C. L., BAUTISTA-MANTILLA, G. P., & ROJAS-GONZÁLEZ, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141–157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>

- CALZADILLA, M., KILLEEN, T., PANFIL, S., & CORREA, L. (2008). Analisis de los cambios naturales en las Pampas del Heath, los incendios e inundaciones y su efecto sobre ecotonos del bosque a la sabana (la paz, bolivia). *Universidad Mayor de San Andrés*.
- CARRILLO-SAUCEDO, S. M., PUENTE-RIVERA, J., MONTES-RECINAS, S., & CRUZ-ORTEGA, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana*, 129. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- CASTILLO ACOBO, L. V., & OCHOA TORRES, N. A. (2024). Macroinvertebrate community and ecological quality of springs in the Southeastern Basin of Arequipa - Peru. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 28(125), 186–194. <https://doi.org/10.47460/uct.v28i125.871>
- CCOYCCA LEON, S., & LORENZO. (2018). Estudio de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales en los distritos de Laberinto e Inambari del departamento de Madre de Dios. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- CHAVARRY ROJAS, G. (2012). *Densidad y diversidad de especies de macroinvertebrados del suelo de tres parcelas del arboretum “El Huayo” en Puerto Almendra, Loreto - Perú*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- CRUZ-LEYVA, M. C. DE LA, ZAMUDIO-MAYA, M., ALMA IRENE CORONA-CRUZ, J. U. G. LA C., & ROJAS-HERRERA, R. A. (2015). Importancia y estudios de las comunidades microbianas en los recursos y productos pesqueros. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(2007–9028).
- DÁVILA, G. DE LA C. C., RENDÓN, J. A. S., & LIMA, D. P. DE L. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221(2519–7754).

- DOBLAS-MIRANDA, E., SÁNCHEZ-PIÑERO, F., & GONZÁLEZ-MEGÍAS, A. (2009). Distribución vertical de la macrofauna del suelo en un ecosistema árido: ¿Son la hojarasca y los hábitats subterráneos compartimentados? *Pedobiología*, 52, 361–373. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2008.11.006>
- ESCOBAR, D. P. O. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable (Al+3+H+) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua*. Universidad de Zamorano carrera de ciencia y producción agropecuaria.
- FAO. (2000). TEMA 2: El suelo. in *ecología y enseñanza rural* (Viale dell, pp. 1–19). Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas.
- FAO. (2023). *Portal de Suelos de la FAO*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación.
- FCDS. (2023). *Análisis de conectividad ecológica entre Áreas Naturales Protegidas en Madre de Dios* (P. D. Samuel Otavo Olarte & M. C. Gómez, Luz Alejandra, Andrea Buitrago (eds.); Fundación).
- FUNGI. (2020). *Micelio de hongos: todo lo que debes saber*. Bazar Fungi.
- GERDEMANN, J., & NICOLSON, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235–244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- GONZALES, J. A. (2024). *Diseño y metodología de la investigación*.
- HANNA. (2020). *¿Qué es el pH?* HANNA Instruments.
- HOFMANN, R. K., PRADO, C. F. P. DEL, & OTTE, K. C. (1973). Registro de dos nuevas especies de mamíferos para el Perú, *Odocoileus dichotomus* (Illiger-1811) y *Chrysocyon brachyurus* (iliger-1811), con notas de su habitad. *Revista Forestal Del Perú*, 6(1–2), 1–25.

- HUERTA, E., & VAN DER WAL, H. (2012). Soil macroinvertebrates' abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *European Journal of Soil Biology*, 50, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.12.007>
- IDALMIS RODRÍGUEZ, VERENA TORRES, G. C. Y S. F. (2002). Biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes pastizales. *Instituto de Ciencia Animal*, 4.
- INTAGRI. (2024). *Los Factores de Formación del Suelo*. Instituto Para La Innovación Tecnológica En La Agricultura.
- INTAGRI S.C. (2024). *La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo*. Intagri.
- ISLAM, S. M. S., HOSSAIN, A., HASAN, M., ITOH, K., & TUTEJA, N. (2023). Application of Trichoderma spp. as biostimulants to improve soil fertility for enhancing crop yield in wheat and other crops. In *Biostimulants in Alleviation of Metal Toxicity in Plants* (pp. 177–206). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99600-6.00014-1>
- L RUCKS, F GARCÍA, A. K. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*.
- LABISER. (2023). *La textura de suelo*. Laboratorio Agroalimentario Especializado En Análisis Agrícolas y Del Sector Alimentario.
- LOPES, A. S., & GUIMARÃES GUILHERME, L. R. (2016). A Career Perspective on Soil Management in the Cerrado Region of Brazil (pp. 1–72). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>
- LÓPEZ HERNÁNDEZ, D. (2001). Nutrient dynamics (C, N and P) in termite mounds of *Nasutitermes ephratae* from savannas of the Orinoco Llanos (Venezuela). *Soil Biology and Biochemistry*, 33(6), 747–753. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00220-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00220-0)

- MAGURRAN, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurements*. In *Princeton*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- MAMABOLO, E., PRYKE, J. S., & GAIGHER, R. (2024). Soil macrofauna are important bioindicators of soil quality in agroecosystems under different management. *Ecological Indicators*, *167*, 112723. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112723>
- MANIRAKIZA, N., MELKANI, S., RABBANY, A., MEDINA-IRIZARRY, N., SMIDT, S., BRASWELL, A., MARTENS-HABBENA, W., & BHADHA, J. H. (2025). Responses of soil health to seasonal change under different land cover types in a sub-tropical preserve ecosystem. *PLOS ONE*, *20*(3), e0318092. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0318092>
- MEGÍAS, M. (2020). *Órganos Vegetales*. Atlas de Histología Vegetal y Animal.
- MESTANZA NOVOA, C. J., & ZOROGASTÚA CRUZ, P. . (2019). Distribución espacial de lombrices de tierra y propiedades de un Inceptisol en la ceja de selva peruana. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- MINAM. (2014). *Guía para el muestreo de suelos* (Mavet impr).
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*.
- MINAM. (2017). *Cobertura y Deforestación en los Bosques Húmedos Amazónicos*.
- NAJJARI, A., HERNÁNDEZ-TEIXIDOR, D., EL AJJOURI, B., BENYAHIA, Y., & TAHERI, A. (2024). Termite (Blattodea: Isoptera) Distribution Along an Elevational Gradient in Northwestern African Mountains. *Diversity*, *16*(12), 714. <https://doi.org/10.3390/d16120714>
- OTAZU LOAYZA, O., & FARFAN FLORES, J. (2016). *Coleópteros coprófagos (scarabaeidae : sacarabaeinae) de las pampas del Heath Parque Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

- PASCUAL, R., & VENEGAS, S. (2014). La materia orgánica del suelo papel de los microorganismos. In *Ciencias Ambientales* (pp. 1–11).
- PASHANASI-AMASIFUEN, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 12, 75–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.24841/fa.v12i1-2.126>
- PEÑA-VENEGAS, C. P., CARDONA, G. I., ARGUELLES, J. H., & ARCOS, A. L. (2007). Micorrizas arbusculares del sur de la Amazonia colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. *Acta Amazonica*, 37(3), 327–336. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000300003>
- PEREZ C, A., ROJAS S, J., & MONTES V, D. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 3(2), 366. <https://doi.org/10.24188/recia.v3.n2.2011.412>
- QUESADA-ALVARADO, F., UMAÑA VILLALOBOS, G., SPRINGER, M., & PICADO-BARBOZA, J. (2020). Variación estacional y características fisicoquímicas e hidrológicas que influyen en los macroinvertebrados acuáticos, en un río tropical. *Revista de Biología Tropical*, 68(S2), S54–S67. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68iS2.44332>
- RESTREPO GIRALDO, K. J., MONTOYA CORREA, M. I., HENAO JARAMILLO, P., GUTIÉRREZ, L. A., & MOLINA GUZMÁN, L. P. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. *Idesia (Arica)*, 37(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000301>
- REYNEL, C., PENNINGTON, R. T., & SÄRKINEN, T. (2013). *Cómo se formó la diversidad ecológica del Perú* (Los Zafiros 244 Balconcillo Tf 4702773 Lima 13 (ed.); a Bibliote).

- ROMERO DELGADO, G., TRILLO ZÁRATE, F., ORELLANA CHIRINOS, J., QUIROGA ESPILCO, P., GAMARRA BOJORQUEZ, J., ROJAS EGOAVIL, D., RIVADENEIRA, V., & NUÑEZ DELGADO, J. (2021). Efecto de *Acacia macracantha* en las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema silvopastoril. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 32(3), 20389. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20389>
- SAGAWA VÁSQUEZ, L. A. A. (2016). *Evaluación de macrofauna en diferentes ecosistemas en el Parque Nacional Tingo María - Huánuco - Perú*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- SALDAÑA-CHAFLOQUE, C. F., MENDOZA-MALLQUI, S. D., ORELLANA-REYES, D. E., PEREZ-HIJAR, J. B., & RODAS-RIVEROS, N. M. (2022). Ingeniería en la abundancia y diversidad de árboles forestales de la comunidad andina de Ahuaycha, Tayacaja, Huancavelica. *TAYACAJA*, 5(1), 02–12. <https://doi.org/10.46908/tayacaja.v5i1.190>
- SALIM, M., & KUMAR, S. (2022). Variación estacional de algunas características químicas del suelo bajo diferentes usos de la tierra en el humedal Jhilmil Jheel, Haridwar-Uttarakhand, India. *Revista Internacional de Publicaciones Científicas y de Investigación*, 5, 8. https://www.researchgate.net/publication/365173396_Seasonal_Variation_in_some_Chemical_Characteristics_of_the_Soil_under_different_Land_Uses_of_Jhilmil_Jheel_Wetland_Haridwar-Uttarakhand_India
- SANDOVAL LAKE. (2022). *Santuario Nacional Pampas del Heath*. SANDOVAL LAKE.
- SANTILLANA, N., & TORO, M. (2018). Asociación micorrízica arbuscular en pastizales de la comunidad Alto Andina de Ccarhuaccpampa – Ayacucho. *Ecología Aplicada*, 17(2), 165. <https://doi.org/10.21704/rea.v17i2.1236>
- SENAMHI. (2025). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. SENAMHI.
- SERNANP. (2017). *Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado*.

- SERNANP. (2020). *Parque Nacional Bahuaja Sonene*. MINAM.
- SERNAP. (2023). *Resolución de Presidencia N.° 266-2023-SERNANP*.
- SERRANO, E. G. (2020). *Las polifacéticas esporas en los hongos*. INECOL.
- SILVA, I. S. DA, VASCONCELLOS, A., & MOURA, F. M. DA S. (2019). Termite assemblages (Blattaria, Isoptera) in two montane forest (Brejo de Altitude) areas in northeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 19(1). <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0519>
- SINANPE. (2025). *Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado*. Plataforma Del Estado Peruano.
- SOLANKI, A. C., GURJAR, N. S., SHARMA, S., WANG, Z., KUMAR, A., SOLANKI, M. K., KUMAR DIVVELA, P., YADAV, K., & KASHYAP, B. K. (2024). Decoding seasonal changes: soil parameters and microbial communities in tropical dry deciduous forests. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1258934>
- SOLANO PORRAS, R. C. (2016). *Contribución de la macrofauna del suelo en la salud biológica del paisaje de la comunidad campesina de Quilcas - Huancayo*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- STELLA, Z., & ALTIER, N. (2006). *La biodiversidad del suelo*.
- SUN, C., XIA, L., ZHANG, M., HE, Q., YU, N., XIANG, H., & YANG, H. (2024). The impacts of different seasons on macroinvertebrate community structure and functional diversity in the Jingui River, China. *Global Ecology and Conservation*, 51, e02876. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02876>
- TRIGOSO, M. R. P. (2019). Nivel de calidad del suelo en relación a la diversidad poblacional de macrofauna edáfica en las parcelas i-iii-v del arboretum “el huayo”, en Puerto Almendra, Loreto-Perú, 2018. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP).

- VIERHEILIG, H., COUGHLAN, A. P., WYSS, U., & PICHÉ, Y. (1998). Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(12), 5004–5007. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.12.5004-5007.1998>
- ZERBINO, M. S. (2010). EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN ROTACIONES CULTIVOS-PASTURAS CON LABOREO CONVENCIONAL. *Acta Zoológica Mexicana (n.S.)*, 2(0065–1737), 189–202.
- ZÚÑIGA, C. V. Y D. (2015). ANÁLISIS DE LA PRESENCIA NATURAL DE MICORRIZAS EN CULTIVOS DE ALGODÓN (*Gossypium barbadense* L.) INOCULADOS CON *Bacillus megaterium* Y/O *Bradyrhizobium yuanmingense*. *Ecología Aplicada*, 14(1726–2216), 1–5.
- ZÚÑIGA, F. B., GONZÁLEZ, H. D., PRIETO, J. L. P., & CARRANZA, M. D. C. D. (2010). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia de la investigación.

Título: Variación estacional de la población de macro y microbioma edáfico en las Pampas de Heath – Santuario Nacional Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú.				
Nombre de los tesistas: Barrios Quispe, Said Jamil y Cañari Mirano, Nay Ruth				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES/ INDICADORES	METODOLOGIA
<p>General: ¿Cómo varía la población de macro y microbiomas en los suelos de las Pampas de Heath, entre la estación seca y la húmeda, según la cobertura vegetal en la región de Madre de Dios?</p> <p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo varía la abundancia y biomasa de la macrofauna en los suelos de las Pampas de Heath entre la estación seca y húmeda, según la cobertura vegetal? • ¿Cómo varía la presencia y abundancia de 	<p>General: Evaluar la variación estacional de la población de macro y microbiomas en los suelos de las Pampas de Heath, según la cobertura vegetal en la región de Madre de Dios.</p> <p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la abundancia y biomasa de la macrofauna presentes en los suelos de las Pampas de Heath, en la estación seca y húmeda, según el tipo de cobertura vegetal. • Determinar la presencia y abundancia de 	<p>General La población de macro y microbiomas en los suelos de las Pampas de Heath, región de Madre de Dios, no solo varía estacionalmente en respuesta al periodo seco y húmedo, sino que también se ve influenciada por la cobertura vegetal, que afecta la disponibilidad de recursos y, por ende, la diversidad y abundancia de estos organismos.</p> <p>Específicos</p> <p>H1: La abundancia y biomasa de la macrofauna en los suelos de las Pampas de Heath varían significativamente no solo entre la estación seca y húmeda, sino también en función de la heterogeneidad de la cobertura vegetal, lo que influye en la disponibilidad de recursos y hábitats para estos organismos.</p> <p>H2: La presencia y abundancia de micorrizas arbusculares en</p>	<p>Variable Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suelos de las Pampas de Heath • Variación estacional • Cobertura vegetal <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profundidad • 2 estaciones del año • Área (m²) <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Características físicas y químicas del suelo • Micorrizas Arbusculares • Macrofauna • Estación seca • Estación Húmeda • Pastizal • Bosque 	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Diseño: No experimental</p> <p>Nivel: Descriptivo/Exploratorio</p> <p>Tipo: Descriptivo y correlacional</p> <p>Población Suelos de las Pampas de Heath cobertura vegetal (Pastizal y bosque).</p> <p>Muestra 6 parcelas (50 x 50 m) establecidas en las pampas de Heath, donde se evaluó: la macrofauna, Micorrizas arbusculares y características físicas y químicas del suelo.</p> <p>Métodos y técnicas. Las seis parcelas de 50 x 50 m² se seleccionaron en las Pampas de Heath, y se definieron los materiales de campo según el cronograma establecido para la investigación, y se coordinarán los permisos necesarios para realizar la</p>

<p>micorrizas arbusculares en los suelos de las Pampas de Heath entre la estación seca y el húmeda, según la cobertura vegetal?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las diferencias en las características físicas y químicas de los suelos de las Pampas de Heath entre la estación seca y húmeda, según la cobertura vegetal? • ¿Qué relación existe entre las características fisicoquímicas del suelo y la población de macroinvertebrados presentes en las Pampas de Heath entre la estación seca y húmeda 	<p>micorrizas arbusculares presentes en los suelos de las Pampas de Heath, en la estación seca y húmeda, según el tipo de cobertura vegetal.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar las características físicas y químicas en los suelos de las Pampas de Heath en la estación seca y húmeda, según la cobertura vegetal. • Determinar las relaciones que existen entre las características fisicoquímicas, la población de macro y microbiomas del suelo entre la estación seca y húmeda. 	<p>los suelos de las Pampas de Heath varían significativamente entre las estaciones seca y húmeda, dependiendo del tipo de cobertura vegetal.</p> <p>H3: Las características físicas y químicas de los suelos de las Pampas de Heath en la estación seca y húmeda están interrelacionadas con los macroinvertebrados.</p> <p>H4: Existen relaciones significativas entre las características fisicoquímicas del suelo y la población de macroinvertebrados, lo que sugiere que la variación estacional influye en la dinámica de estos organismos en función del tipo de cobertura vegetal.</p> <p>Justificación El estudio busca entender cómo varío la composición y abundancia de los macro y microbiomas del suelo a lo largo del año en las Pampas de Heath, ubicadas en el Parque Nacional Bahuaja Sonene. Esta investigación permitió evaluar la dinámica estacional de estos microorganismos y su respuesta a cambios en factores ambientales, como la disponibilidad de nutrientes y la humedad del suelo. Además, genero información actualizada sobre la macrofauna y las</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Macrofauna • Población de micorrizas arbusculares • Características físicas y químicas del suelo. <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suelos impactados según la variación estacional <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abundancia • Biomasa • Riqueza • Biodiversidad • Colonización radicular de las raíces • Conteo de las esporas en el suelo. • pH • Fósforo • Potasio • Conductividad eléctrica • Acidez intercambiable • %Materia orgánica • Textura • Cationes Cambiables 	<p>investigación en las Pampas de Heath, incluyendo permisos de acceso.</p> <p>Macrofauna Usando la metodología del “programa de biología y fertilidad de los suelos tropicales (TSBF)” (Anderson, J.M. and Ingram, 1993) (para cada una de las unidades experimentales se evaluó seis monolitos de (25 x 25 x 10) cm cada una de ellos fueron separados por un intervalo de 5 m, donde el inicio y la dirección se eligieron al azar. Las muestras se trasladaron al laboratorio de suelos forestales de la UNAMAD en bolsas de polietileno debidamente codificadas. Cada muestra de macroinvertebrados fue recolectada con una pinza, se depositaron en alcohol al 96% y formol al 10%. Posteriormente se realizó el conteo y valorización de la biomasa, se identificó los organismos hasta el nivel de orden, con la ayuda de un especialista.</p> <p>Evaluación de características físicas y químicas del suelo: Para el muestreo de suelos, se utilizó un barreno de dos metros de largo, para realizar extracciones a distintas profundidades (50, 100, 150 y 200 cm). Este método fue fácil, rápido y económico, y se obtuvo muestras agregadas de múltiples extracciones, con un máximo de 30 puntos debido a la pequeña cantidad de suelo extraído. El muestreo se llevó a cabo de manera aleatoria. Las muestras se depositaron en una bolsa de plástico identificado con la profundidad correspondiente y asegurándose de que estén limpias de impurezas. Luego, se mezclaron bien las submuestras y se seleccionó al azar 1 kg de suelo, que se codificó y fue enviado al laboratorio de UNALM para su análisis fisicoquímico.</p>
--	---	---	--	---

		<p>propiedades fisicoquímicas del suelo, lo que facilita la toma de decisiones informadas para la conservación y restauración del ecosistema. Al identificar variaciones estacionales significativas, se logró desarrollar medidas de manejo específicas para promover la salud del suelo y conservar la biodiversidad en la región.</p> <p>Importancia La investigación fue crucial para la preservación del Parque Nacional Bahuaja Sonene, ya que proporcionará datos actualizados sobre los macro y microbiomas del suelo. Esto facilitó decisiones informadas para la conservación y restauración del ecosistema, ayudando a proteger especies en peligro y promoviendo un turismo sostenible que beneficiará tanto a la biodiversidad como a la economía local.</p>	<p>Muestro de micorrizas arbusculares: Se extrajeron las raíces de las plantas leñosas más abundantes con una pala y maquete para determinar el porcentaje de colonización de hongos. Las muestras se transportaron en cajas térmicas, se enjuagaron, secaron y se empaquetaron en bolsitas de ziploc con alcohol hasta su análisis. Para este análisis, se aplicó el método de tamizado húmedo, decantación y centrifugación con sacarosa (Gerdemann & Nicolson, 1963).</p> <p>Tratamiento de los datos En esta etapa de la investigación, se optó por utilizar múltiples métodos de análisis y comparación, empleando programas de métodos estadísticos informáticos. Para el procesamiento de los datos cuantitativos y su representación en gráficos y tablas, se utilizó Microsoft Excel, versión 2021. Asimismo, para realizar cálculos estadísticos y crear técnicas gráficas adicionales, se recurrió al software estadístico R Studio, versión 1.4.17. Por último, para generar los diferentes coeficientes de correlación (r) entre dos variables, se empleó el software estadístico Past, versión 4.16. De este modo, se garantiza un análisis exhaustivo y riguroso de los datos recopilados.</p>
--	--	--	---

Anexo 2: Instrumentos de análisis físicoquímico del suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : NAY RUTH CAÑARI MIRANO

Departamento : MADRE DE DIOS

Distrito : INAMBARÍ

Referencia : H.R. 84148-190C-24

Fact.: 11953

Provincia : TAMBOPATA

Predio :

Fecha : 31/10/2024

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiabies					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
9780	P1-pastizal-50cm	4.03	0.09	0.00	0.81	0.59	28	37	28	35	Fr.Ar.	5.40	0.46	0.12	0.14	0.09	4.10	4.90	0.80	15
9781	P1-pastizal-100cm	3.74	0.03	0.00	0.47	N.D.	35	33	26	41	Ar.	9.60	0.32	0.10	0.14	0.05	5.40	6.01	0.61	6
9782	P1-pastizal-150cm	3.57	0.11	0.00	1.01	0.26	58	29	32	39	Fr.Ar.	9.20	0.16	0.16	0.17	0.03	5.65	6.17	0.52	6
9783	P1-pastizal-200cm	4.00	0.05	0.00	0.34	0.76	47	33	30	37	Fr.Ar.	8.40	0.24	0.12	0.13	0.02	4.40	4.91	0.51	6
9784	P2-Bosque-50cm	3.74	0.09	0.00	1.88	0.09	59	43	20	37	Fr.Ar.	12.80	0.29	0.18	0.15	0.02	5.10	5.74	0.64	5
9785	P2-Bosque-100cm	3.86	0.06	0.00	0.87	N.D.	44	35	26	39	Fr.Ar.	9.60	0.30	0.18	0.17	0.01	5.75	6.41	0.66	7
9786	P2-Bosque-150cm	3.87	0.05	0.00	0.67	0.76	37	27	28	45	Ar.	10.00	0.36	0.15	0.12	0.01	5.40	6.04	0.64	6
9787	P2-Bosque-200cm	3.94	0.07	0.00	0.74	N.D.	58	29	30	41	Ar.	10.20	0.39	0.23	0.12	0.03	6.15	6.91	0.76	7
9788	P3-pastizal-50cm	3.95	0.07	0.00	0.54	N.D.	24	39	34	27	Fr.	4.00	0.24	0.15	0.03	0.01	2.40	2.83	0.43	11
9789	P3-pastizal-100cm	4.03	0.05	0.00	0.20	N.D.	41	29	28	43	Ar.	10.80	0.30	0.18	0.12	0.01	5.60	6.21	0.61	6

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

N.D. no detectable./ L.D. límite de detección./ L.C. límite de cuantificación.
Para fósforo: LD = 0.0059 mg/L / LC = 0.0178 mg/L


Dra. Lily Tello Peramás
Jefa del Laboratorio





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : NAY RUTH CAÑARI MIRANO

Departamento : MADRE DE DIOS
 Distrito : INAMBARI
 Referencia : H.R. 84148-190C-24

Fact.: 11953

Provincia : TAMBOPATA
 Predio :
 Fecha : 31/10/2024

Número de Muestra Lab	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺² meq/100g	Mg ⁺² meq/100g	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
9790	P3-pastizal-150cm	3.99	0.06	0.00	0.40	N.D.	38	31	30	39	Fr.Ar.	8.20	0.31	0.21	0.13	0.06	5.40	6.12	0.72	9
9791	P3-pastizal-200cm	4.24	0.04	0.00	0.47	N.D.	30	39	34	27	Fr.	4.20	0.21	0.12	0.09	0.04	2.65	3.11	0.46	11
9792	P4-Bosque-50cm	3.95	0.05	0.00	0.60	0.76	26	27	42	31	Fr.Ar.	6.40	0.15	0.08	0.06	0.01	3.40	3.70	0.30	5
9793	P4-Bosque-100cm	4.07	0.04	0.00	0.40	N.D.	24	31	36	33	Fr.Ar.	8.40	0.00	0.02	0.04	0.00	4.05	4.11	0.06	1
9794	P4-Bosque-150cm	4.08	0.05	0.00	0.60	1.35	43	25	38	37	Fr.Ar.	9.40	0.16	0.25	0.14	0.01	4.90	5.46	0.56	6
9795	P4-Bosque-200cm	4.03	0.09	0.00	0.60	0.26	57	25	30	45	Ar.	8.00	0.19	0.46	0.17	0.06	6.30	7.19	0.89	11
9796	P5-pastizal-50cm	3.91	0.09	0.00	0.87	0.17	18	39	36	25	Fr.	5.20	0.20	0.08	0.09	0.06	2.75	3.18	0.43	8
9797	P5-pastizal-100cm	4.07	0.06	0.00	0.40	N.D.	13	39	34	27	Fr.	5.00	0.13	0.07	0.08	0.07	3.50	3.84	0.34	7
9798	P5-pastizal-150cm	4.08	0.05	0.00	0.27	N.D.	29	33	30	37	Fr.Ar.	7.80	0.21	0.13	0.09	0.03	5.50	5.96	0.46	6
9799	P6-pastizal-200cm	3.99	0.08	0.00	0.40	0.09	30	31	30	39	Fr.Ar.	9.20	0.14	0.25	0.09	0.01	5.75	6.24	0.49	5

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

N.D. no detectable / L.D. límite de detección / L.C. límite de cuantificación.
 Para fósforo: LD = 0.0059 mg/L / LC = 0.0178 mg/L

Dra. Lily Tello Peramás
 Jefa del Laboratorio





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : NAY RUTH CAÑARI MIRANO

Departamento : MADRE DE DIOS

Distrito : INAMBARI

Referencia : H.R. 84148-190C-24

Fact.: 11953

Provincia : TAMBOPATA

Predio :

Fecha : 31/10/2024

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
9800	P6-Bosque-50cm	4.12	0.03	0.00	0.47	0.17	75	25	34	41	Ar.	8.00	0.25	0.23	0.19	0.09	5.95	6.71	0.76	9
9801	P6-Bosque-100cm	3.71	0.07	0.00	0.87	0.67	35	29	36	35	Fr.Ar.	8.60	0.29	0.13	0.13	0.01	5.40	5.96	0.56	6
9802	P6-Bosque-150cm	3.71	0.08	0.00	0.94	0.34	37	27	38	35	Fr.Ar.	8.80	0.40	0.13	0.13	0.01	6.00	6.67	0.67	8
9803	P6-Bosque-200cm	3.92	0.05	0.00	0.54	N.D.	37	27	36	37	Fr.Ar.	7.00	0.19	0.13	0.12	0.01	5.10	5.55	0.45	6

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L. = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

N.D. no detectable / L.D. límite de detección / L.C. límite de cuantificación.
Para fósforo: LD = 0.0059 mg/L / LC = 0.0178 mg/L


Dra. Lily Tello Peramás
Jefa del Laboratorio



Anexo 3: Solicitud de autorización para realización de estudio.



Firmado digitalmente por ARANIBAR
HUAQUISTO David Felix FAU
20478053179 hard
Cargo: Jefe De Anp - Parque Nacional
Bahuaja Sonene
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 19.07.2024 18:11:50 -05:00

Puno, 19 de Julio del 2024

RESOLUCION DE JEFATURA ANP N° 000006-2024-SERNANP/PNBAS-SGD

Puno, 19 de julio de 2024

VISTO:

El Informe N° 033-2024-SERNANP/PNBAS-SGD-ERGT de fecha 19 de julio del 2024, que evalúa la solicitud presentada por la señorita Nay Ruth Cañari Mirano con DNI N° 77245365 para realizar investigación científica que incluye ingreso a ámbitos de acceso restringido, uso de equipo o infraestructura del PNBS y colecta de muestras, en el marco del proyecto de investigación denominado: "Variación estacional de la población de macro y microbiomas edáfico en las Sabanas Húmedas de las Pampas de Heath, Bahuaja Sonene, Madre de Dios, Perú", por el periodo de doce (12) meses.

CONSIDERANDO:

Que, según lo previsto en los incisos g) e i) del artículo 2° de la Ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, unos de sus principales objetivos de protección es servir de sustento y proporcionar medios y oportunidades para el desarrollo de la investigación científica;

Que, en concordancia con ello, en el artículo 29° de la precitada Ley, se establece que el Estado reconoce la importancia de las Áreas Naturales Protegidas para el desarrollo de la investigación científica básica y aplicada, siempre que no afecte los objetivos de conservación, se respete la zonificación y las condiciones establecidas en el Plan Maestro;

Que, la actualización del Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas, aprobada por Decreto Supremo N° 016-2009-MINAM, refiere que la investigación científica constituye una herramienta básica para la generación de información que permita mejorar el conocimiento sobre la diversidad biológica, así como para el manejo de recursos naturales y la gestión de riesgos y amenazas;

Que, mediante Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, publicado el 23 de setiembre de 2015, se declara de interés nacional el desarrollo de investigaciones al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional, determinándose su gratuidad, así como los procedimientos de aprobación automática y evaluación previa para su otorgamiento;

Que, en el artículo 4° del mencionado Decreto Supremo, se prevé cinco supuestos en los que la autorización de investigación requiere de evaluación previa: a) ingreso a ámbitos de acceso restringido, b) la colecta o extracción de muestras biológicas, c) se prevea la alteración del entorno o instalación de infraestructura en el caso de áreas naturales protegidas de administración nacional, d) el uso de equipo o infraestructura perteneciente a las ANP de administración nacional, e) investigación en predios privados;

Que, mediante Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP, se aprueban las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, las mismas que establecen las normas y lineamientos que regulan las investigaciones realizadas al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, mediante Decreto Supremo N° 004-2023 -MINAM del 22 de marzo del 2023, modifica, entre otros, el Procedimiento N° 4 del Texto Único de Procedimientos Administrativos – TUPA del SERNANP, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2012-MINAM y modificado por Resolución Ministerial N° 152-2016-MINAM y Resolución Ministerial N° 315-2016-MINAM;

Que, mediante la Resolución Presidencial N° 099-2017-SERNANP, publicado el 18 de abril de 2017, se modifica el proceso GAN-01-10-Otorgamiento de Certificado de Procedencia, asimismo deja sin efecto la Resolución Presidencial N° 250-2013-SERNANP que aprobó el Certificado de Procedencia de los recursos naturales renovables forestales, flora y/o fauna silvestre provenientes de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, mediante el Decreto Supremo N° 013-2018-MINAM del 05 de noviembre del 2018, se aprueba la reducción del plástico de un solo uso y promueve el consumo responsable del plástico en las entidades del Poder Ejecutivo.

Que, mediante el Decreto Supremo N° 001-2019-MINAM del 02 de febrero de 2019, se actualizan los procedimientos administrativos a cargo del SERNANP que otorgan Títulos Habilitantes;

Que, a través del documento del visto, la señorita Nay Ruth Cañari Mirano solicita autorización para realizar la investigación científica que incluye ingreso a ámbitos de acceso restringido, uso de infraestructura del PNBS y colecta de muestras, en el marco de la investigación denominada: "Variación estacional de la población de macro y microbiomas edáfico en las Sabanas Húmedas de las Pampas de Heath, Bahujaja Sonene, Madre de Dios, Perú", por el periodo de doce (12) meses;

Que, mediante Informe N° 033-2024-SERNANP/PNBAS-SGD-ERGT de fecha 19 de julio del 2024, se evalúa la solicitud presentada, concluyendo que el expediente cumple con los requisitos establecidos en el artículo 18° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, y que el Plan de Investigación se encuentra conforme a los criterios establecidos en la Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP, que aprueba las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación.

En uso de las atribuciones conferidas por el numeral 2.1 del artículo 2° del Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, el artículo 14° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, aprobadas por Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP, y el artículo 27° del Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo N° 006-2008-MINAM.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Autorizar el desarrollo de la investigación denominada "**Variación estacional de la población de macro y microbiomas edáfico en las Sabanas Húmedas de las Pampas de Heath, Bahujaja Sonene, Madre de Dios, Perú**", a favor de la Señorita **Nay Ruth Cañari Mirano**, que se realizara en el ámbito Heath, del Parque Nacional Bahujaja Sonene por el periodo de **doce (12) meses** contado a partir de la fecha de emisión de la presente Resolución.

Artículo 2°.- Autorizar el ingreso al Parque Nacional Bahujaja Sonene a la siguiente persona, Integrantes del equipo de investigación:

N°	Apellidos y Nombres	Documento de identidad	País de Procedencia	Cargo	Institución
1	Nay Ruth Cañari Mirano	77245365	Perú	Responsable	UNAMAD
2	Said Jamil Barrios Quispe	78634810	Perú	Co- Responsable	UNAMAD

Artículo 3°.- Autorizar la posible colecta de muestras biológicas, según lo indicado en la tabla N° 1.

Tabla N° 1. Lista de colecta de especies a coleccionar durante la investigación

Nombre	Tipo de muestra	Colecta o captura	Cantidad	Finalidad de la colecta
Coleopteros	Insecto entero	Colecta	20	Análisis e identificación
Haplotaxida	Insecto entero	Colecta	20	Análisis e identificación
Himenópteros	Insecto entero	Colecta	20	Análisis e identificación
Blattodeas	Insecto entero	Colecta	20	Análisis e identificación
Araneae	Insecto entero	Colecta	20	Análisis e identificación
Diplopoda	Insecto entero	Colecta	20	Análisis e identificación
Oligochaeta	Insecto entero	Colecta	20	Análisis e identificación
Chilopoda	Insecto entero	Colecta	20	Análisis e identificación

Indicar que la presente autorización no otorga derechos sobre los recursos genéticos o productos derivados de las muestras colectadas.

Artículo 4°.- Los integrantes del equipo de investigación son responsables de conocer y cumplir las disposiciones contenidas en la Ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, y su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 038-2001-AG, modificado por Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, así como en la Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP.

Artículo 5°.- El Señorita Nay Ruth Cañari Mirano, autorizada en el artículo 1° de la presente Resolución, en su calidad de investigadora principal asume las siguientes obligaciones y compromisos:

- a. Presentar copia de la presente autorización al personal del Parque Nacional Bahuaja Sonene que lo solicite.
- b. No extraer muestras biológicas distintas a las autorizadas.
- c. Tramitar el certificado de procedencia, cuando se requiera trasladar las muestras de material biológico colectado fuera del ámbito del Parque Nacional Bahuaja Sonene.
- d. Comunicar al SERNANP – PNBS cualquier nuevo registro para la ciencia, debiendo entregar una copia del depósito del holotipo de la nueva taxa en una institución científica nacional autorizada. La extracción de dichos ejemplares incluyendo los nuevos registros para el ANP deberán ser reportados a la Jefatura del Parque Nacional Bahuaja Sonene, en el puesto de vigilancia y control o sede administrativa más cercana, para su respectiva consignación en el certificado de procedencia.
- e. Gestionar los permisos de exportación ante la autoridad competente, cuando se requiera enviar al extranjero parte del material biológico colectado.
- f. Entregar una vez publicado los resultados de la investigación, una copia digital del informe o la publicación al SERNANP y autorizar su registro en la biblioteca digital del SERNANP.
- g. Entregar a la jefatura del Parque Nacional Bahuaja Sonene un informe final de la investigación.
- h. No utilizar las muestras biológicas con fines de acceso a recursos genéticos o sus productos derivados; así como, no utilizar los conocimientos colectivos vinculados a los recursos biológicos de pueblos indígenas; sin contar con el contrato de acceso correspondiente.
- i. No ingresar bolsas de plástico de un solo uso, sorbetes plásticos y envases de tecnopor para bebidas y alimentos de consumo humano en el ámbito del Parque Nacional Bahuaja Sonene.

El incumplimiento injustificado de estas obligaciones y compromisos, producirá el ingreso del investigador en la lista de investigadores inhabilitados para próximas autorizaciones emitidas por el SERNANP.

Artículo 6°.- La autorización a la que se refiere el Artículo 1° caducará automáticamente al vencer el plazo concedido, por el incumplimiento injustificado de los compromisos adquiridos o por cualquier daño al patrimonio natural, sin perjuicio de las responsabilidades administrativas, civiles o penales que pudieran originarse.

Artículo 7°.- El SERNANP se abstiene de toda responsabilidad por los accidentes o daños que puedan sufrir los integrantes del equipo de investigación durante el desarrollo del proyecto de investigación científica.

Artículo 8°.- Regístrese la presente Resolución en el Módulo de Seguimiento a las autorizaciones de investigación del SERNANP, en el archivo de autorizaciones del Parque Nacional Bahuaja Sonene y publíquese en la página web del SERNANP (www.sernanp.gob.pe).

Regístrese y comuníquese.

(Firma y Sello)

DAVID FELIX ARANIBAR HUAQUISTO
JEFE DE ANP - PARQUE NACIONAL BAHUAJA SONENE

Tabla 8. Cantidad total de macroinvertebrados encontrados en las Pampas de Heath.

ORDEN	Estación Seca						Estación Lluviosa						TOTAL
	P1	B1	P2	B2	P3	B3	P1	B1	P2	B2	P3	B3	
<i>Araneae</i>	6	5	6	3	3	3	5	0	1	3	4	1	40
<i>Annelida</i>	0	0	2	1	4	0	1	2	11	2	1	1	25
<i>Blattodea</i>	1	1	0	0	1	2	4	2	3	0	7	28	49
<i>Chilopoda</i>	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
<i>Coleóptera</i>	5	16	5	6	3	13	8	5	3	4	2	7	77
<i>Dermaptera</i>	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Diptera</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Diplopoda</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7
<i>Hymenoptera</i>	54	25	16	3	4	1	17	12	11	1	19	2	165
<i>Hemiptera</i>	3	2	1	1	6	4	0	3	0	0	1	0	21
<i>Isoptera</i>	19	14	42	73	34	26	19	122	16	12	98	30	505
<i>Isópodo</i>	3	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Lepidoptera</i>	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Odonato</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Orthoptera</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3
<i>Phasmatodea</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Scorpionidae</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	94	74	76	88	58	49	57	146	45	23	132	75	917

Tabla 9. Cantidad de macroinvertebrados según la cobertura vegetal.

ORDEN	Bosque				Pastizal			
	B1	B2	B3	Total	P1	P2	P3	Total
<i>Araneae</i>	5	6	4	15	11	7	7	25
<i>Annelida</i>	2	3	1	6	1	13	5	19
<i>Blattodea</i>	3	0	30	33	5	3	8	16
<i>Chilopoda</i>	0	0	0	0	1	3	0	4
<i>Coleóptera</i>	21	10	20	51	13	8	5	26
<i>Dermaptera</i>	5	0	0	5	0	1	0	1
<i>Diptera</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Diplopoda</i>	0	0	6	6	1	0	0	1
<i>Hymenoptera</i>	37	4	3	44	71	27	23	121
<i>Hemiptera</i>	5	1	4	10	3	1	7	11
<i>Isoptera</i>	136	85	56	277	38	58	132	228
<i>Isópodo</i>	4	0	0	4	3	0	1	4
<i>Lepidoptera</i>	0	1	0	1	0	0	2	2
<i>Odonato</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Orthoptera</i>	0	1	0	1	2	0	0	2
<i>Phasmatodea</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Scorpionidae</i>	1	0	0	1	0	0	0	0
	220	111	124	455	151	121	190	462

Tabla 10. Índice de diversidad Shannon de macroinvertebrados

Parcela	Cobertura Vegetal	Estación	Taxa_S	Ind.	Índice Shannon
B1	Bosque	Seca	10	74	1,867
B2	Bosque	Seca	7	88	0,7552
B3	Bosque	Seca	6	49	1,325
P1	Pastizal	Seca	10	94	1,434
P2	Pastizal	Seca	8	76	1,419
P3	Pastizal	Seca	9	58	1,548
B1	Bosque	Lluviosa	6	146	0,6855
B2	Bosque	Lluviosa	6	23	1,503
B3	Bosque	Lluviosa	7	75	1,41
P1	Pastizal	Lluviosa	9	57	1,756
P2	Pastizal	Lluviosa	6	45	1,558
P3	Pastizal	Lluviosa	7	132	0,922

Tabla 11. Biomasa de macroinvertebrados en la estación seca.

N°	ORDEN	Estación Seca												Total	
		P1		B1		P2		B2		P3		B3		gr/m ²	%
		gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%		
1	<i>Araneae</i>	0,44	25,34	0,03	4,24	0,21	7,68	0,70	23,15	0,05	0,43	0,09	6,14	1,53	7,30
2	<i>Annelida</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	13,49	0,01	0,46	8,94	80,40	0,00	0,00	9,32	44,53
3	<i>Blattodea</i>	0,00	0,02	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	4,64	0,08	0,37
4	<i>Chilopoda</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,86
5	<i>Coleóptera</i>	0,20	11,39	0,27	36,45	1,29	46,67	0,26	8,54	0,21	1,87	1,05	68,30	3,28	15,64
6	<i>Dermaptera</i>	0,00	0,00	0,03	4,13	0,01	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17
7	<i>Diptera</i>	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
8	<i>Diplopoda</i>	0,26	15,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,26
9	<i>Hymenoptera</i>	0,78	44,69	0,14	19,12	0,14	5,09	0,28	9,30	0,55	4,99	0,06	3,65	1,96	9,34
10	<i>Hemiptera</i>	0,02	0,95	0,01	1,17	0,15	5,31	0,22	7,23	0,15	1,34	0,16	10,71	0,70	3,36
11	<i>Isoptera</i>	0,03	1,74	0,02	2,03	0,42	15,07	1,00	33,17	0,16	1,46	0,10	6,56	1,73	8,26
12	<i>Isópodo</i>	0,01	0,32	0,07	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,64	0,00	0,00	0,15	0,70
13	<i>Lepidoptera</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	18,15	0,98	8,85	0,00	0,00	1,53	7,32
14	<i>Orthoptera</i>	0,01	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03
15	<i>Phasmatodea</i>	0,00	0,00	0,03	4,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,15
16	<i>Scorpionidae</i>	0,00	0,00	0,14	19,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,68
		1,75	100	0,75	100	2,76	100	3,03	100,00	11,12	100,00	1,53	100,00	20,93	100

Tabla 12. Biomasa de macroinvertebrados en la estación lluviosa.

N°	ORDEN	Estación Lluviosa												Total	
		P1		B1		P2		B2		P3		B3		gr/m ²	%
		gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%		
1	<i>Araneae</i>	0,09	0,86	0,00	0,00	0,00	0,03	1,94	79,45	0,51	16,17	0,05	4,13	2,59	9,69
2	<i>Annelida</i>	8,67	84,97	0,23	10,37	6,98	92,74	0,05	2,01	1,70	53,98	0,01	1,24	17,65	66,01
3	<i>Blattodea</i>	0,13	1,28	0,12	5,56	0,04	0,52	0,00	0,00	0,28	8,81	0,14	11,76	0,71	2,65
4	<i>Chilopoda</i>	0,17	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,62
5	<i>Coleóptera</i>	0,35	3,46	0,24	10,65	0,40	5,36	0,23	9,48	0,07	2,21	0,56	47,01	1,85	6,92
8	<i>Diplopoda</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	18,83	0,22	0,83
9	<i>Hymenoptera</i>	0,18	1,73	1,17	52,54	0,07	0,96	0,02	0,96	0,04	1,40	0,04	3,54	1,53	5,71
10	<i>Hemiptera</i>	0,00	0,00	0,04	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,04	0,15
11	<i>Isoptera</i>	0,32	3,11	0,43	19,13	0,03	0,39	0,02	0,63	0,55	17,36	0,16	13,48	1,49	5,59
12	<i>Orthoptera</i>	0,14	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	7,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	1,21
13	<i>Odonato</i>	0,16	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,60
14	<i>Phasmatodea</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	<i>Scorpionidae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		10,21	100,00	2,22	100,00	7,53	100,00	2,45	100,00	3,15	100,00	1,18	100,00	26,73	100

Tabla 13. Biomasa de macroinvertebrados según la cobertura vegetal.

N°	ORDEN	Bosque						Total	Pastizal						Total		
		B1		B2		B3			P1		P2		P3				
		gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%		gr/m ²	%	gr/m ²	%	gr/m ²	%		gr/m ²	%
1	<i>Araneae</i>	0,03	1,07	2,64	48,32	0,14	5,27	0,31	25,25	0,53	4,44	0,21	2,09	0,56	3,90	1,30	3,57
2	<i>Annelida</i>	0,23	7,76	0,06	1,15	0,01	0,54	0,31	2,76	8,67	72,56	7,35	71,45	10,64	74,57	26,66	73,03
3	<i>Blattodea</i>	0,13	4,21	0,00	0,00	0,21	7,74	0,34	3,00	0,13	1,09	0,04	0,38	0,28	1,97	0,45	1,23
4	<i>Chilopoda</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	1,39	0,18	1,75	0,00	0,00	0,35	0,95
5	<i>Coleóptera</i>	0,51	17,15	0,49	8,96	1,60	59,03	2,60	23,32	0,55	4,62	1,69	16,46	0,28	1,94	2,52	6,91
6	<i>Dermaptera</i>	0,03	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,28	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,01	0,02
7	<i>Diptera</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
8	<i>Diplopoda</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	8,19	0,22	1,99	0,26	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,72
9	<i>Hymenoptera</i>	1,31	44,12	0,30	5,57	0,10	3,61	1,71	15,36	0,96	8,01	0,21	2,07	0,60	4,20	1,77	4,85
10	<i>Hemiptera</i>	0,05	1,61	0,22	4,00	0,16	6,05	0,43	3,86	0,02	0,14	0,15	1,43	0,15	1,06	0,31	0,86
11	<i>Isoptera</i>	0,44	14,83	1,02	18,63	0,26	9,57	1,72	15,41	0,35	2,91	0,45	4,33	0,71	4,97	1,50	4,12
12	<i>Isópodo</i>	0,07	2,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,63	0,01	0,05	0,00	0,00	0,07	0,50	0,08	0,21
13	<i>Lepidoptera</i>	0,00	0,00	0,55	10,04	0,00	0,00	0,55	4,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	6,90	0,98	2,69
14	<i>Odonato</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,44
15	<i>Orthoptera</i>	0,00	0,00	0,18	3,34	0,00	0,00	0,18	1,64	0,15	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,40
16	<i>Phasmatodea</i>	0,03	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	<i>Scorpionidae</i>	0,14	4,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		2,97	100	5,47	100	2,71	100	11,16	100	11,95	100	10,29	100	14,26	100	36,51	100

Tabla 14. Biomasa por profundidad.

N°	ORDEN	Biomasa (gr/m ²)				Total
		Hojarasca	0 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	
1	<i>Araneae</i>	2,82	1,24	0,02	0,04	4,12
2	<i>Annelida</i>	0,35	15,90	10,70	0,02	26,97
3	<i>Blattodea</i>	0,76	0,01	0,00	0,01	0,79
4	<i>Chilopoda</i>	0,13	0,17	0,00	0,05	0,35
5	<i>Coleóptera</i>	0,44	2,18	1,09	1,17	4,88
6	<i>Dermaptera</i>	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04
7	<i>Diptera</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	<i>Diplopoda</i>	0,22	0,26	0,00	0,00	0,49
9	<i>Hymenoptera</i>	1,36	0,70	0,30	1,13	3,48
10	<i>Hemiptera</i>	0,50	0,09	0,08	0,08	0,74
11	<i>Isoptera</i>	0,14	1,47	1,55	0,06	3,22
12	<i>Isópodo</i>	0,14	0,00	0,00	0,00	0,15
13	<i>Lepidoptera</i>	0,59	0,00	0,94	0,00	1,53
14	<i>Odonato</i>	0,16	0,00	0,00	0,00	0,16
15	<i>Orthoptera</i>	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33
16	<i>Phasmatodea</i>	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03
17	<i>Scorpionidae</i>	0,14	0,00	0,00	0,00	0,14
		8,14	22,04	14,68	2,56	47,42

Tabla 15. Densidad de macroinvertebrados.

N°	ORDEN	Densidad (Ind/m ²)				Total
		Hojarasca	0 -10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	
1	<i>Araneae</i>	72	19	11	8	109
2	<i>Annelida</i>	8	37	16	28	90
3	<i>Blattodea</i>	117	11	0	0	128
4	<i>Chilopoda</i>	5	3	0	0	8
5	<i>Coleóptera</i>	32	125	29	30	217
6	<i>Dermaptera</i>	5	5	5	0	16
7	<i>Diptera</i>	3	0	0	0	3
8	<i>Diplopoda</i>	16	3	0	0	19
9	<i>Hymenoptera</i>	144	168	85	60	458
10	<i>Hemiptera</i>	21	19	3	2	44
11	<i>Isoptera</i>	61	877	365	238	1542
12	<i>Isópodo</i>	16	0	5	0	21
13	<i>Lepidoptera</i>	5	0	3	0	8
14	<i>Odonata</i>	3	0	0	0	3
15	<i>Orthoptera</i>	8	0	0	0	8
16	<i>Phasmatodea</i>	3	0	0	0	3
17	<i>Scorpionidae</i>	3	0	0	0	3
		523	1267	523	367	2679

Tabla 16. Densidad de macroinvertebrados en la estación seca.

N°	ORDEN	Estación Seca												Total	
		P1		B1		P2		B2		P3		B3			
		Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%
1	<i>Araneae</i>	16	6,38	13	6,76	16	7,89	8	3,41	8	5,17	8	6,12	69	5,92
2	<i>Annelida</i>	0	0,00	0	0,00	5	2,63	3	1,14	11	6,90	0	0,00	19	1,59
3	<i>Blattodea</i>	3	1,06	3	1,35	0	0,00	0	0,00	3	1,72	5	4,08	13	1,14
4	<i>Chilopoda</i>	0	0,00	0	0,00	8	3,95	0	0,00	0	0,00	0	0,00	8	0,68
5	<i>Coleóptera</i>	13	5,32	43	21,62	13	6,58	16	6,82	8	5,17	35	26,53	128	10,93
6	<i>Dermaptera</i>	0	0,00	13	6,76	3	1,32	0	0,00	0	0,00	0	0,00	16	1,37
7	<i>Diptera</i>	3	1,06	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,23
8	<i>Diplopoda</i>	3	1,06	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,23
9	<i>Hymenoptera</i>	144	57,45	67	33,78	43	21,05	8	3,41	11	6,90	3	2,04	275	23,46
10	<i>Hemiptera</i>	8	3,19	5	2,70	3	1,32	3	1,14	16	10,34	11	8,16	45	3,87
11	<i>Isoptera</i>	51	20,21	37	18,92	112	55,26	195	82,95	91	58,62	69	53,06	555	47,38
12	<i>Isópodo</i>	8	3,19	11	5,41	0	0,00	0	0,00	3	1,72	0	0,00	21	1,82
13	<i>Lepidoptera</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	1,14	5	3,45	0	0,00	8	0,68
15	<i>Orthoptera</i>	3	1,06	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,23
16	<i>Phasmatodea</i>	0	0,00	3	1,35	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,23
17	<i>Scorpionidae</i>	0	0,00	3	1,35	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,23
		251	100	197	100	203	100	235	100	155	100	131	100	1171	100

Tabla 17. Densidad de macroinvertebrados en la estación lluviosa.

N°	ORDEN	Estación lluviosa												Total	
		P1		B1		P2		B2		P3		B3		Ind/m ²	%
		Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%		
1	<i>Araneae</i>	13	8,77	0	0,00	3	2,22	8	13,04	11	3,03	3	1,33	37	2,93
2	<i>Annelida</i>	3	1,75	5	1,37	29	24,44	5	8,70	3	0,76	3	1,33	48	3,77
3	<i>Blattodea</i>	11	7,02	5	1,37	8	6,67	0	0,00	19	5,30	75	37,33	117	9,21
4	<i>Chilopoda</i>	3	1,75	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,21
5	<i>Coleóptera</i>	21	14,04	13	3,42	8	6,67	11	17,39	5	1,52	19	9,33	77	6,07
6	<i>Diptera</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
7	<i>Diplopoda</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	16	8,00	16	1,26
8	<i>Hymenoptera</i>	45	29,82	32	8,22	29	24,44	3	4,35	51	14,39	5	2,67	165	12,97
9	<i>Hemiptera</i>	0	0,00	8	2,05	0	0,00	0	0,00	3	0,76	0	0,00	11	0,84
10	<i>Isoptera</i>	51	33,33	325	83,56	43	35,56	32	52,17	261	74,24	80	40,00	792	62,13
11	<i>Odonato</i>	3	1,75	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,21
12	<i>Orthoptera</i>	3	1,75	0	0,00	0	0,00	3	4,35	0	0,00	0	0,00	5	0,42
		152	100	389	100	120	100	61	100	352	100	200	100	1275	100

Tabla 18. Biomasa de macroinvertebrados según la cobertura vegetal

N°	ORDEN	Bosque						Total		Pastizal						Total	
		B1		B2		B3		Ind/m ²	%	P1		P2		P3		Ind/m ²	%
		Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%			Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%		
1	<i>Araneae</i>	13	2,27	16	5,41	11	3,23	40	3,30	29	7,28	19	5,79	19	3,68	67	5,41
2	<i>Annelida</i>	5	0,91	8	2,70	3	0,81	16	1,32	3	0,66	35	10,74	13	2,63	51	4,11
3	<i>Blattodea</i>	8	1,36	0	0,00	80	24,19	88	7,25	13	3,31	8	2,48	21	4,21	43	3,46
4	<i>Chilopoda</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,66	8	2,48	0	0,00	11	0,87
5	<i>Coleóptera</i>	56	9,55	27	9,01	53	16,13	136	11,21	35	8,61	21	6,61	13	2,63	69	5,63
6	<i>Dermaptera</i>	13	2,27	0	0,00	0	0,00	13	1,10	0	0,00	3	0,83	0	0,00	3	0,22
7	<i>Diptera</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,66	0	0,00	0	0,00	3	0,22
8	<i>Diplopoda</i>	0	0,00	0	0,00	16	4,84	16	1,32	3	0,66	0	0,00	0	0,00	3	0,22
9	<i>Hymenoptera</i>	99	16,82	11	3,60	8	2,42	117	9,67	189	47,02	72	22,31	61	12,11	323	26,19
10	<i>Hemiptera</i>	13	2,27	3	0,90	11	3,23	27	2,20	8	1,99	3	0,83	19	3,68	29	2,38
11	<i>Isoptera</i>	363	61,82	227	76,58	149	45,16	739	60,88	101	25,17	155	47,93	352	69,47	608	49,35
12	<i>Isópodo</i>	11	1,82	0	0,00	0	0,00	11	0,88	8	1,99	0	0,00	3	0,53	11	0,87
13	<i>Lepidoptera</i>	0	0,00	3	0,90	0	0,00	3	0,22	0	0,00	0	0,00	5	1,05	5	0,43
14	<i>Odonato</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,66	0	0,00	0	0,00	3	0,22
15	<i>Orthoptera</i>	0	0,00	3	0,90	0	0,00	3	0,22	5	1,32	0	0,00	0	0,00	5	0,43
16	<i>Phasmatodea</i>	3	0,45	0	0,00	0	0,00	3	0,22	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
17	<i>Scorpionidae</i>	3	0,45	0	0,00	0	0,00	3	0,22	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
		587	100	296	100	331	100	1213	100	403	100	323	100	507	100	1232	100

Tabla 19. Abundancia de micorrizas arbusculares en el suelo

Parcela	Muestra	Cobertura vegetal	Familia	Estación	N° Esporas
P1	m1	Pastizal	<i>Apocynaceae</i>	Seca	83
P1	m2	Pastizal	<i>Apocynaceae</i>	Seca	68
B1	m1	Bosque	<i>Sapotaceae</i>	Seca	68
B1	m2	Bosque	<i>Apocynaceae</i>	Seca	83
P2	m1	Pastizal	<i>Sapotaceae</i>	Seca	50
P2	m2	Pastizal	<i>Sapotaceae</i>	Seca	65
B2	m1	Bosque	<i>Burceraceae</i>	Seca	56
B2	m2	Bosque	<i>Clusiaceae</i>	Seca	54
P3	m1	Pastizal	<i>Fabaceae</i>	Seca	58
P3	m2	Pastizal	<i>Fabaceae</i>	Seca	47
B3	m1	Bosque	<i>Anacardiaceae</i>	Seca	72
B3	m2	Bosque	<i>Fabaceae</i>	Seca	61
P1	m1	Pastizal	<i>Apocynaceae</i>	Lluviosa	47
P1	m2	Pastizal	<i>Apocynaceae</i>	Lluviosa	50
B1	m1	Bosque	<i>Sapotaceae</i>	Lluviosa	43
B1	m2	Bosque	<i>Apocynaceae</i>	Lluviosa	43
P2	m1	Pastizal	<i>Sapotaceae</i>	Lluviosa	47
P2	m2	Pastizal	<i>Sapotaceae</i>	Lluviosa	47
B2	m1	Bosque	<i>Burceraceae</i>	Lluviosa	43
B2	m2	Bosque	<i>Clusiaceae</i>	Lluviosa	47
P3	m1	Pastizal	<i>Fabaceae</i>	Lluviosa	58
P3	m2	Pastizal	<i>Fabaceae</i>	Lluviosa	47
B3	m1	Bosque	<i>Anacardiaceae</i>	Lluviosa	50
B3	m2	Bosque	<i>Fabaceae</i>	Lluviosa	29

Tabla 20. Características químicas del suelo en la estación seca.

Parcela	Cobertura vegetal	Profundidad (cm)	ESTACIÓN SECA											
			PH	C.E. dS/m	CaCO ₃ %	M.O %	P ppm	K	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺ meq/100g	
P1	Pastizal	50	4,03	0,09	0,00	0,81	0,59	28	5,40	0,46	0,12	0,14	0,09	4,10
P1	Pastizal	100	3,74	0,03	0,00	0,47	0,00	35	9,60	0,32	0,10	0,14	0,05	5,40
P1	Pastizal	150	3,57	0,11	0,00	1,01	0,26	58	9,20	0,16	0,16	0,17	0,03	5,65
P1	Pastizal	200	4,00	0,05	0,00	0,34	0,76	47	8,40	0,24	0,12	0,13	0,02	4,40
B1	Bosque	50	3,74	0,09	0,00	1,88	0,09	59	12,80	0,29	0,18	0,15	0,02	5,10
B1	Bosque	100	3,86	0,06	0,00	0,87	0,00	44	9,60	0,30	0,18	0,17	0,01	5,75
B1	Bosque	150	3,87	0,05	0,00	0,67	0,76	37	10,00	0,36	0,15	0,12	0,01	5,40
B1	Bosque	200	3,94	0,07	0,00	0,74	0,00	58	10,20	0,39	0,23	0,12	0,03	6,15
P2	Pastizal	50	3,95	0,07	0,00	0,54	0,00	24	4,00	0,24	0,15	0,03	0,01	2,40
P2	Pastizal	100	4,03	0,05	0,00	0,20	0,00	41	10,80	0,30	0,18	0,12	0,01	5,60
P2	Pastizal	150	3,99	0,06	0,00	0,40	0,00	38	8,20	0,31	0,21	0,13	0,06	5,40
P2	Pastizal	200	4,24	0,04	0,00	0,47	0,00	30	4,20	0,21	0,12	0,09	0,04	2,65
B2	Bosque	50	3,95	0,05	0,00	0,60	0,76	26	6,40	0,15	0,08	0,06	0,01	3,40
B2	Bosque	100	4,07	0,04	0,00	0,40	0,00	24	8,40	0,00	0,02	0,04	0,00	4,05
B2	Bosque	150	4,08	0,05	0,00	0,60	1,35	43	9,40	0,16	0,25	0,14	0,01	4,90
B2	Bosque	200	4,03	0,09	0,00	0,60	0,26	57	8,00	0,19	0,46	0,17	0,06	6,30
P3	Pastizal	50	3,91	0,09	0,00	0,87	0,17	18	5,20	0,20	0,08	0,09	0,06	2,75
P3	Pastizal	100	4,07	0,06	0,00	0,40	0,00	13	5,00	0,13	0,07	0,08	0,07	3,50
P3	Pastizal	150	4,08	0,05	0,00	0,27	0,00	29	7,80	0,21	0,13	0,09	0,03	5,50
P3	Pastizal	200	3,99	0,08	0,00	0,40	0,09	30	9,20	0,14	0,25	0,09	0,01	5,75
B3	Bosque	50	4,12	0,03	0,00	0,47	0,17	75	8,00	0,25	0,23	0,19	0,09	5,95
B3	Bosque	100	3,71	0,07	0,00	0,87	0,67	35	8,60	0,29	0,13	0,13	0,01	5,40
B3	Bosque	150	3,71	0,08	0,00	0,94	0,34	37	8,80	0,40	0,13	0,13	0,01	6,00
B3	Bosque	200	3,92	0,05	0,00	0,54	0,00	37	7,00	0,19	0,13	0,12	0,01	5,10

Tabla 21. Características químicas del suelo en la estación lluviosa.

Parcela	Cobertura vegetal	Profundidad (cm)	ESTACIÓN LLUVIOSA											
			PH	C.E.	CaCO ₃	M.O	P	K	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	
				dS/m	%	%	ppm	meq/100g						
P1	Pastizal	50	4,44	0,04	0,00	3,52	0,70	48,00	13,20	1,01	0,25	0,12	0,01	4,50
P1	Pastizal	100	4,48	0,02	0,00	1,66	0,16	47,00	13,20	0,32	0,15	0,10	0,01	6,85
P1	Pastizal	150	4,52	0,02	0,00	0,70	0,16	46,00	12,29	0,85	0,36	0,13	0,01	7,25
P1	Pastizal	200	4,48	0,02	0,00	0,96	0,47	51,00	10,18	0,58	0,31	0,12	0,01	6,85
B1	Bosque	50	4,20	0,05	0,00	4,22	1,00	98,00	22,67	0,56	0,35	0,25	0,01	7,75
B1	Bosque	100	4,28	0,03	0,00	4,09	0,39	72,00	16,12	0,27	0,16	0,15	0,01	8,30
B1	Bosque	150	4,24	0,02	0,00	2,30	0,16	78,00	17,13	0,54	0,36	0,23	0,01	7,65
B1	Bosque	200	4,16	0,02	0,00	1,66	0,16	71,00	13,30	0,18	0,16	0,12	0,01	7,35
P2	Pastizal	50	4,12	0,05	0,00	2,05	1,31	42,00	8,66	0,29	0,16	0,07	0,01	2,50
P2	Pastizal	100	4,24	0,02	0,00	1,54	0,39	36,00	6,45	0,37	0,20	0,06	0,01	3,00
P2	Pastizal	150	4,28	0,09	0,00	1,54	0,16	28,00	6,25	0,36	0,21	0,05	0,01	3,30
P2	Pastizal	200	4,40	0,02	0,00	1,09	0,16	36,00	10,88	0,44	0,30	0,06	0,01	5,35
B2	Bosque	50	4,20	0,05	0,00	2,56	1,46	59,00	13,00	0,39	0,26	0,08	0,01	3,80
B2	Bosque	100	4,52	0,02	0,00	0,70	0,16	63,00	6,95	0,76	0,53	0,14	0,01	3,15
B2	Bosque	150	4,56	0,02	0,00	0,51	0,16	71,00	9,47	0,71	0,44	0,12	0,01	4,50
B2	Bosque	200	4,36	0,01	0,00	1,15	0,16	56,00	10,98	0,39	0,33	0,09	0,01	6,05
P3	Pastizal	50	4,20	0,03	0,00	1,02	0,47	31,00	7,05	0,37	0,25	0,06	0,01	2,60
P3	Pastizal	100	4,32	0,03	0,00	0,77	0,31	38,00	8,87	0,16	0,15	0,04	0,01	3,25
P3	Pastizal	150	4,40	0,02	0,00	0,77	0,16	32,00	6,05	0,45	0,20	0,12	0,02	3,60
P3	Pastizal	200	4,44	0,01	0,00	0,70	0,16	53,00	13,90	0,32	0,33	0,11	0,01	5,15
B3	Bosque	50	4,08	0,04	0,00	2,11	0,24	41,00	9,27	0,54	0,38	0,07	0,01	4,70
B3	Bosque	100	4,32	0,02	0,00	1,66	0,54	63,00	8,87	0,33	0,26	0,09	0,01	3,95
B3	Bosque	150	4,28	0,03	0,00	1,28	0,16	62,00	8,66	0,96	0,61	0,12	0,01	3,85
B3	Bosque	200	4,40	0,02	0,00	1,09	0,47	96,00	9,47	0,42	0,36	0,15	0,01	4,70

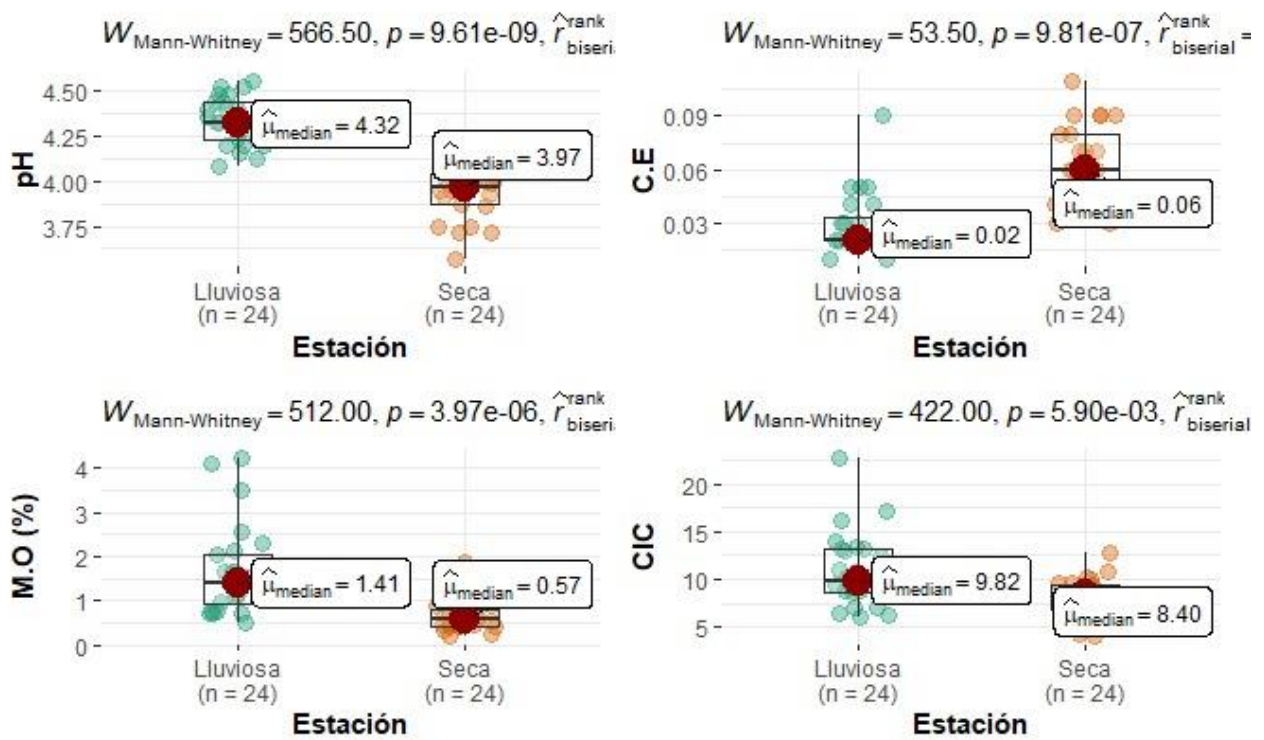


Figura 33. Comparación de las características del suelo (pH, M.O, C.E y CIC) entre estaciones mediante la prueba U de Mann-Whitney.

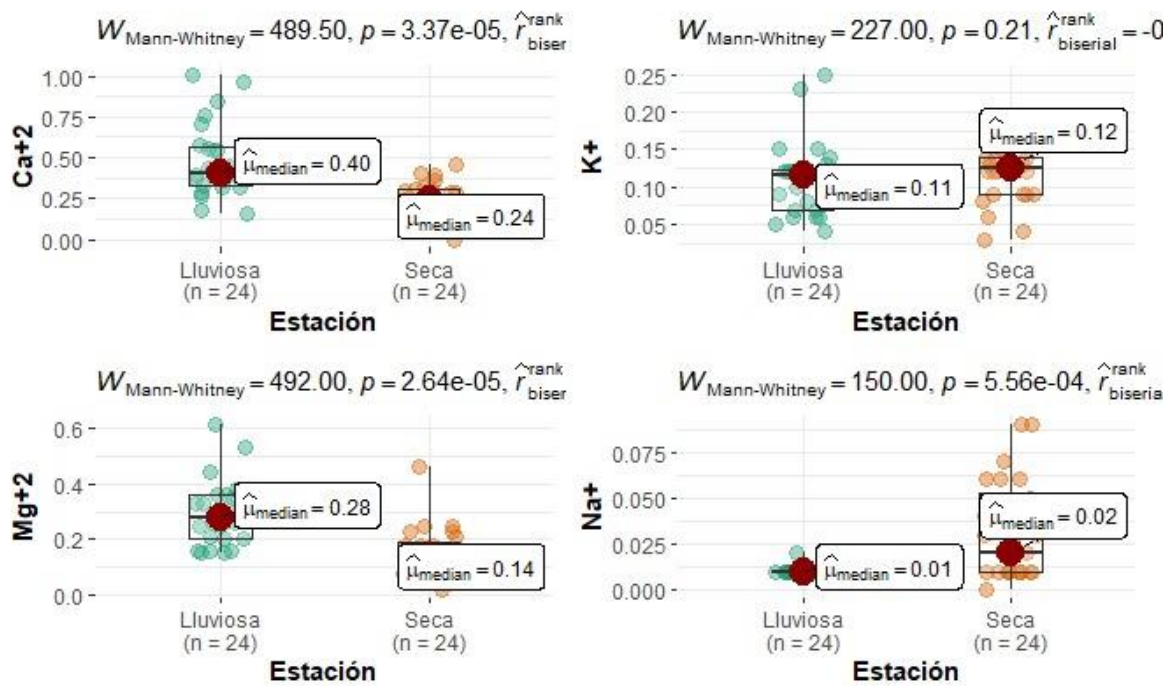


Figura 34. Comparación de las características del suelo (Ca⁺², K⁺, Mg⁺² y Na⁺) entre estaciones mediante la prueba U de Mann-Whitney.

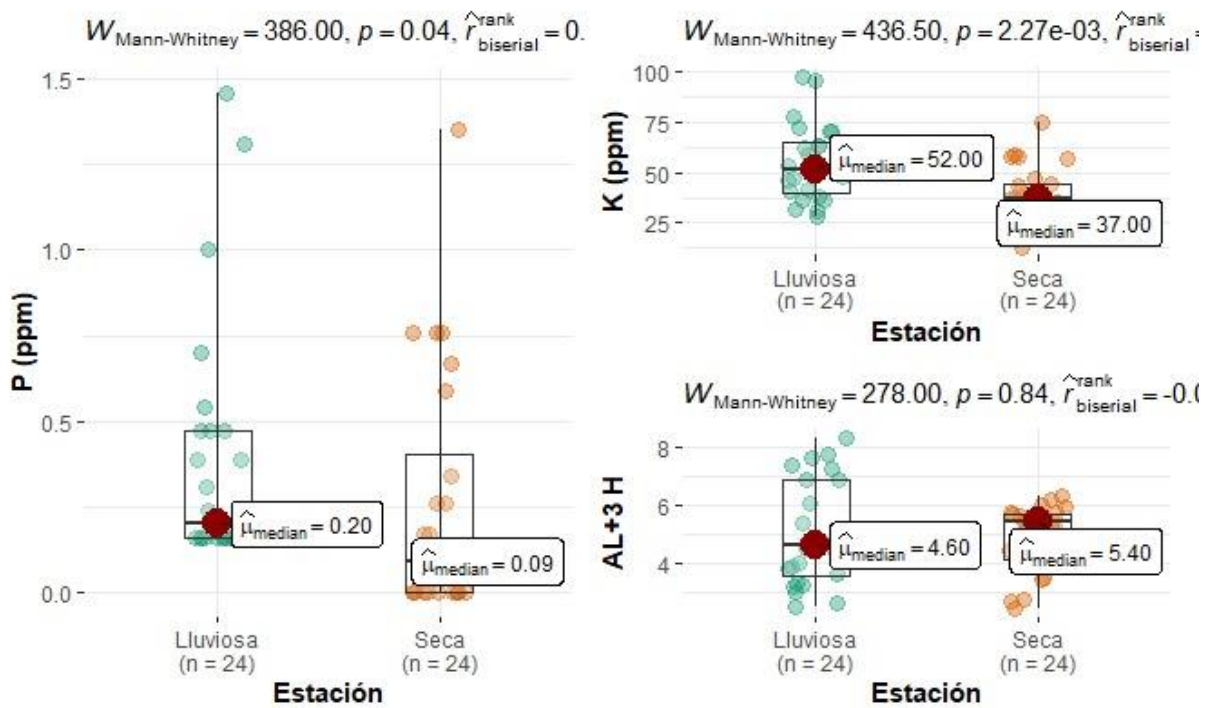


Figura 35. Comparación de las características del suelo (P, K, AL⁺³ + H⁺) entre estaciones mediante la prueba U de Mann-Whitney.

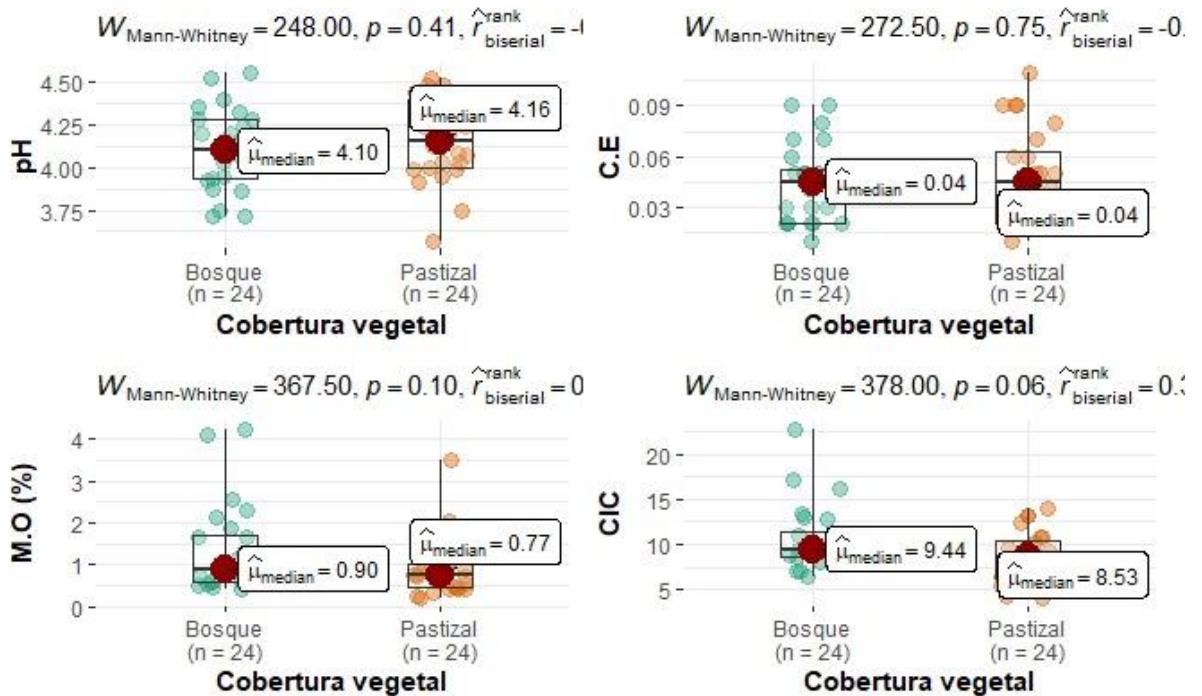


Figura 36. Comparación de las características del suelo (pH, M.O., C.E y CIC) entre las coberturas vegetales mediante la prueba U de Mann-Whitney.

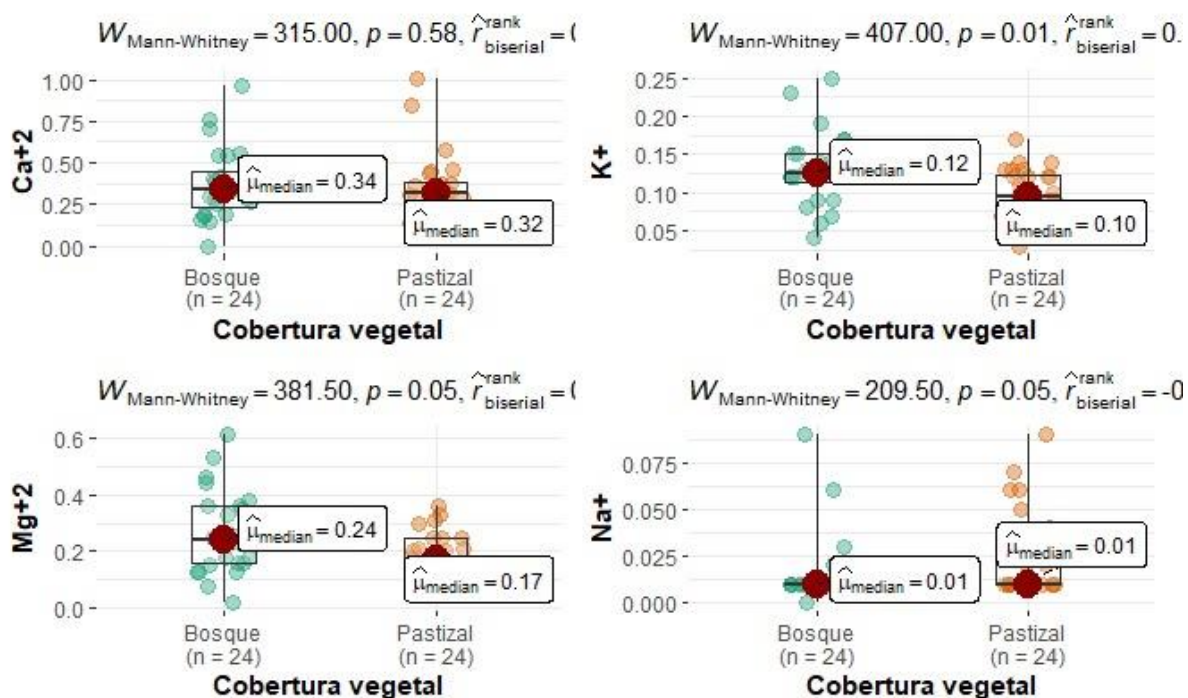


Figura 37. Comparación de las características del suelo (Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ y Na⁺) entre las coberturas vegetales mediante la prueba U de Mann-Whitney.

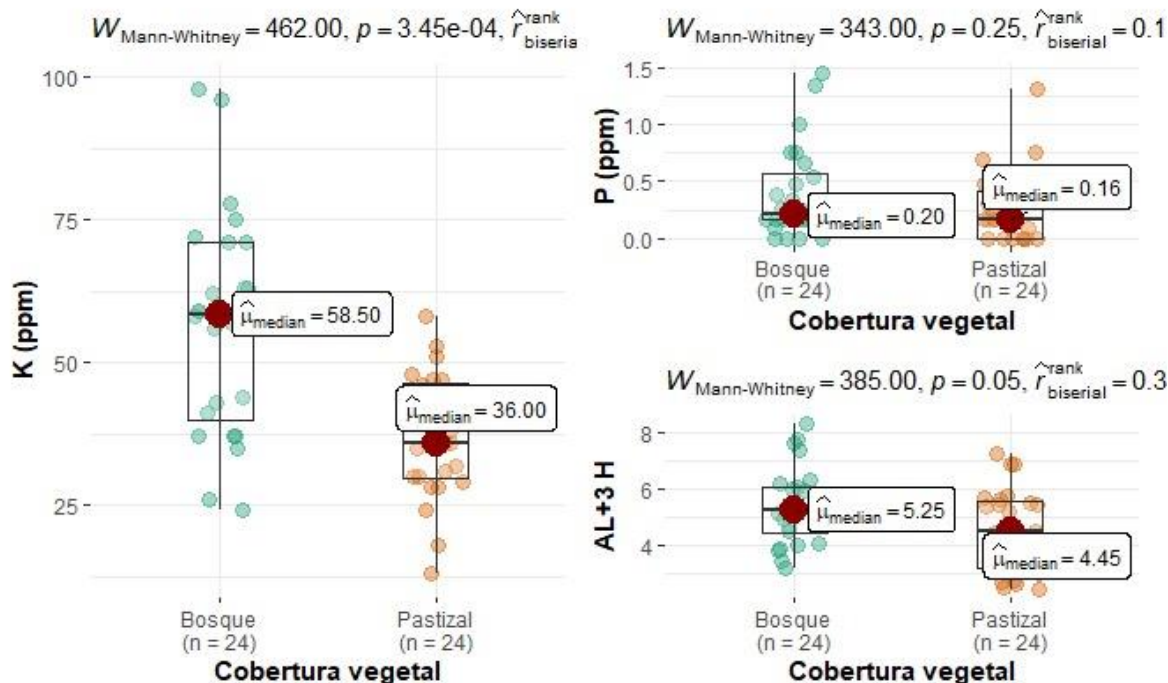


Figura 38. Comparación de las características del suelo (P, K, AL³⁺ + H⁺) entre las coberturas vegetales mediante la prueba U de Mann-Whitney.

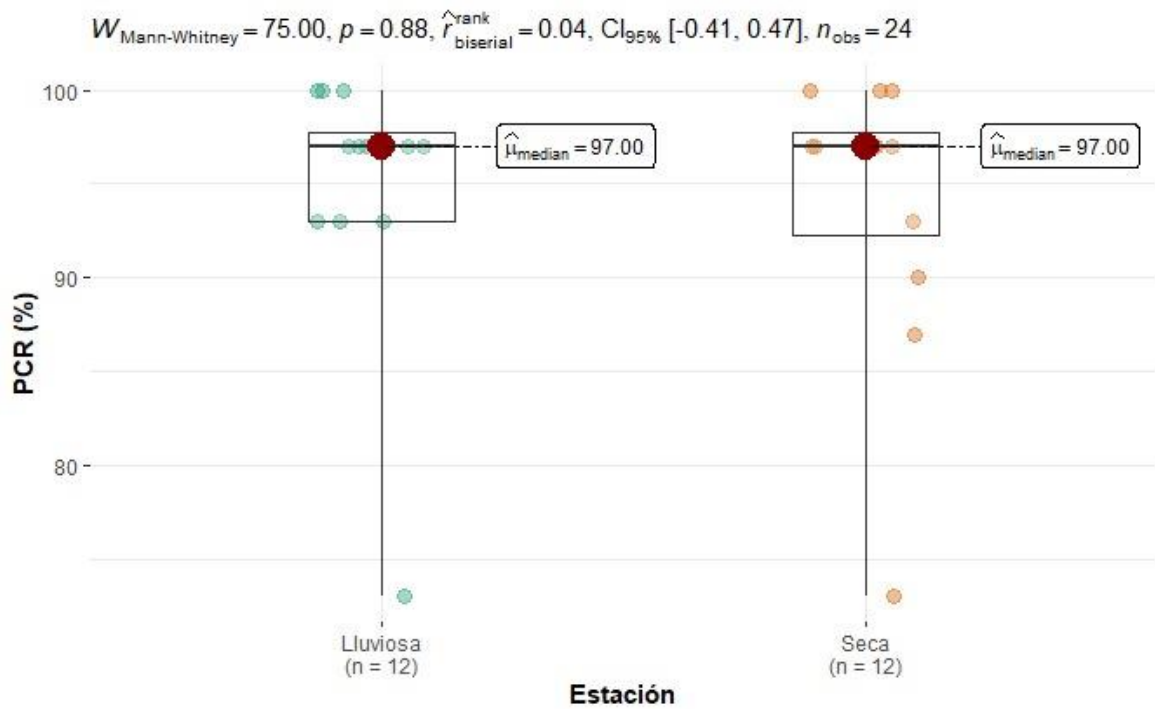


Figura 39. Comparación del porcentaje de colonización radicular entre la estación mediante la prueba U de Mann-Whitney.

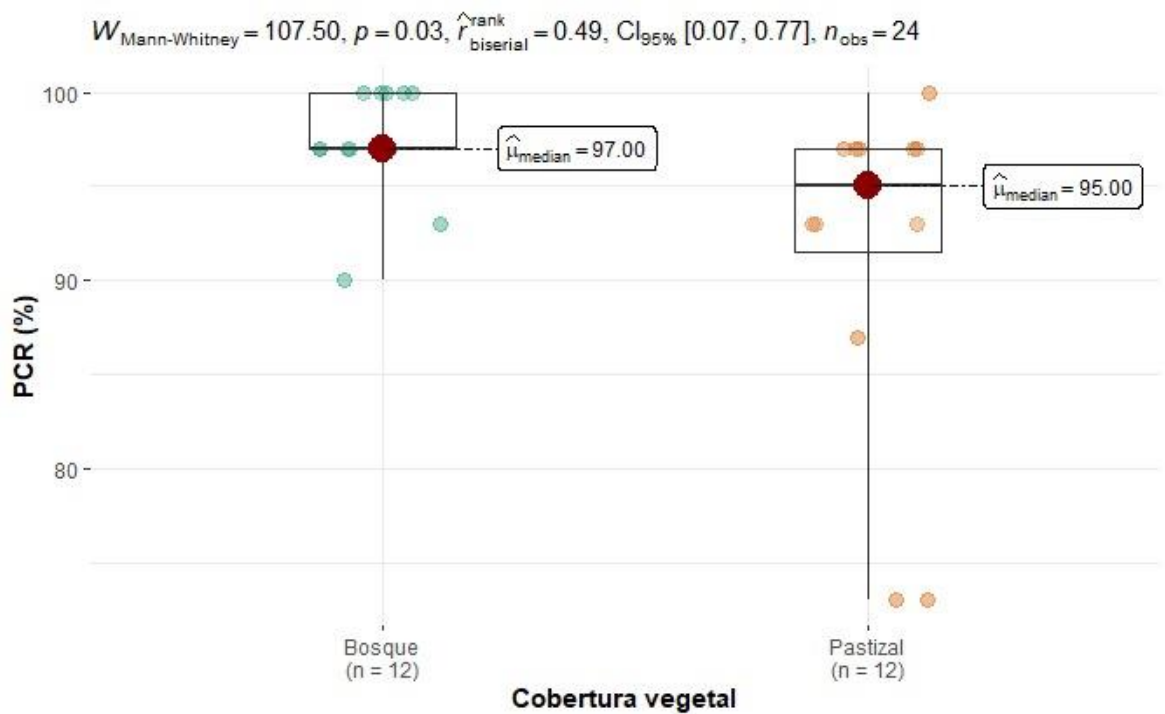


Figura 40. Comparación del porcentaje de colonización radicular entre la cobertura vegetal mediante la prueba U de Mann-Whitney.

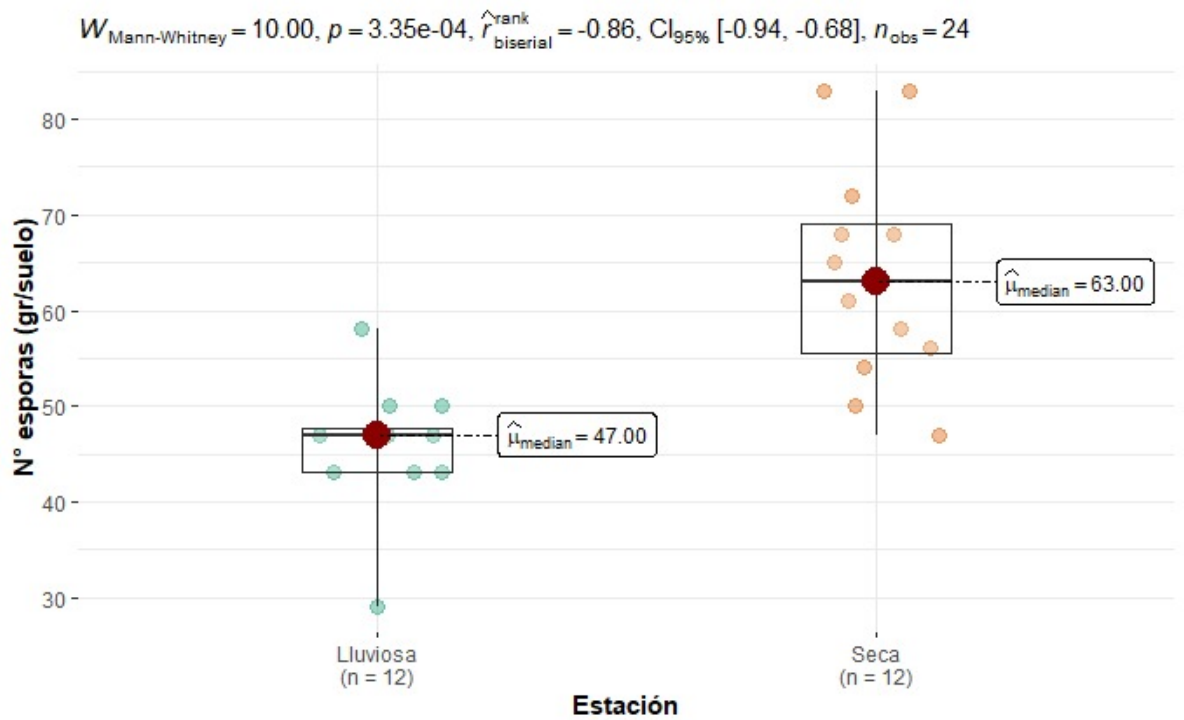


Figura 41. Comparación de N° de esporas (gr/suelo) entre la estación mediante la prueba U de Mann-Whitney.

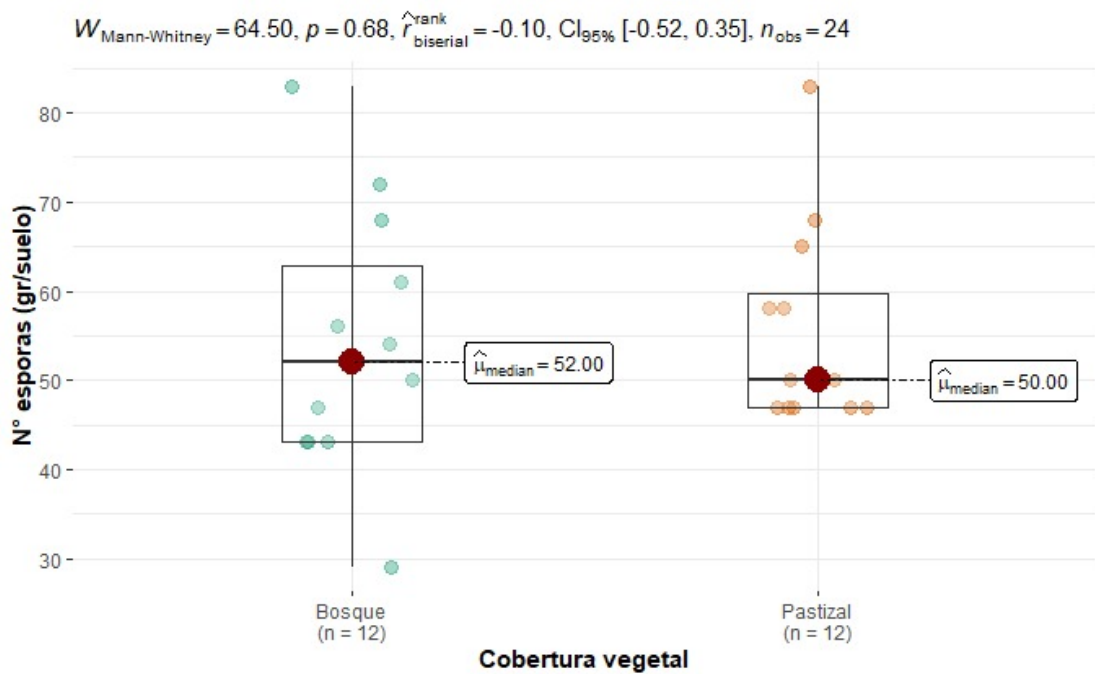


Figura 42. Comparación de N° de esporas (gr/suelo) de colonización radicular entre la cobertura vegetal mediante la prueba U de Mann-Whitney.

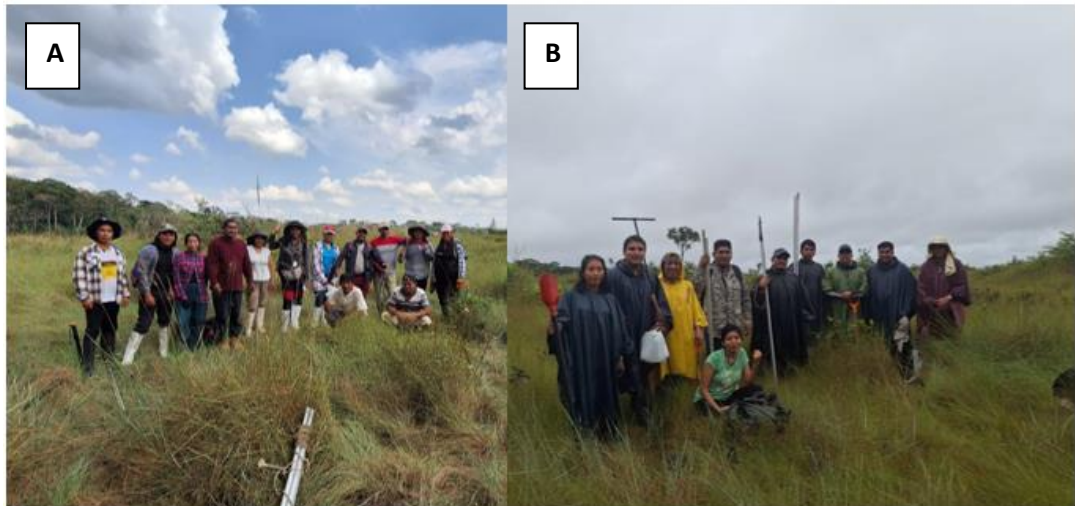


Figura 43. Ingreso a las pampas de Heath en agosto del 2024 estación seca (A), ingreso a las pampas de Heath en marzo del 2025 en estación lluviosa (B).



Figura 44. **A**, marco muestreador en estación seca; **B**, área colectada en estación lluviosa; **C**, Búsqueda de macroinvertebrados estación seca; **D**, Búsqueda de macroinvertebrados en estación lluviosa.



Figura 45. Lavado, pesado e identificación de macroinvertebrados según el orden.

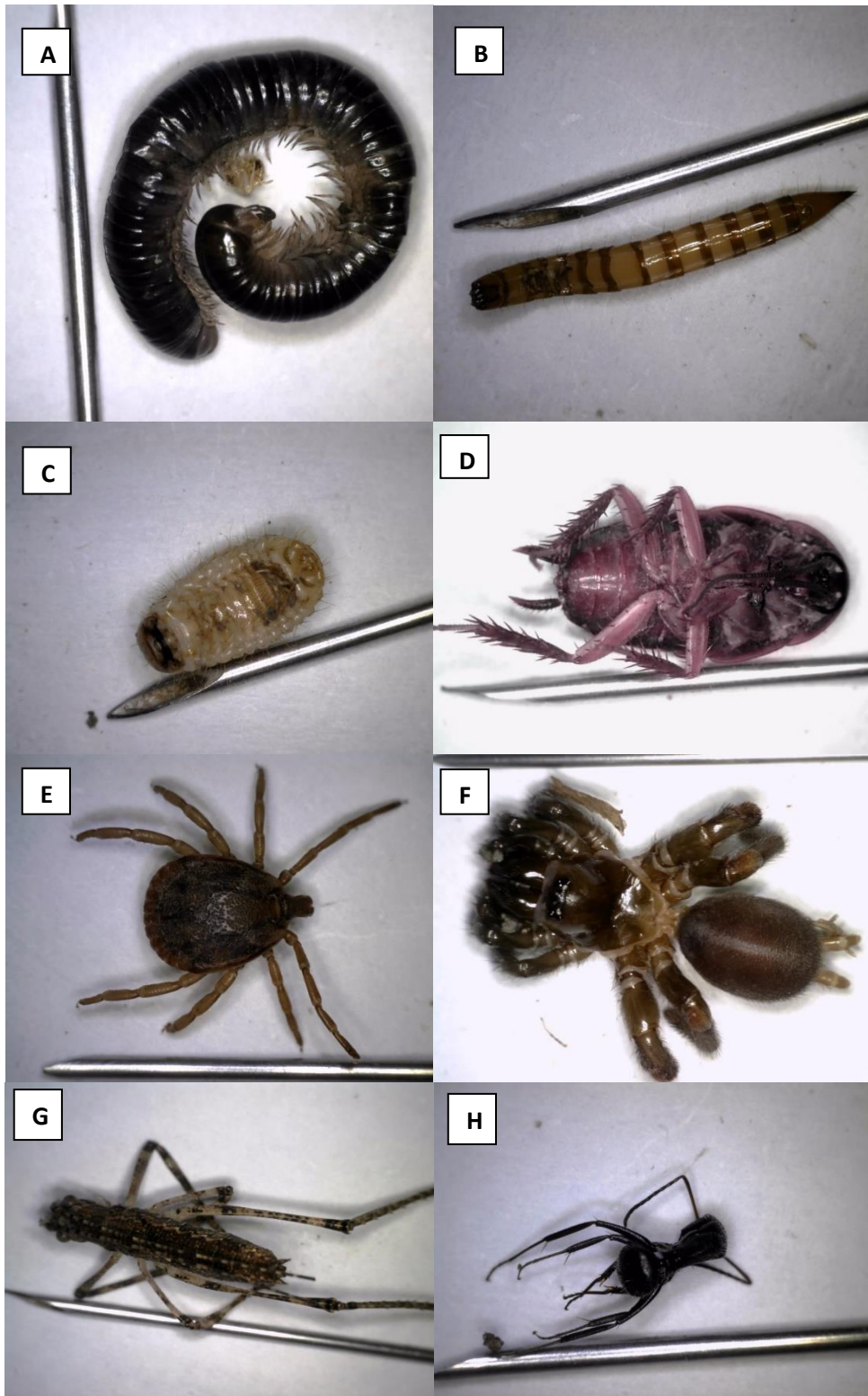


Figura 46. Ordenes de macroinvertebrados evaluados. A. Diplópodo; B. Coleóptera; C. Isópoda; D. Coleóptera; E. Blattodea; F. Araneae; G. Orthoptera; H. Formicidae.



Figura 47. A, Muestreo de suelo periodo seco; B, Extracción de muestras con el barreno; C, Muestro de suelo periodo lluvioso; D, Muestras colectadas; E, Secado de muestras en estufa a 105°C; **F y G**, Muestras rotuladas para ser enviados al laboratorio de la universidad nacional Agraria La Molina.



Figura 48. **A, B**, Colecta de muestras de raíces; **C, D**, Muestra de raíces; **E**, Muestra de raíces en placa Petri para pasar al microscopio.

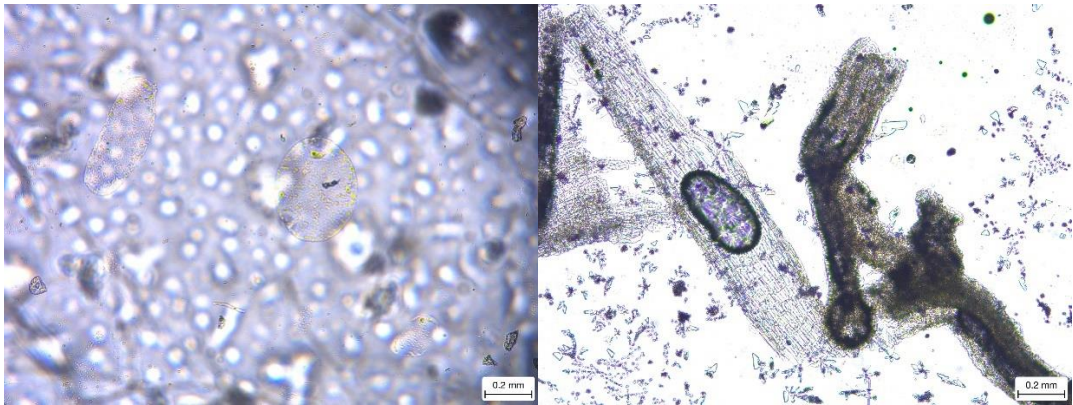
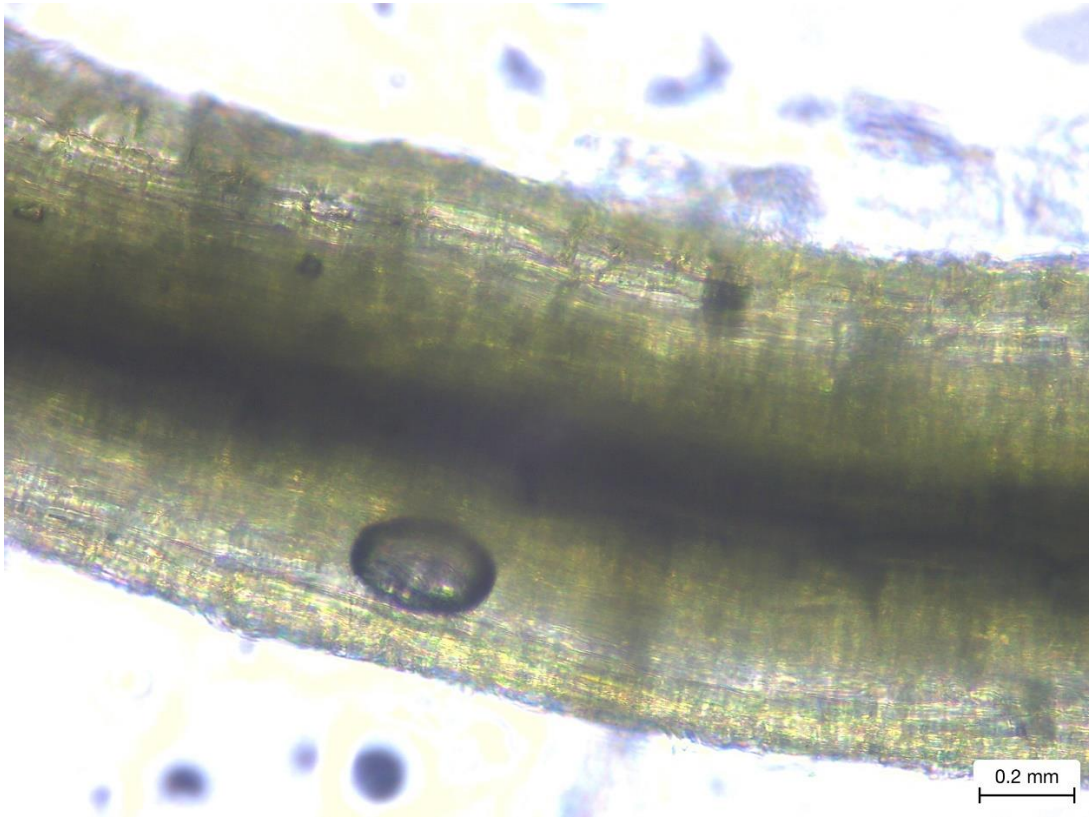


Figura 49. Esporas encontradas en las raíces.

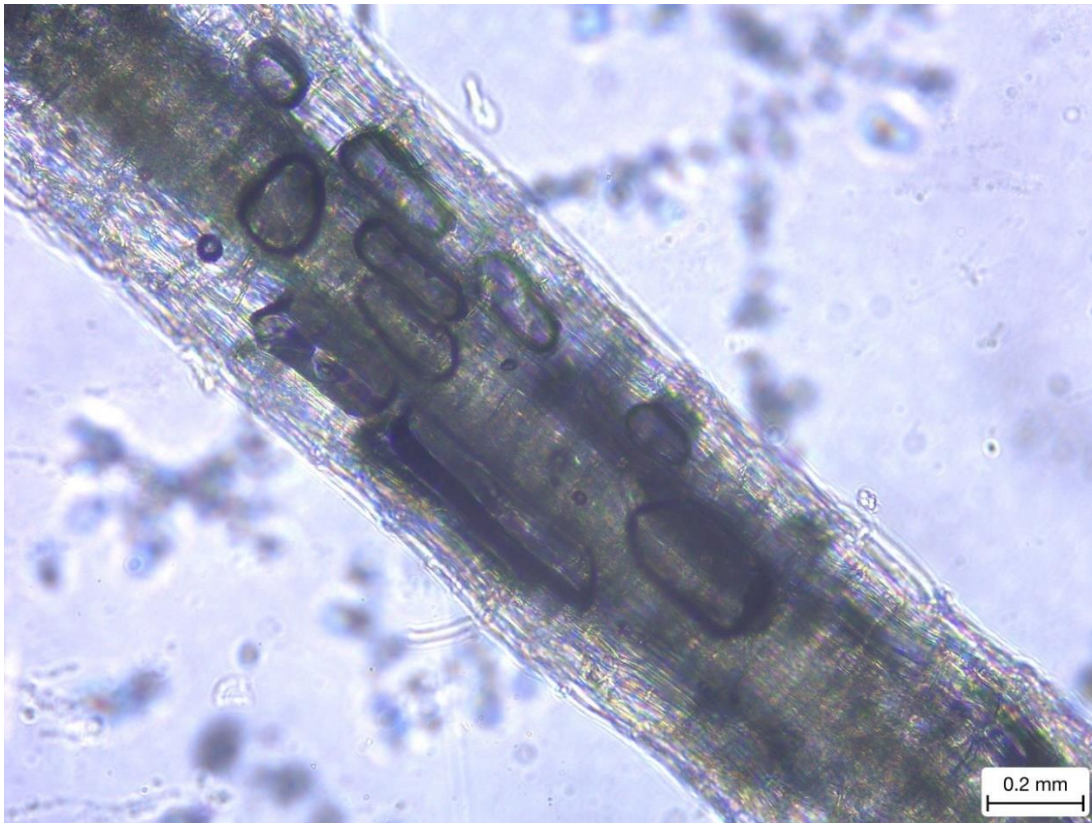


Figura 50. Vesículas.

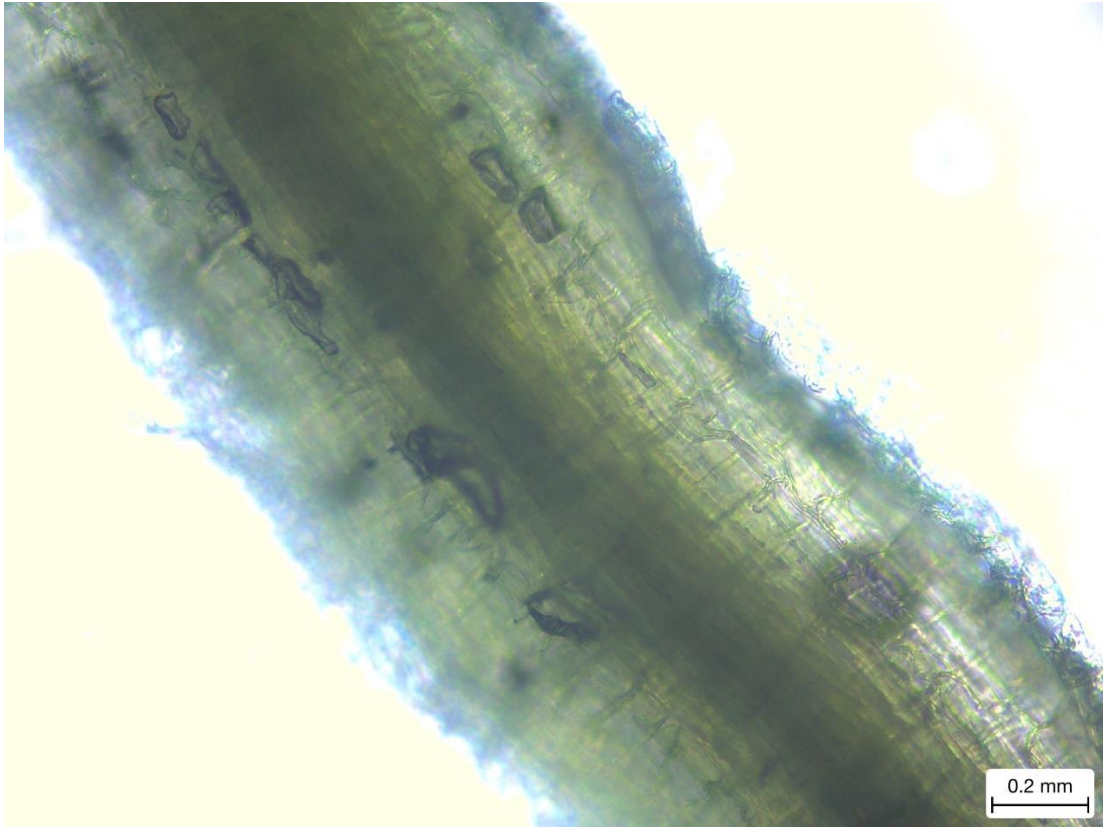


Figura 51. Arbúsculos

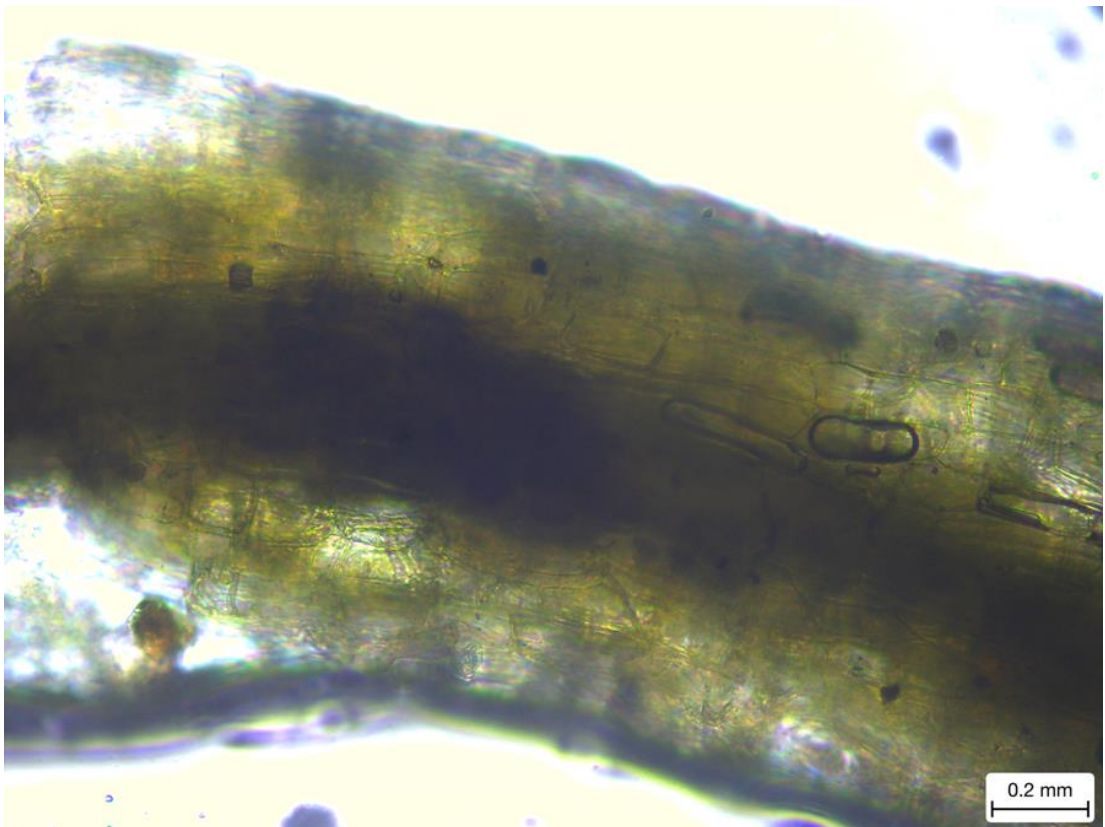


Figura 52. Esporas con micelio y hifas.

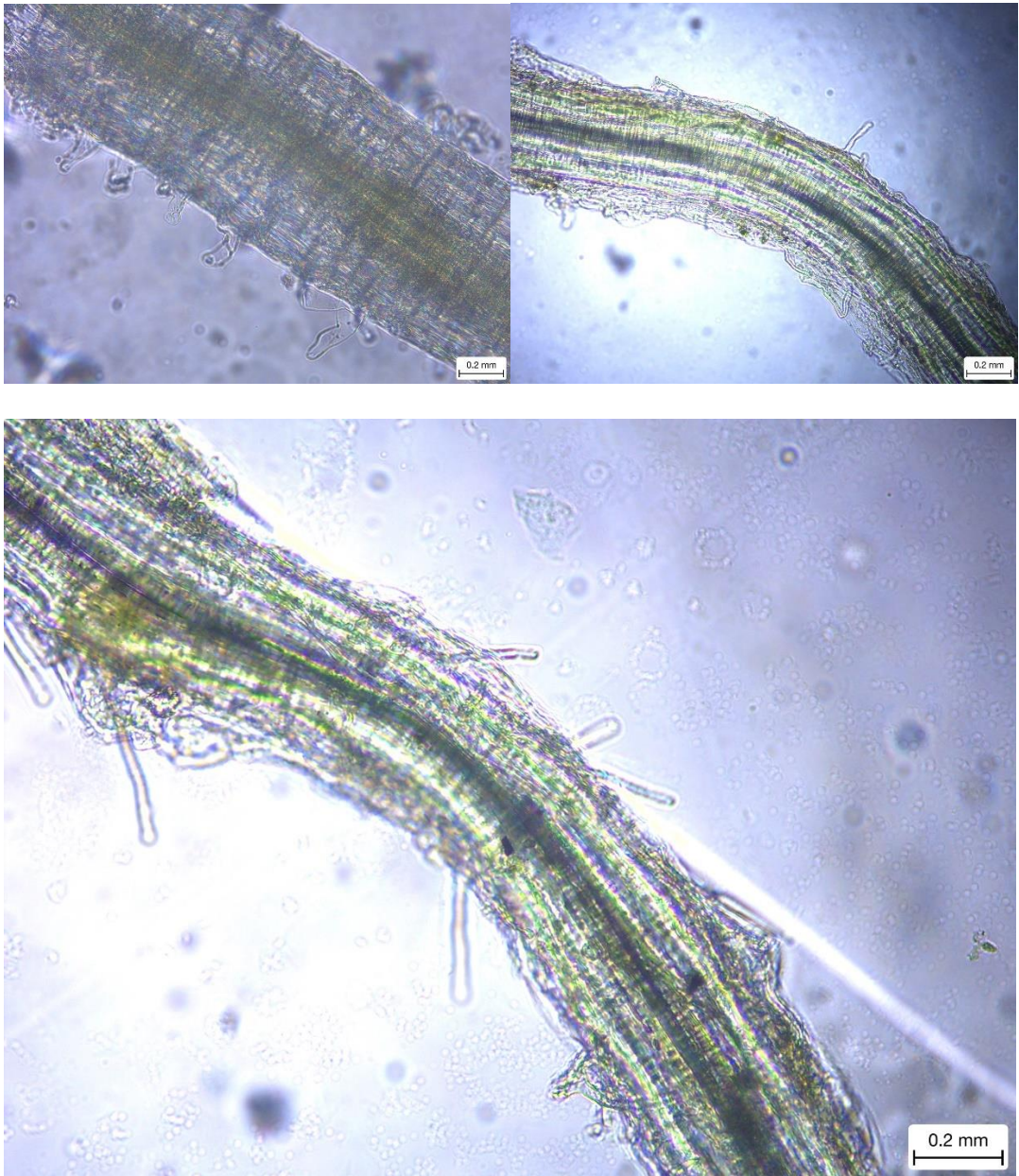


Figura 53. Micelio

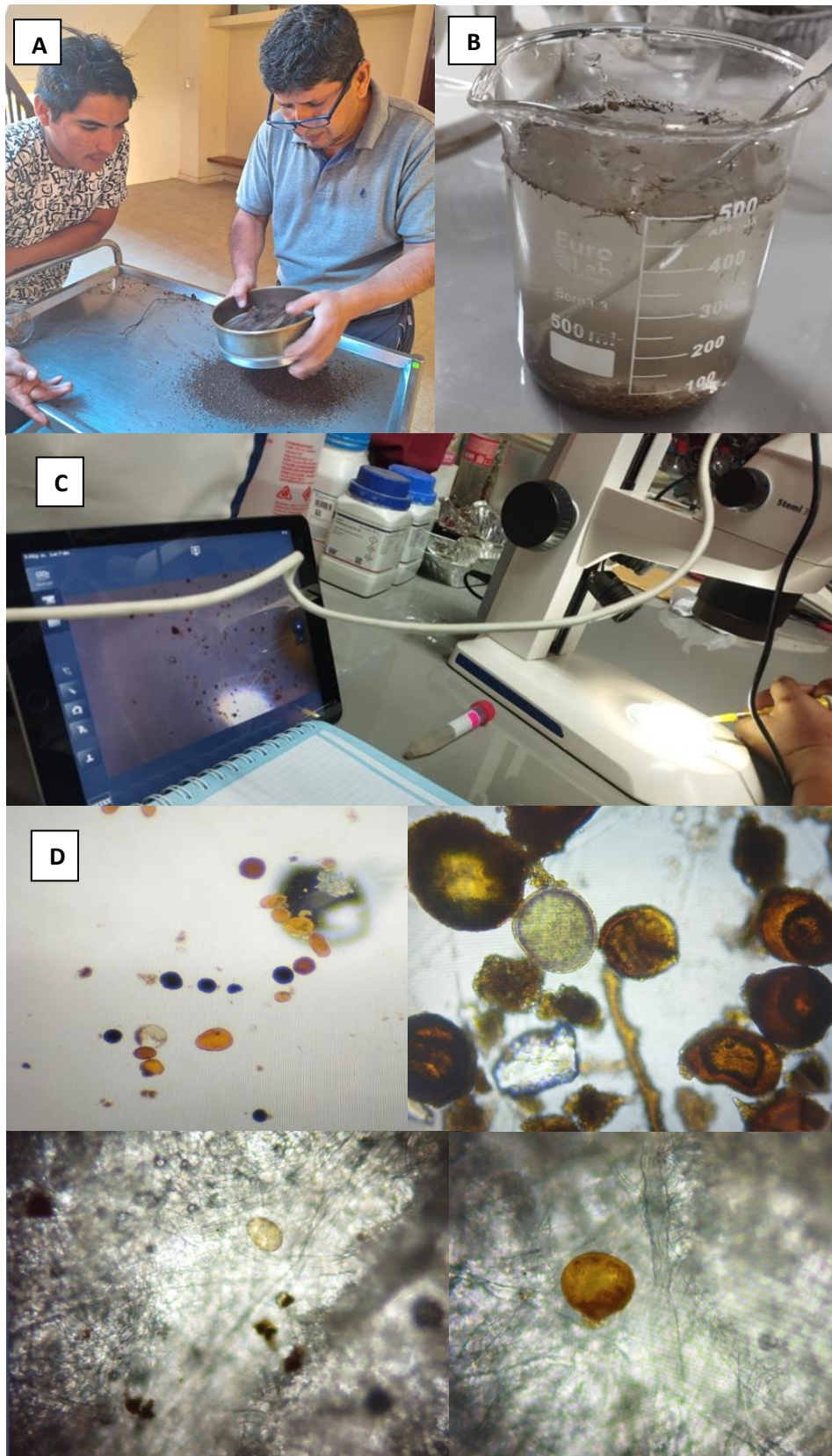


Figura 54. **A**, Separación del suelo de las raíces; **B**, pesado 25 gr; **C**, conteo de esporas con el stereo; **G**, esporas de suelo.