UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES

Conservación del suelo y macrofauna edáfica en sistemas agroforestales instalados en la provincia de Rioja, departamento de San Martín, Perú

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES

Jacques Barzun Inga Tarrillo

Victor Nabil Juep Bakuants

ASESOR

Wilson Pérez Dávila

Rioja, Perú

2025

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los Autores

Autor 1

Nombres	Jacques Barzun
Apellidos	Inga Tarrillo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	71307832
Número de Orcid (opcional)	no aplica

Autor 2

Nombres	Victor Nabil
Apellidos	Juep Bakuants
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	43454507
Número de Orcid (opcional)	no aplica

Autor 3

Nombres	no aplica
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	no aplica
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores

Asesor 1

Nombres	Wilson
Apellidos	Pérez Dávila
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	43447032
Número de Orcid (Obligatorio)	https://orcid.org/0000-0001-9060-1552

Asesor 2

Nombres	no aplica
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	Blanca Aurora
Apellidos	Arce Barboza
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	10568617

Segundo miembro

Nombres	Berthin Renzo
Apellidos	Ticona Cortavitarte
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	46805074

Tercer miembro

Nombres	Aulio Gabriel
Apellidos	Callo Salazar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	29556454

Datos de la Obra

Materia*	biodiversidad de suelo, calidad de suelo, macrofauna edáfica, sistemas agroforestales, taxones edáficos
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: **Enlace**	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00
Idioma	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Tesis
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte(opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Ambiental
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Ambiental
Código del programa Consultar el listado: **Enlace**	521066

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE | FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 063-2025-UCSS/FCAA-DI

Siendo las 03:00 p. m. del 23 de setiembre de 2025 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

1. Blanca Aurora Arce Barboza — presidente
2. Berthin Renzo Ticona Cortavitarte — primer miembro
3. Aulio Gabriel Callo Salazar — segundo miembro
4. Wilson Pérez Dávila — asesor(a)

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada:

Conservación del suelo y macrofauna edáfica en sistemas agroforestales instalados en la provincia de Rioja, departamento de San Martín, Perú

Que presentan los bachilleres en **Ciencias Ambientales**

Jacques Barzun Inga Tarrillo
Víctor Nabil Juep Bakuants

Cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental.**

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR	**X**
DESAPROBAR	**…**

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la **Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales**, a fin de que se declare EXPEDITA para conferir el TÍTULO DE **INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 23 de setiembre de 2025.

Blanca Aurora Arce Barboza
Presidente

Berthin Renzo Ticona Cortavitarte
1° miembro

Aulio Gabriel Callo Salazar
2° miembro

Wilson Pérez Dávila
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR DE **TESIS** CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Rioja, 09 de marzo de 2026

Señor(a),
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que la **tesis** bajo mi asesoría, con **título: Conservación del suelo y macrofauna edáfica en sistemas agroforestales instalados en la provincia de Rioja, departamento de San Martín, Perú**, presentado por Jacques Barzun Inga Tarrillo (código: 2011101667 y DNI: 71307832) y Victor Nabil Juep Bakuants (código: 2010200898 y DNI: 43454507) para optar el **título profesional** de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser publicado en el Repositorio Institucional Digital.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 10 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

Firma
Wilson Pérez Dávila
DNI N°: 43447032
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9060-1552
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme en mi caminar,
ser mi guía y mi fortaleza en momentos de dificultad y
mi confidente en momentos de éxito
A mis padres Cristóbal y Hercelia por su apoyo incondicional
A mis hijos Marzieh, Hans y Naisha los motores mis logros y éxitos
A mi abuelita Inchit

Víctor Nabil Juep Bakuants

A Dios por haber permitido llegar a la meta, por la salud y
permitir cumplir mi objetivo.
A mi padre y mi madre por su confianza en mi persona y
brindarme el apoyo económico durante mis estudios,
A mis hermanos que siempre me animaron a seguir adelante.

Jacques Barzun Inga Tarrillo

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae
por estar presente en donde más se lo necesita y
facilitar cumplir mi meta
A los docentes de Ingeniería Ambiental por brindarnos
las herramientas útiles para la aplicación en campo
Al jurado evaluar de la presente investigación por
sus aportes en la mejora de nuestro trabajo realizado

Víctor Nabil Juep Bakuants

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae
por estar presente en la provincia de Rioja y
habernos permitido estudiar la carrera de Ingeniería Ambiental
que nos permite convertirnos en un profesional que contribuya a
mi localidad y a mi Perú

A los docentes que nos brindaron sus conocimientos
para ponerlos en práctica y al servicio de la sociedad,
muchas gracias a Ustedes

Al jurado evaluador del presente trabajo de tesis,
gracias por sus aportes y contribuciones

Jacques Barzun Inga Tarrillo

ÍNDICE GENERAL

Pág.

ÍNDICE GENERAL 8
ÍNDICE DE TABLAS 11
ÍNDICE DE FIGURAS 13
ÍNDICE DE APÉNDICES 16
RESUMEN 17
ABSTRACT 18
INTRODUCCIÓN 18
OBJETIVOS 20
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO 21
1.1. Antecedentes 21
1.2. Bases teóricas especializadas 28
1.2.1. Suelos 28
1.2.2. Conservación de suelo 42
1.2.3. Macrofauna edáfica 45
1.2.4. Sistemas agroforestales 52
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS 57
2.1. Descripción de la investigación 57
2.2. Lugar y fecha 57
2.3. Población y muestra 59
2.4. Técnicas e instrumentos 60
2.5. Descripción de la investigación 61
2.5.1. Fase preliminar 61
2.5.2. Fase de campo. 62
2.5.3. Fase de laboratorio 67
2.5.4. Fase de gabinete 71
2.6. Identificación de variables y su mensuración 72
2.7. Análisis estadístico de los datos 73
2.8. Materiales y equipos 73

CAPÍTULO III: RESULTADOS 74
3.1. Potencial biológico en composición, densidad, abundancia y diversidad de macrofauna en cuatro arreglos agroforestales instalados en la provincia de Rioja ... 74
3.1.1. Composición taxonómica de macrofauna edáfica 74
3.1.2. Abundancia de taxones de macrofauna edáfica en sistemas agroforestales 79
3.1.3. Densidad de macrofauna edáfica 88
3.1.4. Diversidad de macrofauna edáfica en sistemas agroforestales 89
3.2. Estado situacional fisicoquímico del suelo en los SAF evaluados con respecto a la macrofauna edáfica 90
3.2.1. Propiedades físicas 90
3.2.2. Análisis químicos 100
3.2.3. Relación entre las propiedades químicas y macrofauna edáfica 114
3.3. Época temporal que afecta las variables de densidad, abundancia, diversidad de macrofauna y características fisicoquímicas del suelo 119
3.4. Estado de conservación del ecosistema suelo de los SAF evaluados 125
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN 128
4.1. Estimar el potencial biológico en composición, densidad, abundancia y diversidad de macrofauna en cuatro arreglos agroforestales instalados según época en la provincia de Rioja 128
4.1.1. Composición edáfica en los sistemas agroforestales evaluados 128
4.1.2. Abundancia edáfica en sistemas agroforestales evaluados 130
4.1.3. Densidad de macrofauna edáfica en sistemas agroforestales evaluados 131
4.1.4. Diversidad edáfica en sistemas agroforestales evaluados 133
4.2. Determinar el estado situacional de las características fisicoquímicas del suelo en cuatro arreglos agroforestales instalados en la jurisdicción de la provincia de Rioja 135
4.3. Determinar la época temporal que afecta las variables de densidad, abundancia, diversidad de macrofauna y características fisicoquímicas del suelo. 143

4.4. Comparar los arreglos agroforestales que provee cambios significativos en el suelo y macrofauna edáfica como indicador de conservación de ecosistema valorado mediante rangos de clasificación 145
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES 148
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES 151
REFERENCIAS 153
TERMINOLOGÍA 182
APÉNDICE 184

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. *Grupos de taxones edáficos* 32
Tabla 2. *Servicios ecosistémicos del suelo* 39
Tabla 3. *Descripción de los problemas impactos que afectan los servicios ecosistémicos del suelo* 40
Tabla 4. *Medidas de conservación del suelo y sus respectivas técnicas de aplicación* 44
Tabla 5. *Tipo de mediciones para cuantificar la macrofauna edáfica* 50
Tabla 6. *Datos hidrometeorológicos (temperatura, precipitación y humedad relativa) de parcelas SAF* 59
Tabla 7. *Arreglos agroforestales del estudio de suelo y macrofauna edáfica en la provincia de Rioja* 60
Tabla 8. *Lugar del establecimiento de los SAF experimentales* 61
Tabla 9. *Ubicación de punto céntrico en UTM de las parcelas experimentales según el SAF* 62
Tabla 10. *Variables químicas analizadas* 69
Tabla 11. *Variables y su mensuración* 72
Tabla 12. *Detalles de los materiales y equipo empleados en el presente trabajo de investigación* 73
Tabla 13. *Composición de macrofauna edáfica identificada en sistema agroforestal en época de verano (agosto y setiembre del 2022)* 75
Tabla 14. *Especies de macrofauna edáfica identificado en los sistemas agroforestales en época de invierno (febrero 2023)* 77
Tabla 15. *Abundancia total y relativa de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales en época de verano* 80
Tabla 16. *Abundancia total y relativa de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales en época de invierno* 81
Tabla 17. *Comparación de medias estadísticas de taxones identificados en época de verano en las distintas SAF* 86
Tabla 18. *Comparación de medias estadísticas de taxones identificados en época de invierno en las distintas SAF* 87
Tabla 19. *Índices de diversidad de macrofauna edáfica valorados en sistemas agroforestales* 89

Tabla 20. *Resultado de los promedios estadísticos para las variables texturales de los SAF en distintas épocas* 92
Tabla 21. *Resultados de prueba Tukey para humedad del suelo en estaciones de verano e invierno* 95
Tabla 22. *Resultados de prueba Tukey para porosidad total del suelo en estaciones de verano e invierno* 97
Tabla 23. *Prueba de Tukey de las densidades de suelo de los SAF tanto en época de verano e invierno* 99
Tabla 24. *Comparación de promedio estadísticos del pH en los suelos de los SAF evaluados* 101
Tabla 25. *Promedios alcanzados para CE en suelo de los SAF evaluados en época de verano e invierno* 103
Tabla 26. *Comparación de promedios estadísticos con respecto al carbono total (%) en los SAF evaluados por época* 104
Tabla 27. *Comparación de promedios estadísticos para materia orgánica (%) según época* 106
Tabla 28. *Comparación de promedios estadísticos nitrógeno total del suelo de los SAF evaluados* 108
Tabla 29. *Promedios estadísticos para fósforo (ppm) en los suelos de los SAF evaluados en distintas épocas* 109
Tabla 30. *Comparación de medias estadísticas para potasio (ppm) en época de verano e invierno* 111
Tabla 32. *Relación de afinidades entre las propiedades químicas del suelo y la macrofauna edáfica estación de verano* 115
Tabla 33. *Relación de afinidades entre las propiedades químicas del suelo y la macrofauna edáfica estación de invierno* 117
Tabla 39. *Comparación de abundancia de macrofauna edáfica entre verano e invierno (%)* 119
Tabla 40. *Cuantificación de la macrofauna en detritívoro y no detritívoro de acuerdo con los SAF evaluados* 126

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. *Biodiversidad del suelo y su interacción* 30
Figura 2. *Red trófica edáfica y su interacción* 31
Figura 3. *Proceso interactivo de los seres vivos a nivel del suelo* 46
Figura 4. *Clasificación de la biodiversidad edáfica según su tamaño corporal* 48
Figura 5. *Los grupos funcionales de la macrofauna edáfica* 51
Figura 6. *Clasificación de la biodiversidad edáfica y su permanencia en el suelo* 52
Figura 7. *Ejemplo de agroforestal que muestra una variedad biodiversidad* 55
Figura 8. *Ubicación de la provincia de Rioja y puntos de ubicación de parcelas experimentales* 58
Figura 9. *Distribución de la parcela en campo* 63
Figura 10. *Distribución de monolitos en campo para muestreo de macrofauna* 64
Figura 11. *Recolección de taxones en SAF café con guaba por los tesistas* 65
Figura 12. *Distribución de la parcela en campo para el muestreo de suelo* 66
Figura 13. *Toma de muestra patrón de suelo por parte de los investigadores* 66
Figura 14. *Separación y cuantificación de taxones en laboratorio para enviar a especialista* 70
Figura 15. *Abundancia de taxones por órdenes en SAF1 de C. cateniformis + C. arabica* 82
Figura 16. *Abundancia de las familias taxonómicas identificados en E. torreliana + C. arabica* 83
Figura 17. *Abundancia y dominancia de las órdenes taxonómicas identificados en E. saligna + C. arabica* 84
Figura 18. *Abundancia y dominancia de las familias taxonómicas identificados en I. edulis + C. arabica* 85
Figura 19. *Abundancia total de taxones edáficos por sistema agroforestal según época de identificación* 88
Figura 20. *Índice de diversidad de macrofauna edáfica* 90
Figura 21. *Comparación de promedios estadísticos para las variables de textura en las épocas de verano e invierno* 93
Figura 22. *Grafico de tendencia de textura del suelo en época de verano vs taxones edáficos en SAF evaluados* 94

Figura 23. *Gráfico de tendencia de textura de suelo vs taxones edáficos en época de invierno* 94
Figura 24. *Gráfico de tendencia entre taxones edáficos vs humedad del suelo* 96
Figura 25. *Gráfico de tendencia entre taxones edáficos vs porosidad total* 98
Figura 26. G*ráfico de tendencia de la densidad del suelo con respecto a los taxones según SAF* 100
Figura 27. *Gráfico de tendencia del pH frente a los taxones edáficos en los SAF evaluados* 102
Figura 28. *Gráfico de tendencia de la conductividad eléctrica y los taxones edáficos en los SAF evaluados* 103
Figura 29. *Gráfico de tendencia entre carbono orgánico total y los taxones edáficos* .. 105
Figura 30. *Gráfico de tendencia de la materia organica vs taxones edáficos de los sistemas evaluados con respecto a las estaciones* 106
Figura 31. *Comparación de SAF con alta y baja materia organica según estación* 107
Figura 32. *Gráfico de afinidad entre nitrógeno y taxones edáficos con respecto alas estaciones evaluados* 108
Figura 33. *Gráfico de tendencia de taxones con el fósforo en los SAF evaluados* 110
Figura 34. *Grafica de tendencia entre potasio y abundancia de taxones edáficos* 111
Figura 35. *Gráfico de tendencia de CIC frente a los taxones edáficos en los SAF evaluados* 113
Figura 36. *Gráfico de correlaciones de taxones edáficos y elementos cambiables* 114
Figura 37. *Correlación de las variables químicas de los suelos con los taxones identificados en los SAF evaluados época de verano* 116
Figura 38. *Correlación de las variables químicas de los suelos con los taxones identificados en los SAF evaluados estación de invierno* 118
Figura 39. *Abundancia de macrofauna edáfica con respecto a invierno y verano en el SAF1* 120
Figura 40. *Abundancia de macrofauna edáfica con respecto a las épocas de verano e invierno del SAF2* 120
Figura 41. Abundancia de macrofauna edáfica en épocas de verano e invierno en el SAF3 121
Figura 42. *Abundancia de macrofauna edáfica en el SAF4 en época de verano e invierno* 122

Figura 43. *Índice de diversidad de macrofauna edáfica de los SAF en época de verano e invierno* 123
Figura 44. *Diagrama de asociación entre SAF, parámetros fisicoquímicos y macrofauana edáfica en verano por ACP* 124
Figura 45. *Diagrama de asociación entre SAF, parámetros fisicoquímicos y macrofauana edáfica en invierno por ACP* 125
Figura 46. *Nivel de índice de conservación de ecosistema edáfico de los SAF evaluados en verano e invierno* 127

ÍNDICE DE APÉNDICES

Pág.

Apéndice 1. Informe de identificación taxonómica de macrofauna edáfica a nivel de laboratorio correspondiente al mes de verano (agosto y setiembre del 2022) 184
Apéndice 2. Muestras de macrofauna edáfico identificados a nivel de laboratorio correspondiente a los meses de agosto y setiembre del 2022 185
Apéndice 3. Reporte de la macrofauna edáfico según orden, familia y especie identificado en los meses de agosto y setiembre del 2022 en los SAF evaluados según muestras enviados a laboratorio 186
Apéndice 4. Informe de identificación taxonómica de macrofauna edáfica a nivel de laboratorio correspondiente al mes de invierno (marzo del 2023) 189
Apéndice 5. Muestras de macrofauna edáfico identificados a nivel de laboratorio correspondiente a los meses de marzo del 2023 190
Apéndice 6. Reporte de la macrofauna edáfico según orden, familia y especie identificado en los meses de marzo del 2023 en los SAF evaluados según muestras enviados a laboratorio 191
Apéndice 7. Reporte de análisis fisicoquímico de las muestras de suelo realizado en el mes de setiembre y noviembre del 2022 según los SAF evaluados..... 193
Apéndice 8. Reporte de análisis fisicoquímico de las muestras de suelo realizado en el mes de marzo del 2023 según los SAF evaluados 194
Apéndice 9. Rangos de valoración de las propiedades fisicoquímicas del suelo con respecto a la biodiversidad del suelo 195
Apéndice 10. Clasificación de los taxones en detritívoros y no detritívoros 196
Apéndice 11. Abundancia de taxones por sistema agroforestal evaluado 197

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el estado de conservación del suelo y la macrofauna edáfica en arreglos agroforestales (SAF). Se desarrolló una investigación cuantitativa no experimental en cuatro SAF de tres hectáreas cada uno, conformados por *Cedrelinga cateniformis, Corymbia torreliana, Eucalyptus saligna* e *Inga edulis* asociados a *Coffea arabica*. En cada SAF se estableció una subparcela de 1 000 m², donde la macrofauna fue recolectada mediante monolitos de 25×25×30. Se evaluaron densidad total, abundancia y diversidad de macrofauna, además de densidad aparente, textura y propiedades fisicoquímicas del suelo. El análisis estadístico incluyó métodos paramétricos y no paramétricos. La composición de los SAF varió entre 8 y 11 órdenes en verano, disminuyendo en invierno. El SAF1 presentó la menor densidad (928 y 320 ind./m²), mientras que SAF3 y SAF4 alcanzaron 1 600 y 1 520 ind./m². En SAF2, coleoptera y oligochaeta fueron los abundantes, con diversidad reducida y dominancia de oligochaeta. Se concluyó que en invierno disminuye la macrofauna edáfica y los eucaliptos en estas edades, no afectan al suelo, aunque sí al cultivo de café. El SAF3 evidenció mayor estabilidad ecológica. Los SAF contribuyen a mejorar condiciones del suelo y a conservar la macrofauna, fortaleciendo la resiliencia del ecosistema agroforestal.

Palabras clave: Biodiversidad de suelo, Calidad de suelo, Macrofauna edáfica, Sistemas agroforestales, Taxones edáficos.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the conservation status of soil and soil macrofauna in agroforestry systems (AFS). A non-experimental quantitative study was conducted in four AFS of three hectares each, composed of *Cedrelinga cateniformis*, *Corymbia torreliana*, Eucalyptus saligna, and Inga edulis associated with *Coffea arabica*. In each AFS, a 1,000 m² subplot was established, where macrofauna was collected using 25×25×30 cm monoliths. Total density, abundance, and diversity of macrofauna were evaluated, in addition to bulk density, texture, and physicochemical properties of the soil. Statistical analysis included parametric and non-parametric methods. The composition of the AFS varied between 8 and 11 orders in summer, decreasing in winter. SAF1 exhibited the lowest density (928 and 320 ind./m²), while SAF3 and SAF4 reached 1,600 and 1,520 ind./m², respectively. In SAF2, Coleoptera and Oligochaeta were the most abundant species, with reduced diversity and Oligochaeta dominance. It was concluded that soil macrofauna decreases during the winter, and that eucalyptus trees of this age do not negatively impact the soil, although they do affect coffee cultivation. SAF3 demonstrated greater ecological stability. Agroforestry systems contribute to improving soil conditions and conserving macrofauna, thus strengthening the resilience of the agroforestry ecosystem.

Keywords: Soil biodiversity, Soil quality, Soil macrofauna, Agroforestry systems, Soil taxa.

INTRODUCCIÓN

La macrofauna ha sido ampliamente estudiada en sistemas agroforestales debido a su papel clave en la conservación del suelo y la provisión de servicios ecosistémicos. Investigaciones internacionales y nacionales destacan que estos organismos están relacionados con parámetro fisicoquímicos del suelo, como materia orgánica, carbono, y nutrientes, influyendo en la productividad y sostenibilidad de los sistemas. Por ejemplo, López (2022) y Quiroz (2015) demostraron que la macrofauna edáfica y los microrganismos contribuyen al reciclaje de nutrientes y al control biológico de agroecosistemas con café. Asimismo, Durán *et al*. (2018) y Suárez *et al*. (2015) resaltaron como la densidad y la riqueza de macrofauna edáfica varían según el tipo de arreglo agroforestal y la estacionalidad.

En sistemas agroforestales de la Amazonía, estudios como el de Ccoycca (2018) y Tapia *et al*. (2016) y han señalado la predominancia de los órdenes Oligochaeta e Hymenoptera, identificando su rol en la calidad del suelo incluso bajo condiciones de baja fertilidad Casimiro (2022) y Ruiz (2023) han confirmado que los sistemas mixtos y aquellos asociados a especies nativas tienden a conservar mejor la diversidad edáfica. Por su parte, Schwartzmann (2019) evidenció que los sistemas agroforestales presentan una mayor abundancia de macrofauna y mejores condiciones edificas en comparación con pastizales.

El suelo, como porción superficial del manto terrestre, proporciona una variedad de servicios ecosistémicos esenciales para el funcionamiento del entorno y el bienestar humano (Andrea *et al.,* 2018). La macrofauna edáfica es un indicador clave de conservación y perturbación del suelo (Castillo y Ñique, 2019), desempeña un rol fundamental en el mantenimiento de la calidad del suelo mediante funciones como el reciclaje de nutrientes, agregación del suelo y control biológico (Souza *et al*., 2016). Sin embargo, los usos intensivos y la falta de manejo adecuado han llevado a una disminución de la biodiversidad edáfica, lo que impacta negativamente la sostenibilidad de los agroecosistemas (Camara *et al*., 2018). A ello, se suma la introducción especies exóticas y los cambios de uso del suelo impactan la diversidad y funcionalidad de la macrofauna edáfica (Chumbe, 2018).

Este problema es particularmente relevante en la región San Martín, donde los arreglos agroforestales han sido promovidos sin un conocimiento adecuado de sus impactos sobre el suelo y los organismos que lo habitan (Gallusser, 2016). Collazos (2018) añade que algunos sistemas agroforestales asentados en el departamento de San Martín poseen una menor producción que los sistemas tradicionales (monocultivo, pastizales). Frente a esta problemática, fue necesario evaluar el estado de conservación del suelo y la macrofauna edáfica en estos sistemas, considerando su influencia en los servicios ecosistémicos y sostenibilidad agrícola.

La importancia de esta investigación radicó en que permitió entender como los SAF impactan en la conservación del suelo y su fauna, quienes son actores clave para el bienestar del ecosistema. El aporte consistió en identificar que especies forestales asociados a cultivo de café brindaron mejores condiciones al suelo, favoreciendo a su fertilidad y sostenibilidad. También que especie tienen un efecto perjudicial sobre los cultivos. Frente a esta problemática, los SAF se presentan como una alternativa viable para promover la conservación del suelo, mejorar su calidad y favorecer la biodiversidad del ecosistema edáfico. Los resultados obtenidos constituyen un referente técnico valioso para la toma decisiones ambientales y la implementación de SAF más productivos y amigables con el ecosistema edáfico

El presente trabajo está organizado en cinco capítulos: Capítulo I: Marco teórico, integrado por antecedente de ámbito nacional e internacional, asimismo, por las bases teóricas especializadas. Capítulo II: Materiales y métodos, esta parte hace alusivo al diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos y otros. Capítulo III: Resultados, en este acápite están expuestos los resultados de las variables investigadas. Capítulo IV: Conclusiones, en esta parte están descritas los nuevos aportes de la investigación. Capítulo V: Recomendaciones, están expuestos los vacíos no cubiertos con la investigación y sugerencias referidos a productores agrícolas, investigadores, instituciones entre otros.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el estado situacional de la conservación del suelo y macrofauna edáfica en arreglos agroforestales instalados en la provincia de Rioja, departamento de San Martin, Perú

Objetivos Específicos

- Estimar el potencial biológico en composición, densidad, abundancia y diversidad de macrofauna en cuatro arreglos agroforestales instalados según época en la provincia de Rioja.
- Determinar el estado situacional de las características fisicoquímicas del suelo en cuatro arreglos agroforestales instalados en la jurisdicción de la provincia de Rioja.
- Identificar factores asociados al estado de conservación del suelo y la macrofauna edáfica en función del tipo de arreglo agroforestal, en la que se incluye la época temporal como principal variable.
- Comparar los arreglos agroforestales que provee cambios significativos en el suelo y macrofauna edáfica como indicador de conservación de ecosistema valorado mediante rangos de clasificación.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

López (2022) realizó un estudio sobre "Macrofauna y microbiología edáfica: relación con servicios ecosistémicos y parámetros fisicoquímicos del suelo en dos agroecosistemas con café, San Ramon, Matagalpa, 2016" en Nicaragua. El objetivo estuvo enfocado a relacionar la macrofauna y microorganismos edáficos con los servicios ecosistémicos y las propiedades fisicoquímicas del suelo en agroforestales asociados con café. El estudio fue no experimental de tipo transversal con enfoque mixto de alcance descriptivo y correlacional. La macrofauna fue identificada mediante el método del Programa de Fertilidad y Biología de Suelos Tropicales, clasificados hasta el nivel familia. Del mismo modo, fueron analizados los microorganismos edáficos y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Los datos obtenidos fueron tabulados y analizados mediante el uso programa Excel y el programa estadístico de Infostat. Los principales resultados señalaron que en la parcela uno fue identificados 253 individuos, destacando la clase taxonómicas de Insecta y Clitellata como las más abundantes (79,0 % del total). El agroecosistema de café tuvo la mayor diversidad con 92 individuos, mientras que, los cultivos anuales y pastos presentaron una menor riqueza con 54 y 34 individuos. En el predio dos, fueron registrados 163 individuos, siendo las parcelas de café en producción y bosque el más diverso en número de taxones. Por otra parte, la parcela dos presentó ordenes de Coleoptera, Haplotaxida, Pulmonata y Spirostreptida. La fauna edáfica aportó dos servicios ecosistémicos de apoyo y regulación, como el ciclaje de nutrientes por lombrices y control biológico por arañas. Además, fueron identificados actinomicetos (*Streptomyces* sp*)*, baterías (*Bacillus* sp*, Sarcinas* sp y *Pseudomonas* sp*)* y hongos (*Fusarium* sp., y *Trichoderma* sp.). Concluyó que Lumbricidae, Scarabaeidae, Formicidae y Rhinotritidae fueron las familias más dominantes. Asimismo, que la macrofauna y los microrganismos están relacionados con los servicios ecosistémicos de apoyo y regulación Son claves para mantener la salud del ecosistema, ayudando tanto en funciones básicas como en el control y estabilidad ambiental. ind./m^2

Durán *et al.* (2018) investigaron la "Relación entre macroinvertebrados y propiedades del suelo bajo diferentes arreglos agroforestales en la Amazonia-Andina, Caquetá, Colombia" con el objetivo de relacionar los macroinvertebrados con las características fisicoquímicas del suelo. El estudio fue realizado en el Centro de Investigación Macagual, departamento de Caquetá, Colombia. El estudio fue no experimental de alcance transversal con enfoque cuantitativo. Para el cual eligieron cuatro parcelas de 20 000 m^2 cada uno, de estas fueron tomados submuestra de 2 500 m^2 con cuatro repeticiones. Los arreglos agroforestales incluyeron combinaciones de especies maderables, frutales amazónicos y arbustivos: P1): abarco, arazá y flemingia, (P2): caucho y copoazú, (P3): paricá, caucho y copoazú y (P4): huito, chontaduro, copoazú, arazá y flemingia. En cada lote recolectaron muestras de suelo mediante bloque de monolito (25 x 25 x 30 cm), con tres replicas distribuidos al azar. Los parámetros analizados fueron la densidad y riqueza de macrofauna, así como el pH, potasio, fósforo, carbono orgánico, aluminio, magnesio, calcio y sodio. Los datos obtenidos fueron procesados con el análisis de varianza al 5,0 % (ANOVA) y la comparación de medias estadística mediante la prueba LDS de Fisher, utilizando el software R 3.4.0, y la relación de macrofauna-suelo fue evaluado con el análisis de coinercia. Los resultados mostraron que el arreglo P1 tuvo la mayor densidad con 945 ind./m^2, seguido por el arreglo P2 con 487 ind./m^2. La mayor riqueza de taxones lo obtuvo el arreglo P3 con 6,6 taxones. También identificaron que existe correlación entre abundancia de macrofauna y el suelo, destacando la relación carbón orgánico-lombrices y fósforo con termitas. La investigación concluyó que la diversidad de macrofauna edáfica varía según los arreglos estudiados, aunque no se observaron diferencias significativas en cuanto abundancia total. Asimismo, determinaron que las propiedades edáficas influyen significativamente en la composición y abundancia de la macrofauna del suelo, evidenciando una asociación entre ciertos nutrientes y condiciones químicas del suelo con grupos específicos de macroinvertebrados.

Tapia *et al*. (2016) estudiaron sobre los "Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento", en Turumá Mirim, Manaus, Brasil. El objetivo fue conocer la comunidad de organismos edáficos y las características nutricionales como aporte al servicio ecosistémicos suelo. El estudio fue no experimental y cuantitativo. La investigación estuvo constituida por las siguientes parcelas: (P1): monocultivo de copoazú, (P2): plátano + anona, (P3): guaba + cacao silvestre, (P4): cacao silvestre + frutales y (P5): bosque primario. La macrofauna fue recolectada mediante

los bloques de monolitos modificados (50x50x20 cm); en transectos de 50 m con cinco bloques separados por 10 m, dividiendo cada bloque en dos horizontes (hojarasca y suelo). Las variables de macrofauna edáfica fueron: número de individuos y diversidad, así mismo, para las características físicas y químicas del suelo (textura, materia orgánica y nutrientes). Los datos fueron analizados mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) y test de Montecarlo usando el software R. Los resultados de macrofauna edáfica en los sistemas evaluados fueron de 12 968 individuos en 20 órdenes. El agroforestal P4 presentó el mayor número de individuos con 6 924 ind./m^2, destacando Isopoda (3 096 ind.), Oligochaeta (1 520 ind.) e Isóptera (724 ind./m^2). El bosque primario tuvo la menor densidad (784 ind./m^2). En P4 el suelo mostró pH de 4,34., 61,64 % de materia orgánica, 35,75 % de carbono, 2,02 % de nitrógeno y una textura de suelo dominado por arcilla (85,14 %). La conclusión que llegaron los investigadores fue que los sistemas agroforestales proveen más presencia de macrofauna de isópodos y lombrices, sin embargo, no hubo correlaciones significativas entre macroinvertebrados y nutrientes. La presencia de macrofauna en SAF contribuye a mejorar la fertilidad del suelo, el reciclaje de nutrientes frente a sistemas degradados de monocultivo y pastizales.

El estudio de Suárez *et al*. (2015) titulado "Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonia Colombiana" tuvo como objetivo estimar la densidad y riqueza de los taxones de macrofauna edáfica en sistemas agroforestales del Centro de Investigaciones de Macagual, Colombia, en un área de 380 hectáreas enfocadas a la ganadería y arreglos agroforestales. Para la toma de muestras utilizó monolitos de 25 x 25 x 30 cm, dispersos al azar en cada sistema agroforestal. Los taxones fueron identificados a nivel de orden mediante cuatro tratamientos basados en distintas parcelas de agroforestales: abarco (*Cariniana Pyriformis* Miers), caucho *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss. Müll. Arg.), caucho-parica (*Schizolobium amazonicum* Huber), uvito (*Genipa Americana* L); con cuatro repeticiones en modelo bifactorial y diseño completo al azar. Para la comparación de órdenes y riqueza utilizaron el índice de Pielou. La macrofauna identificada fue analizada la varianza y comparación de medias mediante la prueba LSD de Fisher al 0,05 %. El análisis estadístico lo efectuaron mediante el paquete R ver. 3.1.1. Los principales resultados mostraron que la densidad fue mayor en invierno con 1 129 individuos a diferencia de verano con 598 taxones, y que los agroforestales influyeron significativamente presencia de algunos taxones (p valor < 0,05) entre ellos los Homoptera

y Raphidioptera. Los agroforestales a base de *G. Americana* y *C. Pyriformis* favorecen a la macrofauna edáfica en época de verano. Además, los agroforestal asociado con Abarco en época de sequía conserva la diversidad de organismos y los sistemas combinados caucho-frutales y uvito-frutales presentaron grupos de taxones exclusivos como los Raphidioptera adaptados a las condiciones de biomasa generados por el dosel. El estudio concluyó que la precipitación es un factor clave y que ciertos sistemas agroforestales contribuyen a conservar la diversidad y promover taxones específicos en la Amazonía Colombiana. El estudio destaca que la precipitación juega un papel determinante en la biodiversidad y que, algunos arreglos agroforestales en la Amazonía colombiana son efectivos para conservar y fomentar la presencia de ciertos taxones o grupos específicos de organismos, contribuyendo así a la sostenibilidad de los ecosistemas en la región. Se sugiere precisar los aportes del estudio, como parte de la conclusión del estudio.

Quiroz (2015) realizó su estudio sobre "Evaluación de la macrofauna como indicador biológico del suelo en tres sistemas de manejo y asocio en el cultivo de café *Coffea arabica* en la comunidad de Yasica Sur, municipio de San Ramón, departamento de Matagalpa, en las dos épocas del año verano e invierno, período 2015" en Nicaragua con el objetivo de evaluar la macrofauna como indicadores biológicos del suelo. La investigación fue de tipo cuasiexperimental y enfoque cuantitativo incluyó la recolección de muestras en campo y análisis en laboratorio. Los arreglos agroforestales analizados fueron: P1 (café, plátano, eritrina y guaba, P2 (café, guaba y eritrina) y P3 (café con árboles forestales). El muestreo de macrofauna fue llevado a cabo en época seca y lluviosa donde aplicó la metodología del Programa de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales. Cada parcela fue subdividida en cuatro subparcelas y en cada uno realizaron tres monolitos de 25 x 25 x 30 cm, en total, realizó 36 monolitos. La recolección de individuos fue realizada por estratos de profundidad (0 – 10 cm, 10 – 20 cm y de 20 a 30 cm). Fueron identificados 10 408 ind./m^2 distribuidos en cinco Philos, seis clases, 34 órdenes, 44 familias y 76 géneros, con mayor densidad en época de invierno parcela P1 destaco con 2 608 ind./m^2 y los principales taxones fueron Oligochaeta*s* en verano y *Philoscia* sp en invierno, con índice de diversidad de 2,73 en verano y 2,62 en invierno. Concluyéndose que los macroinvertebrados son buenos indicadores efectivos de la calidad del suelo y que están relacionados con los niveles de productividad en los sistemas instalados. Por lo tanto, los estudios no deben estar desligados ni deben ser separados de las propiedades fisicoquímicas del suelo. La integración de ambos

enfoques proporciona una comprensión más integral del funcionamiento del ecosistema edáfico, permitiendo diseñar estrategias de manejo más eficaces para la conservación, restauración del suelo, manteniendo la diversidad y optimización de los servicios ecosistémicos.

Nacionales

Ruiz (2023) realizó su estudio sobre "Macrofauna edáfica asociado a cuatros sistemas de producción en el distrito de Pueblo Nuevo, Huánuco". El objetivo consistió en evaluar la macrofauna edáfica asociado a sistemas productivos de pastizal, aguaje, plantación mixta y bambú. El investigador aplicó un diseño no experimental con una población constituido por cuatro sistemas a base de *Maurita flexuosa* (P1), *Guadua angustifolia* (P2), *Colubrina glandulosa*, *Vitex pseudolea*, *Cedrela odorata* (P3) y *Cynodon dactylon* (P4), de 1 500 m^2 por cada sistema de producción con muestras de cinco monolitos de 25 x 25 x 30 cm para extraer y analizar macrofauna edáfica, conservada en alcohol y formol, y muestras de suelo para evaluar sus propiedades fisicoquímicas. Los índices de Shannon-Wiener, Simpson, Margalef y de Jaccard fueron usados para el análisis estadístico con pruebas de Kruskal Wallis para comparar sistemas. En los resultados el sistema pastizal tuvo una mayor densidad de macrofauna con 201,6 ind./m^2, seguido del sistema mixto (P3) con 137 ind./m^2, mientras que los sistemas de *M. flexuosa* y *G. angustifolia* alcanzaron entre 76,8 y 80,0 ind./m^2. Con respecto a la diversidad, los índices de Simpson variaron de 0,156 *M. flexuosa* (P1) a 0,332 en *G. angustifolia* (P2). Según el índice de Jaccard, los sistemas de *G. angustifolia* y la plantación mixta (P3) mostraron similitudes de 0,5. La familia Lumbricidae fue dominante en pastizales, mientras que, en sistemas de *G. angustifolia* y las plantaciones mixtas destacaron los Scarabaeidae. En conclusión, el sistema de pastizal presentó mayor abundancia y densidad de macrofauna edáfica. Esto implica que las prácticas de manejo del suelo y la elección de especies en los sistemas productivos pueden tener un impacto significativo en la salud del suelo y la biodiversidad asociada.

Casimiro (2022) investigó la "Abundancia de macrofauna del suelo en dos sistemas agroforestales en el fundo Alborada, distrito de Castillo Grande-provincia de Leoncio Prado". El objetivo fue establecer la abundancia de macrofauna edáfica en dos sistemas agroforestales para el cual abordó una investigación descriptiva correlacional. Las variables

que evaluó fueron: abundancia, diversidad, densidad de macrofauna y propiedades fisicoquímicas del suelo como bioindicadores. Los sistemas analizados fueron: cacao variedad CCN-55 + capirona y cacao variedad CPM-15 + bolaina blanca. El trabajo en campo fue mediante la aplicación de la metodología del Programa de Fertilidad y Biología de Suelos Tropicales. La identificación de las muestras lo efectuó en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para el cual utilizaron claves taxonómicas. En el caso de muestreos de suelos, por cada sistema fueron colectadas 20 submuestras que después de ser homogenizada el investigador extrajo un kilogramo de suelo como muestra patrón para su análisis químico. Los resultados mostraron diferencias en las propiedades del suelo: densidad (1,32 vs. 1,27 g/cm^3), resistencia a la penetración (1,8 vs. 1,6 kg/cm^2), pH (5,96 vs.5,64), materia orgánica (2,92 vs. 2,75 %), nitrógeno (0,13 vs.0,12 %) y fósforo (8,61 vs. 7,58 ppm). La densidad de macrofauna fue mayor en el sistema cacao CCN-55 + capirona 1 028 ind./m^2 comparado con cacao CPM-15 + bolaina blanca en 758 ind./m^2. Fueron identificados 14 órdenes dominado en ambos sistemas por Isóptera y Haplotaxida. En cuanto a diversidad, el sistema de cacao CCN-55 + capirona obtuvo un índice de 2,86 frente a 2,43 del sistema cacao CPM-15 + bolaina blanca. El investigador concluyó que las propiedades fisicoquímicas del suelo son sensibles a cambios de manejo agrícola, del mismo modo, que existe relación entre la macrofauna y la disponibilidad de nutrientes y la penetración del suelo.

Castillo y Ñique (2019) realizaron un estudio sobre la macrofauna en sistemas agroforestales en el sector Choclino perteneciente al distrito de Banda de Shilcayo, provincia de San Martín, departamento de San Martín, Perú. El objetivo fue evaluar los niveles de macrofauna presente en arreglos agroforestales como indicador biológico de los niveles de conservación del suelo. Las variables que evaluaron fueron la diversidad, equidad, densidad y biomasa del suelo. Para el cual abordaron dos sistemas agroforestales, uno con bosque nativo secundario y el otro con cultivos multiestratos de 25 años. La metodología consistió en muestrear al azar nueve monolitos de 25 x 25 x 30 cm por sistema con cuatro repeticiones. Los taxones fueron recolectados por estratos de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm que fueron colocados en solución de alcohol al 70,0 %, glicerina al 5,0 % para insectos de caparazón dura y formol al 5,0 % para larvas e insectos de cuerpo blando. Los taxones encontrados fueron medidos mediante el análisis estadístico de índice de diversidad de Shannon en ambos arreglos agroforestales. Los principales resultados obtenidos fueron clasificados en tres categorías taxonómicas

integrado por Annelida, Arthropoda y Mollusca. Sin embargo, el arreglo forestal nativo que fue más significativo con 3 694 individuos, biomasa total de 15,76 g·m^2 y en menor proporción los obtuvo el sistema agroforestal con 1 510 individuos y 8,14 g·m^2 de biomasa. El índice de Shannon fue de 2,1 en el bosque secundario, teniendo una excelente riqueza de biodiversidad frente a 1,87 para los arreglos agroforestales. Sin embargo, la equidad fue homogéneo entre 0,69 y 0,64. Concluyendo que ambos sistemas estudiados presentan cierta perturbación de la macrofauna edáfica, sin embargo, no están afectado por su intervención.

Schwartzmann (2019) evaluó el "Cambios en la calidad del suelo en un sistema agroforestal comparado con un pastizal en Madre de Dios" con el objetivo de medir los cambios en la calidad edáfica. La investigación fue no experimental de tipo aplicada con enfoque cuantitativo. El estudio abarcó dos parcelas de 30 x 90 m cada uno con características homogéneas, uno con arreglo agroforestal y otro pastizal con recolección de muestras en época y tiempo único. Las variables evaluadas fueron propiedades físicas (estabilidad de agregados, textura, densidad aparente, humedad y temperatura del suelo), químicas (capacidad de intercambio catiónico, salinidad, materia orgánica y nutrientes) y biológicas (diversidad y abundancia de macrofauna). El análisis estadístico aplicado fue el descriptivo en un primer momento mediante la media estadística, desviación estándar, prueba de normalidad mediante Shapiro Wilk. Finalmente realizaron la prueba de homogeneidad y el test de Tukey y para comprobar la diferencia significativa entre sistemas. Los resultados expusieron que los pastizales poseen mayor estabilidad de agregados (30,18 % frente a 27,95 % de arreglo agroforestal) y contenido de fósforo (10,07 frente a 9,16 ppm). Mientras que, el sistema agroforestal presentó mayor materia orgánica (2,94 frente a 2,53 %), potasio (130 frente a 103,33 ppm) y un pH más favorable en ambos sistemas (6,05 frente a 5,9). En ambos sistemas agroforestales la textura varió entre arcillo limosos y franco limoso, con suelos muy compactados en pastizal y compactos en agroforestal. La macrofauna fue mayor en sistemas agroforestales que en pastizales (135 frente a 61 ind./m^2) predominando Hymenoptera en ambos sistemas. En conclusión, los sistemas agroforestales presentaron mejor cantidad de macronutrientes por la variedad de cultivos que posee (maderables y no maderables), destacan en abundancia de macrofauna y diversidad biológica, lo que facilita una buena salud del suelo. Respaldando el uso de sistemas agroforestales como estrategia para mejorar la fertilidad del suelo en zonas afectados por sobrepastoreo y uso extensivo de pastizales.

Ccoycca (2018) efectuó una investigación en "Estudio de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales en los distritos de Laberinto e Inambari del departamento de Madre de Dios" con el objetivo de evaluar la presencia macro invertebrados edáficos y contrastar su influencia en las características fisicoquímicas del suelo. El estudio fue de tipo descriptivo correlacional con enfoque cuantitativo abarco 25 predios con sistemas mayores a cinco años. La recolección de macrofauna fue realizada mediante monolitos de 25 x 25 x 30 cm en transeptos de 50 m y recolección de individuos por capas tanto de nivel de hojarasca y luego cada 10 cm hasta llegar a los 30 cm. También fue recolectados muestras de suelo que los analizó en laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Las variables que analizaron fueron densidad y biomasa de individuos, diversidad y dominancia, para el cual utilizaron el índice de Shannon, Evenness y Simpson. Los análisis fueron tabulados en Excel y calculados en Past ver. 3. La correlación de densidad, biomasa y diversidad con las propiedades fisicoquímicas usó el software SAS 9.3. Los principales resultados fueron de una densidad de taxones de 163,09 ind./m^2 distribuidos en 20 órdenes cuya masa osciló en 17,09 g/m^2, predominando Haplotaxia, Hymenóptera, Isóptera y Coleóptera. Los índices de diversidad fueron en 0,09 (Simpson), 2,60 (Shannon) y 0,68 (Evenness). Los suelos presentaron baja fertilidad, con pH muy ácido, bajo contenido de materia orgánica, potasio, fosforo, CIC, la textura fue mayormente franco en un 28,0 %, seguido por franco arcillosos arenoso en 24,0 % y franco arcilloso en 20,0 %. Las variables de suelo no influyeron sobre la diversidad, abundancia y diversidad de macrofauna en el suelo. Finalmente concluyó que los sistemas asociados entre cacao, tornillo y achihua influyeron positivamente con la presencia de macroinvertebrados a pesar de las limitaciones de fertilidad del suelo.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Suelos

El suelo es un conjunto de sistemas dispersos, dinámico, organizado y complejo resultado de procesos formadores fisicoquímicos y biológicos; asimismo, de intercambios de masa, gases, líquidos y energía con su entorno. Esta organizado en horizontes con capas de material orgánico e inorgánico que facilita la mantención de plantas (Porta *et al*., 2019). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), señala que el recurso natural suelo es el ecosistema más heterogéneo y complejo, por poseer

hábitats diversos donde coexisten una infinidad de organismos que realizan distintas funciones para el soporte de la vida en el planeta.

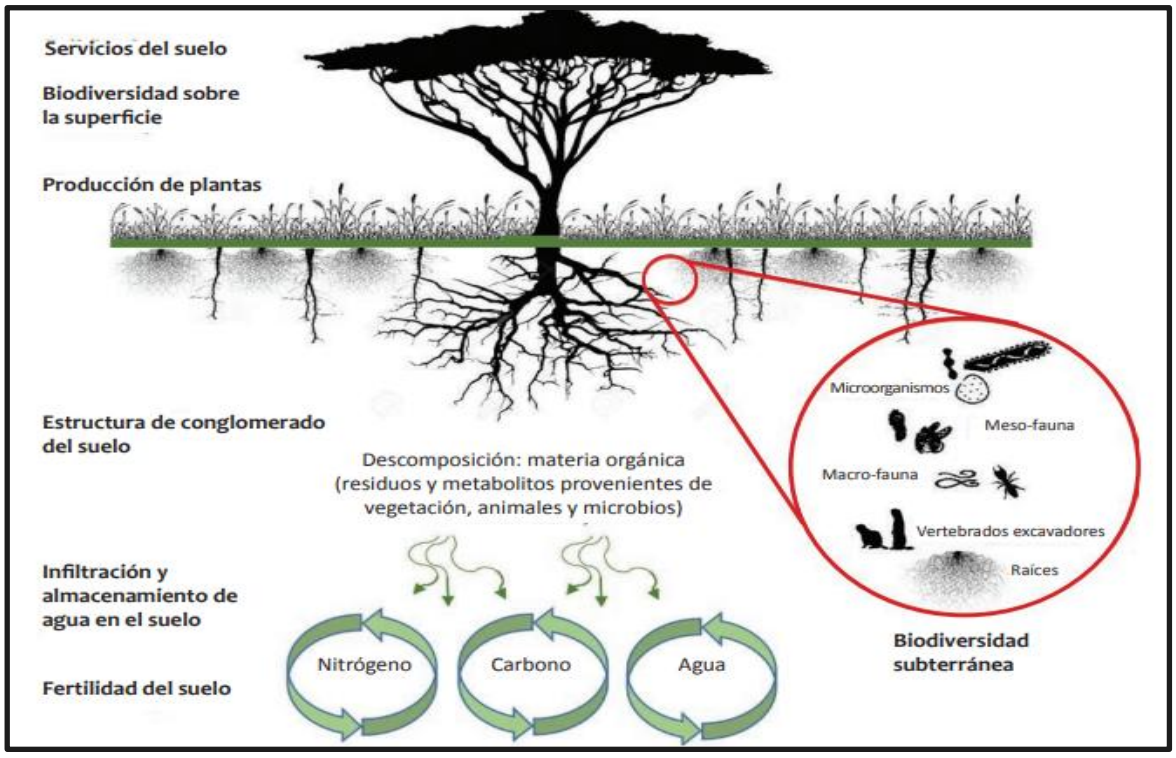
El suelo soporta las plantas, bosques, biodiversidad y está relacionado con el apropiado uso del agua y aire. Así mismo, el suelo es un ecosistema vital para el medio ambiente natural, debido a que está constituido por minerales, agua, aire, materia orgánica, macro y micronutrientes, macrofauna, mesofauna y microfauna; que cumplen funciones bióticas y abióticas que proveen servicios ecosistémicos muy importantes para la sociedad y el planeta (Olivera *et al*., 2018). La diversidad de organismos en el suelo indica la calidad de los suelos; mientras haya mayor presencia de individuos, esto generará estabilidad de los suelos para realizar las funciones que le compete a cada organismo como el de descomposición de hojarasca, ciclaje y fijación de nutrientes que permiten la conservación y mantenimiento del suelo (Laban *et al*., 2018).

Ecología del suelo

El suelo está formado por materiales de origen orgánico y mineral producto de la biodescomposición de hojarasca, insectos y animales muertos, troncos, ramas, estiércoles y otros. El suelo favorece el anclaje de las plantas y es el soporte para otras funciones. Sin embargo, para la formación del suelo intervienen un conjunto de factores ambientales constituidos por organismos vivos, clima, material parenteral, relieve y el tiempo (Gelvez *et al*., 2020). Según Laban *et al.* (2018) está biodiversidad de organismos están compuestos por bacteria, hongos, insectos, protozoarios, lombrices y otros que interactúan formando una rica actividad biológica, sin embargo, atribuye que en la primera capa entre 2 y 3 cm del suelo constituido por hojarasca, raíces, cortezas, ramas, musgas y materia orgánica viven la mayoría de vertebrado e invertebrados (Figura 1).

Figura 1

Biodiversidad del suelo y su interacción

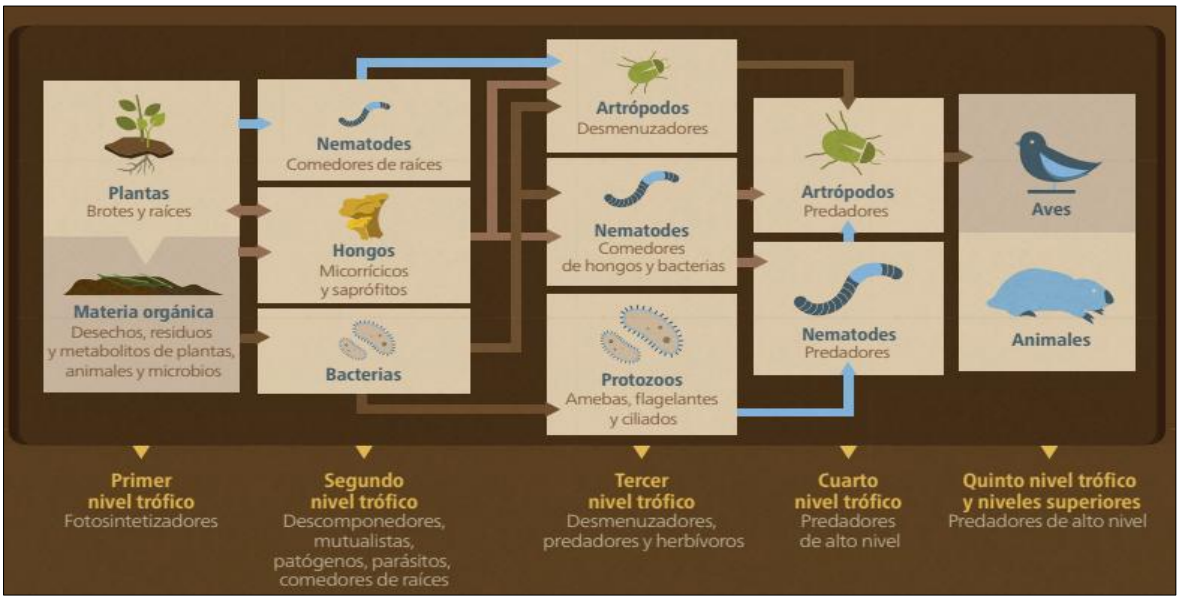


Nota. En la siguiente imagen se muestra los distintos servicios ecosistémicos del suelo y las interacciones entre los distintos organismos presentes. En la proyección del círculo rojo se hace alusivo a la biodiversidad de organismos micro, macro y mesofauna presentes. Figura tomada de Laban, P., Metternicht, G. y Davies, J. (2018). Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelo: cómo mantener vivas las tierras áridas. p.1. UICN, Gland, Suiza. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2018-004-Es.pdf

En el suelo existe una biota que cumplen distintas funciones y estas se clasifican en microfauna, mesofauna y macrofauna (Cabrera *et al*., 2017). Igualmente, Laban *et al*. (2018), atribuyen que estos organismos vivos presentes en el suelo están constituidos por vertebrados e invertebrados que interactúan en conjunto dando lugar a ciclos biológicos importantes en el suelo. Estos son reconocidos como magníficos indicadores en el funcionamiento de los ecosistemas (Herrera y Cuevas, 2017), que ayudan a pronosticar la salud edáfica. Los organismos vivientes en el suelo también conocidos como biota cumplen funciones esenciales en el ecosistema suelo favoreciendo se efectué los ciclos biogeoquímicos. También beneficia la continuidad en diversidad y abundancia de las plantas (Bardgett y Van Der Putten, 2014). Este proceso de interacción según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020) se le denomina red trófica edáfica (Figura 2).

Figura 2

Red trófica edáfica y su interacción



Nota. Las flechas de múltiples colores muestran los procesos de interacción de la biodiversidad edáfica. Figura tomada de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities. FAO, p12. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb1928en

Existen principales taxones funcionales de la biota del suelo que se conocen como productores primarios, herbívoros, ingenieros del ecosistema, trasformadores de hojarasca, descomponedores, predadores, microreguladores, microsimbiontes, plagas y enfermedades del suelo y trasformadores procariontes. En parte cada uno cumple una funcionalidad en cuanto a fertilidad y calidad del suelo, estos se agrupan en microfauna, mesofauna, macrofauna (Tabla1). La riqueza de los organismos edáficos dependerá de la distribución geográfica, el tipo de especie arbórea en el terreno y la perdida de especies nativas; son elementos que influyen en su presencia o ausencia (Cruz *et al*., 2023). Igual atribución realiza Cabrera *et al*. (2017), al señalar que la microfauna contempla aquellos taxones con medidas menores a 0,2 mm de longitud y 0,1 mm de diámetro, la mesofauna con individuos de 0,4 mm de longitud y de 0,2 a 0,4 mm de diámetro y la macrofauna está integrado por organismos edáficos con longitudes de igual o mayor a 10 mm y diámetros de cuerpo mayores a 2 mm por lo que hace que este grupo sean visibles a simple vista.

Tabla 1

Grupos de taxones edáficos

Grupo	Nombres comunes
Macrofauna	Lombrices, termitas, hormigas, escarabajos, cochinillas, milpiés, ciempiés, arácnidos, hormigas, cucarachas, babosas, caracoles, grillos y otros.
Mesofauna	Colémbolos, ácaros, proturos, dipluros, psocópteros, trips, paurópodos, sínfilos y gusanos enquitreidos
Microfauna	Nematodos y protoctistas, micófagos, bacteriófagos, omnívoros y depredadores, hongos micorrizógenos arbusculares, bacterias formadoras de nódulos en leguminosas, micro simbiontes y otros

Nota. Elaboración propia a partir de Cruz, K., Piraneque, V. y Aguirre, E. (2023). Introducción a la biología y microbiología de suelo. Editorial Unimagdalena. p. 22-72 https://simehbucket.s3.amazonaws.com/miscfiles/9789587465747pdf_4fj7dnw8.pdf

Propiedades fisicoquímicas del suelo

El suelo es un recurso natural de lenta renovación, donde su degradación puede superar ampliamente que su capacidad de recuperación, eso lo convierte en un recurso limitado y difícil de recuperar (Saravi *et al*., 2022; Stolte *et al*., 2015). fundamental para proveer nutrientes, agua y otros servicios ecosistémicos, adema es esencial porque participa de manera directa en ciclos biogeoquímicos del agua, nitrógeno, fósforo, carbono, azufre, oxígeno y otros elementos de interés para el hombre y el ambiente. Un mal manejo del suelo puede significar un mal funcionamiento de este, principalmente las alteraciones físicas influyen en el desbalance de la capacidad de intercambio de fluidos como los gases y líquidos esenciales para disolver los nutrientes para la plantas o cultivo (Ferreras *et al.*, 2015). Las variables que ayudan a definir la calidad física de un suelo son mediante la medición de variables como la densidad, porosidad y tasa de infiltración de agua (Mubaraka *et al*., 2022).

Conductividad hidráulica. Es un parámetro indicativo de la presencia de poros en el suelo que permiten el movimiento del agua. También se puede atribuir como el paso del agua por la masa de suelo por una gradiente de carga hidráulica. Se puede medir mediante el volumen de agua filtrada por una unidad de tiempo (Castiglion *et al*., 2018). Es una propiedad muy importante dado que permite saber la interacción que juegan entre el suelo, plantas y agua;

así como también permite conocer el trasporte de solutos en los horizontes del suelo (Leoni, 2015).

Densidad aparente del suelo. Es una propiedad importante para comprender las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo que congrega un conjunto de partículas integradas por materia orgánica, fragmentos de roca y los propios componentes del suelo (Al-Shammary *et al.*, 2018). La densidad aparente tiene una relación entre el volumen total del suelo y su masa. Así mismo, la densidad del suelo tiene que ver con el estado de compactación del suelo que están ligados a intervención antrópica por el tipo de cultivo, nivel de arado o el uso de maquinaria pesada (Cid-Lazo *et al*., 2021). Según Salazar *et al*. (2020) y Cid-Lazo *et al*. (2021), los valores comunes deben oscilar entre 1,0 a 1,6 g/cm^3; su aumento es indicador de compactación o degradación del suelo.

Porosidad total. Es la presencia de espacios en el suelo que contienen agua o aire**,** estas dependen esencialmente de la textura, materia orgánica, tipo de cultivo, tipo de labranza y manejo del suelo. Mientras menor es el porcentaje de porosidad, esto repercute negativamente en la aireación, presencia y traslado de agua y crecimiento de raíces. Muchas veces esto sucede por la compactación del suelo principalmente por la intervención de factores antrópicos, la porosidad optima oscila entre 40 a 50 % (Domínguez-Palacio *et al*., 2018). La porosidad es un buen indicador de calidad del suelo, además, es un excelente contribuidor de servicios ecosistémico hidrológicos, como captación y trasporte y almacenamiento de agua, su afectación puede perturbar la conductividad hidráulica, estabilidad de agregados y disponibilidad de nutrientes (Shah *et al*., 2017).

Textura del suelo. Es una propiedad física que describe la proporción relativa de partículas minerales inorgánicas de arena, limo y arcilla (Kekane *et al*., 2015). Ritchey *et al*. (2015), señala que la textura del suelo se cuantifica y expresan en porcentaje (%) y su suma de los porcentajes de arena, limo y arcilla debe sumar el 100 %. Esta propiedad influye en la fertilidad, retención de agua, aireación, fertilidad, capacidad de almacenamiento de nutrientes y actividad biológica (Katena *et al*., 2025).

Humedad del suelo. La humedad en el suelo está referida a la cantidad de agua contenida en el suelo facilitada por la porosidad, estructura y composición textural. El agua esta retenida principalmente por fuerzas de adsorción en las partículas coloidales, sobre todo en

suelos con alto contenido de arcilla y materia orgánica. Representa un factor determinante para la fertilidad y su disponibilidad facilita el sustento de múltiples procesos biológicos del suelo, está principalmente representada en porcentaje en base al peso o volumen (Caicedo-Rosero, 2017). La humedad del suelo es esencial para el crecimiento de las plantas, sin embargo, el exceso o su limitación afectan el rendimiento de los cultivos; por lo que su determinación es fundamental para el adecuado funcionamiento de los agroecosistemas (Largaespada y Henríquez, 2015).

pH del suelo. Es una propiedad química que indica la concentración de iones hidrógeno (H^+) en una solución de suelo, el cual manifiesta el grado de acidez o alcalinidad. Se expresa en una escala logarítmica de 0 a 14, donde un pH menor a siete indica acidez, igual a siete neutralidad y mayor a siete que el suelo es alcalino (Rivera *et al*., 2018). Es un indicador de la calidad del suelo, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la supervivencia de microrganismos y macroorganismos (Tale y Ingole, 2018).

Materia orgánica del suelo (MOS). Fracción orgánica del suelo constituida por residuos de animales y plantas en distinto estado de descomposición, que son fuente de reciclaje nutrientes para el suelo. Facilita la formación del suelo, retención de agua, desintoxicación, almacenamiento de carbono y provisión de nutrientes (Galantini *et al*, 2016). La MOS en sus diferentes formas tiene efecto sobre las propiedades de los suelos como: color, humedad estructura, capacidad de intercambio catiónico, pH, microorganismos y otros. La MOS está constituida aproximadamente por 58 % de carbono. La MOS influye en las cantidades apreciable de N, P y S, también ayuda a mejorar las propiedades físicas del suelo, ya que mejora la aireación, aumenta la capacidad de retención del agua y contribuye a la estabilidad de agregados (Grand y Michel, 2020). Por ejemplo, Barman *et al*. (2025) atribuyen que los sistemas agroforestales incrementan la acumulación de materia orgánica, promueven la retención de humedad, mineralización del suelo y favorecen significativamente al secuestro de carbono del suelo. Estos efectos benefician a macrofauna como las lombrices al propiciar hábitats estables.

Nitrógeno del suelo (N). Es un elemento esencial para el desarrollo vegetal ya que influye en su fertilidad, calidad y productividad del cultivo. Aproximadamente el 95 % del nitrógeno total está presente en forma orgánica y requiere la acción microbiana para transformarse en nitrógeno mineral asimilable por las plantas (Figueroa *et al*.,2017). Su disponibilidad

proviene de la descomposición de residuos vegetales y organismos muertos, siendo un indicador clave del estado e impacto en el suelo (Madrigal *et al*., 2019). El nitrógeno del suelo es vital para el funcionamiento de los sistemas forestales, principalmente el reciclaje de nutrientes y la salud ecológica del ecosistema. Su manejo adecuado como la incorporación de especies fijadoras nitrógeno y el aumento de la materia orgánica contribuye a bosques más resilientes, productivos y sostenible (Ayala-Montejo *et al*., 2022; Kim y Isaac, 2022).

Fósforo del suelo (P). Es un macronutriente esencial en los cultivos agrícolas. Sin embargo, en el suelo, el fósforo es uno de los nutrientes de menor desplazamiento y disponibilidad debido que se encuentra en iones fosfato $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} (Ticona y Casas, 2019). Su disponibilidad esta influenciado por el pH; en pH acido tiende formar complejos insolubles con hierro y aluminio (< a 5,5), mientras que en suelos con pH alcalino se reduce su disponibilidad al fijarse con calcio (> 7,5). El rango óptimo para una mayor disponibilidad del fósforo oscila entre 6,0 y 7,0. Es un nutriente comúnmente escaso, disponibles en forma soluble entre el 1 al 10 % del fósforo total; en parte la mayor cantidad de fósforo se puede obtiene de la mineralización de la materia orgánica y excreción de los animales (Kruse *et al*., 2015). En SAF el fósforo es más abundante que en monocultivos o áreas degradadas, cumpliendo un rol importante como el de fortalecimiento del ciclo biológico del suelo, desarrollo radicular y mejora de trasferencia energética de las plantas (Muchane *et al*., 2020; Ngaba *et al*., 2024).

Potasio (K). Es uno de los tres macronutrientes esenciales para las plantas, favorece el crecimiento y metabolismo de las plantas. Su deficiencia puede ocasionar raíces poco desarrolladas, crecimiento lento, exposición a enfermedades, poca presencia de semillas afectando el rendimiento. La mayor cantidad de potasio está en forma insoluble, una pequeña fracción está en forma soluble (Rawat *et al.*, 2016). En los suelos agrícolas, la aplicación excesiva de este macronutriente tiende a producir efectos negativos sobre las plantas especialmente desequilibrio con otros nutrientes (magnesio y el calcio), así como una disminución de la absorción de micronutrientes. A nivel ambiental, este exceso puede generar salinización del suelo y contaminación por lixiviados a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Takasu *et al*., 2014)**.** Los SAF son una excelente estrategia que mejoran la dinámica del potasio en el suelo, beneficiando la productividad agrícola y la preservación del ecosistema edáfico (Chaudhary *et al*., 2025; Nyuma *et al*., 2025).

Micronutrientes del suelo. Son nutrientes presentes en el suelo fundamentales para las plantas requeridos en bajas cantidades (mg/kg). Entre estos micronutrientes se encuentran el boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel y zinc que participan en funciones enzimáticas, fotosíntesis, síntesis de proteínas y trasporte de nutrientes (Torri *et al*., 2014). Son muy importantes en el crecimiento de las plantas a pesar de necesitar en pequeñas cantidades, su deficiencia y niveles excesivos pueden significar problemas serios para la salud del suelo (Mpanda *et al*., 2016). Los micronutrientes del suelo, aunque requeridos en pequeñas cantidades, son indispensables para el crecimiento saludable de los árboles, el reciclaje de nutrientes y la resiliencia ecológica de los sistemas forestales. Su adecuada disponibilidad y balance son indicadores de un suelo forestal funcional y bien equilibrado (Dollinger y Jose, 2018; Octavia *et al*., 2023).

Medidas para conservar el suelo

Según Jónsson *et al*. (2017), el suelo desempeña un papel importante como proveedor de servicios ecosistémicos al facilitar provisión de materiales de construcción, nutrientes y compuestos con aplicaciones medicinales. Así mismo, aquí suceden procesos como la descomposición de desechos, desintoxicación de compuestos y depuración de agua. También el suelo es un hábitat donde interactúan microrganismos, macrofauna edáfica entre otros, que son esenciales para el funcionamiento del ecosistema edáfico. Sin embargo, muchos de estos servicios aún no están siendo muy estudiados.

Igualmente, Pereira *et al*. (2018), atribuye que el suelo aporta un conjunto de beneficios; entre ellos la regular la calidad de agua, aire; además de sustentar la producción de alimentos esenciales para la vida. Para Tolimir *et al.* (2020) una de las medidas para conservar el suelo es evitar la deforestación, debido que, esta actividad ocasiona múltiples cambios como reducción de las propiedades fisicoquímicas y biológicas y reducción de la productividad del suelo. Para Ghabbour *et al*. (2017) atribuye que, la labranza mínima, el uso de cultivos de cobertura y rotaciones de cultivo con fertilización orgánica son medidas para conservar el suelo. La erosión es un problema global que amenaza la estabilidad del suelo para la agricultura, el ambiente y todo tipo de medio de vida. En tal sentido, la agroforestería es una excelente estrategia para conservar el suelo y el agua (Kaushal *et al*., 2021).

Servicios ecosistémicos del suelo

Los servicios ecosistémicos del suelo se refieren a los beneficios que el hombre obtiene de este recurso esencial (Jónsson y Davíðsdóttir, 2016). El estudio formal de los servicios ecosistémicos es relativamente reciente, comenzando en 1997 según Baveye *et al.* (2016). Los primeros aportes en este campo fueron realizados por Daily y colaboradores ese mismo año, identificando funciones claves como el amortiguamiento y moderación del ciclo hídrico, el soporte para el crecimiento de plantas, retención y provisión de nutrientes, renovación de la fertilidad, regulación de los ciclos biogeoquímicos y la eliminación de desechos y materia orgánica muerta. En general los ecosistemas integran elementos bióticos y abióticos que interactúan en un espacio determinado servicios directos e indirectos que contribuyen al bienestar humano (Marañón y Madejón, 2016).

El suelo es un recurso natural esencial, que proporciona servicios ecosistémicos fundamentales, como soporte para la producción agrícola, conservación ambiental y control de la erosión. El suelo suele regenerarse naturalmente, su formación es un proceso considerablemente lento en el tiempo, mientras que, su degradación puede ocurrir en cortos periodos de tiempo por la ejecución de prácticas insostenibles (deforestación, agricultura de monocultivo entre otros) (Savari *et al*., 2022, Stolte *et al*., 2015). La cantidad y calidad de los servicios ecosistémicos dependen en gran medida de factores como el relieve, la biota y el clima (Pereira *et al*., 2018). Por lo que, el manejo del suelo posee implicancias en la presencia de los servicios ecosistémicos proporcionados, sobre todo aquellos sometidos agricultura y zonas urbanas que están sujetas a distintas modificaciones (Morel *et al*., 2015). Para Yin *et al* (2021) el suelo posee varios servicios ecosistémicos vitales para conservar el suelo y controlar la erosión. Esto resulta fundamental para garantizar la sostenibilidad de la agricultura y el ambiente (Bashir *et al*., 2017).

Clasificación de los servicios ecosistémicos del suelo

Hernández-Blanco y Costanza (2018) sustentan que el suelo es la base de la vida terrestre en el suelo a pesar de ser percibido como algo insignificante y sin valor. El suelo brinda varios servicios ecosistémicos que se resumen en: (a) seguridad alimentaria, urbanización y biodiversidad, (b) control de la calidad del agua, (c) mitiga el cambio climático, (d) fuente

de energía. Mientras que, Burbano (2016) complementa los servicios ecosistémicos con: (a) producción de alimentos y biomasa, (b) almacenamiento de carbono (c) almacenamiento y fijación agua, (d) soporte para el desarrollo de las actividades humanas, (e) reserva de biodiversidad y (f) entorno físico y cultural para la humanidad.

Para Brevik *et al*. (2018), los servicios ecosistémicos del suelo se clasifican en tres categorías principales: aprovisionamiento, regulación y cultural. Por su parte, el organismo de Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos [CICES por sigla en inglés] citado por La Notte *et al.* (2017) propone una clasificación más detallada: (a) provisión, que incluye la nutrición del suelo, materiales y energía; (b) regulación y mantenimiento, que abarca la descontaminación de desechos, tóxicos, regulación de flujos, mantenimientos de los ciclos físicos, químicos y biológicos; (c) culturales, relacionado con procesos físicos, actividades de investigación, acciones espirituales e interacciones simbólicas con la biota y la conexión con los paisajes terrestres. En tanto, Jónsson y Davíðsdóttir (2016) y Stromberger *et al*. (2015) identifican cuatro categorías principales de servicios ecosistémicos del suelo: apoyo, aprovisionamiento, regulación y cultural. De manera similar, la FAO (2019) describe estos servicios ecosistémicos agrupándolos con sus respectivas funciones. A continuación, se presentan los servicios ecosistémicos del suelo detallados en la Tabla 2.

Tabla 2

Servicios ecosistémicos del suelo

Tipo	Servicio de conservación del suelo	Función
De apoyo	Reserva de biodiversidad	Proporciona hábitat a millones de especies del ecosistema terrestre
	Ciclo de nutrientes	Mantiene la fertilidad del suelo. Mediante los microorganismos edáficos
	Formación de suelo	Procesos biológicos, físicos y químicos que se acumulan en el suelo
	Ciclo del agua	Permite los procesos del ciclo biogeoquímico del suelo.
	Control biológico	Mantiene el equilibrio de plagas y vectores.
Regulación	Regulación de clima y gases	Tiene que ver con la producción y secuestro de los gases de efecto invernadero.
	Control hidrológico	Regula el escurrimiento del agua evitando inundaciones, sequía y erosión.
	Filtrado de nutrientes	Filtrar y retener contaminantes que lleguen a los cuerpos de agua.
	Reciclaje de residuos	Descomposición de compuestos tóxicos y retiene patógenos y metales pesados.
Aprovisionamiento	Producción de biomasa	Biomasa en forma de alimentos, madera, fibra, pasto y combustible.
	Provisión de agua limpia	Amortiguar la provisión de agua en cantidad y calidad de agua.
	Materia prima	Provee materias primas como arcilla y la turba para la construcción
	Entorno físico	Facilita la vida de flora y fauna y permite la infraestructura humana.
Cultural	Servicios cognitivos	Incluye actividades como la estética, espiritualidad y la educación.
	Servicios patrimoniales	Los suelos mantienen las características geológicas, ecológicas y arqueológicas.
	Servicio de recreación	El suelo proporciona espacios para actividades como: ecoturismo y deportes.

Nota. Adoptado de "Classification and valuation of soil ecosystem services" (p.811-815) por Gachene, K., Nyawade, O., Karanja, N. (2020). *Agricultural Systems*, 145, 24-38. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010 y "Soil ecosystem services and natural capital" (p.2) por Stromberger, M., Comerford, N., y Lindbo, D., 2015. https://doi.org/10.2136/2015.soilecosystemsservices.2014.0055

Problemas que afectan los servicios ecosistémicos del suelo

Los servicios ecosistémicos están amenazados por el crecimiento poblacional y la presión sobre el suelo para satisfacer las demandas de alimentos, fibras y refugio. La principal problemática es la erosión, que provoca agotamiento de la fertilidad, disminución en la retención de humedad, contaminación ambiental por sedimentos, perturbando la biodiversidad acuática. Factores como las condiciones socioeconómicas, políticas, climáticas, el manejo del suelo, la topografía y la pobreza agravan la situación, especialmente en países en vías de desarrollo (Bashir *et al.,* 2017). Según Bashir *et al.* (2017) y Pereira *et al*. (2018) el estado situacional de los servicios ecosistémicos del suelo está ligados al tipo de gestión que se le otorga a la tierra; las principales causas son las que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Descripción de los problemas impactos que afectan los servicios ecosistémicos del suelo

Problemas	**Impacto**
Monocultivo de madera	Incendios, plagas, enfermedades, erosión y pérdida de hábitat.
Uso de maquinaria pesada	Compactación del suelo y contaminación de cuerpos de agua.
Labranza convencional	Degradación y devaluación del suelo
Rotaciones cortas de cultivo	Erosión de suelo.
Uso de agroquímicos	Acidificación, salinización, contaminación y riego de enfermedades como cáncer
La ganadería	Compactación, erosión, pérdida de la biodiversidad, contaminación, infiltración reducida y escorrentía.
Expansión urbana	Contaminación, pérdida de hábitat y pérdida de agua y pérdida de nutrientes.
Deforestación	Erosión, perdida de la fertilidad y biodiversidad del suelo
Agricultura intensiva	Degradación del agua y suelo, agotamiento de nutrientes y falta de agregación materia orgánica.

Nota. Adaptado de "Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management" (p.10-11) por Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., y Brevik, C., 2018. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7-13. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003

Importancia y gestión de los servicios ecosistémicos del suelo

El suelo posee uno de los hábitats de los ecosistemas terrestres más ricos con una diversidad de especies y funciones. El suelo se forma muy lentamente y al igual que otros hábitats este está sometido a diversas presiones de actividades antrópicas (Jónsson y Davíðsdóttir, 2016). Pereira *et al.* (2018) manifiestan que el suelo proporciona y regula a la mayor cantidad de servicios ecosistémicos existentes del mundo y que el aporte de beneficios que recibimos del suelo de modo directo e indirecto está relacionado con el agua, aire, producción de alimentos entre otros, que son clave para la vida, alivio de la pobreza y la mitigación del cambio climático.

El suelo constituye un recurso natural que debe conservarse para las futuras generaciones, debido que su formación o recuperación es lento, así mismo, el suelo posee una gran biodiversidad, cuya interacción da lugar a múltiples procesos funciones del suelo el que incluye la descomposición de residuos, ciclaje de nutrientes, formación de estructura del suelo, biorremediación de biocontaminantes y regulación de plagas (Lacalle *et al*., 2020). El suelo es importante porque alberga micro y macroorganismos que cumplen funciones importantes. Por ejemplo, se encuentran los llamados ingenieros de ecosistema, término arraigado a las lombrices de tierra quienes favorecen la mineralización de la materia orgánica (Lavelle *et al*., 2020). La funcionalidad exitosa de los servicios ecosistémicos del suelo está ligada por el tipo de manejo que se lo otorga. Debido que, los suelos muy mal manejados conducen a una degradación de la tierra, induciendo a la pobreza, migración y conflictos (Gomiero, 2016).

Esto comúnmente suele sucede en países en vías de desarrollo, donde el aumento de la población viene provocando una alta presión sobre los recursos provenientes del suelo (Barbier y Hochard, 2016). La agricultura es otro de los problemas que está afectando los servicios ecosistémicos del suelo por el aumento de cubiertas intensivas de pastos para la alimentación animal y de las personas. Este uso inmoderado afecta a largo plazo la regulación de los servicios ecosistémicos que sin lugar a duda son esenciales para la sostenibilidad de los ecosistemas y las comunidades (Balbi *et al*., 2015).

1.2.2. Conservación de suelo

Para Xiao *et al*. (2017) la conservación del suelo está enfocado en la combinación de prácticas adecuadas de uso y gestión de la tierra donde se promueve su uso sostenible, así mismo, se minimiza la erosión y otras formas de degradación del suelo. La conservación del suelo está relacionada con el mantenimiento de este mismo en su lugar para la producción de cultivos (Blanco y Lal, 2023a). Mientras que para Atangana *et al*. (2014) la conservación del suelo está enfocada al mantenimiento de la fertilidad y control de la erosión. En tanto, Zhao *et al*. (2018) manifiestan que uno de los servicios ecosistémicos fundamentales es la conservación de suelo, este servicio ecosistémico, posee el potencial de controlar la erosión y conservar el suelo. El servicio de conservación de suelo mitiga la erosión de los suelos aumentando la productividad, mejora la calidad ecosistémica y de forma indirecta contribuye en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (Montanarella, 2015).

La conservación del suelo se mide por su capacidad para mejorar el rendimiento de cultivos, reducir la contaminación del agua y mitigar gases de efecto invernadero, lo que refleja su sostenibilidad y provisión de recursos esenciales para la humanidad. Aunque los suelos enfrentan degradación por erosión, compactación y otros procesos, poseen la capacidad de regeneración bajo un manejo adecuado. Su conservación está vinculado al ciclo del carbono, ya que actúan como reservorios afectados por la erosión y las actividades humanas (Dumanski, 2015). El suelo productivo es finito, solamente comprende el 10 % de la superficie total, pero suministra alimento a miles de millones de personas; sin embargo, es muy propenso a degradarse rápidamente por su mala gestión (Blanco y Lal, 2023b).

Principios y medidas de conservación del suelo

Los principios claves para la conservación del suelo es que estos deben ser ecoholísticos que consisten en: (1) ver al suelo como un sistema vivo, dinámico y altamente sensible que interactúa con todo lo que le rodea, (2) tener un enfoque ecosistémico holístico participativo para la conservación del suelo (relacionado con cuestiones sociales, económicas y culturales) y lograr neutralidad en la degradación de la tierra y apoyar los objetivos de desarrollo sostenible, (3) impulsar la conservación del suelo para la mitigación y adaptación del cambio climático y (4) tener principios de ética del uso del suelo (Albaladejo *et al*., 2021).

Tobasura *et al.* (2015) señala que los primeros 20 cm superiores de la cobertura del suelo presenta la mayor zona activa, pero son los más propensos a erosiones y degradación El suelo es un importante recurso natural no renovable que posee gran influencia en el ambiente, la economía local, regional y mundial y de él dependen en gran medida la supervivencia y el bienestar de la población mundial, sin embargo, este para cumplir esta función debe estar en buena calidad; y el problema radica en que cada vez se hace más escaso por estar sometido a una falta gestión antrópica (Gardi *et al*., 2014).

Las actividades antrópicas sin ordenamiento ecológico de manejo y el cambio climático global son las causas principales de provocar perdida de la cubertura vegetal, disminución de la capa superficial del suelo, pérdida de materia orgánica y nutrientes y acumulación de sustancias toxicas que influyen en la sostenibilidad a largo plazo del suelo (Cárceles *et al.,* 2022). Según Francaviglia *et al.* (2023) es necesario impulsar en la actualidad una agricultura de conservación, esta mejora las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo que son esenciales para mantener la salud del suelo y adaptarnos a los cambios que suelan suceder con los agroecosistemas. A pesar que existen muchas barreras técnicas y socioeconómicas que restringen la adopción de una agricultura de conservación se debe seguir implementando los siguientes principios: mínima perturbación mecánica, cobertura permanente en el suelo y diversificación de cultivos.

Para Bashir *et al. (*2017) existen medidas agronómicas y biológicas para prevenir la erosión del suelo entre ellos están la rotación de cultivos, agrosilvicultura, uso de residuos, franjas de filtrado vegetativo, manejo de la cubierta vegetal y cero labranzas. Gachene *et al*. (2020) también asegura que para la conservación del suelo existen medidas agronómicas y vegetativas. Estas están basadas en técnicas como: (a) manejo del cultivo, (b)manejo de suelos, (c) agricultura de contorno, (d) gestión de la materia orgánica y fertilización y (e) agroforestería. Mientras que, Tahat *et al*. (2020) atribuyen al manejo del suelo, manejo de cultivos y la aplicación de métodos estructurales como medidas de conservación del suelo (Tabla 4).

Tabla 4

Medidas de conservación del suelo y sus respectivas técnicas de aplicación

Medida de conservación	**Concepto**	**Técnicas**
Manejo del suelo	Mejora la resistencia del suelo a erosiones mediante fertilizaciones orgánica y estabilizadores	Mediante uso de materia orgánica, labranza de conservación, drenajes y agregación de estabilizadores de suelo
Manejo de los cultivos de vegetación	Incrementa la protección del suelo contra la erosión usando coberturas vegetales y residuos	Rotación de cultivos, coberturas vegetales en areas de gradas, promoción de la agroforestería
Métodos mecánicos estructurales o de conservación física	Controla la escorrentía para reducir la erosión y el transporte de sedimentos	Remodelación topográfica, control de escorrentía, estabilización de taludes y control de barrancos
Agroforestería	Uso de árboles para reducir el impacto de las lluvias, regulan la temperatura del suelo, reciclar nutrientes y fijan nitrógeno para otras plantas	Agroforestería en estratos (Barbecho mejorado, cultivos en callejones)

Nota. adoptado de "Soil and Water Conservation: An Overview" (p. 810-823) por Gachene, K., Nyawade, O., Karanja, N. (2020). En Leal Filho, W., Azul, M., Brandli, L., Özuyar, G., Wall, T. (eds) Zero Hunger. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95675-6_91

1.2.3. Macrofauna edáfica

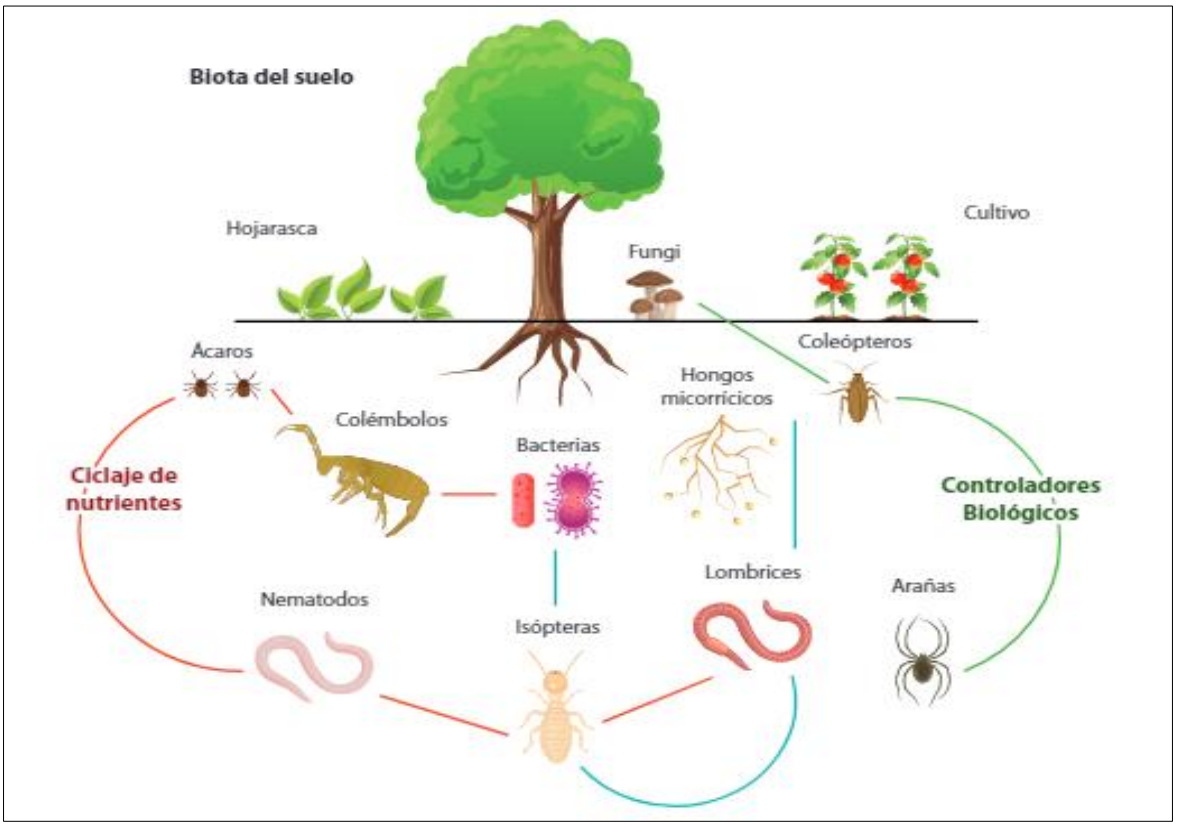
Son aquellos seres vivos edáficos mayores a 2 mm de diámetro que regulan los procesos fisicoquímicos del suelo y son catalogados como bioindicadores de la calidad o alteración ambiental edáfica (Biswas y Gawade, 2017). También se podría señalar que macrofauna edáfica está integrado por una biodiversidad de organismos invertebrados que intervienen en un conjunto de procesos como degradación de materia beneficiando la generación de nutrientes que favorecen el crecimiento y mantenimiento de las plantas y cultivos (Masin *et al*., 2020).

En el suelo existen un conjunto de seres vivos que pertenecen a la biota edáfica que cumplen funciones esenciales del mismo, sin embargo, estos están sometidos a presiones crecientes, por lo que su monitoreo permite predecir su manejo, funcionamiento del suelo y el estado de sus servicios ecosistémicos que provee (Sobucki *et al*., 2019). Los organismos que pertenecen a este grupo juegan un rol importante en el ciclo de nutrientes, así mismo, son excelentes mejoradores de las propiedades fisicoquímicas del suelo (Marques *et al*., 2014). Los procesos ecosistémicos del suelo están ligado a su calidad tanto física, química y biológica y de los organismos que componen el ecosistema a fin de concretizar un mantenimiento de la permanencia, de la resistencia y resiliencia de las propiedades de los ecosistemas.

La presencia de macrofauna en el suelo posee una importancia funcional para las plantas, debido a que existen factores como la intervención o perturbación, clima, el tipo de especies vegetales o el espacio geográfico, que influyen en el número de especies y afectan sobre la cantidad y función que realizan los organismos (Rojas *et al*., 2014; Vincent *et al*., 2018). Para Marichal *et al*. (2014) la macrofauna es la responsable de realizar las primeras fragmentaciones de la materia orgánica, dando paso a la colonización microbiana y en consecuencia el ciclo de carbono y los nutrientes. Estos organismos se encuentran en la superficie del suelo también conocido como fauna epigeica o a nivel de perfil de suelo conocido como fauna edáfica (Vanolli *et al*., 2021) (Figura 3).

Figura 3

Proceso interactivo de los seres vivos a nivel del suelo



Nota. Tomado de Orduz A., Machado, L. y Rodríguez, L. (2021). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova*, 6, 27–38. https://doi.org/10.23850/25004476.3681

Grupos taxonómicos de macrofauna edáfica

La macrofauna está integrada por aquellos seres vivos mayores a 2 mm que viven toda o una parte de su vida bajo el suelo (Gongalski, 2021). Existen un sinnúmero de taxones, sin embargo, los más importantes son los Isoptera, Hymenoptera, Diplopoda, Chilopoda, Arachinida, Oligochaeta y Coleóptera (Holmstrup, 2015). Mientras que, Potapov *et al*. (2022) atribuye la siguiente comunidad de taxones más importantes a nivel de macrofauna son: Formicidae, Isoptera, Coleoptera, Chilopoda, Blattodea, Diplopoda, Hemiptera, Diplura, Opiliones, Isopoda, Pseudoscorpionida, Orthoptera, Dermptera y Schizomida, Mantodea, Onychophora y Recinuleti.

Para Nielsen *et al.* (2015) indican que los suelos poseen una importante cantidad de biodiversidad que cumplen funciones claves y una modera prestación de servicios

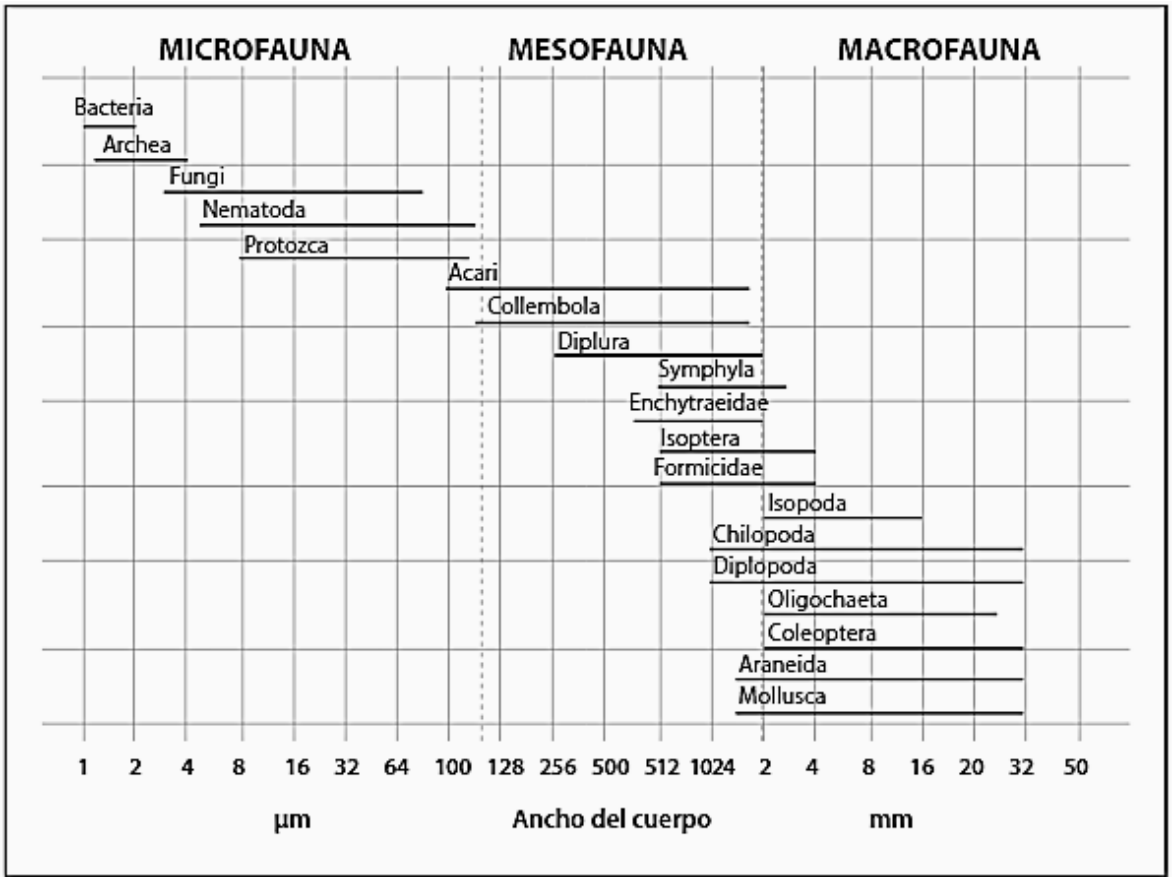
ecosistémicos; estos pueden varias en tamaños desde micrómetros a metros. Particularmente estos seres vivos que se encuentran en el suelo poseen medidas de diámetro mayor a 2 mm y actúan trasformado propiedades del suelo. Entre estos se encuentran las lombrices, termitas, hormigas, escarabajos, cien pies, milpiés, cochinillas y caracoles (Cabrera-Dávila *et al*., 2017).

En tanto Lavelle *et al*. (2016), señala que la macrofauna edáfica se encuentran taxones que pertenecen a los ingenieros del ecosistema que cumplen la función de cambiar la estructura física del terreno, los detritívoros de hojarasca que fragmentan la materia de hojarasca y dan paso a la descomposición, los herbívoros y depredadores realizan actividades de control de disponibilidad de recursos del hábitat. Generalmente los seres vivos que pertenecen a este grupo oscilan entre 10 y 15 órdenes. Y su identificación permite estimar de manera general el estado del suelo, debido, que la macrofauna es muy sensible a condiciones adversas que se estén suscitando en el suelo (Velasquez y Lavelle, 2019).

Para Anthony *et al*. (2023) en la parte superficial entre la hojarasca y hacia la profundidad del suelo se encuentran los seres invertebrados que son visibles a simple vista. Entre la hojarasca y los primeros centímetros se pueden encontrar colémbolos, ácaros, arañas, lombrices, enquitreidos, coleópteros, miriápodos, planarias, moluscos; todos estos se interrelacionan a nivel de ecosistema suelo. De todos los taxones que pudieran existir en el ecosistema suelo a nivel de macrofauna las lombrices, termitas y hormigas son las que cumplen un rol muy importante que es la de favorecer la estructuración y formación física del perfil del suelo mediante la descomposición de la materia orgánica (Velasquez y Lavelle, 2019). Orduz *et al*. (2021) señala que los grupos más abundantes y diversos son los ingenieros de ecosistema a nivel de amazonia y se encuentran tanto en espacios naturales como perturbados, mientras que, los depredadores y detritívoros son los más afectadas cuando sucede una perturbación a nivel de suelo; los herbívoros son los menos dominantes y su comunidad no se ve altamente afectada ante las perturbaciones (Figura 4).

Figura 4

Clasificación de la biodiversidad edáfica según su tamaño corporal



Nota. Tomado de Orduz A., Machado, L. y Rodríguez, L. (2021). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova*, 6, 27–38. https://doi.org/10.23850/25004476.3681

Problemas que enfrenta la macrofauna edáfica

La única presencia de macroinvertebrados edáficos es esencial para la sostenibilidad y funcionalidad de los ecosistemas naturales o de aquellos bajo gestión (Negassa y Sileshi, 2018). Sin embargo, el simple hecho de efectuar prácticas agronómicas de manejo de suelo, fertilización, uso de fitosanitarios, quema y otros puede afectar la abundancia y diversidad de la macrofauna edáfica (Marques *et al*., 2014). El mismo punto de vista atribuye Gómez *et al.* (2016), que lo seres vivos de macrofauna pueden verse afectados por las prácticas agrícolas intensivas o extensivas.

Los factores que podrían afectar a la macrofauna edáfica son innumerables y muchos de estos ocurren de acuerdo con el espacio geográfico, tipo de tecnología de cultivos, tipo de gestión, clima y por tipo de cambio de uso de suelo (Silva *et al*., 2018). Igualmente,

Hatt *et al.* (2016), señala que la agricultura convencional actual es señalada como el causante principal del deterioro ambiental que afecta la degradación de los suelos, biodiversidad y ciclos hídricos por lo que conocer el estado del suelo desde los componentes fisicoquímicos y biológicos permitirá saber su situación de manejo. Nielsen *et al.* (2015) manifiestan que el cambio global del manejo de suelo, cambio climático, concentración elevada de dióxido de carbono, deposición de nitrógeno, cambios en el uso de la tierra y especies invasoras son las mayores amenazas para la biodiversidad edáfica en conjunto.

Para Montanarella *et al.* (2016) la trasformación del ecosistema con fines agrícolas, ganaderos y otros fines poseen un impacto directo las coberturas vegetales y la estructura física del suelo; provocando daños en la compasión y estructura de la fauna viviente. La eliminación de la comunidad edáfica se relaciona directamente con la estabilidad y fertilidad del suelo. Suárez *et al*. (2015) manifiesta que la riqueza, abundancia y diversidad de la macrofauna edáfica se ha visto limitada por los cambios de uso del suelo.

Cuantificación de la macrofauna

La macrofauna edáfica lo integran los taxones entre 1 a 2 mm y de 20 a 30 mm de tamaño, estos se entremezclan con la macrofauna y residen en cavidades formados por ellos u otros organismos en el suelo (Gongalsky, 2021). Potapov *et al*. (2022) y Suarez *et al*. (2015) manifiestan que ante la diversidad de organismos que son parte de la macrofauna del suelo, una de las formas para poder analizar la comunidad taxonómica de invertebrados es agrupándolos en grupo taxonómicos como son: (a) ingenieros del ecosistema: lombrices, termitas y hormigas; detritívoros: milpiés, cochinillas, dipluros, cucarachas y coleópteros en estado inmaduro; herbívoros: insecto de palo y hemípteros y depredadores: arañas, coleópteros, milpiés, tijeretas, dipluros y opiliones. Para Wu y Wang (2019) las mediciones de los seres vivos edáficos es importante realizarlo, debido que se entiende que a mayor nivel de diversidad indica un ambiente saludable. Son cuatro los índices más usados para medir la biodiversidad edáfica entre ellos se encuentran: (1) riqueza de especies, (2) uniformidad de especies), (3) índice de Simpson y (4) índice de Shannon Wiener (Tabla 5).

Tabla 5

Tipo de mediciones para cuantificar la macrofauna edáfica

Métodos	Descripción
Índice de riqueza de especies (S)	cuantifica el número total de especies encontrados en un ecosistema o muestra
Índice uniformidad de especies (E)	Mide la abundancia de las diferentes especies encontradas. Posee una valoración de cero a uno. Cuando la cuantificación está cerca a cero esto indica que la distribución de los organismos no es uniforme o también que hay pocos taxones y cuando es cercano a uno indica que los taxones constan de un número similar de individuos.
Índice de Simpson (D)	Cuantifica la diversidad de un hábitat especifico y tiene en cuenta el número de especies como la abundancia relativa de cada especie
Índice de Shannon Wiener (H^1)	Cuantifica los niveles de biodiversidad, toma en cuenta la riqueza de los taxones dentro de una zona. Un índice alto indica que hay especies relativamente únicas del espacio

Nota. Adoptado de "Soil macrofauna as bioindicator of soil quality in different management systems" (p. 2-4) Coelho, O., Neto, R., Anhê, M., De Lima, S., Da Silva, M., Loss, A. y Torres, R. (2021). *Research, Society and Development*, 10(6), e54210616118-e54210616118.

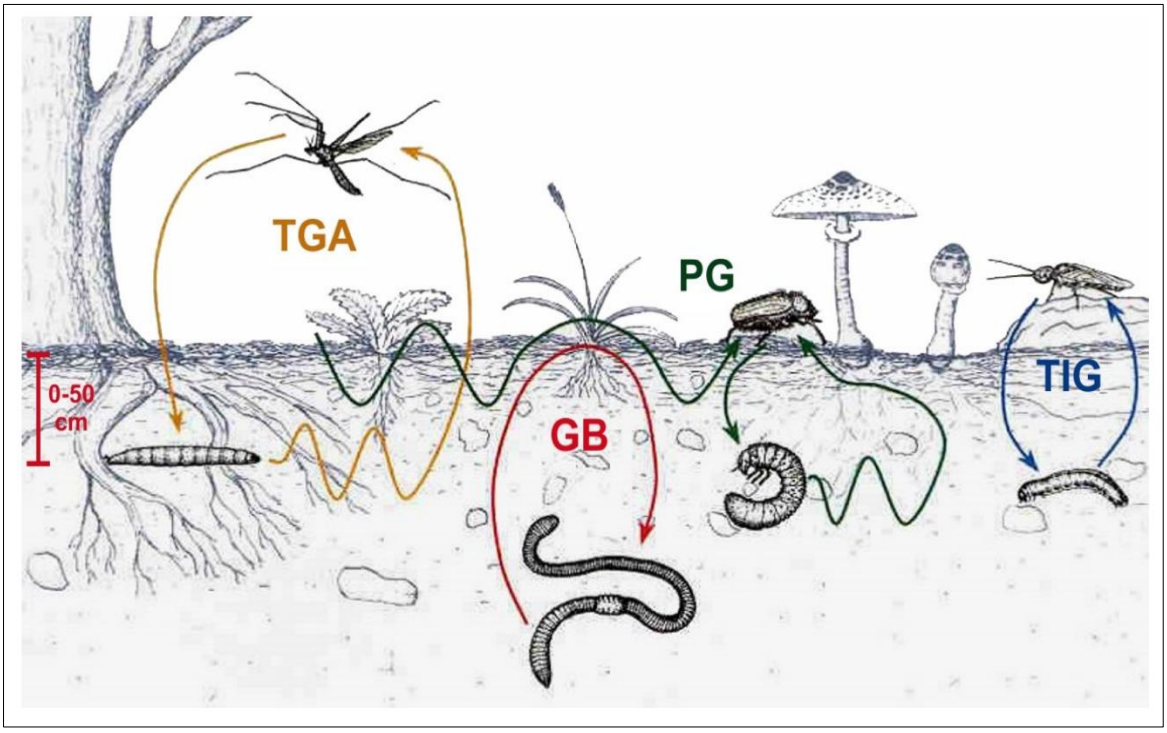
Factores que influyen en la macrofauna edáfica

Para Gongalski (2021) la abundancia y diversidad difiere de un lugar a otro influyendo factores como el nivel de materia orgánica, la textura y las prácticas de manejo del suelo. La macrofauna posee una actividad biológica hasta los 20 o 30 cm de profundidad, cada tipo de taxón está vinculado a colonizar el suelo de acuerdo con su funcionalidad y características de hábitat que le configura (Sofo *et al.,* 2020). La abundancia de organismos vivos en el suelo va a depender del contenido de materia orgánica, este es un indicador clave del nivel de degradación, cuanto mayor sea la biodiversidad intra e interespecífico del ecosistema suelo mucho mejor será la tolerancia a perturbaciones (Lavelle *et al*., 2016).

Según Sofo *et al*. (2020) los seres vivos que integran el grupo de la macrofauna están agrupados en cuatro grupos funcionales: (a) los geófilos activos temporales, (b) geófilos temporales inactivos, (c) geófilos periódicos y (d) geobiontes (Figura 3). Según Potapov *et al*. (2022) los organismos que están dentro de la macrofauna han desarrollado distintos hábitos alimenticios que les permite vivir; entre ellos tenemos: (a) saprófagos, que se alimentan de tejidos vegetales en descomposición, (b) necrófagos, cuando se alimentan de seres muertos, (c) coprófagos, se alimentan de los excrementos de animales, (d) heterótrofos, se alimentan de seres y plantas vivas y (e) depredadores, obtienen o consumen seres vivos. Estos pueden habitar permanente el suelo (geobiontes) o pasar solo una parte dentro de este (geófilos) (Figura 5 y 6).

Figura 5

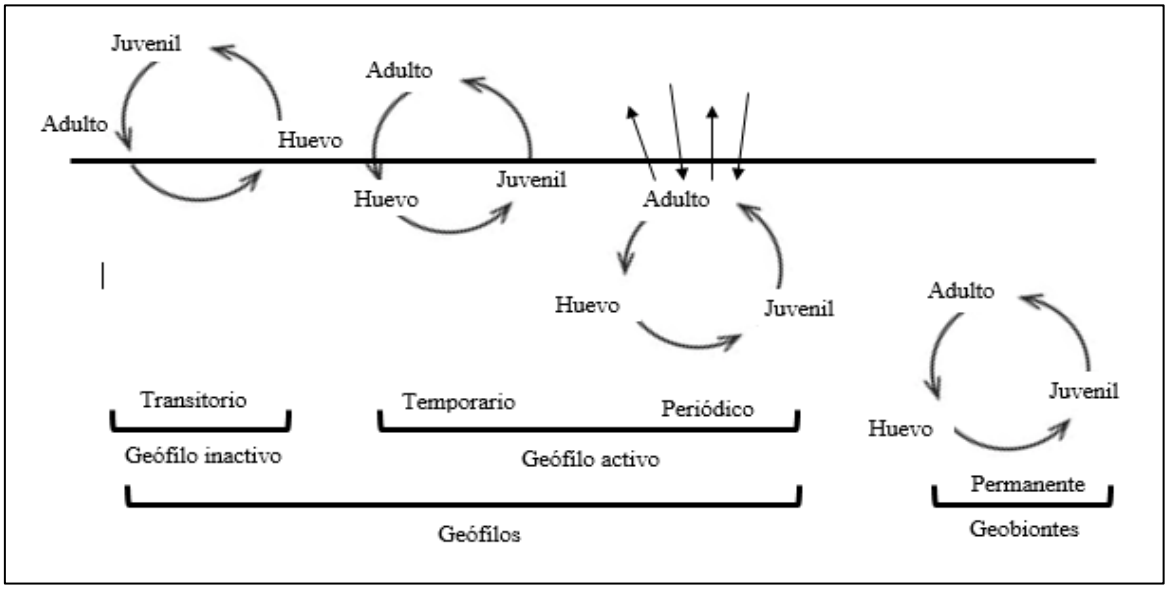
Los grupos funcionales de la macrofauna edáfica



Nota. geófilos activos temporales (TAG): son insectos de estadio juvenil (larvas y ninfas) que habitan el suelo desde 0 a 50 cm de profundidad (Diptera: Tipulidae y Bibionidae; Scarabeidae: Dermaptera y Coleoptera), geófilos temporales inactivos (TIG): se encuentran en el suelo para invernar o hacer la diapausa, estos no contribuyen en la formación del suelo (escarabajo), geófilos periódicos (PG): su hábitat es el suelo y la superficie y geobiontes (GB): son organismo que pasan toda su vida en el suelo. Tomada de Sofo, A., Mininni, N. y Ricciuti, P. (2020). Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy*, 10(4), 456. https://doi.org/10.3390/agronomy10040456

Figura 6

Clasificación de la biodiversidad edáfica y su permanencia en el suelo



Nota. Adoptado de "Soil microarthropods: biodiversity and role in grassland and agroforestry ecosystems" (p.675), por Roy, S., Roy, M.M., Bano, R., Saxena, P. (2017). En Dagar, J., Tewari, V. (eds) Agroforestry. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_26

Importancia de la macrofauna edáfica

Para Marques *et al*. (2014) la macrofauna edáfica cumple un rol importante en el reciclaje de nutrientes y mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo. También son conocidos como los ingenieros del ecosistema debido que intervienen en la disponibilidad de los recursos actuando mediante procesos físicos, químicos y biológicos, estas también crean condiciones de hábitat para otros organismos como las lombrices, termitas y hormigas (Lavelle *et al*. 2016). La abundancia de macrofauna contribuye en la creación de nichos ecológicos heterogéneos y microclimas favorables que aumentan la diversidad genética, funcional y metabólica de la microfauna propiciando nutrientes que mejoran la calidad y fertilidad de los suelos (Velasquez y Lavelle, 2019).

1.2.4. Sistemas agroforestales

Es un sistema de uso de la tierra donde se combinan árboles y cultivos agrícolas que pueden ser herbáceas o leñosas, donde interactúan procesos biológicos y prácticas de manejo (Fahad *et al*., 2022). De forma similar, Farfán (2014), atribuye que los sistemas agroforestales son "una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se

combinan o interactúan árboles con cultivos agrícolas que pueden ser anuales o perennes" (p.28). En tanto para Atangana *et al*., (2014) los sistemas agroforestales son cualquier sistema, práctica o tecnología de uso del suelo donde convergen plantas perennes y leñosas con cultivos agrícolas que pueden estar acompañados de animales marcado por lapsos de tiempo y espacio a fin de aumentar y mantener la diversidad y beneficios de preservación del ambiente.

Para Miccolis *et al*. (2016) los sistemas agroforestales son modelos de producción alternativa sustentable para acompañar a la agricultura, así mismo es una estrategia viable para ser usado en la recuperación de suelos degradados; la combinación de árboles, agricultura y animales puede reparar las condiciones de un suelo degradado y recuperar los atributos fisicoquímicos y estimular la actividad biológica ausente. Para Antagana *et al*. (2014) son sistemas basados en la dinámica, ecología y gestión de recursos naturales donde se integran arboles asociado al paisaje agrícola, con la intensión de diversificar y tener una mejor sostenibilidad y alcanzar mejores beneficios sociales, económicos y ambientales.

Sistemas agroforestales y macrofauna edáfica

Los SAF son asociaciones entre plantaciones arbóreas, arbustos perennes y cultivos agrícolas, que son implementados como alternativas amigables al medio ambiente tanto en regiones templadas y tropicales del mundo (José, 2019). Estos sistemas desempeñan un papel clave a nivel mundial, ya que no solo permiten la producción alimentos, fibra y otros productos para los agricultores, sino que también generan beneficios ambientales para la sociedad, a través de la provisión de servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación, soporte y valor cultural (Pantera *et al.*, 2021). Además, la agroforestería contribuye a mejorar los medios de vida, aumentar la productividad y fortalecer la resiliencia del sector agrícola, lo que favorece la seguridad alimentaria y una mejor nutrición. Bajo este contexto los SAF se muestran como una alternativa rentable y adaptada al clima, especialmente útil para enfrentar los desafíos climáticos en zonas degradadas, permitiendo diversificar y facilitar la conservación del suelo, reducción de erosión causado por el viento (Fahad *et al*., 2022).

Los sistemas agroforestales juegan un rol importante a nivel de paisaje, al ser utilizados como mitigadores de impactos frente a la deforestación en la Amazonía. Estos sistemas contribuyen a la mejoran de las propiedades físicas del suelo, como la densidad aparente, contenido de humedad y porosidad, variables que se relacionados con grupos funcionales del suelo como termitas, coleópteros, diplópodo, Formicidae y Oligochaeta. En conjunto los SAF facilitan una mayor complejidad estructural y diversidad botánica, promoviendo la riqueza y diversidad de taxones edáficos, especialmente al mejorar procesos claves como agregación del suelo y la formación de poros (Duran-Bautista *et al*., 2023). Tanto profesionales como agricultores suelen consideran a los sistemas agroforestales como una estrategia efectiva para diversificar la producción, generar ingresos económicos adicionales y contribuir a la provisión de servicios ecosistémicos (Cardinael *et al*., 2020).

Según Ramos *et al*. (2025) los SAF promueven una relación positiva con las propiedades fisicoquímicas del suelo y la macrofauna edáfica. En estos sistemas se han registrado un mayor contenido de arcilla, humedad, cationes básicos, materia orgánica, así como índices elevados de diversidad biológica. Asimismo, en algunos casos no hay diferencias significativas en estos indicadores entre la temporada seca y lluviosa. Sin embargo, Castellanos *et al.* (2019) manifiestan que es importante tener en cuenta los tipos de cultivos que se asocian con los SAF, ya que la combinación de especies y la heterogeneidad de la cobertura vegetal puede generar impactos positivos como negativos sobre la macrofauna edáfica. También Silva *et al*. (2025) consideran que la agroforestería favorece el desarrollo, la diversidad y la abundancia de macrofauna en el suelo. Además, presentar una menor variación estacional en la comunidad de macroinvertebrados, lo que inicia una mayor capacidad de residencia frente a los cambios estacionales y las fluctuaciones climáticas.

Interacciones de los sistemas agroforestales

En asociaciones agroforestales el componente arbóreo influye en variables físicas, químicas, biológicas y ambientales (Dollinger y José, 2018). Para Fahad *et al*. (2021) los agroforestales presentan gran potencial para promover la biodiversidad combinado con producción agrícola, asimismo, a largo del tiempo la biodiversidad presente en los agroforestales reduce el riesgo económico debido que se logra controlar plagas y enfermedades (Figura 7).

Figura 7

Ejemplo de agroforestal que muestra una variedad biodiversidad

Nota. Tomado de Miccolis, A., Peneireiro, M., Marques, R., Vieira, L., Arco-Verde, F., Hoffmann, R. y Pereira, V. (2016). Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1069767 (p. 32)

Para José (2019) las interacciones dentro de los sistemas agroforestales son clave para el funcionamiento y sostenibilidad de estos sistemas, sobre todo respecto a la conservación del suelo y macrofauna edáfica. Estas interacciones aportan múltiples beneficios entre ellos: (1) mitigación del cambio climático mediante la captura de carbono, (2) conservación de la biodiversidad, (3) suelo más nutritivo y (4) mejorar de la calidad del aire y del agua. Además, los SAF ofrecen ventajas económicas debido a su versatilidad y capacidad de diversificar los ingresos. Por otro lado, Pantera *et al*. (2021) destacan otras interacciones clave asociados a la agroforestería: (1) su contribución a la mejora de la biodiversidad, (2) su compatible con la producción agricultura, (3) el papel fundamental de los árboles como elementos estratégicos la gestión ambiental, (4) su función como generadores de recursos económicos, nutrientes y agua, (5) su utilidad como herramienta para la prevención de incendios forestales, (6) su capacidad de contribuir a la mitigación del cambio climático mediante el secuestro de carbono y (7) su relevancia como instrumento de apoyo para políticas públicas y la planificación agroforestal. Por otro lado, para Farfán (2014), los sistemas de

agroforestales tienden a generar interacciones ecológicas positivas y negativas como las siguientes:

Aspectos climáticos. Consiste en el "mejoramiento de las condiciones microclimáticas para la reducción de los eventos extremos de la temperatura del aire y del suelo, reducción de la velocidad del viento, mantenimiento de la humedad relativa y aumento de la regulación hídrica en el suelo". Y como resultado los sistemas productivos como el café en asociación con árboles se ven protegidos ante problemas naturales como las heladas creando ambientes amigables.

Aspectos edáficos. Las interacciones edáficas positivas de los arreglos agroforestales es mejorar y mantener los nutrientes, debido que se juntan el reciclaje de nutrientes y la incorporación de biomasa mediante los residuos. Estos sistemas generan estabilidad manteniendo la temperatura impidiendo la volatización y pérdida de nitrógeno. Así mismo, poseen la capacidad de fijar e infiltrar el agua o en efecto incrementan estos procesos, el simple hecho de contar con estos sistemas se disminuye la erosión de los suelos. Otro aspecto importante es que mediante los sistemas agroforestales se reduce la incorporación de fertilizantes químicos que en aquel expuesto pleno sol. Particularmente las interacciones negativas están ligadas en que algunas especies desaparecen por la introducción accidental o deliberada de especies exóticas que pueden competir con las especies nativas o hibridizarse con éstas. Las interacciones negativas de la arborización están íntimamente asociadas con el uso de especies inadecuadas, que compiten significativamente con los cultivos agrícolas.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la investigación

El presente trabajo de investigación tuvo un diseño no experimental transversal, porque recolectó información de los fenómenos tal como se manifestaron en su estado natural para luego ser analizados. Según Arias y Covinos (2021) la investigación no experimental transversal o de campo recoge información en tiempos fijos con la intención de describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. El alcance de investigación fue descriptivo explicativo, debido que, indagó la situación, contextos y sucesos tal cual se manifestaron, así mismo, la tendencia de variables de investigación con respecto al suelo y macrofauna edáfica en arreglos agroforestales. Para Hernández *et al*. (2017) los alcances descriptivos explicativos tratan de explicar las manifestaciones y condiciones de las variables de estudio como se expusieron y las describe tal cual bajo la argumentación técnico científico (Hernández *et al*., 2017). El enfoque fue cuantitativo, donde los investigadores realizaron mediciones numéricas y fueron sometidos a análisis para responder preguntar y probar hipótesis. Según Sánchez *et al*. (2018) para los enfoques cuantitativos se utiliza la estadística para establecer con exactitud el comportamiento de las variables de medición que han sido recolectada por datos numéricos.

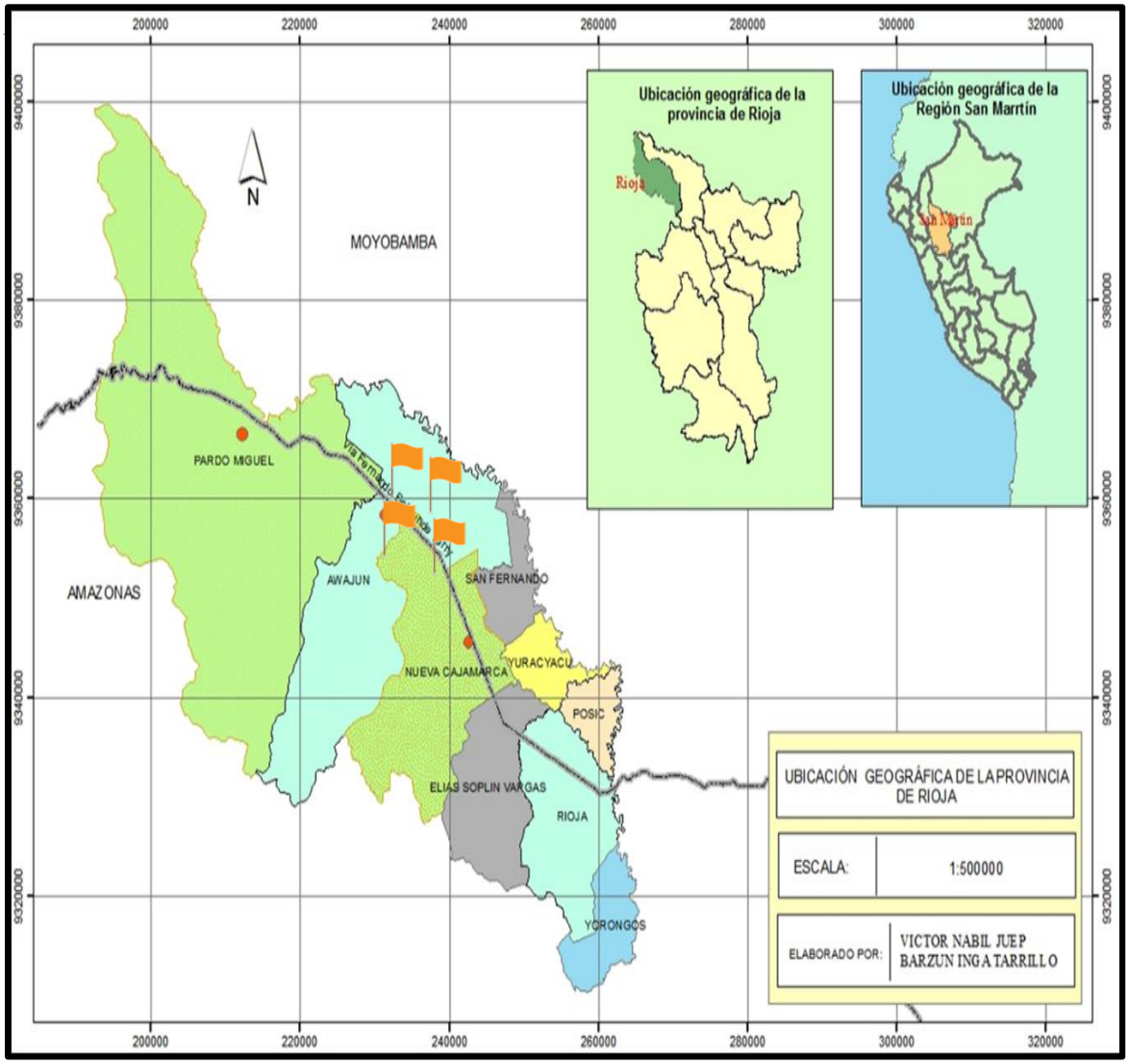
2.2. Lugar y fecha

La investigación se realizó en parcelas asociadas con cultivos agroforestales ubicados en los distritos de Nueva Cajamarca y Awajun jurisdicción de la provincia de Rioja. La provincia de Rioja está ubicada al noroeste de la región San Martín, en el flanco oriental del relieve andino, en el sector septentrional entre los paralelos 5°23’30” y 6°15’00” de latitud sur y los meridianos 77°05´00” y 77°45´55” longitud oeste. Limita al este con el departamento de Amazonas, al norte, oeste y sur con la provincia de Moyobamba (Gobierno Regional de San Martín, 2016). La provincia de Rioja cuenta con una superficie aproximada de 2 535,04 km^2, ocupa el 4,95 % del territorio departamental y se encuentra dividido políticamente en nueve distritos, dos centros poblados y ciento veintinueve caseríos (Figura 8).

Las muestras de macrofauna fueron conservadas en alcohol al 70 % y agua destilada, y llevadas al Laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Católica Sedes Sapientiae Filial Rioja: Nueva Cajamarca para su separación por su forma y respectiva cuantificación y registro. Mientras que, las muestras de suelo una vez recopilados en campo fueron enviados al laboratorio del Proyecto Especial Alto Mayo para su respectivo análisis. El presente trabajo de investigación tuvo una duración de seis meses, que inició en setiembre del año 2022 y culminó en marzo del año 2023 que posteriormente fue efectuado los análisis y redacción del informe.

Figura 8

Ubicación de la provincia de Rioja y puntos de ubicación de parcelas experimentales



El clima es moderadamente húmedo y semicálido se presenta en la mayoría de los distritos de la provincia; con altitudes que oscilan entre 650 a 1 000 m s.n.m., temperatura media de 22,9 ºC (Municipalidad Provincial de Rioja, 2021). En efecto en la presente investigación se consideraron las condiciones climáticas correspondientes a los meses en que se efectuó la recolección de taxones edáficos, de acuerdo con la estación propuesta. Los datos hidrometeorológicos fueron tomados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), utilizando la información de la estación automática más cercana ubicada en el Centro Poblado de Naranjillo (Latitud: 5°48'34.63" S; Longitud: 77°23'35.56" W) a una altitud de 882 m s.n.m. Las variables registradas fueron humedad relativa, temperatura y precipitación (mínimas, máximas y promedio por día); los valores registrados durante el período de estudio se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Datos hidrometeorológicos (temperatura, precipitación y humedad relativa) de parcelas SAF

Meses	**Temperatura (°C) /día**			**Precipitación (mm)/día**			**Humedad relativa (%) /día**		
	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
Agosto (año 2022)	19,4	24,2	22,4	0,00	0,60	0,06	67,33	90,58	76,98
Setiembre (año 2022)	18,8	24,6	22,8	0,00	1,66	0,19	67,29	97,38	77,01
Marzo (año 2024)	20,48	24,52	22,29	0,00	2,80	0,51	74,33	95,17	86,24

Nota. Min=Mínima, Max= Máxima, Prom. =Promedio

2.3. Población y muestra

Población. La población estuvo constituida por cuatro predios agroforestales (s), cada uno con una extensión de tres hectáreas, sumando un total de 12 hectáreas. Fue seleccionado un arreglo agroforestal representativo para cada distrito (Nueva Cajamarca y Awajún), considerando la homogeneidad de cada sistema agroforestal establecido. Los arreglos agroforestales estuvieron constituidos por especies nativas e introducidas, con edades que oscilaron entre 10 y 15 años, y estaban asociados a cultivos de café (Tabla 7).

Tabla 7

Arreglos agroforestales del estudio de suelo y macrofauna edáfica en la provincia de Rioja

Código de sitio	Descripción
PA1	SAF de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) + *Coffea arabica* L.
PA2	SAF de *Corymbia torelliana* (F. Muell.) KD. Hill y LAS Johnson + *Coffea arabica* L.
PA3	SAF de *Eucalyptus saligna* + *Coffea arabica* L.
PA4	SAF de *Inga edulis* Mart. + *Coffea arabica* L.

Muestra. La muestra estuvo constituida por cuatro hectáreas seleccionadas de las 12 ha totales de los sistemas agroforestales. En cada hectárea fue delimitado una parcela de 20 x 50 m (equivalente a 1000 m^2). Estas parcelas, a su vez, fueron subdivididas en subparcelas de 10 x 10 m (100 m^2), lo que permitió obtener un total de 20 subparcelas en un sistema evaluado, asegurando una cobertura representativa para el análisis.

2.4. Técnicas e instrumentos

Técnica. Las técnicas que emplearon fueron la observación directa e indirecta para la recolección y análisis de datos. La observación directa permitió identificar y seleccionar las parcelas adecuadas para el muestreo de organismos edáficos mediante el uso de monolitos, asegurando un enfoque sistemático en la evaluación. La observación indirecta complemento este proceso mediante la documentación fotográfica con una cámara de alta resolución, que facilito el registro visual de las condiciones de campo y las características de los monolitos. Adicionalmente, fue realizado la georeferenciación de cada subparcela seleccionada utilizando un GPS de alta precisión, esta herramienta permitió obtener las coordenadas de cada subparcela, facilitando la ubicación y el monitoreo en futuras evaluaciones, asegurando así la trazabilidad de los datos. Según Medina *et al.* (2023), la observación aplicada de forma sistemática y controlada permite registrar, analizar y valorar fenómenos en su estado natural.

Instrumento. El instrumento principal fue la ficha de registro de observación, diseñada para documentar de manera sistemática los organismos edáficos encontrados durante la apertura

de las capas del monolito. La ficha incluyó variables como la cantidad, tipo y ubicación de los organismos en cada capa, así como, en número de muestras por parcelas para el análisis físico y químico en laboratorio. Asimismo, fue utilizado una cama fotográfica para complementar la ficha de registro visuales detallados y un GPS para registrar las coordenadas de cada subparcela. Según Arias (2020) este documento es un método de registro y sistematización de lo que se va encontrando mediante la observación directa, el registro es ordenado.

2.5. Descripción de la investigación

2.5.1. Fase preliminar

Establecimiento de predios agroforestales (SAF)

Las parcelas estuvieron ubicadas en la jurisdicción de la provincia de Rioja en los distritos de Nueva Cajamarca y Awajun. Por lo que el acceso a cada predio se coordinó con los propietarios y fueron parcelas homogéneas (Tabla 8). Según Brown *et al*. (2024) es importante que las parcelas a muestrear sean accesibles, homogéneas y cumplan los criterios planificados por los investigadores.

Tabla 8

Lugar del establecimiento de los SAF experimentales

Tipo de SAF	Lugar
C. cateniformis + *C. arabica*	Distrito de Awajun CC. NN. Bajo Naranjillo
C. torelliana + *C. arabica*	Nva. Cajamarca CC. PP. Naranjillo- Sector San Toribio
E. saligna + *C. arabica*	Nva. Cajamarca CC. PP. San Juan
I. edulis + *C. arabica*	Distrito de Awajun CC. NN. Sector Río Soritor

2.5.2. Fase de campo

Georreferenciación, delimitación de parcela y subparcelas

Se colocó un punto céntrico por parcela de referencia utilizando una estaca y este fue georreferenciado en unidades UTM (*Universal Transverse Mercator*) (Tabla 9). Desde ahí se diseñó la parcela por sistema SAF con las medidas de 20 m de ancho por 50 m de largo y cada 10 m se trazaron subparcelas. Se delineó una línea en parte central de cada parcela.

Tabla 9

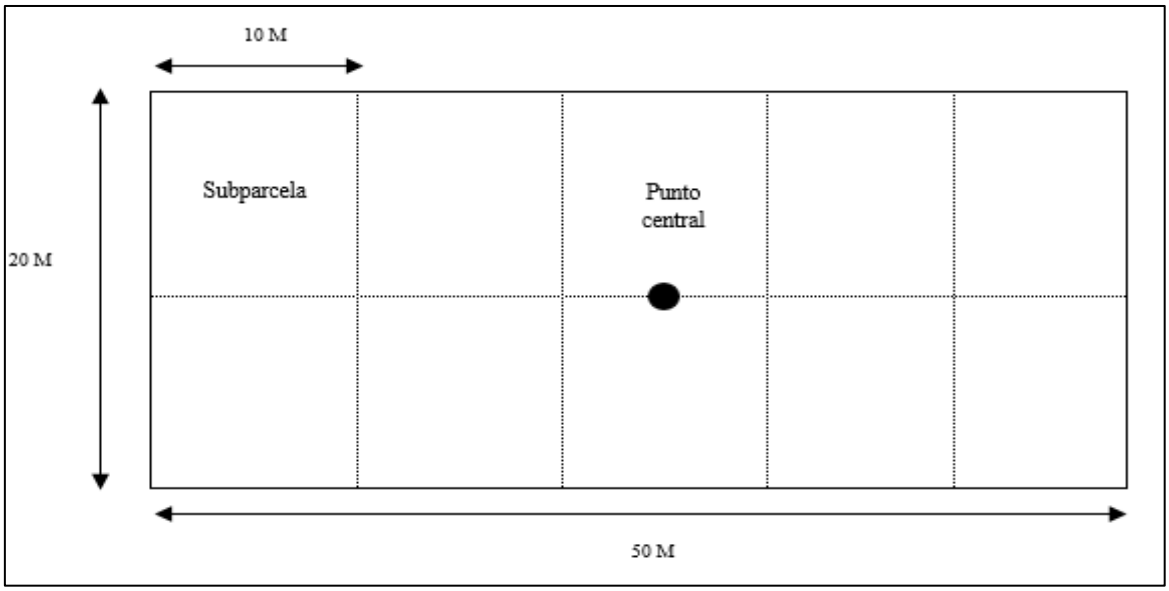
Ubicación de punto céntrico en UTM de las parcelas experimentales según el SAF

Tipo de SAF	Lugar	UTM (X-Y)		Altitud (m s.n.m)
C. cateniformis + *C. arabica*	Distrito de Awajun CC. NN. Bajo Naranjillo	224 936,00	9 355 995,90	865
C. torelliana + *C. arabica*	Distrito Nva. Cajamarca Sector San Toribio	230 547,20	9 353 868,90	953
E. saligna + *C. arabica*	Distrito Nva. Cajamarca CC. PP. San Juan	237 919,70	9 349 905,20	853
I. edulis + *C. arabica*	Distrito de Awajun CC. NN. Sector Rio Soritor	242 243,50	9 353 611,10	852

Para el desarrollo de esta actividad utilizaron estacas, cintas de rafia y cintas de color para la delimitación (Figura 9). Para Brown *et al*. (2024) la georeferenciación de las muestras de parcelas es un componente fundamental, debido que su importancia radica en la precisión de la ubicación del estudio, facilita la repetibilidad, optimiza el diseño planteado y vincula a datos espaciales facilitando la creación de mapas y otra información que enriquece el estudio.

Figura 9

Distribución de la parcela en campo



Nota. Adaptado de "Componente microbiológico (macro invertebrados) en el sistema de uso del suelo (*Theobroma cacao* L.) cacao y (*Guazuma crinita* L.) bolaina en el Fundo Rosales – Castillo Grande" (p.26) por Daza, F. (2019), https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/220d0a89-956c-48c8-8276-9aefb0c87802/content. El circulo negro ubicado en la parte céntrica de la parcela fue el referente del centro de la parcela.

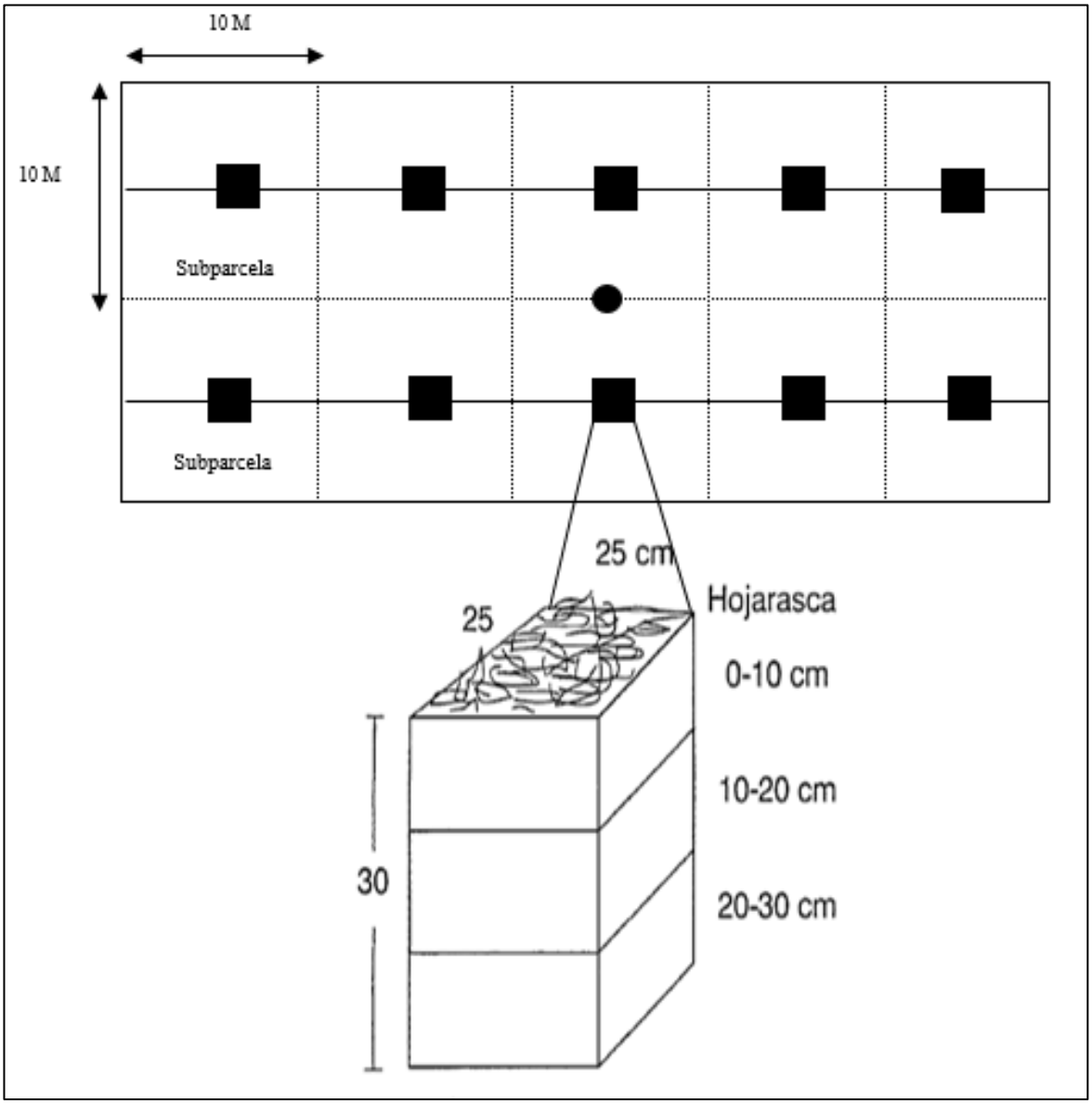
Muestreo de macrofauna

Para el muestreo de macrofauna se aplicó el método propuesto en el manual de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales de Anderson e Ingram (1993), ampliamente utilizado en estudios recientes (Castillo-Trejo *et al*., 2023). Este método consistió en extraer bloques de suelo de 25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidad. Para la extracción de macrofauna se utilizó un marco metálico y se introdujo por capas.

La extracción de macrofauna fue realizada iniciando con la capa de hojarasca luego de 0-10 cm, sucesivamente de 10 a 20 cm y finalmente de 20 a 30 cm con respecto a la profundidad del suelo. Cada parcela se subdividió en subparcelas de 10 x 10 m y en la parte media fue instalado un transepto con respecto a la pendiente del terreno. En cada subparcela en la parte céntrica con respecto al transepto se instaló el monolito **(**Figura 10). Esta actividad fue realizada en dos momentos: época de verano (agosto-setiembre del 2022) y en época de lluvia (marzo del año 2023).

Figura 10

Distribución de monolitos en campo para muestreo de macrofauna



Nota. Adaptado de "Soil macrofauna communities in Brazilian land-use systems" (p.13), por Brown, G., Demetrio, C., Gabriac, Q., Pasini, A., Korasaki, V., Oliveira, J., Dos Santos, F., Torres, E., Galerani, R., Gazziero, P., Benito, P., Nunes, H., Santos, A., Ferreira, T., Nadolny, S., Bartz, C., Maschio, W., Dudas, T., Zagatto, G., Niva, C., Clasen, A., Sautter, D., Froufe, M., Seoane, S., De Moraes, A., James, S., Alberton, O., Brandão, O., Saraiva, O., Garcia, A., Oliveira, E., César, M., Corrêa-Ferreira, S., Bruz, M., Silva, E., Cardoso, X., Lavelle, P., Velásquez, E., Cremonesi, M., Parron, M., Baggio, J., Neves, E., Hungria, M., Campos, A., Da Silva, L., Reissmann, B., Conrado, C., Bouillet, D., Gonçalves, M., Brandani, B., Viani, G., Paula, R., Laclau, P., Peña-Venegas, P., Peres, C., Decaëns, T., Pey, B., Eisenhauer, N., Cooper, M. y Mathieu, J. (2024), *Biodiversity Data Journal*, 12: e115000. https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e115000

Recolección de macrofauna e identificación

La recolección de los organismos fue realizada manualmente in situ, siguiendo el procedimiento descrito por Ceballos y Mischis (2017), donde los taxones los colocaron en

frascos de polietileno (PET) con solución de alcohol al 70 % para individuos con cuerpos duros y agua destilada para invertebrados con cuerpos suaves. Los individuos los colocaron en frascos según los perfiles de muestreo (Figura 11). Cada frasco fue rotulado para su identificación (identificación de la parcela y número de sección de transepto).

Figura 11

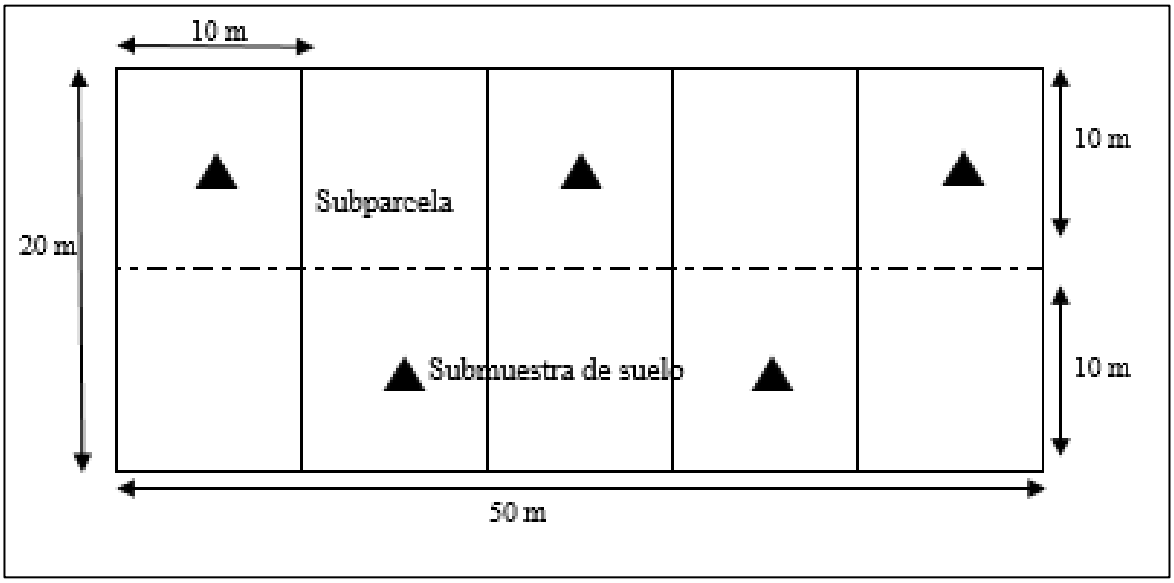
Recolección de taxones en SAF café con guaba por los tesistas

Muestreo de suelos

Para la recolección de muestras se siguió los procedimientos descritos por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2017). De cada subparcela experimental fue recolectó cinco muestras que se homogeneizaron y de esta se extrajeron cuatro muestras de un kilogramo. Para extraer la muestra de suelo se tuvo en cuenta que sea en época seca y húmeda, el recorrido a efectuado para la toma de muestras fue efectuando un recorrido en Zigzag, las medidas del hoyo fueron de 30 cm de ancho por 30 cm de largo por 40 cm de profundidad (Figura 12 y Figura 13). Las muestras fueron rotuladas para su fácil identificación y evitar confusiones en laboratorio.

Figura 12

Distribución de la parcela en campo para el muestreo de suelo



Nota. Adaptado de "Metodología de muestreo de suelo y ensayos de campo: protocolos básicos comunes" (p.21-23), por Santos, J., Wilson, G., Ostinelli, M. (2017). https://mardelplata-conicet.gob.ar/wp-content/uploads/2018/02/inta_metod_muestreo_suelo_y_ensayo_a_campo.pdf

Figura 13

Toma de muestra patrón de suelo por parte de los investigadores

2.5.3. Fase de laboratorio

Análisis de muestras de suelo

Los procedimientos para el análisis de suelos fueron realizados en el Laboratorio de Suelos del Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM) en la ciudad de Nueva Cajamarca. Los análisis priorizados fueron: densidad aparente, textura, pH, materia orgánica, carbón orgánico, macronutrientes (N, P, K), capacidad de intercambio catiónico y elementos cambiables (Ca, Na y Mg) (Apéndice 7 y 8). Los análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo se realizaron mediante técnicas de laboratorio estandarizado, siguiendo los procedimientos establecidos por la normativa vigente, en concordancia con los lineamientos del Decreto Supremo N° 013-2010 AG.

Densidad aparente. Para el cual se recolectó cuatro muestras de suelo por parcela agroforestal. El método que aplicó fue el de cilindro biselado. Posteriormente fue secado en estufa a 105 º C hasta obtener un peso constante. Con los datos de peso de suelo seco y el volumen de tierra del cilindro se calculó la densidad aparente aplicando la ecuación matemática descrito por Yalli (2017). Además, la densidad aparente fue expresada en g/cm^3.

$$\mathrm{DA} = \frac{\text{Peso seco del suelo}}{\text{Volumen del cilindro}} = \mathrm{g/cm^3}$$

Textura del suelo. De cada parcela de arreglo agroforestal fue recolectada cuatro muestras que fueron enviados al laboratorio de suelos. Para determinar la textura el procedimiento aplicado fue por el método de hidrómetro. Para la textura fue valorado mediante el porcentaje (%) de arena, limo y arcilla. Según Bazán (2017), este método consiste en diluir 40 g de suelo pasados por un tamiz de 2 mm de diámetro y es diluido en un vaso precipitado de 600 ml llenado con agua destilada hasta las 2/3 partes y se incorpora 60 ml de dispersante químico que es diluido con agitador por cinco minutos luego esta mezcla es trasferida a una probeta de 1 000 ml, el volumen es completado con agua destilada y agitado hasta homogeneizar, luego se introduce el hidrómetro y se empieza a realizar las lecturas.

Humedad del suelo. Fue determinado mediante la metodología gravimétrica descrito por Sales-Dávila *et al*. (2024), el que consistió en valorar la pérdida de peso antes y después

desecado. Para el cual, se utilizó 50 g de cada muestra, los cuales fueron colocados en capsulas de aluminio y pesado en una balanza gramera, registrado el peso inicial. Seguidamente las capsulas con suelo fueron introducidas en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Al termino de este periodo las muestras se retiraron y dejaron enfriar y se pesaron nuevamente. Seguidamente, las capsula con el suelo fueron introducidos a la estufa por un periodo de una hora y después se retiró y pesó nuevamente y repitió el procedimiento hasta llegar a peso contante. Con los datos obtenidos, se calculó el porcentaje de humedad gravimétrica aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso de suelo humedo} - \text{peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} \text{ x } 100$$

Porosidad total. Fue determinado empleando los datos de la densidad aparente y densidad real (método del picnómetro). La porosidad total se expresó en porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros bien sea de aire o agua. El cálculo se efectuó con la siguiente ecuación utilizada por Espinoza *et al*. (2018):

$$\text{Pt (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Da}}{\text{Dr}}\right) \text{ x } 100$$

Variables químicas. Se consideró a la materia orgánica, carbón orgánico, potencial de hidrogeno (pH), nitrógeno, fósforo, potasio, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, magnesio, calcio, sodio, aluminio soluble (Tabla 10). Los procedimientos propuestos estuvieron basados a los descritos por Bazán (2017).

Tabla 10

Variables químicas analizadas

Propiedades	Unidad	Método
Potencial de hidrogeno (pH)	--	Método de potenciómetro en suspensión suelo: agua
Conductividad eléctrica.	dS/m	Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1
Capacidad de intercambio catiónico	cmol (+).kg^{-1}	Suma de bases cambiables
Materia orgánica	%	Oxidación húmeda Walkley y black
Nitrógeno total disponible.	%	Método del Kjeldahl
Carbón orgánico total	%	Por calcinación 400° C x 3 hora
Fósforo total disponible.	ppm	Método de Olsen modificado (Bicarbonato de sodio 0.5 N a pH 8.5)
Potasio total disponible.	ppm	El Método del acetato de amonio 1 N a pH 7.0 y lectura por fotometría
Calcio	mEq /100 g de suelo	Fotometría de llama
Magnesio	mEq /100 g de suelo	Fotometría de llama
Sodio	mEq /100 g de suelo	Fotometría de llama

Nota. Adaptado de "Reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos" (Anexo A), por Ministerio de Agricultura, 2010. Decreto Supremo N° 013-2010-AG. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2010/ds13-2010-ag.pdf

Cuantificación de macrofauna edáfica. En esta etapa fueron seleccionados muestras de taxones de acuerdo a su morfología, para ser analizados e identificados por un especialista de la Asociación Científica para la Conservación de Biodiversidad-Lima (Figura 14) a esta institución se enviaron las muestras en frascos de alcohol al 70 % y agua destilada, cuyo reporte fue emitido mediante un informe de determinación de órdenes, familia y en algunos casos hasta especie (Apéndice 1, 2, 3, 4, 5 y 6).

Figura 14

Separación y cuantificación de taxones en laboratorio para enviar a especialista

En esta etapa, se describieron los procedimientos a seguir para la cuantificación de datos de macrofauna y su respectivo análisis. Las variables tomadas en cuenta para el estudio fueron las que se describen a continuación:

Composición edáfica. Fue cuantificado la cantidad de familias que desempeñan una función crucial en la estructura y funcionamiento del suelo. Según Ramírez *et al.* (2014) la composición edáfica del suelo está constituido por el número de familias presentes en cada sistema que se analice. La cuantificación fue el número de familias presente en cada SAF.

Abundancia relativa. Estuvo integrado por el total de detritívoros, omnívoros, herbívoros, descomponedores y otros invertebrados edáficos no identificados. Se consideró el número total promedio de individuos por tipo de organismo de macrofauna presente por cada arreglo agroforestal. La abundancia fue expresada por el porcentaje de abundancia (%) que se determinó por la división del número de individuos por grupo entre el total de individuos recolectados (%) (Mancilla *et al*., 2017).

Densidad total macrofauna edáfica. Se contabilizó todos los macroinvertebrados edáficos de cada monolito de SAF evaluados**.** Para la comparación estadística fue considerado el número de individuos identificado en el área de 0,25 x 0,25 m el cual se multiplicó por 16, debido que el área del monolito representa 1/16 partes de área que es igual a 0,0625 m^2 (Fernández *et al*., 2015)**.** La densidad de macrofauna por arreglo agroforestal fue expresada en individuos por metro cuadrado (ind./m^2).

2.5.4. Fase de gabinete

Diversidad de macrofauna edáfica

Se calculó en base de la cantidad de especies que habitan en los arreglos agroforestales. Para el cual emplearon las ecuaciones matemáticas de índice de Shannon-Wiener y se tuvo en cuenta los siguientes rangos (0 a 1,35= diversidad baja, 1,36-3,5= diversidad media y mayor a 3 o igual= diversidad alta) y de Simpson (0-0,3= diversidad baja., 0,34 a 0,66 = diversidad media y > 0, 67 = diversidad alta) descritos por Delgado *et al*. (2011) y Mancilla *et al* (2017).

$$\text{Indice Simpson} = \frac{1 - \Sigma(\text{ni} - 1)}{\text{N} - 1}$$

Donde:
ni= número de individuos de la i-ésima especie
N= Número de individuos

$$\text{Indice Shannon} = \Sigma \text{pi}.\ln.\text{pi}$$

Donde:
Pi= proporción de individuos encontrados en la especie i-enésima
ln= logaritmo natural

Clasificación de rangos de conservación

A fin de contrastar el estado situacional de conservación de macrofauna **y** suelo los investigadores utilizaron los índices sugeridos por Cabrera (2014), para el cual aplicaron la ecuación matemática de diferentes tipos de organismos de macrofauna que se detallan a continuación:

$$\text{Indice 1} = \frac{\text{Número de individuos de organismos detritivoros}}{\text{Número de individuos no detritiburos}}$$

De donde:

> 1 = Alto nivel de conservación de suelo y macrofauna

0 - 1 = Bajo nivel de conservación de suelo y macrofauna

Asimismo, para determinar los resultados de análisis fisicoquímico de suelos en cada arreglo agroforestal, fue comparado con los rangos descritos por Alegre *et al.* (2019), el que permitió definir entre que niveles (Alto, Medio o Bajo) están los suelos de los SAF evaluados. (Apéndice 9). Además, para conocer la asociatividad entre la macrofauna edáfica y las

propiedades fisicoquímicas de los SAF evaluados fue utilizado el análisis de componentes principales (ACP).

2.6. Identificación de variables y su mensuración

En la Tabla 11 están descritas las variables y su respectiva mensuración.

Tabla 11

Variables y su mensuración

Variables de estudio	Unidad de medida	Metodología
Composición taxonómica	Número de taxones (familia, género, especie)	Muestreo mediante monolito Identificación en laboratorio claves especializadas
Abundancia	%	Conteo directo extraídos por monolito
Diversidad	Valores adimensionales (H, D)	Cálculo de índices ecológicos (Shannon-Wiener, Simpson)
Densidad	Ind./m^2	Conteo directo extraídos por monolito
Textura del suelo	% de arena, limo y arcilla	Método de Hidrómetro de Bouyoucos
Humedad	%	Mediante la cuantificación de peso inicial y peso final y uso de balanza gramera
Porosidad total	%	Mediante la determinación de la densidad aparentes y la densidad real y elevado a porcentaje
pH	Escala de pH	Medición con potenciómetro en solución de suelo-agua (1:2)
Conductividad eléctrica	dS/m	Extracto acuoso en relación suelo-agua 1:1
Materia orgánica	%	Oxidación húmeda Walkley y black
Carbón orgánico	%	Por calcinación 400 °C x 3 horas
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	mEq/100 g de suelo	Suma de bases cambiables
Densidad aparente del suelo	g/cm^3	Determinación mediante el uso de cilindro de densidad
Macronutrientes del suelo	% ppm ppm	Nitrógeno: Método de Kjeldahl Fósforo: Olsen Modificado Potasio: Por llama fotométrica
Elementos cambiables	mEq /100 g de suelo	Ca, Mg: Fotometría de llama Na: Fotometría de llama

2.7. Análisis estadístico de los datos

Los datos fueron organizados utilizando el programa Excel 2013, asimismo, permitió analizar los datos no paramétricos sobre la composición, abundancia, diversidad y propiedades de suelo. A fin de contratar si hubo diferencias entre la abundancia, densidad edáfica y propiedades fisicoquímicas de los SAF se empleó el análisis de varianza (ANOVA) y el estadístico de Shapiro Wilk para contrastar la prueba de normalidad homogeneidad. También se realizó la prueba de Tukey al 0,05 % para realizar comparaciones múltiples. El análisis de diversidad fue utilizado los índices de Shannon-Wiener (H) y el índice de Simpson. También se efectuó análisis de correlaciones (R-Pearson) que permitió relacionar las variables de estudio con la salud del suelo y entender su dinámica ecológica mediante la magnitud de asociaciones. Los análisis estadísticos paramétricos fueron examinados utilizando el programa estadístico Infostat ver. 2017.

2.8. Materiales y equipos

En el presente trabajo de investigación sobre evaluación de conservación de suelo y macrofauna edáfica en arreglos agroforestales instalados en la provincia de Rioja, departamento de San Martín, los investigadores emplearon los siguientes materiales y quipos que se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12

Detalles de los materiales y equipo empleados en el presente trabajo de investigación

Equipos	**Materiales**
Balanza tipo romana	Bolsas de PET de 10 x 15
Cinta métrica x 50 m	Cinta rafia x 200 m
Equipos	Estacas de madera
GPS Garmin 78 S map	Fichas de registro/lapiceros
	Machete
	Materiales
	Plástico azul de 4 micras de 3x3 m
	Tablero

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Potencial biológico en composición, densidad, abundancia y diversidad de macrofauna en cuatro arreglos agroforestales instalados en la provincia de Rioja

3.1.1. Composición taxonómica de macrofauna edáfica

En la Tabla 13, residen los resultados con respecto a la composición taxonómica de macrofauna edáfica identificados en los sitios estudiados en época de verano, totalizando 13 órdenes y 45 familias. De los cuales, el sistema agroforestal de *C. cateniformis* + *C. arabica* (SAF1) ostentó 10 órdenes con 26 familias, en el sistema agroforestal *C. torelliana* + *C. arabica* (SAF2) tuvo 10 órdenes con 22 familias, el sistema agroforestal *E. saligna* + *C arabica* (SAF3) presentó 11 órdenes con 17 familias y el sistema agroforestal *I. edulis* + *C. arabica* (SAF4) ostentó ocho órdenes y 22 familias.

Para la época de invierno en los mismos sistemas agroforestales encontraron 13 órdenes con 30 familias de taxones presentes en los cuatro sistemas agroforestales. El SAF1 presentó ocho órdenes y 11 familias, el SAF2 fueron identificados seis órdenes y ocho familias de especies, el SAF3 ostentó 11 órdenes y 22 familias, mientras que el SAF4 exhibió siete órdenes y 16 familias (Tabla 13). Asimismo, en la Tabla 13 y 14 están las especies determinadas existentes en los cuatro sistemas agroforestales estudiados tanto en verano como en invierno (agosto y setiembre del 2022/marzo del 2023), en efecto, durante el reconocimiento taxonómico no pudieron ser identificadas varios taxones por lo que tienen la abreviatura “sp”. El proceso de validación de las especies taxonómicas puede encontrarse en el Apéndice 1, 2, 3 y 4.

Tabla 13

Composición de macrofauna edáfica identificada en sistema agroforestal en época de verano (agosto y setiembre del 2022)

Nombre común	Orden	Familia	Especie determinada	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4
Chinche especie 1	Hemíptera	Reduviidae	*Rasahus arcuiger* (Stål, 1862)		x	x	x
Mosquito	Hemíptera	Diptera	Asilidae sp.		x		
Larva de chicharra	Hemíptera	Cicadidae	*Cicadidae* sp.				x
Chinche especie 2	Hemíptera	Cimicidae	*Cimicidae* sp.				x
Chinche especie 3	Hemíptera	Reduviidae	*Reduviidae* sp.		x		
Cucaracha especie 1	Hemíptera	Ectobiidae	*Epilampra* sp.			x	x
Cucaracha especie 2	Blattodea	Blattidae	*Pycnoscelus surinamensis* (Linnaeus, 1758)	x	x	x	x
Hormiga especie 1	Hymenoptera	Formicidae 1	*Atta colombica* Guérin-Méneville, 1844	x			
Hormiga especie 2	Hymenoptera	Formicidae 2	*Camponotus cuneidorsus* Emery, 1920	x	x		x
Hormiga especie 3	Hymenoptera	Formicidae 3	*Pachycondyla crassinoda* (Latreille, 1802)		x	x	x
Hormiga especie 4	Hymenoptera	Formicidae 4	*Ectatomma tuberculatum* (Olivier, 1792)		x	x	
Hormiga especie 5	Hymenoptera	Formicidae 4	*Cephalotes atratus* (Linnaeus, 1758)		x	x	x
Hormiga especie 6	Hymenoptera	Formicidae 5	*Odontomachus haematodus* (Linnaeus, 1758)		x		x
Grillo especie 1	Orthoptera	Tettigoniidae	*Hyperomerus sp.*	x		x	
Grillo especie 2	Orthoptera	Acrididae 1	sp.1	x		x	x
Grillo especie 3	Orthoptera	Gryllidae	sp.	x		x	
Saltamontes	Orthoptera	Acrididae 2	sp.2	x			
Grillo especie 4	Orthoptera	Gryllotalpidae	*Gryllotalpa* sp.	x			x
Manti	Mantodea	Mantidae	*Galapagia* sp.	x			
Oruga	Coleoptera	Chrysomelidae	sp.	x			
Escarabajo especie 1	Coleoptera	Passalidae	*Passalus* sp.			x	
Tijereta especie 1	Coleoptera	Staphilinidae	*Plochionocerus* sp.				x
Escarabajo especie 2	Coleoptera	Elateridae	sp.	x	x		
Escarabajo especie 3	Coleoptera	Meloidae	*Pseudomeloe* sp.		x		
Tijereta especie 2	Dermaptera	Anisolabididae	sp.		x		
Larva de escarabajo	Coleoptera	Scarabaeidae 1	sp.	x		x	x

(Continuación) Tabla 13

Escarabajo especie 4	Coleoptera	Scarabaeidae 2	*Chrysina beyeri* (Skinner, 1905)				x
Escarabajo especie 5	Coleoptera	Scarabaeidae 3	*Archophileurus* sp.	x	x		
Escarabajo especie 6	Coleoptera	Scarabaeidae 4	*Canthon luteicollis* Erichson, 1847	x			
Escarabajo especie 7	Coleoptera	Scarabaeidae 5	*Paraomala* sp.	x			
Escarabajo especie 8	Coleoptera	Chrysomelidae	*Diabrotica septenliturata* Erichson	x	x		
Escarabajo especie 9	Coleoptera	Carabidae 1	*Agra* sp.				x
Escarabajo especie 10	Coleoptera	Carabidae 2	*Harpalus* sp.		x	x	x
Larva de escarabajo	Coleoptera	Tenebrionidae	sp.	x	x	x	x
Tijereta especie 1	Dermaptera	Forficulidae	*Doru* sp.	x			
Tijereta especie 2	Dermaptera	Anisolabididae	*Euborellia* sp.	x		x	
Araña especie 1	Araneae	Lycosidae 1	*Lycosa* sp.1	x	x	x	x
Araña especie 2	Araneae	Lycosidae 2	*Lycosa* sp.2	x	x		x
Araña especie 3	Araneae	Araneidae	*Argiope argentata* (Fabricius, 1775)	x		x	x
Cochinillas	Isopoda	Termitidae	sp.	x	x	x	x
Ciempiés	Chilopoda	Scolopendridae	sp.	x	x		
Milpiés	Diplopoda	Trigoniulidae	*Leptogoniulus sorornus* (Butler)		x		
Babosa	Gasterópodos	Gastropoda	sp.	x			
Termitas	Isópteros	Termitidae	sp.	x			
Lombriz	Oligochaeta	Lumbricidae	*Aporrectodea* sp.		x		x
		Total		26	22	17	22

Nota. La tabla muestra las distintas especies de macrofauna edáfica presente en los cuatro sistemas agroforestales (SAF) presentes en la época de verano. En la parte lateral derecha se encuentran los distintos sistemas agroforestales evaluados de los cuales la coloración gris indica la presencia de los taxones en los cuatro sistemas agroforestales evaluados.

.

Tabla 14

Especies de macrofauna edáfica identificado en los sistemas agroforestales en época de invierno (febrero 2023)

Nombre común	Orden	Familia	Especie determinada	SAF1	SAF2	SAF3	SAF4
Chinche especie 1	Hemiptera	Reduviidae	*Rasahus arcuiger* (Stål, 1862)	x		x	x
Larva de chicharra	Hemiptera	Cicaidae	sp.				x
Chinche especie 2	Hemiptera	Cimiciade	sp.				x
Cucaracha especie 1	Hemiptera	Ectobiidae	*Epilampra* sp.			x	x
Cucaracha especie 2	Blattodea	Blattidae	*Pycnoscelus surinamensis* (Linnaeus, 1758)	x		x	
Hormiga especie 3	Hymenoptera	Formicidae 1	*Pachycondyla crassinoda* (Latreille, 1802)			x	x
Hormiga especie 4	Hymenoptera	Formicidae 2	*Ectatomma tuberculatum* (Olivier, 1792)		x	x	x
Hormiga especie 5	Hymenoptera	Formicidae 3	*Cephalotes atratus* (Linnaeus, 1758)			x	
Hormiga especie 6	Hymenoptera	Formicidae 4	*Odontomachus haematodus* (Linnaeus, 1758)	x			x
Grillo especie 1	Orthoptera	Tettigoniidae	*Hyperomerus* sp.	x		x	
Grillo especie 2	Orthoptera	Acrididae	sp.			x	x
Grillo especie 3	Orthoptera	Gryllidae	sp.	x		x	x
Escarabajo especie 1	Coleoptera	Passalidae	*Passalus* sp.			x	
Tijereta especie 2	Dermaptera	Anisolabididae	sp	x			
Larva de escarabajo	Coleoptera	Scarabaeidae 1	sp.	x	x	x	x
Escarabajo especie 5	Coleoptera	Scarabaeidae 2	*Archophileurus* sp.			x	
Escarabajo especie 6	Coleoptera	Scarabaeidae 3	*Canthon luteicollis* Erichson, 1847			x	
Escarabajo especie 9	Coleoptera	Carabidae 1	*Agra* sp.				x
Escarabajo especie 10	Coleoptera	Carabidae 2	*Harpalus* sp.		x	x	

(Continuación) Tabla 14

Larva de escarabajo	Coleoptera	Tenebrionidae	sp.		x	x	
Tijereta especie 2	Dermaptera	Anisolabididae	*Euborellia* sp.			x	
Araña especie 1	Araneae	Lycosidae 1	*Lycosa* sp.1	x		x	x
Araña especie 2	Araneae	Lycosidae 2	*Lycosa* sp.2	x			x
Araña especie 3	Araneae	Araneidae	*Argiope argentata* (Fabricius, 1775)	x	x	x	x
Cochinillas	Isopoda	Termitidae	sp.	x	x	x	x
Ciempiés	Chilopoda	Scolopendridae	sp.		x		
Babosa	Gasterópodos	Gastropoda	sp.			x	
Termitas	Isópteros	Termitidae	sp.			x	
Lombriz	Oligochaeta	Lumbricidae	*Aporrectodea* sp.		x	x	x
		Total		11	8	22	16

Nota. La tabla muestra las distintas especies de macrofauna edáfica presente en los cuatro sistemas agroforestales (SAF) presentes en la época de invierno. En la parte lateral derecha se encuentran los distintos sistemas agroforestales evaluados de los cuales la coloración gris indica la presencia de los taxones en los cuatro sistemas agroforestales evaluados.

3.1.2. Abundancia de taxones de macrofauna edáfica en sistemas agroforestales

En el SAF1 a base de *C. cateniformis* + *C. arabica*, la macrofauna estuvo integrado por 10 órdenes taxonómicos, de los cuales el orden Hymenoptera posee un 20,7 %, seguido por los órdenes Isópteros, Coleoptera y Orthoptera con el 19,0 y 13,8 %, mientras que, la menor presencia de ordenes correspondió a Blattodea, Mantodea con 1,7 % en ambos órdenes. El SAF2 a base *C. torelliana* + *C. arabica* presentó 10 órdenes taxonómicos de los cuales el predominante fue el orden Coleoptera con el 45,0 %, seguido por el orden Oligochaeta con 28,0 %; en tanto, los órdenes Dermaptera, Chilopoda, Diplopoda y Blattodea ostentaron el 1,0 %, los órdenes Hemiptera y Araneae el 4,0 % cada uno y los órdenes taxonómicos de Isopoda y Hymenoptera con el 6,0 y 9,0 % (Tabla 15). Mientras que, el SAF3 a base de *E. saligna* + *C arabica* fueron cuantificados 11 órdenes de los cuales el orden Oligochaeta alcanzó el 26,7 %, seguido por los órdenes Isópteros y Coleoptera con el 16,0 y 13,3 % (Tabla 15). Por su parte, el SAF4 formado por sistema agroforestal a base de *I. edulis* + *C. arabica* fueron identificados ocho órdenes, siendo predominante el orden Oligochaeta con el 40,0 %, seguido por los órdenes Coleoptera, Araneae y Hymenoptera con 14,7; 13, 7; 13,7 % por cada orden. Mientras que, los órdenes Isópoda, Hemiptera, Orthoptera y Blattodea ostentaron los porcentajes más bajos con 6,3; 5,3; 4,2; y 2,1 %.

En la Tabla 16, figuran los resultados cuantificados de los órdenes taxonómicos en época de invierno. De los cuales, en el SAF1 fueron ponderados siete órdenes, de los cuales el orden Araneae alcanzó el 40,0 % seguido por Coleoptera y Orthoptera con el 20,0 y 15,0 % cada uno. En el SAF2 los órdenes identificados fueron seis, siendo el orden Oligochaeta con el 60,0 % de taxones, por su parte, los órdenes Hymenoptera, Chilopoda Coleoptera, Araneae e Isopoda están muy por debajo de este porcentaje. En cuanto a el SAF3 fueron identificados 11 órdenes, siendo el orden Oligochaeta con 27,0 % seguido por el orden Isópteros con 16,2 % y el resto de ordenes estuvieron por debajo del orden los Isopteros. Con respecto al SAF4 fueron identificados ocho órdenes, de los cuales el orden Oligochaeta ostentó el 49,3 %, seguido por el orden Coleoptera con el 14,3 % y el resto de ordenes fluctuaron por debajo del orden Coleoptera.

Tabla 15

Abundancia total y relativa de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales en época de verano

Época de verano											
SAF1			**SAF2**			**SAF3**			**SAF4**		
Orden	N° Taxones	Abundancia relativa	Orden	N° Taxones	Abundancia relativa	Orden	N° Taxones	Abundancia relativa	Orden	N° Taxones	Abundancia relativa
Hymenoptera	192	20,7	Hemiptera	64	4,0	Orthoptera	48	4,0	Orthoptera	64	4,2
Blattodea	16	1,7	Hymenoptera	144	9,0	Hemiptera	96	8,0	Hemiptera	80	5,3
Orthoptera	128	13,8	Blattodea	16	1,0	Hymenoptera	112	9,3	Hymenoptera	208	13,7
Mantodea	16	1,7	Coleoptera	720	45,0	Blattodea	64	5,3	Blattodea	32	2,1
Coleoptera	128	1,8	Dermaptera	16	1,0	Coleoptera	160	13,3	Coleoptera	224	14,7
Dermaptera	48	5,2	Araneae	64	4,0	Dermaptera	32	2,7	Araneae	208	13,7
Araneae	112	12,1	Isopoda	96	6,0	Araneae	48	4,0	Isopoda	96	6,3
Isopoda	64	6,9	Chilopoda	16	1,0	Isopoda	112	9,3	Oligochaeta	608	40,0
Chilopoda	48	5,2	Diplopoda	16	1,0	Gasterópodos	16	1,3			
Isópteros	176	19,0	Oligochaeta	448	28,0	Isópteros	192	16,0			
						Oligochaeta	320	26,7			
10	928	100,0	10	1 600	100.0	11	1 200	100,0	8	1 520	100,0

Tabla 16

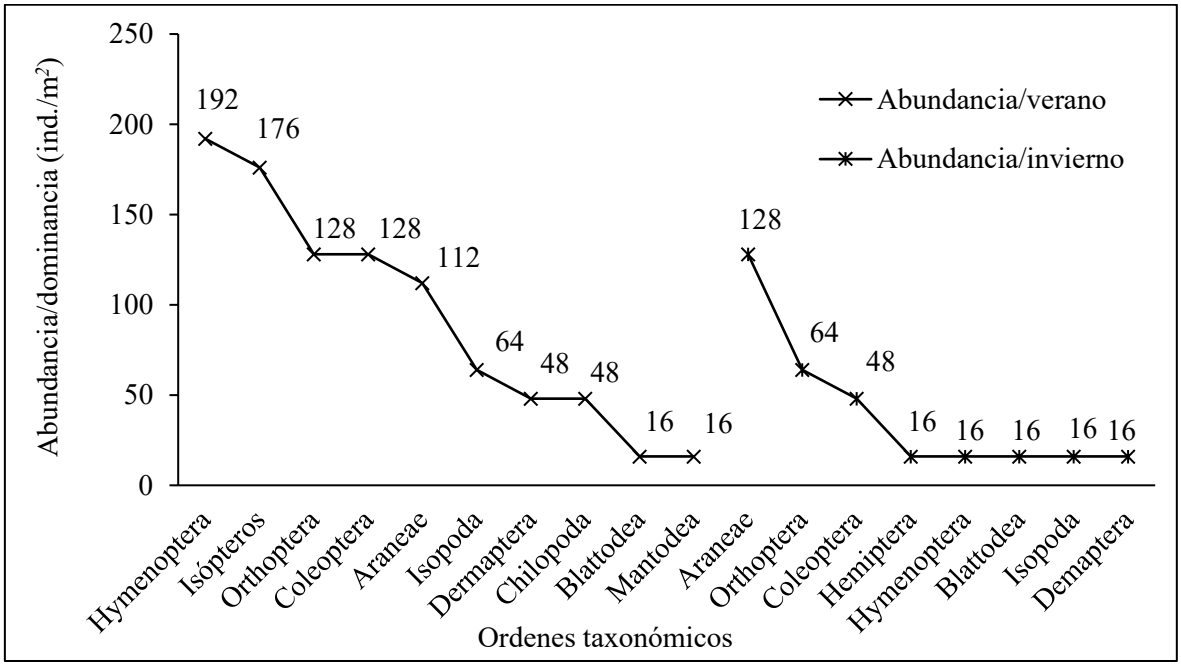
Abundancia total y relativa de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales en época de invierno

Época de invierno											
SAF1			**SAF2**			**SAF3**			**SAF4**		
Orden	N° Taxones	Abundancia relativa (%)	Orden	N° Taxones	Abundancia relativa (%)	Orden	N° Taxones	Abundancia relativa (%)	Orden	N° Taxones	Abundancia relativa (%)
Hemiptera	16	5,0	Hymenoptera	16	1,5	Hymenoptera	112	9,5	Hymenoptera	64	5,8
Hymenoptera	16	5,0	Oligochaeta	720	69,2	Oligochaeta	320	27,0	Oligochaeta	544	49,4
Blattodea	16	5,0	Chilopoda	128	12,3	Coleoptera	160	13,5	Coleoptera	64	5,8
Orthoptera	64	15,0	Coleoptera	144	13,8	Araneae	48	4,1	Araneae	144	13,0
Coleoptera	48	20,0	Araneae	16	1,5	Isopoda	112	9,5	Isopoda	16	1,4
Araneae	128	40,0	Isopoda	16	1,5	Hemiptera	96	8,1	Hemiptera	64	5,8
Isopoda	16	5,0				Blattodea	64	5,4	Orthoptera	208	18,8
Dermaptera	16	5,0				Orthoptera	48	4,1			
						Dermaptera	16	1,4			
						Gasterópodos	16	1,4			
						Isópteros	192	16.2			
8	320'	100,0	6	1040	100,0	11	1 184	100,0	7	1 104	100,0

En la Figura 15, están presentes los órdenes taxonómicos de macrofauna edáfica identificados en el SAF1 a base *C. cateniformis + C. arabica*, que al ser comparados por época hay diferencias de presencia de taxones por época. La época de verano fue identificados más individuos 928 ind./m^2, asimismo, hay una dominancia de individuos integrado por el orden Hymenoptera perteneciente a las distintas especies de hormigas con 192 ind./m^2, seguido por orden Isóptero de la especie de termita con 176 ind./m^2 y el resto de los taxones por debajo de estos; gran parte de estos taxones fueron identificados a nivel de hojarasca. Mientras que, en la época de invierno el orden más abundante fueron los taxones del orden Araneae correspondiente a distintas especies de arañas con 128 ind./m^2, seguido por el orden Orthoptera de la familia Acrididae correspondiente a especies de grillos y a nivel de suelo fueron identificados larvas del orden Coleoptera de la familia Scarabaeidae perteneciente a especie de escarabajos.

Figura 15

Abundancia de taxones por órdenes en SAF1 de C. cateniformis + C. arabica



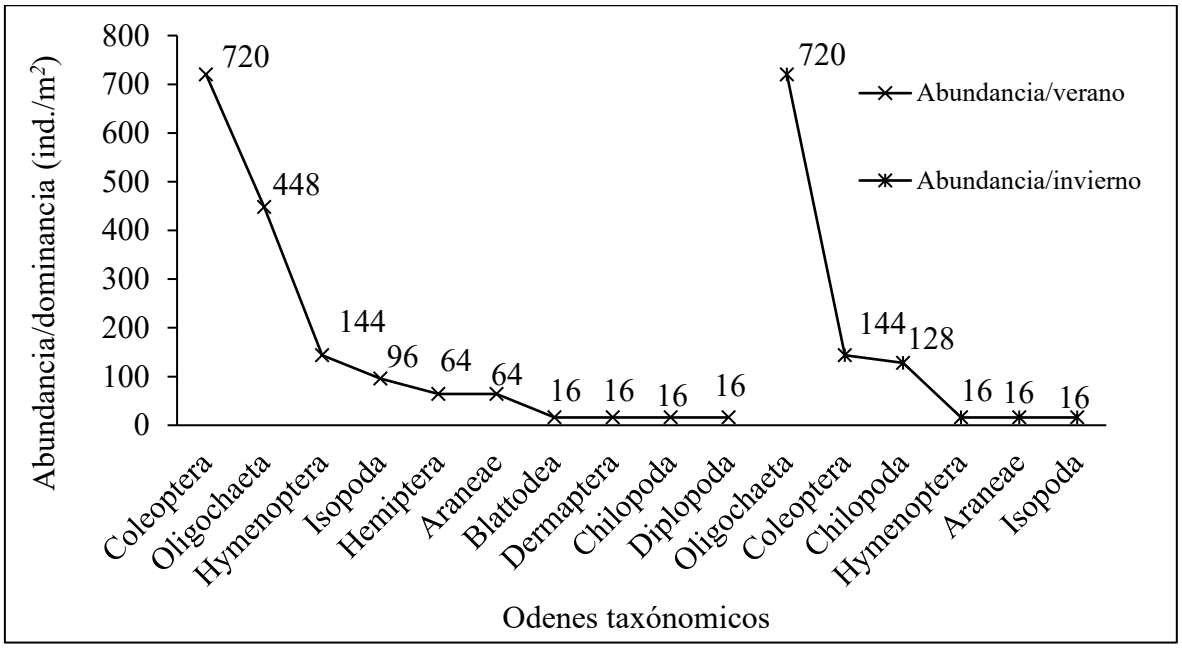
Nota. La Figura muestra la abundancia de macrofauna edáfica en las épocas de verano e invierno en el SAF de tornillo asociado a café.

En la Figura 16, puede observarse el resultado de cuantificación de macrofauna edáfica identificado en el SAF2 a base de *C. torelliana + C. arabica* tanto en época de verano e invierno. En la época de verano fueron identificados 1600 individuos de los cuales los más dominantes fueron del orden Coleoptera (720 ind./m^2) y Oligochaeta (448 ind./m^2).

Mientras que, en la época de invierno el mismo sistema agroforestal expuso una disminución de taxones (1040 individuos), sin embargo, el orden Oligochaeta (720 ind./m^2) fue el dominante para esta época, seguido por orden Chilopoda de la especie de cien píes.

Figura 16

Abundancia de las familias taxonómicas identificados en C. torelliana + C. arabica

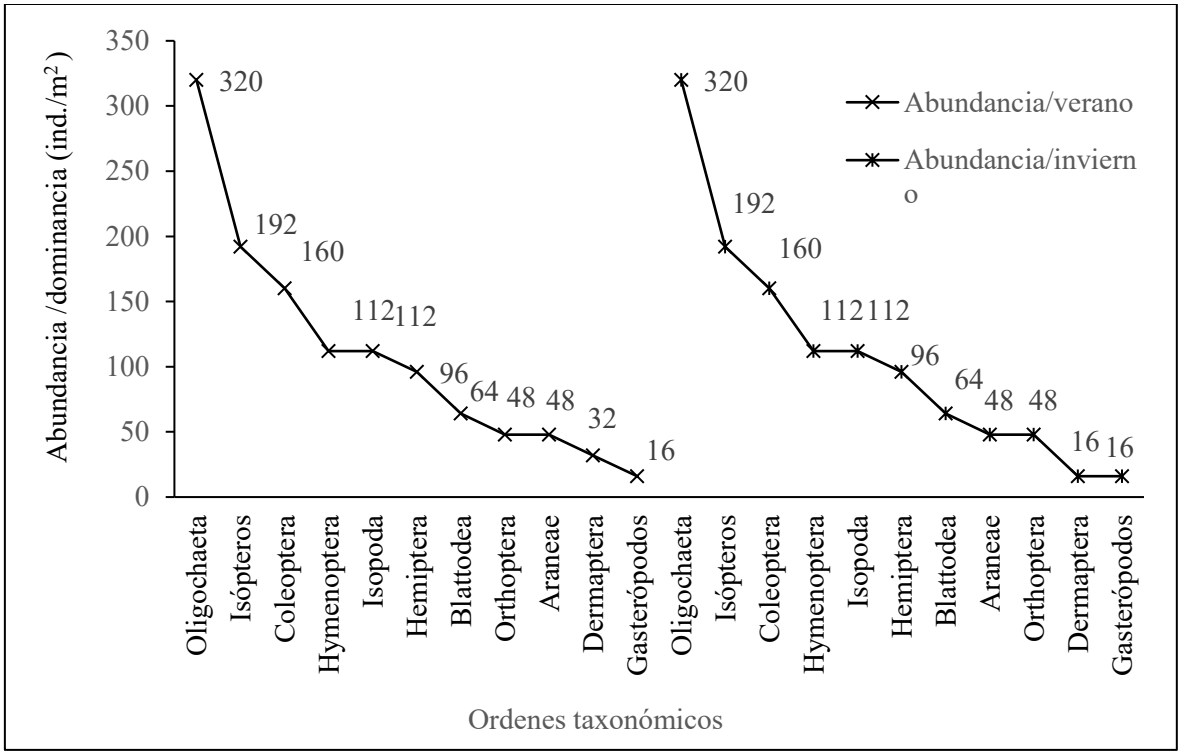


Nota. La Figura muestra la abundancia de macrofauna edáfica en las épocas de verano e invierno en el SAF de eucalipto torreliana asociado a café.

En un sistema agroforestal a base de *E. saligna* + *C. arabica* (SAF3) en época de verano fueron identificados 1 200 ind./m^2 distribuidos heterogéneamente de los cuales el taxon con mayor dominancia corresponde al orden Oligochaeta de la familia de Lumbricidae con 320 ind./m^2 también conocidos como ingenieros del suelo, seguido por el orden Isoptera de la familia Termitidae con 192 ind./m^2, mientras que, el resto de familias oscilaron por debajo de la familia Formicidae con 144 ind./m^2 seguidos por otros órdenes. De la misma forma, fueron cuantificados 1 184 ind./m^2 de taxones correspondientes a época de invierno de los cuales tuvo una mayor dominancia los taxones del orden Oligochaeta pertenecientes a la familia Lumbricidae con 320 ind./m^2 seguidos por el orden Isopteros de la familia Termitidae (Figura 17). Particularmente en este sistema agroforestal la diferencia de taxones por época no fue muy distante con respecto a los otros sistemas evaluados.

Figura 17

Abundancia y dominancia de las órdenes taxonómicas identificados en E. saligna + C. arabica

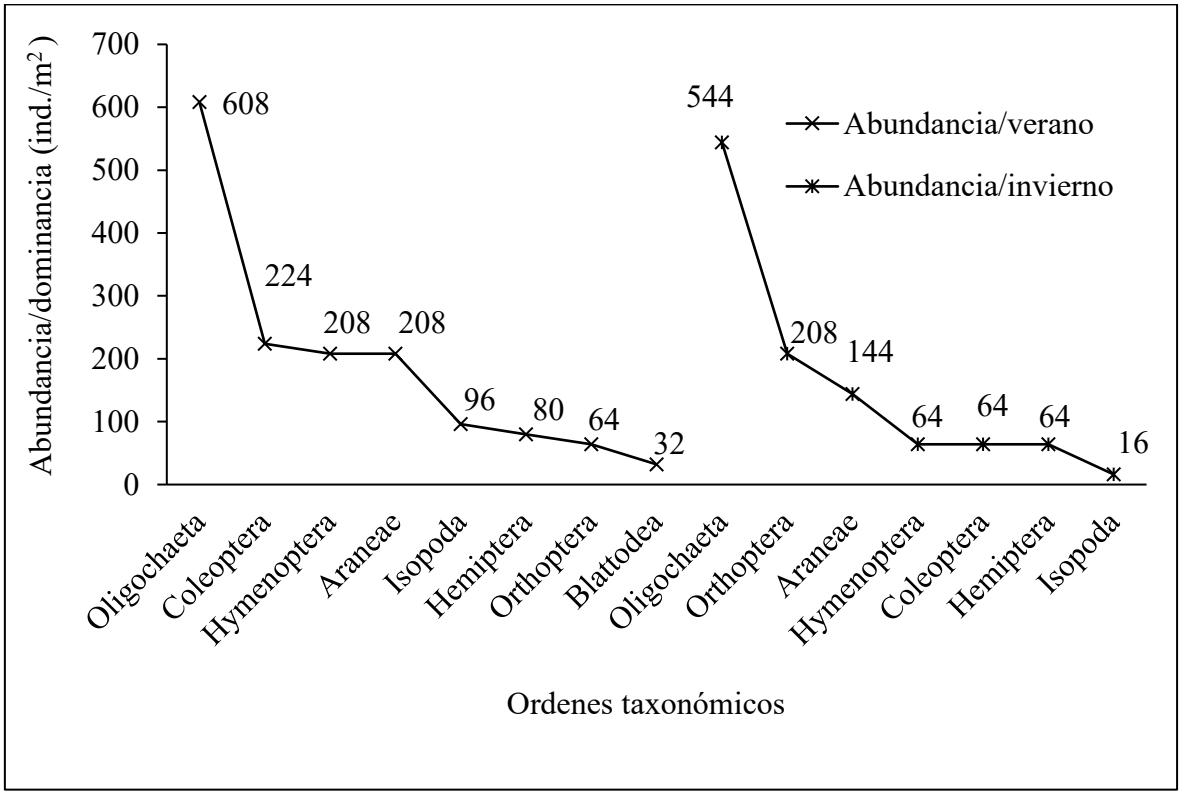


Nota. La Figura muestra la abundancia de macrofauna edáfica en las épocas de verano e invierno en el SAF de eucalipto salino asociado a café.

En la Figura 18, se muestra gráficamente la abundancia de macrofauna edáfica en un sistema agroforestal a base de árboles de *I. edulis* + *C. arabica* evaluados en dos épocas distintas (verano e invierno), fueron identificados en total 1 520 ind./m^2, de los cuales la mayor cantidad de taxones en época de verano correspondieron al orden Oligochaeta de la familia Lumbricidae con 608 ind./m^2, seguido por el orden Coleoptera con 224 ind./m^2 seguido por los órdenes Hymenoptera, Araneae, Isopoda y otros. Mientras que, la macrofauna edáfica en época de invierno alcanzó un total de 1104 ind.m^2, siendo orden Oligochaeta de la familia Lumbricidae quien mantuvo con una ligera disminución alcanzando 544 ind./m^2, seguido por el orden Othoptera y Araneae con 208 y 144 ind./m^2, siendo estos ordenes los que ostentaron mayor dominancia. Los órdenes Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera e Isopoda exhibieron 64 y 16 ind./m^2.

Figura 18

Abundancia y dominancia de las familias taxonómicas identificados en I. edulis + C. arabica



Nota. La Figura muestra la abundancia de macrofauna edáfica en las épocas de verano e invierno en el SAF de guaba asociado a café.

Se efectuó el análisis de varianza a fin de conocer si hay diferencias entre la abundancia de biodiversidad edáfica por cada sistema evaluado. En época de verano, los resultados indicaron que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los SAF (p-valor = 0,499 > 0,05). Mientras que, en los mismos SAF evaluados en época de invierno la probabilidad fue de p-valor < 0,00 (0,025 < 0,05) indicado que hubo diferencias estadísticas en la abundancia de macrofauna entre los sistemas evaluados en época de invierno.

La prueba de Shapiro-Wilk modificado, evidenció que los residuos no siguieron una distribución normal ni en verano (p-valor = 0,0008 < 0,05) ni en invierno (p-valor = 0,0061 < 0,05). El coeficiente de correlación entre los cuantiles teóricos y los observados fue de 0,930 y 0,944 en ambas estaciones, indicando una relación lineal fuerte positiva entre los cuantiles teóricos, aunque con ligeras desviaciones respecto a la normalidad. Sin embargo, los resultados, aunque cercanos a +1, no representa una relación perfecta, evidenciando

desviaciones respecto a la normalidad. La prueba de Levene mostró que los datos son heterogéneos, con p-valor = 0,033 para verano y p-valor = 0,017 para invierno, ambos < 0,05. En efecto a fin de conocer que SAF ostento diferencias significativas se realizó en análisis paramétrico mediante la prueba de Kruskal Wallis, el resultado fue que en los SAF evaluados en época de veranos se siguió confirmando no haber diferencias significativas ostentando una homogeneidad, el p valor fue de 0,258 (> 0,05). Mientras que, en época de invierno el p-valor obtenido fue de 0,002 (< 0,05) siendo indicativo que en época de invierno hay diferencias significativas con respecto a por lo menos un SAF que tuvo un comportamiento distinto con respecto a la abundancia de taxones edáficos.

En la Tabla 17, se muestra los resultados con respecto al número de taxones presentes en la época de verano por sistema agroforestal. De los cuales se logró deducir que los taxones no difieren en los SAF estudiados en la época de verano. Al momento de realizar la comparación estadística de medias, mediante la prueba de Tukey fue identificado que los SAF ostentaron una misma letra (a), esto indicó que las medias estadísticas con la misma letra no son significativamente diferentes entre tratamientos evaluados con respecto a la presencia de taxones en los cuatro SAF. Sin embargo, por orden de ubicación el SAF a base de *C. cateniformis* + *C. arabica* tuvo un promedio de taxones con menor respecto al resto de sistemas agroforestales, mientras, con mayor promedio de taxones fue para el SAF *I. edulis* + *C. arabica*, seguido por el SAF de *C. torelliana* + *C. arabica* y *E. saligna* + *C. arabica.*

Tabla 17

Comparación de medias estadísticas de taxones identificados en época de verano en las distintas SAF

Sistema agroforestal	Medias	n	E.E.	Comparación de media
SAF1	92,80	10,00	34,43	a
SAF3	120,00	10,00	34,43	a
SAF2	152,00	10,00	34,43	a
SAF4	160,00	10,00	34,43	a

Igualmente, la Tabla 18, muestra que los taxones identificados en época de invierno hubo diferencias entre los sistemas agroforestales estudiados. De los cuales, el SAF constituido por *C. cateniformis* + *C. arabica* fue que presentó un menor promedio de taxones, en tanto, los SAF de *I. edulis* + *C. arabica* y *E. torreliana* + *C. arabica* sus promedios fueron cercanos. A diferencia del SAF eucalipto salino que presentó el mayor promedio de taxones en época de invierno. Cabe destacar, que la época de verano hubo mayor presencia de taxones con una reducción del 30,48 % de taxones que en la época de invierno. En ambas épocas el SAF de *C. cateniformis* + *C. arabica* fue el que presentó el menor promedio de macrofauna edáfica.

Tabla 18

Comparación de medias estadísticas de taxones identificados en época de invierno en las distintas SAF

Sistema agroforestal	Medias	n	E.E.	Comparación de medias	
SAF1	32,00	10,00	21,30	a	
SAF4	104,00	10,00	21,30	a	b
SAF2	110,40	10,00	21,30	a	b
SAF3	118,40	10,00	21,30		b

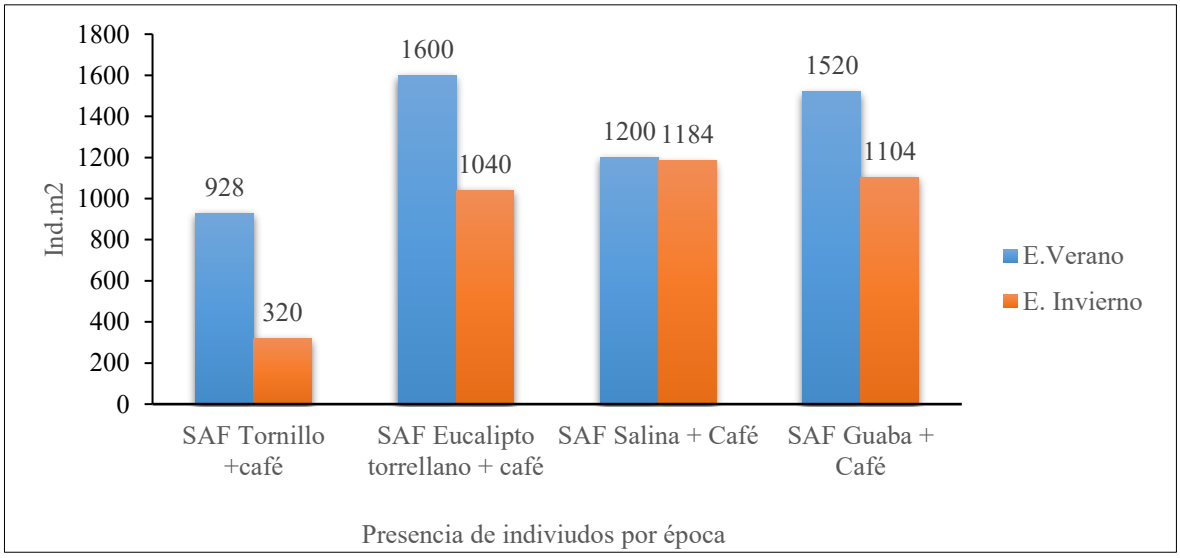
A partir de los datos de abundancia se efectuó un análisis de correlación de Pearson con el propósito de evaluar la estabilidad estacional y los cambios en los taxones edáficos en función de la estacionalidad. Los resultados evidenciaron diferentes niveles de estabilidad entre los SAF evaluado. El SAF3 presentó una mayor consistencia, al presentar una correlación de r = 0,99, reflejando una alta resiliencia y condiciones edáficas estables en ambos períodos estacionales. Seguido por el SAF4 que expuso una correlación moderada de r = 0,492, evidenciando cierta continuidad estacional con ciertas variaciones de los taxones de verano a invierno. En tanto, el SAF1, ostento una correlación negativa R = -0,242, siendo indicativo que a medida que la abundancia de macrofauna aumenta en verano, tiende a disminuir en invierno. El SAF2 presentó una correlación baja R = 0,092, indicando que la abundancia de macrofauna en verano e invierno son independiente sugiriendo que el SAF2 es altamente sensible la estacionalidad y que los factores de clima suelen afectar de forma diferente en cada estación.

3.1.3. Densidad de macrofauna edáfica

En los cuatro sistemas agroforestales evaluados en época de verano, en total fueron identificados 5 248 taxones de macrofauna edáfica. De los cuales, el SAF1 a base de *C. cateniformis* + *C.* arabica ostentó 928 ind./m^2, el SAF2 de *C. torelliana* + *C. arabica* presentó 1 600 ind./m^2, mientras que el SAF3 compuesto por *E. saligna* + *C arabica* tuvo 1 200 ind./m^2 y el SAF4 integrado por *I. edulis* + *C. arabica* exhibió 1 520 ind./m^2; presentando un menor número de taxones edáficos el SAF1 y en mayor número el SAF2 seguido por el SAF4 y SAF3 (Figura 20). Mientras que, en los mismos sistemas agroforestales evaluados en época de invierno en total fueron identificado 3 648 individuos de macrofauna edáfica. En el SAF1 de *C. cateniformis* + *C. arabica* mostró 320 ind./m^2, el SAF2 integrado por *C. torelliana* + *C. arabica* fueron cuantificado 1 040 ind./m^2, mientras que, en el SAF3 a base de *E. saligna* + *C arabica* hubieron 1 184 ind./m^2 y el SAF4 de *I. edulis* + *C. arabica* fueron identificados 1 104 ind./m^2. Observándose que existe una mayor presencia de macrofauna edáfica en época de verano con una tendencia de disminución en invierno a excepción del SAF3 que tendió a disminuir en invierno. Sin embargo, hubo una mayor cantidad de taxones en el SAF3 y SAF4 (Figura 19).

Figura 19

Abundancia total de taxones edáficos por sistema agroforestal según época de identificación



3.1.4. Diversidad de macrofauna edáfica en sistemas agroforestales

En la Tabla 19, están los resultados de macrofauna edáfica con respecto a sistemas agroforestales a nivel de la provincia de Rioja. Con respecto a la riqueza de órdenes taxonómicos cada sistema tuvo diferencias entre uno o dos órdenes e incluso variaron entre épocas. El SAF1 fueron cuantificados 10 órdenes, el SAF2 igualmente con 10 órdenes, EL SAF3 fueron considerados 11 y el SAF4 fue el que presentó un menor número de órdenes para la época de verano, mientras que, en invierno el SAF1 ostentó ocho órdenes, seis el SAF2, 11 el SAF3 y siete ordenes el SAF4. En cuanto, al índice de diversidad H-Shannon en la época de verano los cuatro SAF alcanzaron índices en el rango de diversidad media (H-Shannon 2,13 a 2,97) los que fueron corroborados con el índice de dominancia de Simpson. Sin embargo, con el índice de Simpson fueron identificados que los cuatro SAF en ambas épocas tuvieron una alta dominancia en algunos grupos de taxones (Figura 20). En general el análisis muestra que los SAF evaluados experimentaron una disminución en la diversidad y un incremento en la dominancia de taxones específicos en época de invierno, con variaciones entre sistemas que podrían estar influenciados por el tipo de sistema, condiciones climáticas y el estado del hábitat.

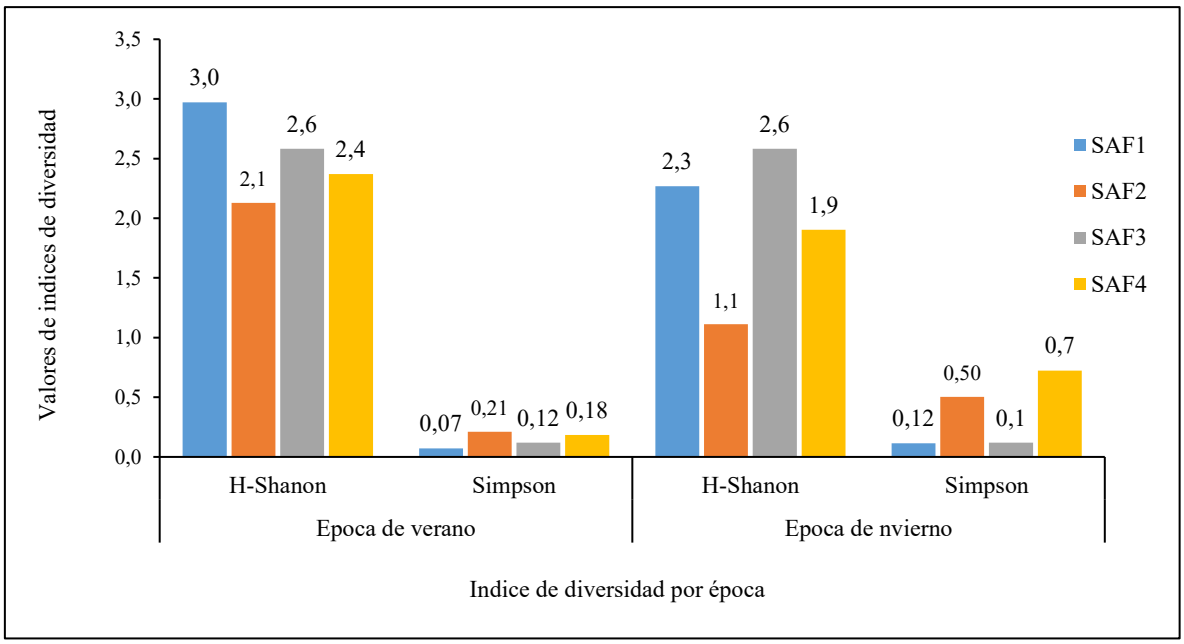
Tabla 19

Índices de diversidad de macrofauna edáfica valorados en sistemas agroforestales

Sist. Agroforestal	Riqueza (ordenes)		Época de verano		Época de invierno	
	Ver	Inv.	Índice de Shannon	Índice de Simpson	Índice de Shannon	Índice de Simpson
SAF1	10	8	2,97	0,07	2,27	0,12
SAF2	10	6	2,13	0,21	1,11	0,50
SAF3	11	11	2,58	0,12	2,58	0,12
SAF4	8	7	2,37	0,18	1,90	0,72

Figura 20

Índice de diversidad de macrofauna edáfica



3.2. Estado situacional fisicoquímico del suelo en los SAF evaluados con respecto a la macrofauna edáfica

3.2.1. Propiedades físicas

Textura del suelo

El análisis de varianza para las variables de textura en estación de verano (arena, arcilla y limo), mostró diferencias significativas para las tres fracciones, con p-valores de 0,0001, 0,009, 0002 respectivamente. En invierno, los resultados indicaron diferencias significativas para arena (p-valor = 0,000) y limo (p-valor = 0,013), mientras que, para arcilla no presentó diferencias significativas (p-valor = 0,342). Estos resultados evidenciaron que la composición textural varía entre los SAF, especialmente en fracciones de arena y limo.

Para validar el ANOVA de las variables de textura de suelo en verano e invierno, se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad. En verano los residuos cumplieron la normalidad para arena (p-valor = 0,466), arcilla (p-valor = 0,333) y limo (p-valor = 0,759) al ser mayores a 0,05 (Figura 22). La homogeneidad se cumplió para arena (p-valor = 0,125)

y arcilla (p-valor = 0,081), mas no para limo (p-valor = 0,033), aunque esta última mantuvo normalidad permitiendo la validez del ANOVA. En invierno se verificó normalidad en arena (p-valor = 0,488), arcilla (p-valor = 0,885) y Limo (p-valor = 0,088), así como la homogeneidad en arena (p-valor = 0,084), arcilla (p-valor = 0,215) y limo (p-valor = 0,190), confirmando el cumplimiento de los supuestos al ser > 0,05. Dado el incumplimiento del supuesto de homogeneidad en la variable de limo durante la estación de verano, se efectuó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, donde el p valor fue de 0,034 (p-valor < 0,05), lo que indicó diferencias significativas para el contenido de limo entre los SAF evaluados.

La comparación de medias (Tabla 20 y Figura 21) mostró que, en verano el SAF1 a base de *C. cateniformis* + *C. arabica* presentó el mayor contenido de arena (58,84 %), seguido por el SAF2 constituido por *C. torreliana* + *C. arabica* (55,33 %) y el SAF3 conformado por *E. saligna* + *C. arabica* (50,48 %). Mientras que, el SAF4 a base de *I. edulis* + *C. arabica* presentó el valor más bajo (38,33 %). En arcilla el SAF1 obtuvo el menor porcentaje (8,23 %) en tanto, el SAF2, SAF3 y SAF4 presentaron valores próximos (18,50,21,51 y 14,87 %). En limo, el SAF4 obtuvo el mayor porcentaje (46,80 %), seguido de SAF1 (32,93 %) y SAF3 (28,01 %) y SAF2 (26,17 %). Según estas proporciones, el SAF1 y SAF2 tuvieron una clase textural franco arenosa (textura moderadamente gruesa), mientras que, el SAF3 y SAF4 fueron de textura franca (textura fina).

Por otra parte, en la misma Tabla 20, residen los resultados correspondientes a los promedios de las clases texturales del suelo para la época de invierno, también se puede señalar que para la textura arena entre épocas son próximos los resultados. Sin embargo, el SAF1 es el que presentó el promedio porcentual más alto con 57,35 %, siendo contiguos los SAF2 y SAF3 con 55,90 y 52,62 %; en efecto, el SAF4 alcanzó un promedio bajo a diferencia del resto con 40,64 %. Con respecto arcilla no hubo diferencias estadísticas significativas entre los resultados de laboratorio obtenidos, estos fueron próximos entre ellos, cabe destacar que el SAF4 a base de guaba + café fue el que presentó cierta diferencia con 19,68 % de arcilla.

El limo estuvo presente con mayor porcentaje en el SAF de *E. torreliana* + *C. arabica* con 39,68 %, seguido por el SAF3 a base de *E. saligna* + *C arabica* con 32,38 %; en menor

proporción presentaron el SAF2 con 27,20 % y el SAF1 con 27,39 %. A pesar de los cambios por porcentuales entre épocas el SAF1 y SAF2 estuvieron también dentro de la clase textural franco arenosa con una clasificación de textura moderadamente gruesa. Igualmente, el SAF3 y SAF4 residieron en la clase textural franco a franco arenoso con clasificación entre textura moderadamente grueso a textura fina. No obstante, en el SAF3, la clasificación textural vario entre franco a franco arenosa, se podría señalar que esto no implicó un cambio real en la textura del suelo en sentido edafológico, si no que se trató de una ubicación en una zona limítrofe de clasificación, donde las diferencias respondieron probablemente a una variabilidad de muestreo y no modificaciones reales en su composición granulométrica, lo que se evidenció en un incremento de 4,37 % en la fracción de limo.

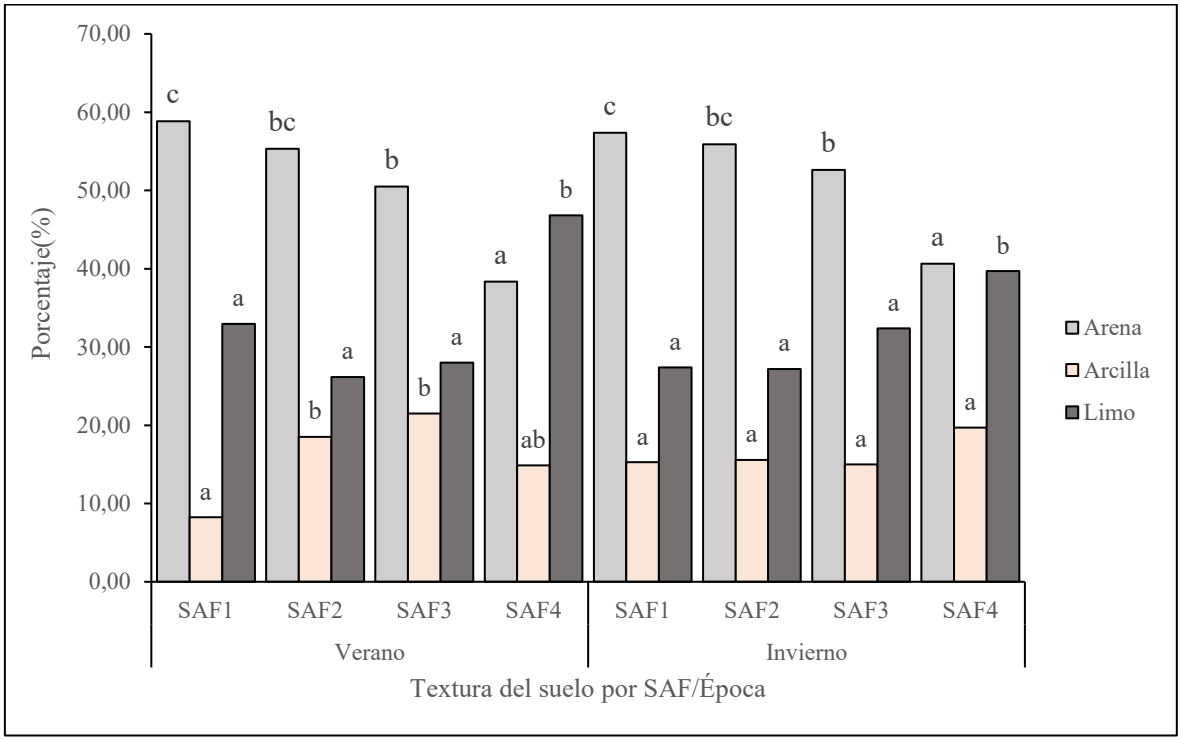
Tabla 20

Resultado de los promedios estadísticos para las variables texturales de los SAF en distintas épocas

Época	Agroforestal	Textura			Clase Textural	Clasificación
		Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)		
Verano	SAF1	58,84c	8,23 a	32,93 a	Franco Arenosa	Textura moderadamente gruesa
	SAF2	55,33bc	18,50b	26,17 a	Franco Arenosa	Textura moderadamente gruesa
	SAF3	50,48b	21,51b	28,01a	Franco	Textura fina
	SAF4	38,33 a	14,87ab	46,80 b	Franco	Textura fina
Invierno	SAF1	57,35c	15,26 a	27,39 a	Franco Arenosa	Textura moderadamente gruesa
	SAF2	55,9bc	15,57 a	27,20 a	Franco Arenosa	Textura moderadamente gruesa
	SAF3	52,62b	15,00 a	32,38ab	Franco a Franco arenosa	Textura moderadamente gruesa
	SAF4	40, 64a	19,68 a	39,68b	Franco	Textura fina

Figura 21

Comparación de promedios estadísticos para las variables de textura en las épocas de verano e invierno



Al efectuar la correlación entre los taxones edáfica por SAF y las variables texturales mostró en la estación de verano, una relación negativa moderada con la arena (r= -0,523), positiva moderada con la arcilla (r= 0,538) y positiva débil con el limo (r=0,172). Igualmente, en la estación de invierno la arena obtuvo una correlación negativa moderada (r= - 0,515), limo positivo moderada (r= 0,527) y arcilla ostentó una correlación positiva débil (r = 0,308). En ambos periodos, las asociaciones de SAF no fueron estadísticamente significativos, lo que indicó que la textura del suelo influye de forma no concluyente en la abundancia de la macrofauna. Los resultados sugieren que época de verano la textura influye en la diversidad edáfica, siendo la arcilla un factor positivo y la arena un limitante para la macrofauna en SAF. Durante el invierno, los suelos con menor arena y mayor limo presentan una mayor riqueza de taxones, lo que confirma la importancia de la textura como regulador de la biodiversidad edáfica en condiciones limitantes de humedad y nutrientes (Figuras 22 y 23 A, B, C).

Figura 22

Gráfico de tendencia de textura del suelo en época de verano vs taxones edáficos en SAF evaluados

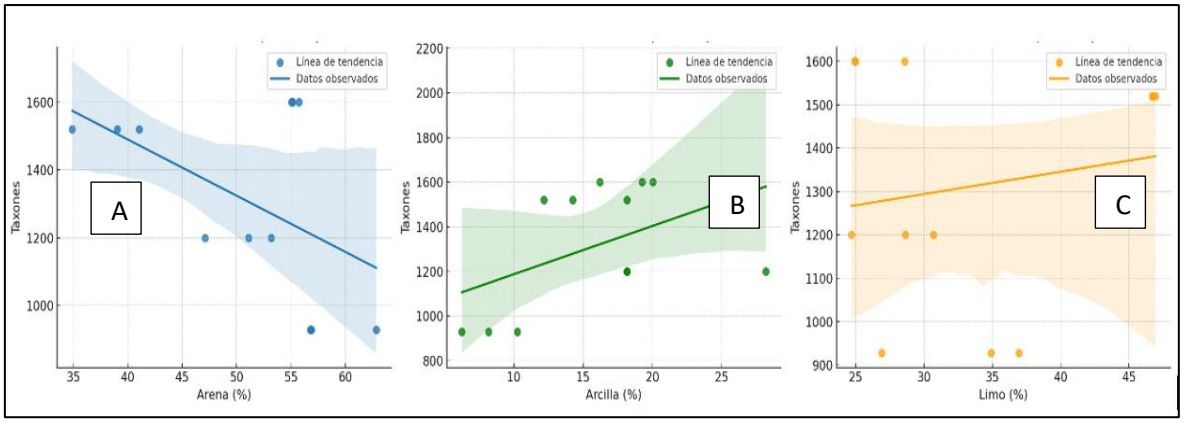
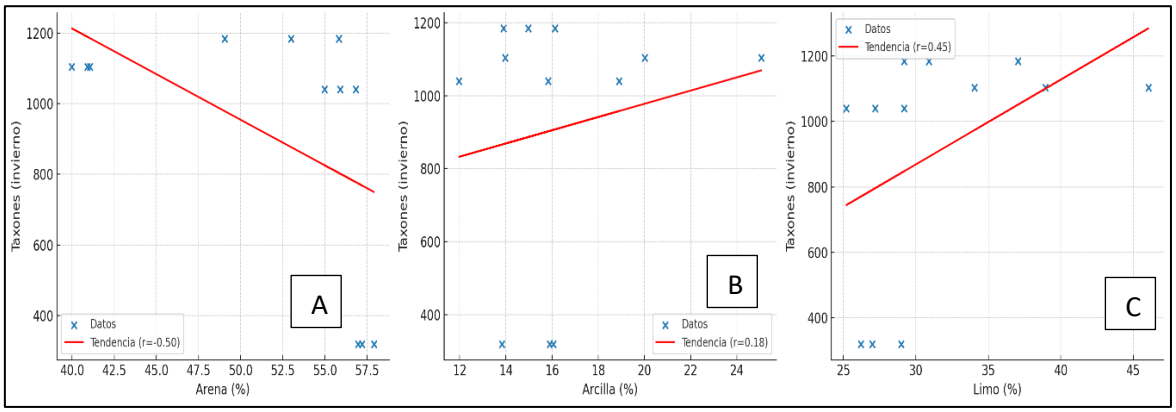


Figura 23

Gráfico de tendencia de textura de suelo vs taxones edáficos en época de invierno



Humedad del suelo (%)

El análisis de varianza fue significativo para la estación de verano indicando que hay diferencias significativas entre los SAF y la humedad el p-valor en ambas estaciones fue < 0,05 (p-valor= 0,0001). Al efectuar los supuestos de normalidad a los residuos humedad en verano con la prueba de Shapiro Wilk el p-valor = 0,501 (> 0,05), la homogeneidad el p-valor = 0,224 (> 0,05). Mientras que, el supuesto de normalidad para los residuos de humedad de la estación de invierno fue de p-valor =0,329 (> 0,05) y la homogeneidad el p-valor =0,337, estos resultados obtenidos confirmaron que el ANOVA es correcto.

La humedad del suelo en verano fue significativamente mayor en los SAF3 de *E. saligna* + *C. arabica* con 47,07 % y el SAF4 *I. edulis* + *C. arabica* en 42,92 %, debido que ostentaron la misma letra (a) indicando que no difieren estadísticamente entre ambos. El de SAF2 *C. torreliana* + *C. arabica* presentaron un nivel intermedio con 31,87 % (b), mientras que, el SAF1 de *C. cateniformis* + *C. arabica* obtuvo la menor humedad con 24,56 % diferenciándose significativa del resto de tratamientos. Para invierno todos los SAF incrementaron el contenido de humedad. El SAF de E. *saligna* + *C arabica* presentó el valor más alto con 62,33 % diferenciándose significativamente del resto de sistemas. El SAF *C. torreliana* + *C. arabica,* SAF *I. edulis* + *C. arabica* y *C. cateniformis* + *C. arabica* alcanzaron humedades de suelo en 57,00 %, 51,67 % siendo sus promedios contiguos al ostentar una misma letra (b) indicando no haber diferencias significativas entre ellos. En tanto el SAF *C. cateniformis* + *C. arabica* continúo teniendo la menor humedad con 29,28 % (Tabla 21).

Tabla 21

Resultados de prueba Tukey para humedad del suelo en estaciones de verano e invierno

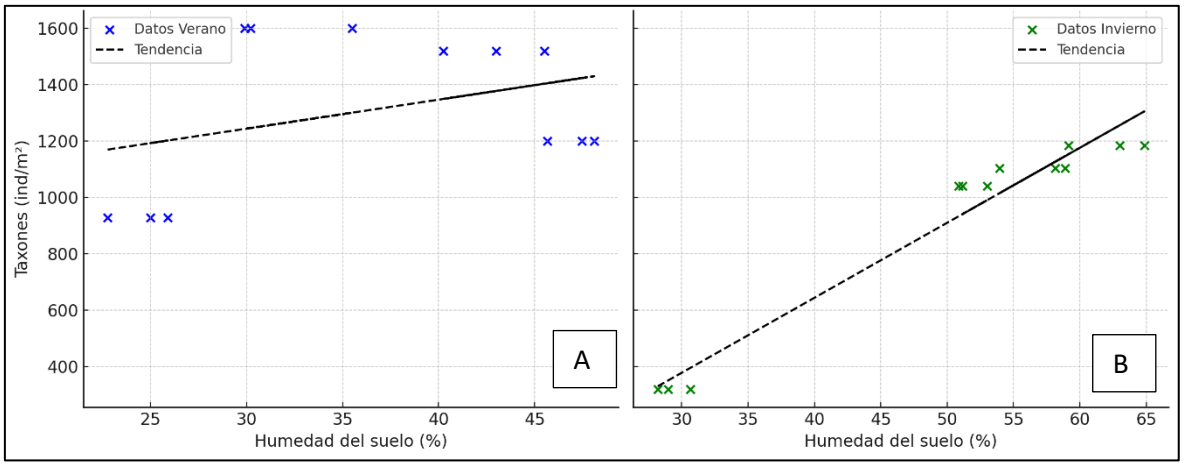
SAF	Humedad (%) /verano	Humedad (%) /invierno
SAF3 *E. saligna* + *C arabica*	47,07 a	62,33 a
SAF4 *I. edulis* + *C. arabica*	42,92 a	57,00 ab
SAF2 *C. torreliana* + *C. arabica*	31,87 b	51,67 b
SAF1 *C. cateniformis* + *C. arabica*	24,56 c	29,28 c

Al efectuar la correlación de humedad de suelo frente a la abundancia de taxones en verano se tuvo un r = 0,350 siendo una relación débil positiva. En invierno, la correlación fue fuerte (r = 0,980). Esta correlación indicó que a un mayor contenido de humedad aumenta la macrofauna edáfica, asimismo, que la humedad por sí solo no define la dinámica de la cantidad de macrofauna edáfica. Al efectuar la relación entre las estaciones y los taxones edáficos se evidenció en el SAF1 una relación negativa, debido que en invierno hay una disminución macrofauna edáfica. El SAF2 mostró una relación decreciente, siendo un SAF que es favorable en estación de verano pero que en invierno pierde estabilidad en la humedad debido que la macrofauna se reduce en un 35,0 %. Por otro lado, el SAF3 resultó con mejor

estabilidad, debido que en invierno hubo una reducción de taxones edáficos en tan solo 1,3 % con respecto a la estación de verano. En tanto el SAF4 a pesar de haber una reducción de taxones mantiene abundancias altas en ambas estaciones. (Figura 24 A, B).

Figura 24

Gráfico de tendencia entre taxones edáficos vs humedad del suelo



Porosidad total del suelo (PT)

El ANOVA para los datos de porosidad total en la estación de verano e invierno mostró p-valores de 0,0007 y <0,0001 respectivamente evidenciando diferencias significativas entre SAF en ambas estaciones (p-valor = < 0,05). Al efectuar la verificación los supuestos del ANOVA mediante la prueba de normalidad (Shapiro Wilk) indicó que los residuos siguieron una distribución normal tanto en verano (p-valor = 0,385) como en invierno (p-valor = 0,612) al superar el umbral de 0,05. También, la prueba de homogeneidad de varianzas arrojó p-valores de 0,808 en verano y 0,124 en invierno, estos resultados confirmaron que se comprimieron los supuestos estadísticos requeridos.

Al efectuar las comparaciones de SAF mediante la prueba de Tukey, en la estación de verano, los SAF de *C. cateniformis* + *C. arabica*, *C. torreliana* + *C. arabica* y SAF3 *E. saligna* + *C arabica* ostentaron los valores más altos en porosidad total con 50,45 %, 48,19 % y 47,85 % respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos al ostentar la misma letra (a). mientras que, el SAF2 a base de *C. torreliana* + *C. arabica* obtuvo la menor

porosidad con 41,05 %, diferenciándose significativamente del resto de SAF (letra b). igualmente, en la estación de invierno se mantuvo un patrón similar donde el SAF1, SAF3 y SAF4 obtuvieron un patrón contiguo de porosidad total de 51,55 %, 50,63% y 47,50 % siendo los SAF con mayor porosidad (letra a), mientras que, el SAF2 nuevamente registró el valor más bajo con 37,05 % (letra b) confirmando una diferencia significativa (Tabla 22).

Tabla 22

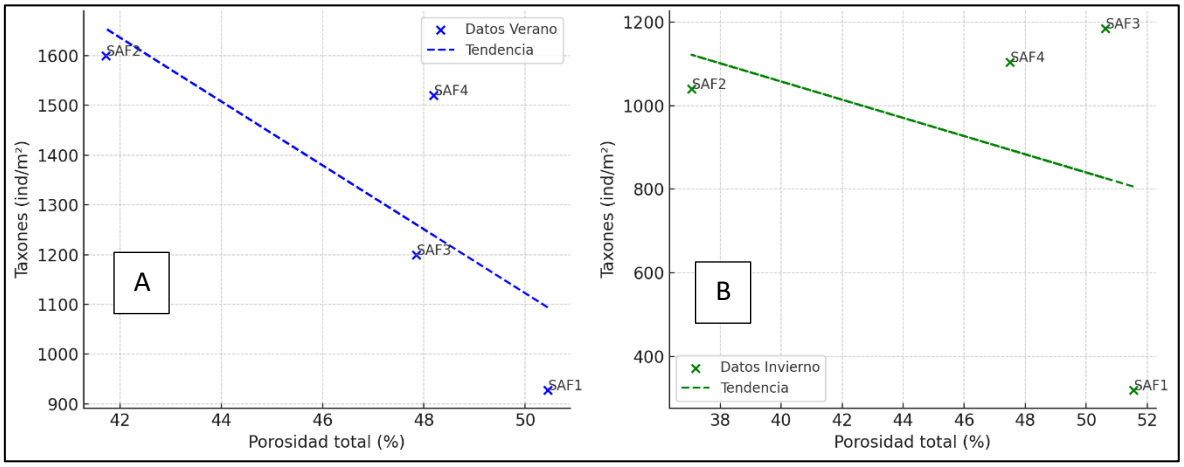
Resultados de prueba Tukey para porosidad total del suelo en estaciones de verano e invierno

SAF	Porosidad total (%) /verano	SAF	Porosidad total (%) /invierno
SAF1 *C. cateniformis* + *C. arabica*	50,45 a	SAF1 *C. cateniformis* + *C. arabica*	51,55 a
SAF4 *I. edulis* + *C. arabica*	48,19 a	SAF3 *E. saligna* + *C arabica*	50,63 a
SAF3 *E. saligna* + *C arabica*	47,85 a	SAF4 *I. edulis* + *C. arabica*	47,50 a
SAF2 *C. torreliana* + *C. arabica*	41,72 b	SAF2 *C. torreliana* + *C. arabica*	37,05 b

Al efectuar la correlación de taxones edáficos con respecto a la porosidad total en los SAF evaluados para la época de verano se obtuvo un r = -0,504 indicando una correlación moderada negativa, mostrando que a mayor porosidad tiende a disminuir la macrofauna edáfica. Esta tendencia se reflejó en el SAF1 *C. cateniformis* + *C. arabica* con una porosidad total de 50,40 % y una menor abundancia de 928 ind./m^2, en tanto, que el SAF2 a base de *C. torreliana* + *C. arabica* obtuvo una menor porosidad de 41,72 % y una mayor abundancia de taxones edáficos con 1 600 ind./m^2. En invierno se incrementó, con una correlación fuerte negativa al tener un resultado de r = -798, el SAF1 con mayor porosidad de 51,55 % registró mucho menos taxones edáficos que en verano (320 ind./m^2), mientras que, el SAF2 *C. torreliana* + *C. arabica* con la porosidad más baja y una disminución mínima de taxones pudo mantenerlo en estación de verano con 1 040 ind./m^2 (Figura 25 A y B).

Figura 25

Gráfico de tendencia entre taxones edáficos vs porosidad total



Densidad aparente de los suelos evaluados

El ANOVA efectuado a los valores de densidad de suelo de los SAF mostraron diferencias significativas en ambas estaciones al ostentar un p-valor = 0,0001 (p-valor < 0,05). Para validar el análisis, se efectuaron las pruebas de normalidad (Shapiro Wilk) y homogeneidad. Los residuos presentaron valores de p-valor = 0,551 (verano) y p-valor = 0,481 (invierno), confirmando distribución normal. Asimismo, la homogeneidad fue de un p-valor = 0,197 (verano) y p-valor = 0,760 (invierno) ambos > 0,05, lo que respaldó la validez del ANOVA y se confirma que las diferencias existentes son estadísticamente confiables.

Las comparaciones de promedios mostraron que en verano los SAF1, SAF2 y SAF3 ostentaron densidades dentro del rango ideal (1,00 y 1,60 g/cm^3) a excepción del SAF 4 que ostentó 1,70 g/cm^3 asimismo, no presentaron diferencias significativas entre SAF al mostrar la misma letra (a). En invierno se expusieron variaciones: SAF1 *C. cateniformis* + *C. arabica* *(*1,37 g/cm^3*)* y SAF3 *E. saligna* + *C arabica* (1,45 g/cm^3) tendieron a disminuir, mientras que, SAF4 *I. edulis* + *C. arabica* aumento levemente (1,50 g/cm^3). El caso más crítico fue para el SAF2 *de C. torreliana* + *C. arabica* que alcanzó 1,90 g/cm^3 superando el valor ideal (Tabla 23).

Tabla 23

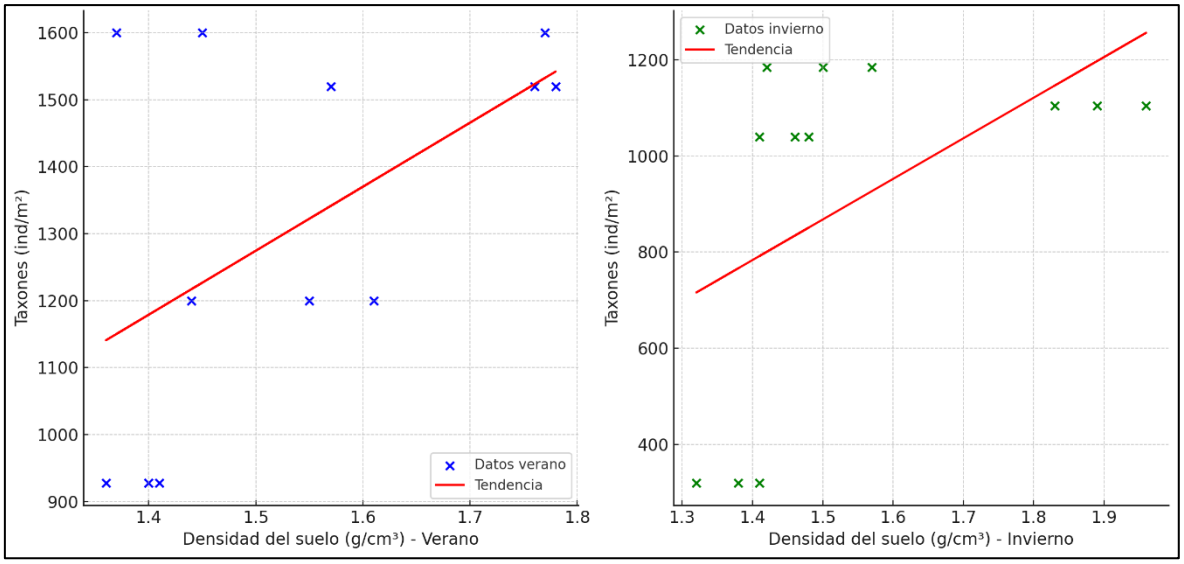
Prueba de Tukey de las densidades de suelo de los SAF tanto en época de verano e invierno

Ubicación según media estadística	Densidad del suelo (g/cm^3) /verano	Ubicación según media estadística	Densidad del suelo (g/cm^3) /invierno	Rango ideal
SAF1	1,39 a	SAF1	1,37 a	
SAF2	1,53 a	SAF2	1,45 a	1,0 a 1,6 g/cm^3
SAF3	1,53 a	SAF3	1,50 a	
SAF4	1,70 a	SAF4	1,90 b	

En ambas estaciones los resultados mostraron una relación directa entre abundancia de taxones y densidad del suelo: r = 0,550 (verano) y r = 0,510 (invierno) indicando que a mayor densidad los taxones tienden aumentar. En el SAF4 a pesar de poseer una densidad por encima del rango favorece las condiciones edáficas. En tanto, en el SAF1 presentó una densidad dentro del rango, sin embargo, la abundancia de taxones edáficos fue el más bajo de todos los SAF indicando que la textura arenosa podría influir. Los SAF2 y SAF3 se mantuvieron en el rango ideal con abundancias intermedias. Por otro lado, en la estación de invierno el SAF1 mantuvo densidades bajas y dentro del rango ideal, pero la macrofauna edáfica disminuyo drásticamente. Los SAF2 y SA3 presentaron valores densidad de suelo dentro del rango optimo con abundancia estables. Por último, el SAF4 excedió el rango ideal, indicando compactación, aun así, conservo valores altos de macrofauna edáfica (Figura 26 A y B). Esta relación lineal dio como resultado que la densidad influyó pero que existieron otros factores influyeron con respecto a la macrofauna.

Figura 26

Gráfico de tendencia de la densidad del suelo con respecto a los taxones según SAF



3.2.2. Análisis químicos

Potencial de hidrógeno (pH)

Se realizó un ANOVA para pH de los suelos en los SAF, obteniéndose diferencias significativas tanto en verano como en invierno con p-valor = 0,000 (p-valor < 0,05). Las pruebas de normalidad mostraron p-valores > 0,05 (0,832 y 0,426) indicando una distribución normal. Asimismo, la homogeneidad de varianzas presento p-valores > 0,05 (0,413 y 0,100), confirmando la validez del ANOVA.

En la Tabla 24 se observa que el pH de los suelos en los SAF evaluados varió entre extremadamente ácido a moderadamente ácido. En verano el SAF1 y SAF3 presentaron valores más ácidos (4,40 y 4,69), mientras que el SAF2 y SAF4 mostraron pH más altos (5,44 y 5,56). En verano se registraron cambios: el SAF4 obtuvo 6,06 (moderadamente acido), el SAF2 descendió a 4,77 (fuertemente acido), el SAF1 aumentó levemente y el SAF3 pasó de 4,69 a 5,19. Los resultados evidenciaron que la estacionalidad influye en la variación del pH de los suelos evaluados.

Tabla 24

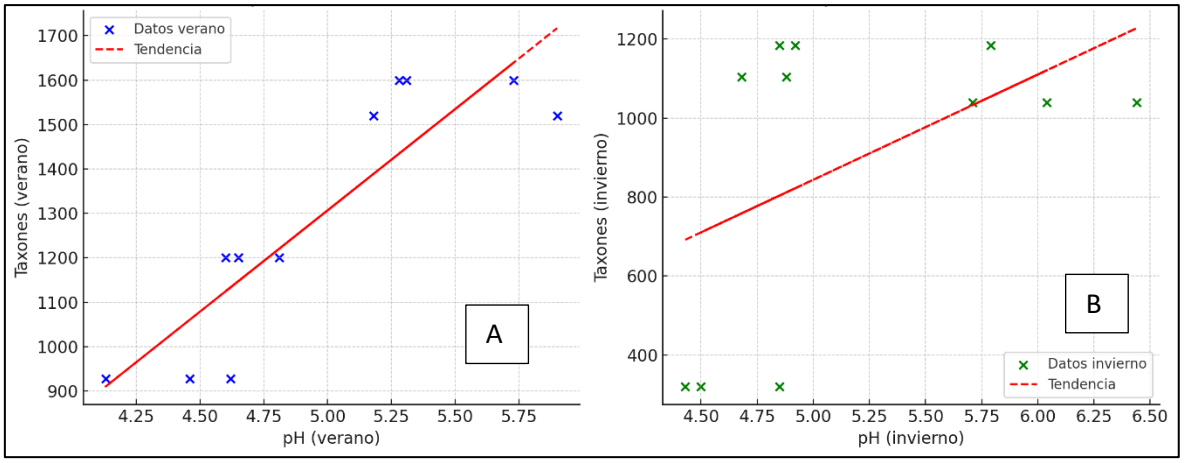
Comparación de promedio estadísticos del pH en los suelos de los SAF evaluados

Época	Símbolo	SAF	pH	Clasificación
Verano	SAF1	*C. cateniformis* + *C. arabica*	4,40 a	Extremadamente ácido
	SAF3	*E. saligna* + *C arabica*	4,69 a	Muy fuertemente ácido
	SAF2	*E. torreliana* + *C. arabica*	5,44 b	Fuertemente ácido
	SAF4	*I. edulis* + *C. arabica*	5,56 b	Moderadamente ácido
Invierno	SAF1	*C. cateniformis* + *C. arabica*	4,59 a	Muy fuertemente ácido
	SAF2	*E. torreliana* + *C. arabica*	4,77 a	Muy fuertemente ácido
	SAF3	*E. saligna* + *C arabica*	5,19 ab	Moderadamente ácido
	SAF4	*I. edulis* + *C. arabica*	6,06 b	Moderadamente ácido

Al efectuar la correlación entre los taxones edáficos de las estaciones de verano e invierno frente al pH del suelo, se obtuvo una correlación fuerte con un r = 0,884, identificando que a menor acidez del suelo se incrementó la riqueza de los taxones en verano. Mientras que, en invierno se tuvo una correlación de r = 0,486 siendo una correlación positiva moderada, indicando que en verano el pH influyó poco en la macrofauna edifica y podrían influir otras variables. EL SAF3 ostentó mejor estabilidad entre pH y taxones edáficos en ambas estaciones, aunque el pH no fue el más alto (4,69) no presentó cambios extremos entre estaciones y los taxones permanecieron constantes (1200/1184) (Figura 27 A y B).

Figura 27

Gráfico de tendencia del pH frente a los taxones edáficos en los SAF evaluados



Conductividad eléctrica (CE)

El ANOVA para la conductividad eléctrica mostró diferencias significativas entre los suelos de los SAF en ambas épocas con p-valores de 0,019 en verano y 0,003 en invierno siendo menores a 0,05. La prueba de Shapiro Wilk confirmó la normalidad de los residuos con p-valores de 0,294 y 0,109 siendo mayores 0,05. Mientras que, la homogeneidad de varianzas obtuvo p-valores de 0,294 y 0,109 (> 0,05). Siendo el ANOVA aplicado a la conductividad eléctrica estáticamente confiable en ambas estaciones.

Según la prueba de Tukey (Tabla 25), la conductividad eléctrica de los suelos en todos los SAF se clasificó como no salinos, aunque con ligeras diferencias. En verano, el valor más bajo fue en el SAF4 con 0,00049 dS/m, seguido por el SAF1 con 0,00075 dS/m y el SAF3 con 0,00079 dS/m. en invierno, se registraron leves incrementos: SAF4 tuvo 0,00081 dS/m, el SAF3 0,00102 dS/m, el SAF1 presentó una CE de 0,00105 dS/m, mientras que el SAF2 alcanzó el mayor valor con 0,00124 dS/m.

Tabla 25

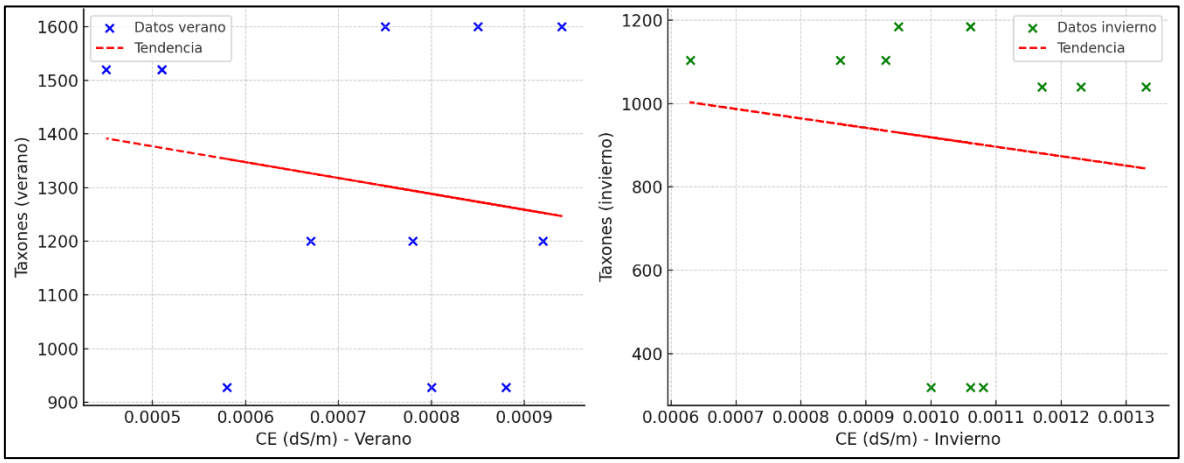
Promedios alcanzados para CE en suelo de los SAF evaluados en época de verano e invierno

Ubicación según media estadística	Conductividad eléctrica de suelo/verano	Ubicación según media estadística	Conductividad eléctrica de suelo/invierno	Clasificación
SAF4	0,00049 a	SAF4	0,00081 a	
SAF1	0,00075 ab	SAF3	0,00102 ab	0-0,98 dS/m
SAF3	0,00079 b	SAF1	0,00105 ab	Suelos
SAF2	0,00085 b	SAF2	0,00124 b	No salinos

Al efectuar la correlación entre la conductividad eléctrica y los taxones edáficos entre los SAF evaluados se obtuvo una correlación de r = - 0,180 para estación de verano. Igualmente, la correlación para estación de verano fue de r = -0,110 indicando en ambos casos que la conductividad eléctrica no influye en la variación de los taxones edáficos, por lo que no representa un factor limitante ni determinante para las diversidades de taxones (Figura 28 A y B).

Figura 28

Gráfico de tendencia de la conductividad eléctrica y los taxones edáficos en los SAF evaluados



Carbono total (CT)

El ANOVA para carbono total de los SAF evaluados en distintas épocas mostró diferencias significativas (p-valor < 0,05). La prueba de normalidad indicó que los residuos se distribuyen normalmente con p-valores de 0,470 en verano y 0,520 en invierno (p-valor > 0,05) y la homogeneidad de varianzas también fue válida para ambas épocas (p-valores de 0,275 en verano y 0,435 en invierno (p-valor > 0,05).

El análisis del carbono inorgánico total mostró que en verano los SAF de *E. saligna* + *C arabica* y el SAF de *E. torreliana* + *C. arabica* ostentaron los valores más altos con 16,48 %, mientras que, los bajos correspondieron a SAF *C. cateniformis* + *C. arabica* y el SAF de *I. edulis* + *C. arabica* con 6,90 y 4,42 %. En invierno, los mismos SAF mantuvieron los valores más altos con 17,60 % y 17,2 % con ligeros incrementos con respecto al verano, al igual que los SAF de *C. cateniformis* + *C. arabica* y el SAF de *I. edulis* + *C. arabica* con 7,47 y 5,07 % (Tabla 26).

Tabla 26

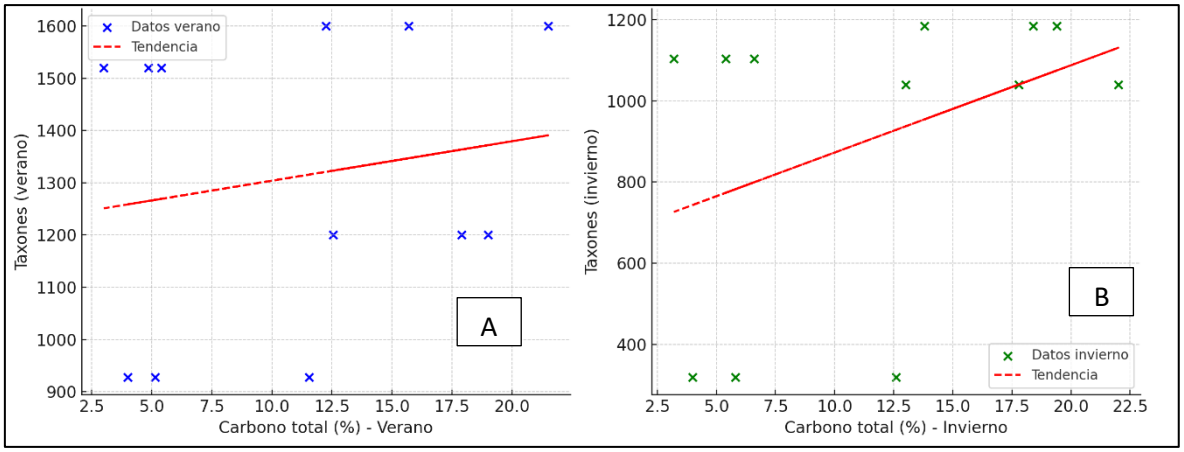
Comparación de promedios estadísticos con respecto al carbono total (%) en los SAF evaluados por época

Ubicación según media estadística	Carbono total (%) verano	Ubicación según media estadística	Carbono total (%) invierno
SAF3	16,48 a	SAF2	17,60 a
SAF2	16,48 a	SAF3	17,20 a
SAF1	6,90 b	SAF1	7,47 b
SAF4	4,42 b	SAF4	5,07 b

La correlación para época de verano entre el carbono orgánico y los taxones edáficos en general arrojo una correlación muy débil con r = 0,180, igualmente en invierno la correlación fue moderada con un r = 0,400. Los resultados indicaron que el carbono orgánico ostentó una influencia moderada con los taxones edáficos sobre todo en invierno (Figura 29 A y B).

Figura 29

Gráfico de tendencia entre carbono orgánico total y los taxones edáficos



Materia orgánica total (MO)

El ANOVA para materia orgánica mostró diferencias significativas entre los SAF en verano e invierno con p-valores entre 0,003 y 0,005 (p-valor < 0,05). La prueba de normalidad que ostentaron los p-valores fueron de 0,0824 y 0,613 (p-valor > 0,05) confirmando que los residuos se distribuyeron normalmente. Mientras que, la homogeneidad de varianzas mostró p-valores de 0,697 y 0,435 (p-valor > 0,05) cumpliéndose el supuesto en ambos casos. Por tanto, el ANOVA aplicado fue estadísticamente confiable.

La Tabla 27 muestra que en verano los SAF2 y SAF3 registraron los mayores valores de materia orgánica con 26,75 % y 25,92 %, mientras que, el SAF1 y SAF4 presentaron los más bajos con 10,24 % y 6,82 %. En invierno, la tendencia se mantuvo sin variaciones significativas respecto al verano: SAF2 y SAF3 continuaron con porcentajes más altos (27,37 % y 26,75 %) y los SAF2 y SAF3 con los más bajos (11,61 % y 7,88 %). En ambos periodos, los valores se clasificaron como altos en materia orgánica.

Tabla 27

Comparación de promedios estadísticos para materia orgánica (%) según época

Ubicación según media estadística	Materia orgánica total (%) verano	Ubicación según media estadística	Materia orgánica total (%) invierno	Clasificación
SAF2	26,75 a	SAF2	27, 37 a	Bajo Menor de 2 %
SAF3	25,92 a	SAF3	26,75 a	Medio De 2 a 4 %
SAF1	10,24 b	SAF1	11,61 b	Alto Mayor de 4 %
SAF4	6,82 b	SAF4	7,88 b	

Al efectuar la correlación entre materia orgánica y los taxones edáficos de los SAF evaluado se obtuvo una correlación de r = 0,210 siendo una correlación muy débil. Sin embargo, la correlación para la estación de invierno obtuvo un r = 0,400 teniendo una dependencia moderada. Los resultados indicaron que en verano por si sola la materia orgánica no influye en la macrofauna edáfica necesita de otras condiciones como humedad y otros recursos. Las bajas correlación está condicionado por los tipos de SAF evaluados y el nivel de aporte de materia orgánica (Figura 30 A y B; Figura 31).

Figura 30

Gráfico de tendencia de la materia orgánica vs taxones edáficos de los sistemas evaluados con respecto a las estaciones

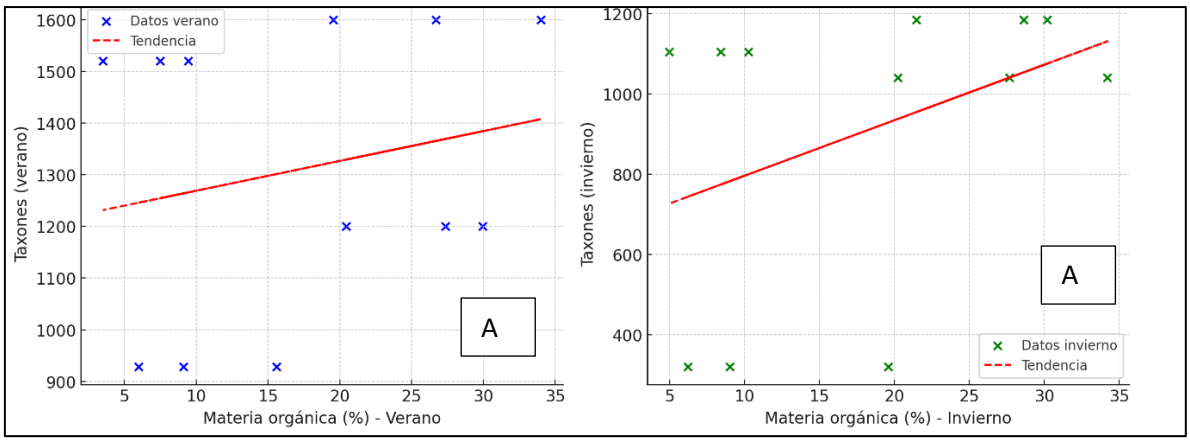
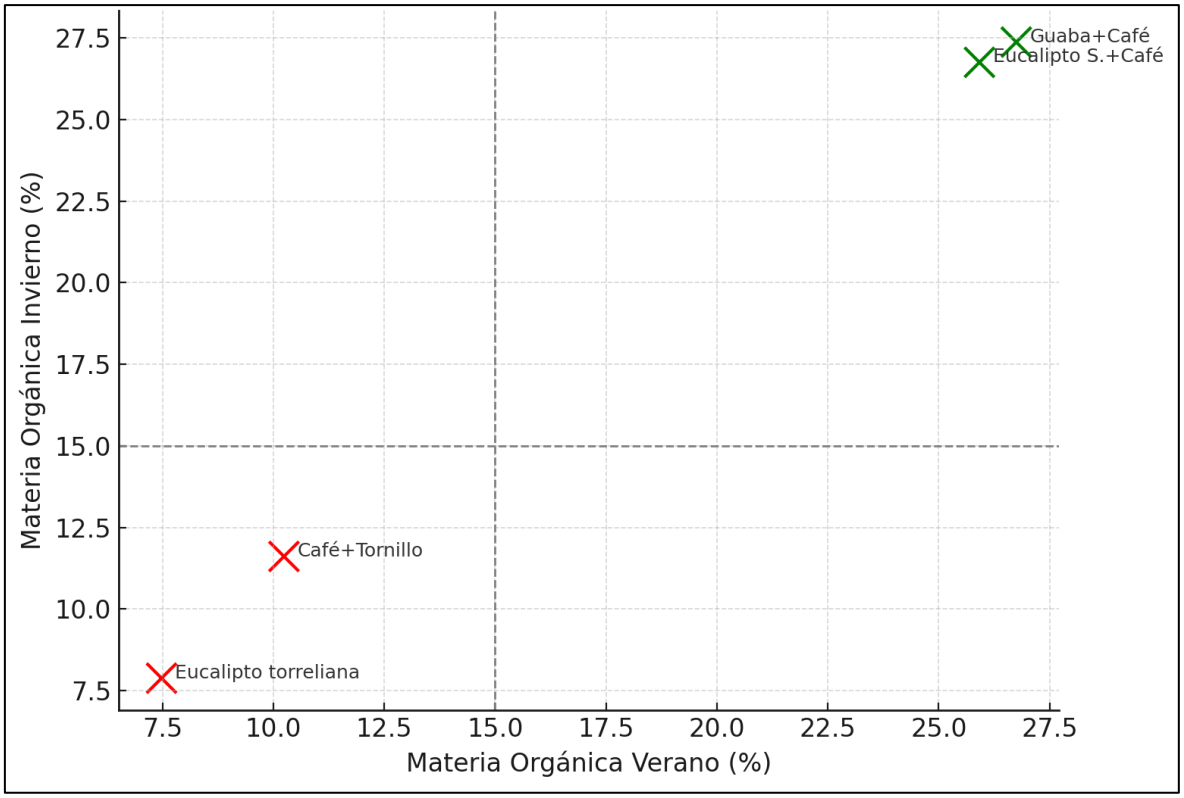


Figura 31

Comparación de SAF con alta y baja materia orgánica según estación



Nitrógeno total (N)

El ANOVA para nitrógeno mostro diferencias significativas entre los SAF en verano e invierno con p-valores de 0,003 y 0,005 (p-valor < 0,05). La prueba de normalidad confirmó que los residuos se distribuyeron normalmente al presentar p-valores de 0,768 y 0,590 (p-valor > 0,05). En cuanto la homogeneidad los valores fueron de 0,029 y 0,455, no cumpliéndose el supuesto de homogeneidad. Por ello, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, obteniéndose un p-valor de 0,035 lo que indicó diferencias significativas en el contenido de nitrógeno durante la temporada de verano.

En verano el mayor contenido de nitrógeno se registró en el SAF3 a base *E. saligna* + *C arabica* con 0,96 %, seguido por el SAF2 integrado por *E. torreliana* + *C. arabica* con 0,89 %. En un nivel intermedio estuvo el SAF1 compuesto por *C. cateniformis* + *C. arabica* con un porcentaje de 0,51 %, mientras que, el SAF4 formado por *I. edulis* + *C. arabica* presentó el porcentaje más bajo con 0,28 %. En los valores se mantuvieron en el mismo

orden: e*l* SAF2 alcanzo el mayor porcentaje de nitrógeno con 1,24 %, seguido por el SAF3 con 1,21 %. Mientras que, el SAF1 presento un valor intermedio con 0,53 % y muy por debajo de este el SAF4 con 0,36 % (Tabla 28).

Tabla 28

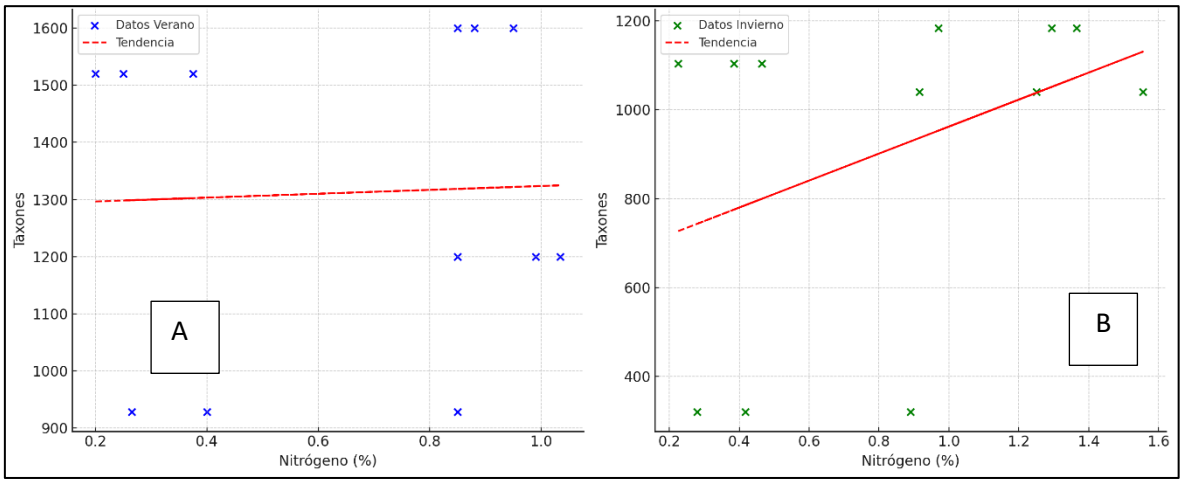
Comparación de promedios estadísticos nitrógeno total del suelo de los SAF evaluados

Ubicación según media estadística	Nitrógeno total (%) verano	Ubicación según media estadística	Nitrógeno total (%) invierno
SAF3	0,96 a	SAF2	1,24 a
SAF2	0,89 ab	SAF3	1,21 a
SAF1	0,51 bc	SAF1	0,53 b
SAF4	0,28 c	SAF4	0,36 b

En estación de verano la correlación fue de r =0,04, esto indico que no existe una relación lineal entre los niveles de nitrógeno en el suelo con la abundancia de taxones edáficos, es decir durante el verano el nitrógeno no parece ser un factor determinante en la variación de la macrofauna edáfica. Para la estación de invierno se obtuvo una correlación moderada (r = 0,390), el resultado indicó que a mayores concentraciones de nitrógeno en el suelo se incrementa el número de taxones (Figura 32 A y B).

Figura 32

Gráfico de afinidad entre nitrógeno y taxones edáficos con respecto a las estaciones evaluados



Fósforo (P)

El ANOVA aplicado a los resultados de fosforo en los distintos SAF no mostró diferencias significativas entre tratamientos (p-valor = 0,145 y 0,507), indicando valore similares entre ellos. La prueba de normalidad revelo que los residuos de verano e invierno siguieron una distribución normal (p-valor = 0,069 y 0,401). En cuanto a la homogeneidad se obtuvo p-valores de 0,504 y 0,012 constatándose que para la estación de verano no se cumplió el supuesto de homogeneidad en efecto se empleó el ANOVA de Kruskal Wallis obteniendo como resultado un p-valor = 0,293 indicando que también no hay diferencias significativas.

Los resultados de fósforo en los suelos de SAF no mostraron diferencias estadísticas significativas entre épocas ni entre sistemas. Sin embargo, en verano se evidencio que el SAF2 con 8,67 ppm y el SAF4 con 7,47 ppm que alcanzaron niveles medios, mientras que, el SAF1 con 6,67 ppm y el SAF4 en 5,50 ppm, se clasificaron como suelos pobres en fósforo. En invierno tampoco hubo diferencias significativas, se observó un ligero incremento, destacando el SAF2 con 9,53 ppm, seguido del SAF1 EN 8,83 ppm, SAF3 en 8,78 ppm y SAF4 en 8,24 ppm, todos dentro del nivel medio (Figura 29).

Tabla 29

Promedios estadísticos para fósforo (ppm) en los suelos de los SAF evaluados en distintas épocas

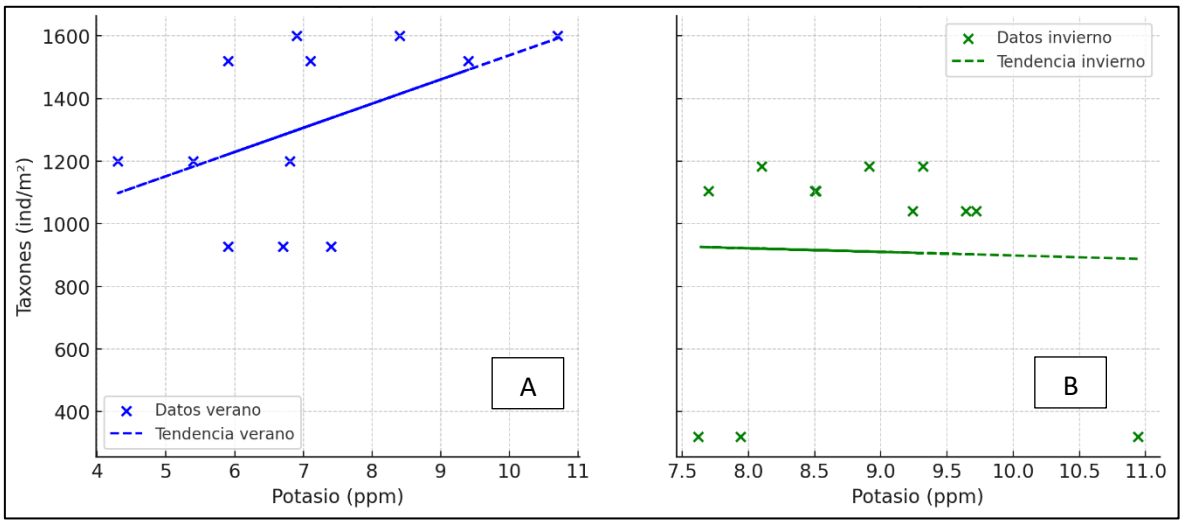
SAF	Fósforo total/verano	Media estadística	Fósforo total/invierno	Parámetro
SAF2	8,67 a	SAF2	9,53 a	Bajo: Menor a 7 ppm
SAF4	7,47 a	SAF1	8,83 a	Medio: De 7 a 14 ppm
SAF1	6,67 a	SAF3	8,78 a	Alto: Mayor de 14 ppm
SAF3	5,50 a	SAF4	8,24 a	

Al efectuar la correlación entre fósforo y los taxones edáficos se obtuvo un r = 0,490 de correlación moderada en época de verano. Mientras que, para la estación de invierno el r = -0,030 de una correlación nula sin significancia. Indicando que el fósforo se asocia

positivamente con la abundancia de taxones en verano, mas no para invierno (Figura 33 A y B).

Figura 33

Gráfico de tendencia de taxones con el fósforo en los SAF evaluados



Potasio (K)

El ANOVA aplicado a los valores de potasio en los suelos de los SAF mostró diferencias significativas tanto en verano como en invierno ($p < 0,05$). La prueba de Shapiro-Wilk indicó que los residuos siguen una distribución normal (p-valor = 0,294 en verano y p-valor = 0,606 en invierno). Asimismo, la prueba de homogeneidad arrojó p = 0,741 y 0,112, confirmando que los valores son homogéneos en ambas épocas. Por lo tanto, el ANOVA realizado es estadísticamente válido.

En verano, el análisis estadístico mostró dos grupos diferenciados de potasio: SAF3, SAF2 y SAF1 con medias similares, y SAF4 con una media distinta (78,93 ppm). Todos estos valores se clasificaron como bajos (<100 ppm). En invierno, los cuatro SAF presentaron diferencias significativas entre sí: SAF3 alcanzó el mayor valor (194,87 ppm), seguido por SAF1 (168,02 ppm), SAF2 (140,05 ppm) y SAF4 (121,49 ppm). Según la clasificación, estos valores corresponden a un nivel medio (100–240 ppm) (Tabla 30).

Tabla 30

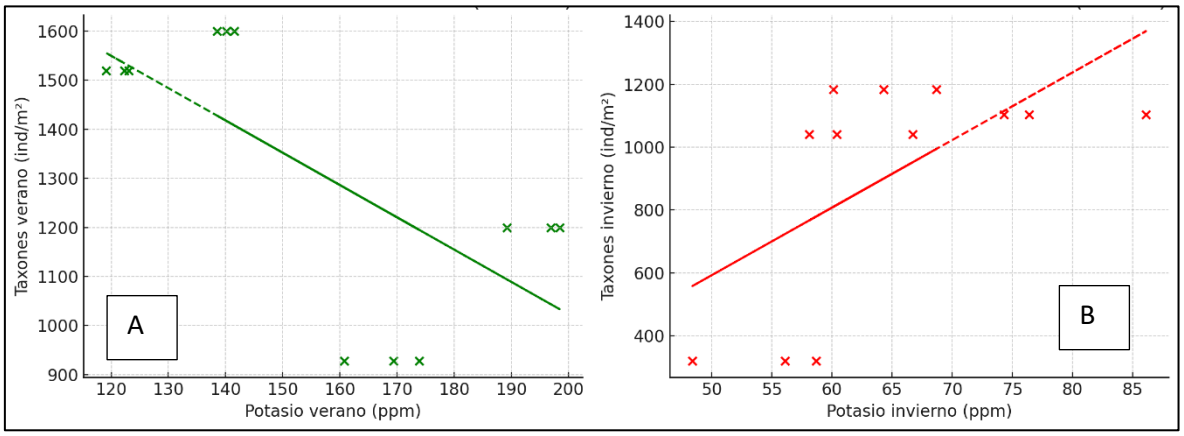
Comparación de medias estadísticas para potasio (ppm) en época de verano e invierno

Ubicación según media estadística	Potasio (ppm) Verano	Ubicación según media estadística	Potasio (ppm) Invierno	Parámetro
SAF4	78,93 a	SAF3	194,87 a	Bajo: Menor a 100 ppm
SAF3	64,37 b	SAF1	168,02 b	Medio: 100-240 ppm
SAF2	61,73 b	SAF2	140,05 c	Alto: Mayor a 240 ppm
SAF1	54,40 b	SAF4	121,49 d	

Al efectuar la correlación entre el potasio y la abundancia de taxones edáficos en verano se obtuvo una correlación negativa (r = -0, 690), mientras que, en invierno se obtuvo correlaciones positivas con r = 0,610. Estos resultados indicaron que conforme el potasio en concentraciones altas limita la población de macrofauna edáfica. En tanto en invierno el potasio se relación positivamente con la abundancia de taxones (Figura 34 A y B).

Figura 34

Grafica de tendencia entre potasio y abundancia de taxones edáficos



Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El ANOVA de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) mostró diferencias significativas entre los suelos de los SAF en verano (p-valor = 0,020) e invierno (p-valor = 0,004). La prueba de Shapiro-Wilk confirmó que los datos siguen una distribución normal (p-valor = 0,556 y 0,732). En cuanto a la homogeneidad, en verano no se cumplió el supuesto (p-valor

= 0,013), mientras que en invierno sí se observó homogeneidad de varianzas (p = 0,157) (Figura 45). En verano, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) mostró valores bajos (5–15 cmol (+) kg^{-1}), destacando el SAF2 (8,12) y SAF4 (7,65) con medias similares, mientras que el SAF3 (7,22) y SAF1 (5,32) presentaron los valores más bajos. En invierno, los resultados se ubicaron en un nivel medio (15–25 cmol (+) kg^{-1}), con diferencias leves entre SAF: el SAF2 registró la media más alta (17,26), seguido de SAF4 (14,39) y SAF3 (13,68) con letras en común, y el SAF1 alcanzó la media más baja (10,27) (Tabla 31).

Tabla 31

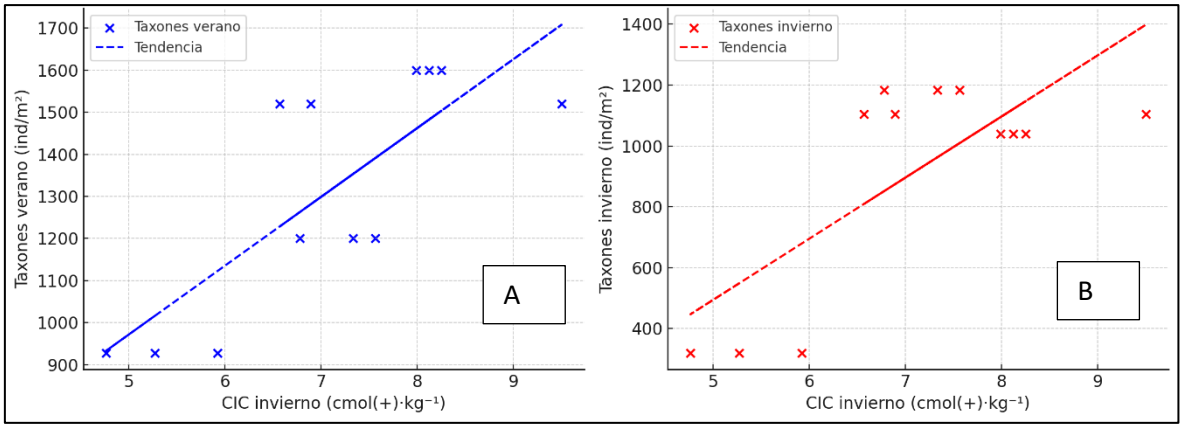
Promedios de capacidad de intercambio catiónico por SAF evaluado

Ubicación según media estadística	Capacidad de intercambio catiónico (cmol (+) kg^{-1} suelo) /verano	Ubicación según media estadística	Capacidad de intercambio catiónico (cmol (+) kg^{-1} suelo) /invierno	Parámetro
SAF2	8,12 a	SAF2	17,26 a	Muy bajo: Menor de 5
SAF4	7,65 a	SAF1	14,30 ab	Bajo: De 5 a 15
SAF3	7,22 ab	SAF3	13,68 ab	Medio: De 15 a 25
SAF1	5,32 b	SAF4	10,27 b	Alto: De 25 a 40
				Muy alto: Mayor de 40

La correlación es positiva tanto en verano con en invierno con r = 0,790 en verano y 0,750 en invierno indicando que es un factor clave en la macrofauna edáfica. Esto sugiere que suelos con mejor capacidad de intercambio catiónico ofrecen mayores recursos y estabilidad química, impulsando la presencia y actividad de organismos edáficos (Figura 35 A y B).

Figura 35

Gráfico de tendencia de CIC frente a los taxones edáficos en los SAF evaluados

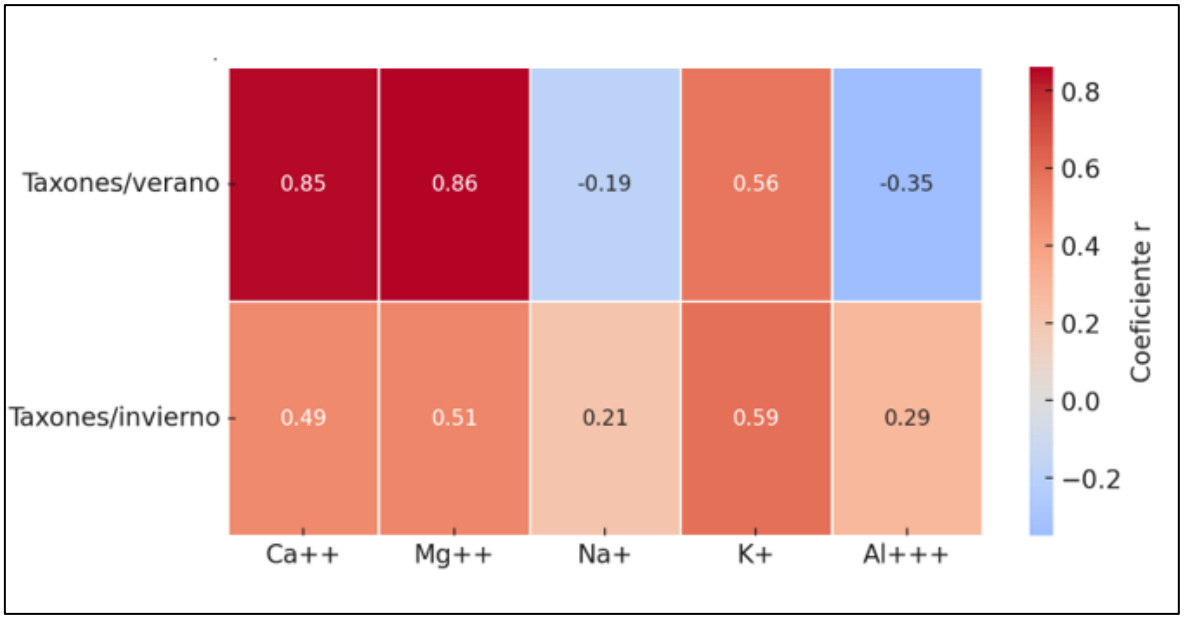


Con respecto a los elementos cambiables el SAF1 presentó bajo calcio y magnesio, mientras que aluminio elevado; esto indicaría la limitación de macrofauna edáfica. El SAF2 presentó condiciones químicas de suelo alto en calcio, magnesio y bajo en aluminio, ostentando buena afinidad con los taxones edáficos. El SAF3 presentó alta saturación de calcio, magnesio y bajo aluminio siendo un ambiente favorable para la macrofauna. SAF4 presentó bajo calcio, magnesio y exceso de aluminio, poseyendo un suelo limitante para el potencial edáfico. Lo que también se evidenció fue aumento del potasio (K^{+}), podría atribuirse a fertilización química, dinámica estacional de la materia orgánica y la reducción de acidez.

También se efectuó un análisis de los elementos cambiables (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+} y Al^{+++}) donde se puedo evidenciar que en estación de verano el magnesio presentó una relación de 0,860, ostentando mayor afinidad con los taxones edáficos. El potasio también presentó una correlación moderada (r=0,56). Mientras que en invierno fue el potasio quien jugó un rol más activo con los taxones edáficos (r=0,590), seguido por el magnesio (r=0,510) y calcio (r=0,490). El aluminio presentó una relación negativa (r=-0,35) mostrando que a mayores niveles es tóxico para la macrofauna edáfica, igualmente el sodio presentó el mismo efecto negativo (r=-0,19) en estación de verano. Para invierno, también mostraron efectos negativos el sodio y el aluminio (Figura 36).

Figura 36

Gráfico de correlaciones de taxones edáficos y elementos cambiables



3.2.3. Relación entre las propiedades químicas y macrofauna edáfica

Al realizar el análisis de correlación entre las viables químicas del suelo y la macrofauna edáfica facilitó identificar afinidades tanto positivas y negativas que ostentaron en respuesta los taxones de los SAF evaluados, las afinidades positivas y negativas de estación de verano e invierno se destacan en la Tabla 32 y 33 las correlaciones se detallan en la Figura 37 y 38.

Tabla 32

Relación de afinidades entre las propiedades químicas del suelo y la macrofauna edáfica estación de verano

Taxones	Afinidades positivas y negativas
Hemiptera	Mostró una fuerte relación positiva de intercambio catiónico (r = 0,81) y potasio (r=0,68), indicando que la mayor fertilidad y disponibilidad de nutrientes favorecen su abundancia.
Coleoptera	Ostentó alta afinidad con el fósforo (r=0,840) y también con CIC (r=0,66), expresando que la disponibilidad de fósforo está asociada con estos taxones.
Isopoda	Se asocio principalmente con la CIC (r=0,790) y materia orgánica (r=0,580), lo que evidencio que la descomposición de residuos y el estado del suelo está asociado a este orden taxonómico.
Oligochaeta	El orden Oligochaeta ostentó correlaciones más altas vinculado principalmente con la CIC (r=0,910), potasio (r=0,880) y el pH (r=0,930) evidenciando que pH menos acido mejor presencia de taxones edáficos y mejores propiedades químicas facilitando condiciones clave para su proliferación.
Araneae	Exhibió una afinidad moderada con el potasio (r=0,690) y pH (r=0,430). Hay correlaciones negativas fuertes con materia orgánica, nitrógeno, carbono total y conductividad eléctrica, esto indicaría que de estas propiedades no dependería, si no de la disponibilidad de presas.
Blattodea	Respondió de forma positiva al nitrógeno (r= 0,380), carbono total (r=0,360) y materia orgánica (r=0,340), reflejando que su abundancia esta influenciada por estos aportes nutricionales.
Diplopoda	Se asoció al fósforo (r=0,800) y materia orgánica (r=0,600). Sugiriendo que los nutrientes disponibles suelen mantenerse en presencia de estos taxones
Hymenoptera	Presentó correlaciones negativas marcados con nitrógeno (r=-0,970), materia orgánica (r=-0,940) y carbono total (r=-0,960), reportando que altas concentraciones de nutrientes limitan su presencia.
Orthoptera	Se correlacionó negativamente con el pH (r=-0,680 y la capacidad de intercambio catiónico (r=-0,930)
Isopteros	Relación negativa con materia orgánica (r=-0,460) y nitrógeno (r=-031), mostrando más afinidad por suelos pobres en nutrientes
Chilopoda	Mostró relación negativa con potasio (r=-0,790) y capacidad de intercambio catiónico (r=-0,810), igualmente posee más afinidad por encontrarse en suelos con menor fertilidad edáfica

Figura 37

Correlación de las variables químicas de los suelos con los taxones identificados en los SAF evaluados época de verano

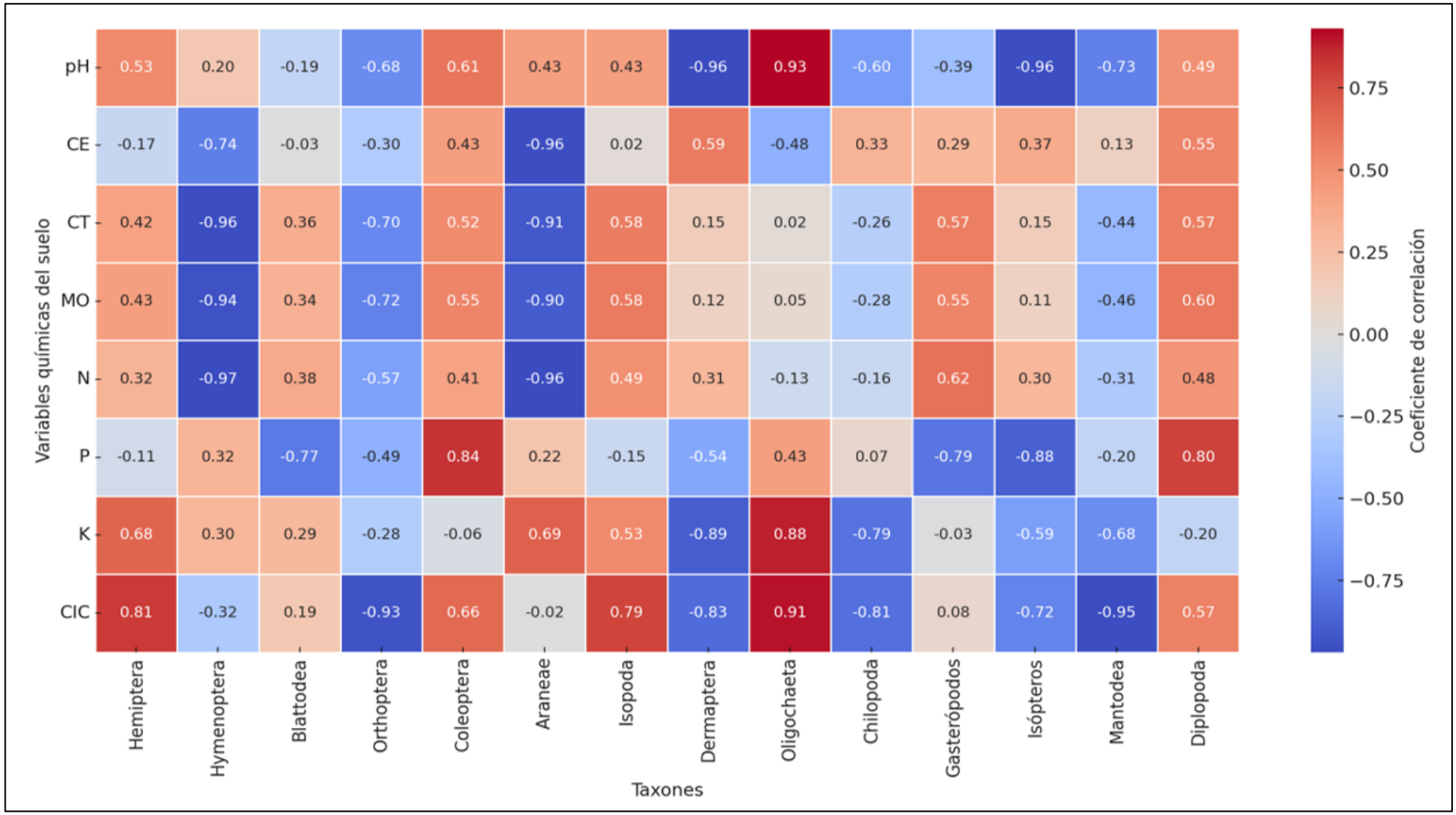


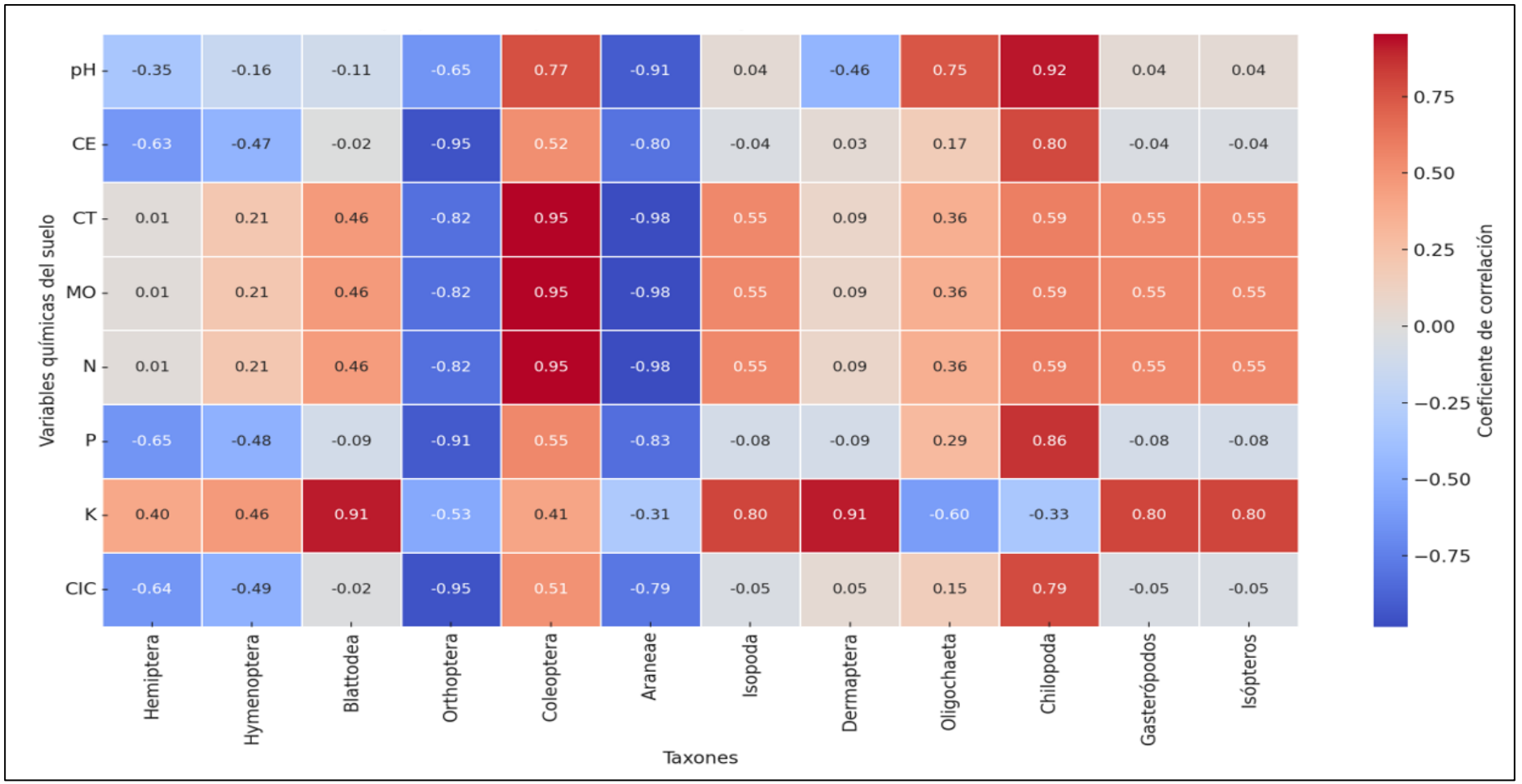
Tabla 33

Relación de afinidades entre las propiedades químicas del suelo y la macrofauna edáfica estación de invierno

Taxones	Afinidades positivas y negativas
Hemiptera	Mostró una débil relación negativa débil capacidad de intercambio catiónico (r = -0,640), fósforo (r=-0,650), conductividad eléctrica (r=-0,630) y potasio una correlación positiva (r=0,44). La relación evidencia sensibilidad a condiciones de salinidad, mientras que su correlación positiva con el potasio favorece la calidad de las plantas.
Coleoptera	El fósforo (r=0,550) y materia orgánica (r=0,950), expresando que la disponibilidad de los taxones está asociada con el fósforo y el contenido de materia orgánica.
Araneae	Se asocio negativamente con pH (r=-0,910), conductividad electica (r=-0,800), carbono total, materia orgánica, nitrógeno (r=-0,980), fósforo (r=-0,830) y capacidad de intercambio catiónico (r=-0,790). Este grupo no responde positivamente a la fertilidad química del suelo, lo que sugiere que prefieren ambientes menos ricos en nutrientes.
Oligochaeta	El orden Oligochaeta ostentó correlaciones más altas vinculada a pH (r=0,750), mientras que, la correlación para carbono total, materia orgánica, nitrógeno y fósforo ostentaron correlaciones débiles (r=0,360; r=0,29). Por tanto, Oligochaeta responde principalmente con menor acidez y, en menor medida, a una fertilidad orgánica moderada.
Isopoda	Exhibió una afinidad por el potasio (r=0,800), carbono total, materia orgánica y nitrógeno (r=0,550). Hay una preferencia por suelos con alta disponibilidad de potasio y una fertilidad orgánica moderada, lo que confirma su rol como bioindicadores de suelos fértiles.
Chilopoda	Respondió de forma positiva a la capacidad de intercambio catiónico (r= 0,790), fósforo (r=0,860), carbono total, materia orgánica, nitrógeno (r=0,590), conductividad eléctrica (r=0,800) y pH (r=0,920). Chilopoda se ven fuertemente favorecidos por suelos menos ácidos, fértiles y con alta disponibilidad de fósforo.
Hymenoptera	La materia orgánica, carbono total, nitrógeno (r=0,210), potasio (r=0,460). Indicando afinidad ligera por la fertilidad orgánica y una respuesta más marcada al potasio.
Orthoptera	Presentó correlaciones negativas marcados con la capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica (r=-0,950), potasio (r=-0,910), carbono total, materia orgánica y nitrógeno (r=-0,820), fósforo (r=-0,910), potasio (r=-0,53), pH (r=-0,650). Los Orthoptera se asocian con ambientes de baja fertilidad y baja intervención edáfica.
Isopteros	Se correlacionó con nitrógeno, materia orgánica y carbono total (r= 0,550) y potasio (r=0,800). Hay afinidad por suelos ricos en materia orgánica, nitrógeno y potasio, lo que confirma su rol como bioindicadores de suelos fértiles con alta productividad vegetal
Dermaptera	Relación con potasio (r=0,910), se asocian estrechamente con suelos ricos en potasio.
Gasterópodos	Mostró relación con potasio (r=-0,800) y materia orgánica, carbono total y nitrógeno (r=0,550). Los gasterópodos se ven favorecidos por suelos con fertilidad orgánica moderada, pero muestran sensibilidad a suelos con exceso de potasio.

Figura 38

Correlación de las variables químicas de los suelos con los taxones identificados en los SAF evaluados estación de invierno



3.3. Época temporal que afecta las variables de densidad, abundancia, diversidad de macrofauna y características fisicoquímicas del suelo

En la Tabla 34, la cuantificación general de taxones por época de estudio en los SAF evaluados, de los cuales se puede señalar que en la época de verano hubo más taxones que en la época de invierno. La diferencia de disminución de la época de verano a invierno en el SAF1 representó una disminución de 65,52 %, siendo el SAF que menos individuos tuvo, pero que al mismo tiempo en el cambio de época fue el que mayor porcentaje de disminución presentó con respecto al resto de SAF. En la Tabla 34 el SAF2 fue el que presentó mayor cantidad de individuos en la época de verano y con respecto a la época de invierno mostró una diminución de menos 560 individuos, esto represento una disminución de 35,00 %. Mientras que el SAF3 ostentó 1 200 taxones en verano para invierno tuvo una reducción muy baja con tan solo 16 individuos, representando el 1,33 %. Por último, el SAF4 fueron identificados 1 520 mostrando una reducción para invierno de 416 individuos de macrofauna representando una disminución de 27,37 %.

Tabla 34

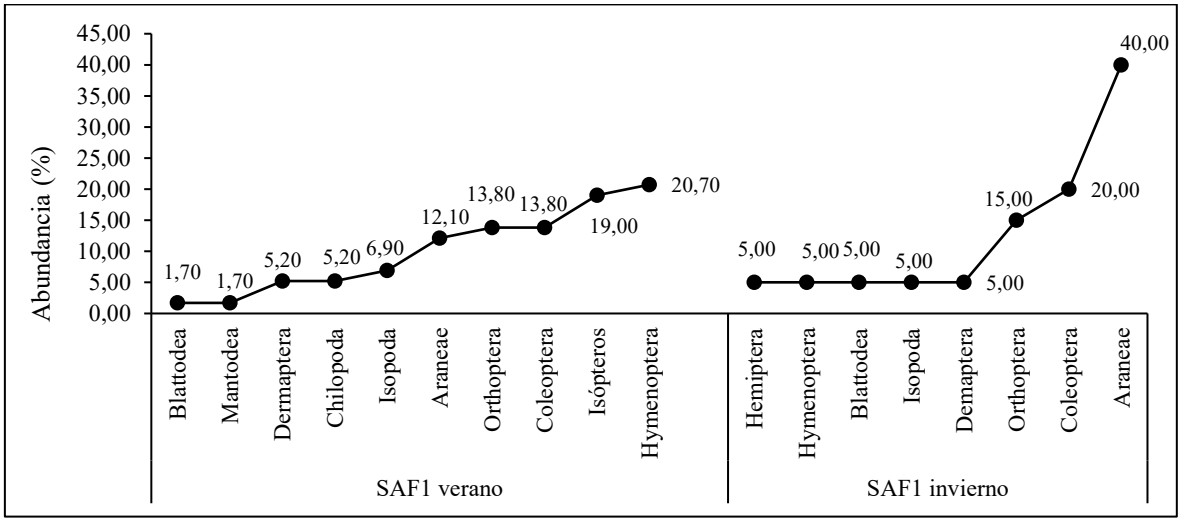
Comparación de abundancia de macrofauna edáfica entre verano e invierno (%)

Datos	SAF1	SAF2	SAF3	SAF4
Macrof. Edáfico verano (ind/m^2)	928	1600	1200	1520
Macrof. Edáfica Invierno (ind/m^2)	320	1040	1184	1104
Disminución cuantitativa	608	560	16	416
Disminución porcentual (%)	65,52	35,00	1,33	27,37

En la Figura 39, se muestra la abundancia de macrofauna edáfica por órdenes del SAF1 con respecto a las épocas verano e invierno en que se efectuaron los estudios. Cabe destacar que en la época de verano fueron identificados 10 órdenes cuya distribución porcentual no es pronunciada, asimismo, en la época de verano se pudo identificar la mayor abundancia en arañas, grillos, escarabajos, termitas y hormigas no habiendo una dominancia pronunciada. A diferencia de la época de invierno hay una reducción en el número de órdenes de 10 a 8 y se pudo apreciar que época de invierno se incrementan los grillos y saltamontes, coleópteros y una dominancia muy pronunciada por arañas en un 40,00 %. La presencia de ingenieros de ecosistemas es muy bajo e inclusive nulos de alguno de ellos.

Figura 39

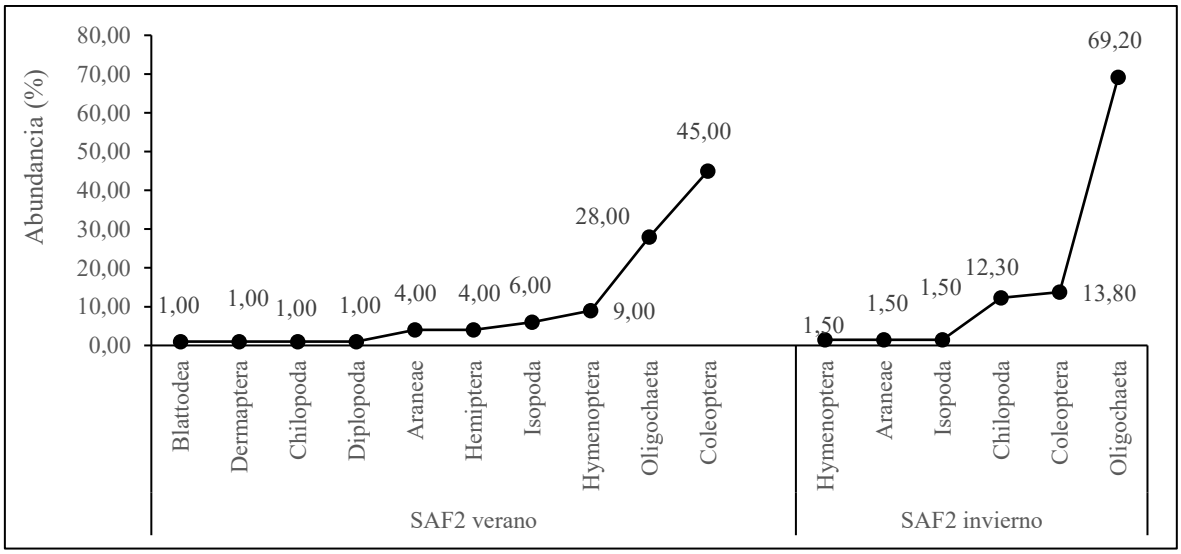
Abundancia de macrofauna edáfica con respecto a invierno y verano en el SAF1



En el agroforestal a base de *E. torreliana* + *C. arabica* (SAF2) en época de verano fueron identificados 10 órdenes de macrofauna edáfica, sin embargo, los órdenes con mayor presencia correspondieron a la cochinilla o chanchitos, hormigas, lombrices y escarabajos. A diferencia de la época de verano en el SAF2 hubo una disminución de ordénenos de 10 a 6 donde hubo una dominancia alta por las lombrices con el 69,20 %, mientras que el resto de ordenes estuvieron muy por debajo de este porcentaje. En ambas épocas hubo la presencia de ingenieros de ecosistema (Figura 40).

Figura 40

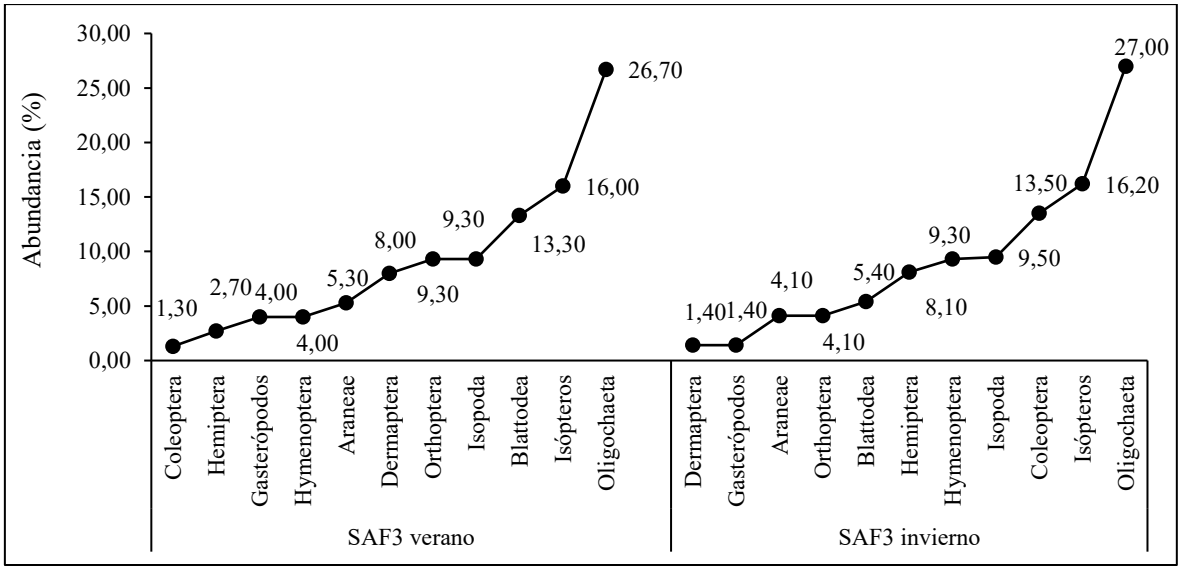
Abundancia de macrofauna edáfica con respecto a las épocas de verano e invierno del SAF2



El SAF3 es el que presentó más uniformidad con respecto a los porcentajes de abundancia tanto en época de verano e invierno, en ambas épocas se identificaron que las termitas y las lombrices son la mayor dominancia con 16,00 y 26,70 % en verano, mientras que en invierno fue de 16,20 y 27,00 %. En ambas épocas se mantuvieron la presencia de los 11 órdenes identificados, con la diferencia que en verano la presencia de escarabajos fue bajo y en invierno subieron de 1,30 a 13,50 %, lo mismo sucedió con los órdenes Hymenoptera e isópoda (Figura 41).

Figura 41

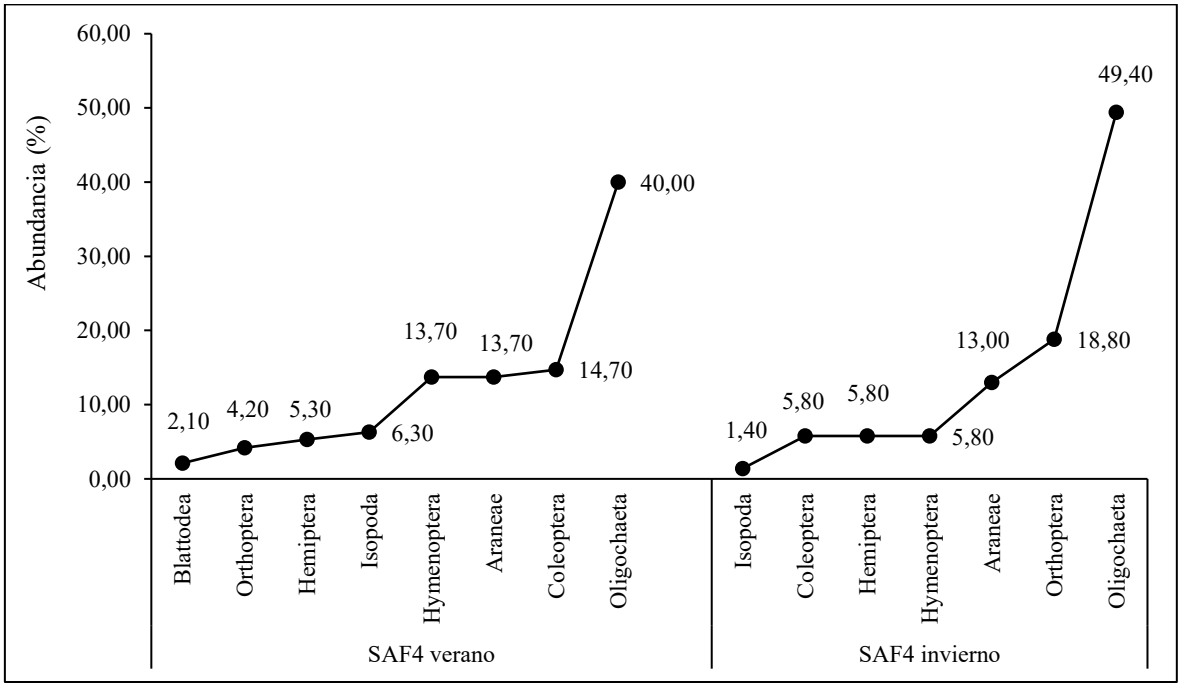
Abundancia de macrofauna edáfica en épocas de verano e invierno en el SAF3



En la Figura 42, se observa la presencia de órdenes de macrofauna edáfica presente en el SAF4 a base *I. edulis* + *C. arabica*. La influencia con respecto a las épocas se puede observar que no es muy pronunciada la disminución de abundancias, también se puede observar que el orden Orthoptera (grillos y saltamontes) en época de verano la abundancia fue de 4,20 % y en época de invierno paso a 18,80 %. Sin embargo, el orden de mayor dominancia fueron las lombrices en ambas épocas con 40,00 y 49,40 %. Otro de los ingenieros del ecosistema fueron las hormigas y escarabajo en verano, mientras que en invierno estas disminuyen o se ausentan.

Figura 42

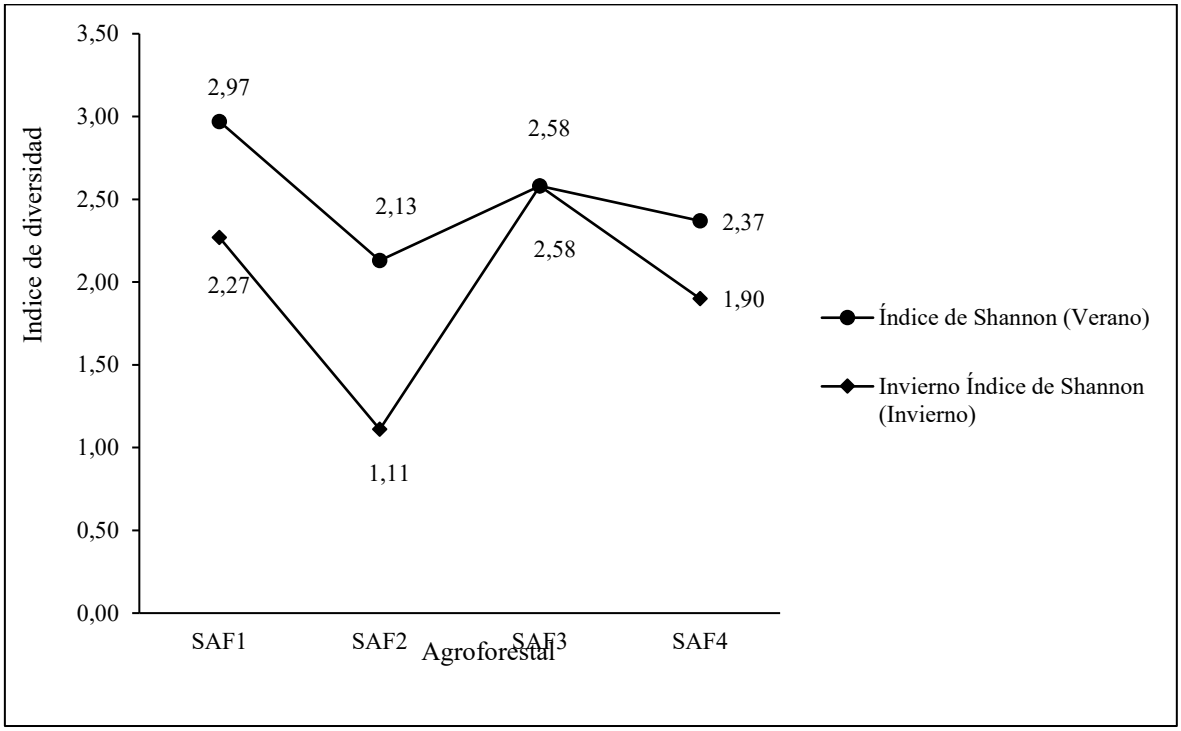
Abundancia de macrofauna edáfica en el SAF4 en época de verano e invierno



En la Figura 43, se puede observar los resultados del nivel de diversidad de macrofauna edáfica en los cuatro SAF evaluados en época de verano, del cual se puede señalar que, esta época, está relacionado con un nivel medio de diversidad. Asimismo, en la época de verano los valores de diversidad fueron más diversas y uniformes (2,97 a 2,13). mientras que, con respecto a la época de verano, se puede visualizar una reducción de la diversidad en los cuatro SAF. Cabe destacar que el SAF2 y SAF4 alcanzaron valores de 1,11 y 1,90, estos resultados fueron indicativos de un nivel bajo de diversidad relacionado a actividades antrópicas en el manejo del SAF. En tanto, los SAF1 y SAF3 mantuvieron el nivel de diversidad en nivel medio (2,27 y 2,58).

Figura 43

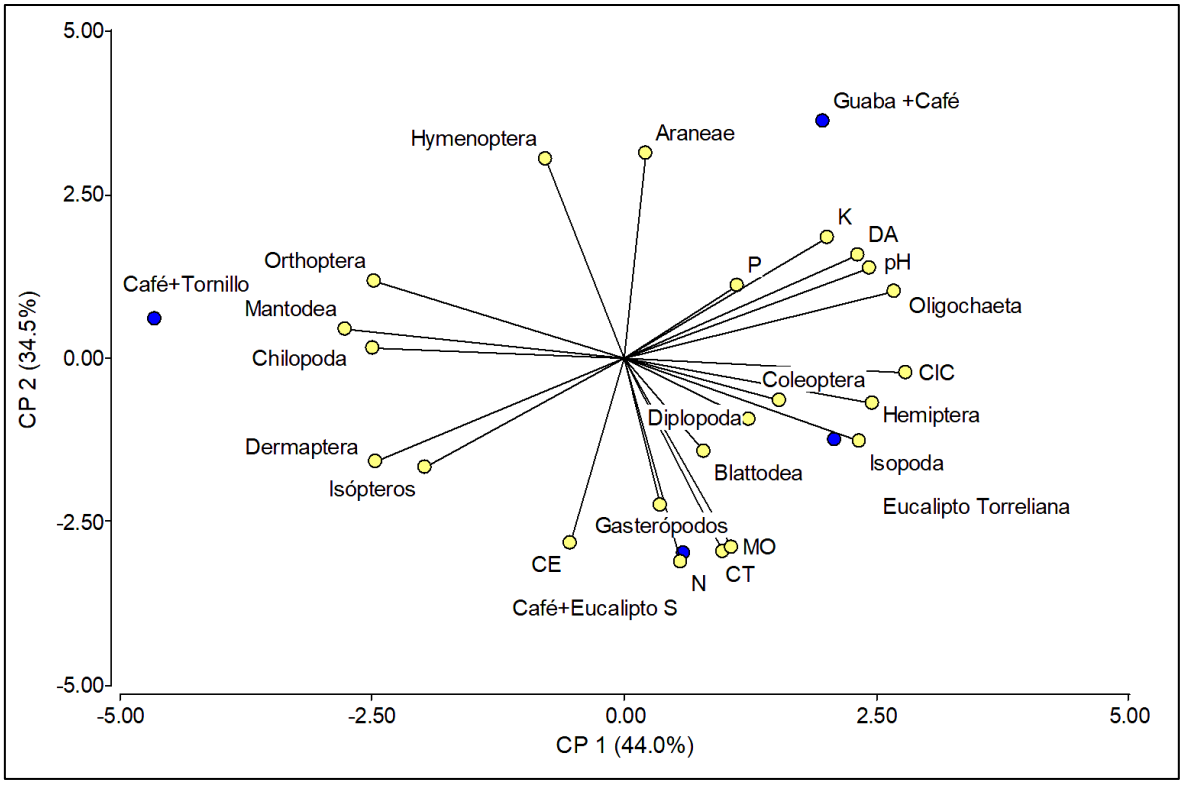
Índice de diversidad de macrofauna edáfica de los SAF en época de verano e invierno



Al efectuar el análisis de componentes principales (ACP) permitió observar efecto de los cuatro SAF evaluados sobre el suelo y macrofauna edáfica, observándose patrones específicos en la época a de verano (Figura 44). La época influyó bastantemente sobre la relación SAF, suelo y macrofauna edáfica, debido que el ACP, mostro una mayor asociación y complementariedad entre las propiedades fisicoquímicas y macrofauna edáfica, por tanto, se consiguió observar que el SAF de *I. edulis* + *C. arabica*, *C. torelliana* + *C. arabica* y *E. saligna* + *C. arabica* presentaron una mejor calidad de conservación. Las propiedades fisicoquímicas con mayor asociación fueron el fósforo, potasio y la densidad aparente a la macrofauna constituido por el orden Oligochaeta en el SAF *I. edulis* + *C. arabica*. Mientras que, en el SAF de *C. torelliana* + *C. arabica* y *E. saligna* + *C. arabica* las propiedades de carbono total, nitrógeno, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico estuvieron asociados a los órdenes Hemiptera, Isopoda, Coleoptera. Sin embargo, el SAF de *C. cateniformis* + *C. arabica* no tuvo ninguna asociación con los parámetros fisicoquímicos, pero si asociado a taxones de Hymenoptera, Orthoptera, Araneae, Isopteros.

Figura 44

Diagrama de asociación entre SAF, parámetros fisicoquímicos y macrofauna edáfica en verano por ACP

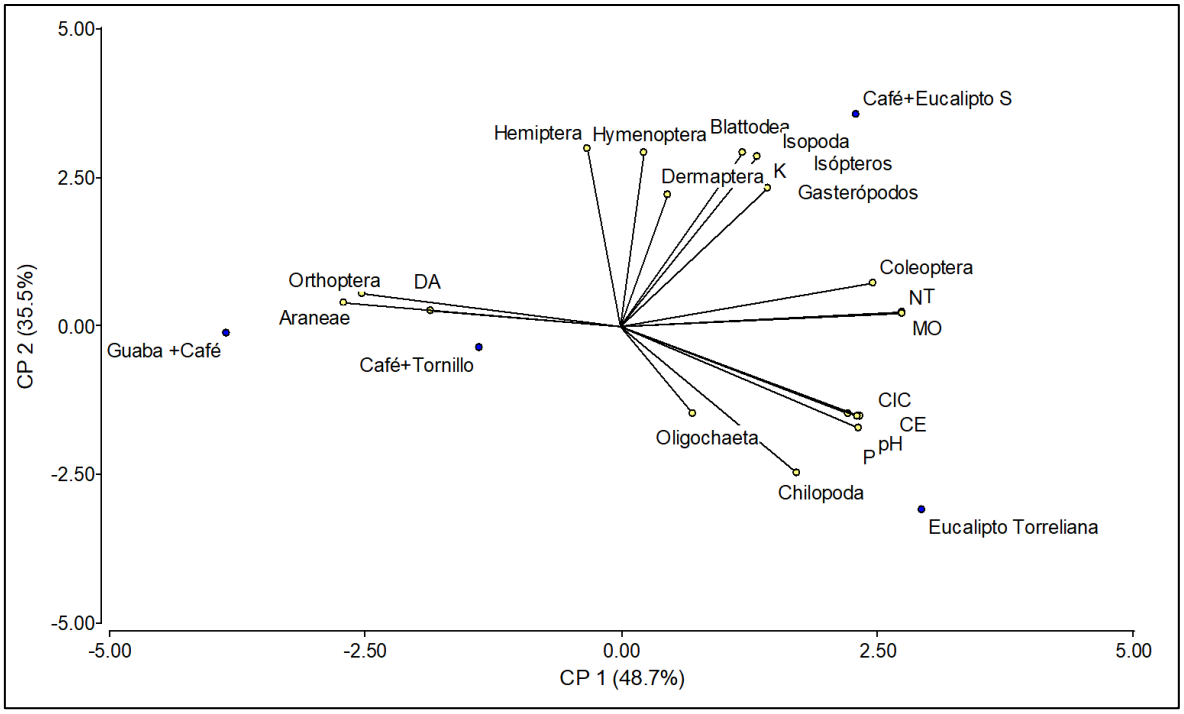


Nota. Las siguientes letras representan las propiedades fisicoquímicas del suelo, N: Nitrógeno, CT: Carbono total, MO: Materia orgánica, CE: Conductividad eléctrica, CIC: Capacidad de intercambio catiónico, P: Fósforo, K: Potasio, DA: Densidad aparente, pH: Potencial de hidrogeno

En la Figura 45, están detalladas las relaciones edáficas con los SAF evaluados en época de invierno, en los cuales se pudo observar un mayor agrupamiento entre el K con Hymenoptera, Isopoda, Isoptera y Coleoptera en el SAF de *E. saligna* + *C. arabica*. Mientras que, el Nitrógeno, Materia orgánica, Capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, fosforo y pH, están muy asociados a los órdenes Oligochaeta, Coleoptera y Chilopoda en los SAF de *C. torelliana* + *C. arabica*. En el SAF de *I. edulis* + *C. arabica* y *C. cateniformis* + *C. arabica* fueron única las relaciones entre la densidad aparente del suelo y los órdenes Orthoptera y Araneae, el primero con características de herbívoro con afectaciones a los cultivos, mientras que, el orden Araneae adopta el comportamiento de controlador biológico.

Figura 45

Diagrama de asociación entre SAF, parámetros fisicoquímicos y macrofauna edáfica en invierno por ACP



Nota. Las siguientes letras representan las propiedades fisicoquímicas del suelo, N: Nitrógeno, CT: Carbono total, MO: Materia orgánica, CE: Conductividad eléctrica, CIC: Capacidad de intercambio catiónico, P: Fósforo, K: Potasio, DA: Densidad aparente, pH: Potencial de hidrogeno.

3.4. Estado de conservación del ecosistema suelo de los SAF evaluados

En el Apéndice 10, se encuentra la cuantificación de macrofauna edáfica en detritívoros y no detritívoros de acuerdo con los órdenes taxonómicos. En época de verano al realizar la cuantificación de detritívoros y no detritívoros el SAF1 presentó 384/544, el SAF2 1296/304, el SAF3 704/496 y el SAF4 960/560. Mientras que, en época de invierno la cuantificación fue en el SAF1 80/224, el SAF2 880/160, el SAF3 864/320 y el SAF4 624/416, observándose que en el SAF1 una presencia de taxones ingenieros de ecosistemas muy bajo e incluso la presencia de algunos como las lombrices (Tabla 35).

Tabla 35

Cuantificación de la macrofauna en detritívoro y no detritívoro de acuerdo con los SAF evaluados

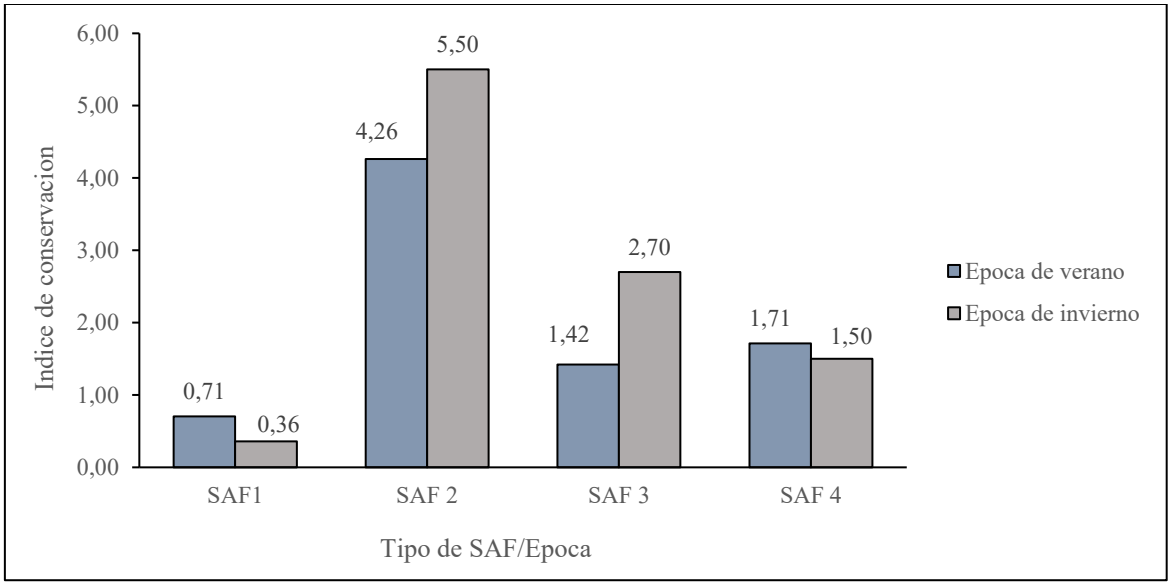
Época	Grupo funcional	SAF1	SAF 2	SAF 3	SAF 4
Verano	Detritívoros (N° de taxones)	384	1296	704	960
	No detritívoros (N° de taxones)	544	304	496	560
	Índice de nivel de conservación	0,71	4,26	1,42	1,71
Invierno	Detritívoros (N° de taxones)	80	880	864	624
	No detritívoros (N° de taxones)	224	160	320	416
	Índice de nivel de conservación	0,36	5,50	2,70	1,50

A partir de los valores expuestos en la Tabla 35 fue determinó el índice de conservación del ecosistema edáfico, en este caso el SAF1 constituido por *C. cateniformis* + *C. arabica* obtuvo un índice de conservación de 0,71 indicativo de un suelo pobre o de baja calidad, mientras que, el SAF3 a base *E. saligna* + *C. arabica* obtuvo un índice de 1,42, el SAF4 integrado por *I. edulis* + *C. arabica* logró un índice de 1,71 y el índice más alto lo obtuvo el SAF2 con 4,26, estos tres sistemas agroforestales presentaron una alta calidad de suelo según el índice obtenido en la época de verano (Figura 46).

En la misma Figura 46, se evidencian los índices de conservación de los SAF en época de invierno. Del cual el SAF1tuvo una ligera tendencia de disminución a 0,36 de índice, siendo este un valor atribuido a una baja calidad de suelo, mientras, que el SAF2 y SAF3 tuvieron una tendencia a subir cuantitativamente con respecto al invierno, alcanzando índices de 5,50 y 2,70, siendo estos los SAF que alcanzaron mayores índices. En tanto, el SAF4 logró un índice de 1,50. Según los resultados obtenidos el SAF2, SAF3 y SAF4 los índices obtenidos es indicativo que el suelo es de buena calidad ecosistémica.

Figura 46

Nivel de índice de conservación de ecosistema edáfico de los SAF evaluados en verano e invierno



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Estimar el potencial biológico en composición, densidad, abundancia y diversidad de macrofauna en cuatro arreglos agroforestales instalados según época en la provincia de Rioja

4.1.1. Composición edáfica en los sistemas agroforestales evaluados

Durante la época de verano, la composición edáfica varió significativamente entre los sistemas agroforestales (SAF). El SAF3, compuesto por *E. salignas* + *C. arabica* obtuvo el menor número de familias (17) y el SAF4 asociado *I. edulis* + *C. arabica* presentó el menor número de órdenes (8) y con una mayor cantidad familias (22) predominado el orden Oligochaeta. Mientras que, el SAF1 integrado por *C. cateniformis* + *C. arabica* ostentó 10 órdenes con 26 familias destacando los órdenes Hymenoptera, Isopteros, Coleoptera y Orthoptera. El SAF2 a base de *E. torreliana* + *C. arabica* tuvo 10 órdenes y 22 familias encabezado por el orden Coleoptera y Oligochaeta. Por otro lado, en la época de invierno hubo una disminución de órdenes y familias en la mayoría de SAF evaluados. El SAF4 redujo su diversidad a siete órdenes y 16 familias, el SAF1 a ocho órdenes y 11 familias, en tanto, el SAF2 a seis órdenes y 16 familias. El SAF3 fue el único SAF que incremento los taxones edáficos, alcanzando 11 órdenes y 22 familias. En total fueron registrados 5 248 taxones en verano y 3 648 invierno.

Estos hallazgos muestran ciertas coincidencias taxonómicas con estudios como el de López (2022) en su investigación sobre agroecosistemas asociados con café, identificó una cuantiosa composición de macrofauna edáfica distribuidos en los nueve ecosistemas evaluados, predominando los órdenes Haplotaxida, Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isóptera Spirostreptida y Pulmonata. Del mismo modo, Tapia *et al*. (2016) en su estudio sobre macrofauna edáfica en agroforestales asociados con cultivos reportaron una amplia composición de taxones destacando los órdenes Isópoda, Oligochaeta e Isóptera. Los hallazgos también coinciden parcialmente con el estudio de Quiroz (2015) quienes caracterizaron la macrofauna edáfica en SAF con café, identificando una abundante composición de macrofauna edáfica con dominio de los órdenes Haplotaxida, Hemiptera,

Coleoptera, Isoptera, Spirostreptida y Pulmonata. Por otro lado, los resultados difirieron con los de Cabrera *et al.* (2021) quienes identificaron una mayor cantidad de macrofauna edáfica en época de invierno, igualmente Navia *et al*. (2021) reportaron una mayor composición edáfica en la época de invierno atribuyendo que en esta época probablemente haya un alto índice de humedad, vegetación y precipitación favoreciendo una mejor relación entre los sistemas agroforestales y la macrofauna edáfica.

La variación en la composición edáfica entre los SAF y las épocas de evaluación pueden atribuirse a múltiples factores, como las condiciones edafoclimáticas, el tipo de cobertura del suelo y el tipo de manejo de los sistemas agroforestales. Orduz *et al*. (2021) afirman que la composición de la macrofauna depende de la estructura de la vegetación, cobertura del suelo, y las condiciones edafoclimáticas. Mientras que, Cabrera *et al.* (2021) y Navia *et al*. (2021) reportaron que, una mayor composición edáfica en invierno, consideran que posiblemente se dé por las condiciones de humedad y disponibilidad de recursos para la época. En tanto, Chávez-Suárez *et al*. (2020) destacan que la diversidad de la macrofauna edáfica está estrechamente ligada con las prácticas de manejo y el tipo de cobertura vegetal en los agroecosistemas, lo que podría explicar las diferencias observadas entre los SAF evaluados en este estudio.

La variabilidad observada en la composición edáfica entre los diferentes sistemas agroforestales (SAF) y entre las épocas (verano e invierno) puede atribuirse a múltiples factores interrelacionados. Entre ellos destacan las condiciones edafoclimáticas locales como la precipitación, temperatura y pendiente del terreno, que influyen directamente en la dinámica del agua en el suelo y la movilidad de partículas finas (limo y arcilla). Asimismo, el tipo de cobertura vegetal presente en cada SAF (especies arbóreas, densidad) afecta la tasa de infiltración, la erosión superficial y el aporte de materia orgánica al suelo. Además, las prácticas de manejo, como la frecuencia de poda, la incorporación de residuos vegetales, el uso de cobertura viva o muerta, y el tránsito de maquinaria o personas, también influyen en la distribución y retención de las fracciones texturales, especialmente en las capas superficiales. En este mismo sentido, estudios recientes reafirman que la interacción entre factores climáticos, cobertura vegetal y manejo incide directamente en la estructura del suelo y en la dinámica de la macrofauna asociada (Pragoyo *et al*., 2019).

4.1.2. Abundancia edáfica en sistemas agroforestales evaluados

En el SAF1 a base de *C. cateniformis* + *C. arabica,* el orden Hymenoptera predominó con un 20,7 % (192 ind./m^2), seguido por Isópteros con 19,0 % (176 ind./m^2), Coleoptera y Orthoptera con el 13,8 % (128 ind./m^2) en ambos casos, en tanto, los órdenes Blattodea y Mantodea tuvieron un menor porcentaje. Por otro lado, el SAF2 (*E. torreliana* + *C. arabica*), en el orden Coleoptera lidero durante la época seca con un 45,0 % (720 ind. / m^2), mientras que en época lluviosa predomino el orden Oligochaeta con 69,2 %. En el SAF3 (*E. saligna* + *C arabica*), el orden más abundante fue Oligochaeta (27,7 %), seguido por Isopteros (16,0 %), Coleoptera (13,0 %) y Hymenoptera e Isopoda (9,3 %). Finalmente, en el SAF4 asociado con *I. edulis* + *C. arabica,* durante el verano, predominó Coleoptera con un 45,0 % y Oligochaeta con un 28,0 %, mientras que en invierno Oligochaeta alcanzo el 69,2 %.

Los resultados obtenidos en el SAF1 difieren de los señalado por Zagatto *et al*. (2020), quienes observaron que los árboles leguminosos tienden a presentar mayor abundancia de macrofauna edáfica comparados con sistemas de eucaliptos. Ccoycca (2018), en un SAF con tornillo + cacao, reportó un predominio del orden Oligochaeta con un 42,9 % y Hymenoptera con un 16,8 %, lo cual contrasta con la ausencia de Oligochaeta en el estudio actual. En sistemas similares, Huamán (2023) encontró que en tornillo + cacao el orden Hymenoptera representó el 43,8 %, similar al predomino de Hymenoptera en el SAF1 del presente estudio. Sin embargo, Sánchez (2018) reportó mayor abundancia en época lluviosa en la Amazonia peruana con Hymenoptera (42,5 %), Isopteros (21,9 %) y Coleoptera (15,4 %), mientras que, en el SAF4 del presente estudio el orden Oligochaeta predomino en ambas épocas. Asimismo, Conrado *et al*. (2023) encontraron resultados cercanos en época seca como lluviosa en sistemas de café + guaba, siendo resultados consistentes con la abundancia de Oligochaeta observada en el SAF2 en época de lluvia. Silva *et al*. (2023) también atribuye la mayor presencia de macrofauna en época lluviosa a condiciones edafoclimáticas, coincidiendo con la preponderancia de Oligochaeta en este estudio.

El predominio de Hymenoptera en el SAF1 podría estar relacionado con la capacidad de adaptarse a condiciones específicas del ecosistema edáfico, como lo mencionan

Hurtado *et al* (2024), quienes encontraron que los órdenes Hymenoptera y Coleoptera están relacionados con procesos de reciclaje de nutrientes. Este aspecto coincide con las observaciones de Raza *et al.* (2019), quienes enfatizan el rol de las hormigas y escarabajos en la mejora de la estructura del suelo. Por otra parte, Wang *et al.* (2018) afirman que cuando las precipitaciones en época de invierno son continuas y extremas afectan negativamente la macrofauna del suelo al modificar el contenido de agua en el suelo, siendo el orden Oligochaeta el que disminuye su población. Cezar *et al.* (2015) enfatiza que los SAF pueden crear las condiciones para mantener los procesos edáficos vitales similares al de áreas de regeneración natural, es decir pueden autorregularse. Igualmente, Virginio *et al.* (2018) atribuyen que los sistemas agroforestales en época de verano regulan el clima, reducen los eventos extremos de temperatura, mantienen la humedad relativa y regulan el ciclo hídrico del suelo. Lo cual es consistente a la mayor abundancia de macrofauna edáfica con alta abundancia de Coleoptera y Oligochaeta en el SAF2. En cuanto al SAF3, Pachacama (2023) sugieren que los sistemas asociados a eucaliptos pueden favorecer la entrada de especies adicionales al ecosistema, lo que podría explicar la diversidad observada en el estudio actual. Sin embargo, Yang *et al*. (2017) advierten que este tipo de asociaciones puede alterar la dinámica del suelo, afectando su funcionalidad. Finalmente, Quiroz *et al*. (2021) argumenta que la mayor abundancia de Oligochaeta en sistemas de guaba + café, como en el SAF4, están relacionados con la cantidad de materia orgánica acumulada y condiciones favorables de oxígeno en el suelo.

4.1.3. Densidad de macrofauna edáfica en sistemas agroforestales evaluados

La densidad de los taxones edáficos en época de verano fue mayor que en invierno, aunque varió de acuerdo con el sistema evaluado. En el SAF1 se encontraron 928 ind./m^2, 1 600 ind./m^2 en el SAF2, mientras que, en el SAF3 y SAF4 fueron reportados 1 200 y 1 520 ind./m^2, respectivamente. Durante la época de invierno, las densidades disminuyeron, alcanzando 320 ind./m^2 en el SAF1, 1 040 ind./m^2 en el SAF2 y valores entre 1 200 y 1 104 ind./m^2 en el SAF3 y SAF4. Además, fue identificado que en SAF4 a base *I. Edulis* + *C. arabica*, la densidad de taxones edáficos no disminuyo drásticamente durante el invierno, en contraste con los otros SAF evaluados. También se observó que la cobertura arbórea y la cantidad de hojarasca contribuyeron a las variaciones en a densidad de macrofauna edáfica, particularmente en época de verano.

Los resultados obtenidos difieren con los señalados por Quiroz (2015), quien encontró una mayor densidad de individuos en época lluviosa, destacando el SAF basado en guaba + café con 1 872 ind./m^2, con el orden Isopoda dominando durante el invierno. De manera similar, Suarez *et al*. (2015) observaron una mayor densidad de individuos en invierno y destacaron que la diversidad de macrofauna depende de los sistemas agroforestales. Por otro lado, Durán *et al*. (2018) reportaron densidades entre 945 y 487 ind./m^2 en épocas normales, aunque señalaron que los SAF pueden disminuir la abundancia de macrofauna edáfica, pero aclaran, que a pesar de la disminución de taxones edáficos siempre va ver la presencia de individuos. En contraste Morales *et al*. (2021) reportaron una mayor densidad de macrofauna edáfica en épocas de verano en SAF asociados café, aunque con baja disponibilidad de taxones en SAF de *Cedrela odorata* + café. Mientras que, Castillo y Ñique (2019) observaron que los forestales nativos asociados a cultivos tienen una mayor densidad de taxones (3 694 ind./m^2) en comparación con los sistemas agroforestales introducidos, lo cual atribuye a la perturbación ocasionada.

La densidad de macrofauna edáfica vario considerablemente entre SAF, especialmente según la época, lo que podría estar relacionado con las condiciones de cobertura arbórea y hojarasca. Este estudio coincide con Frouz (2018), quien asocio la disminución de macrofauna edáfica con el exceso de humedad y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Asimismo, Kamau *et al*. (2017) vinculo esta disminución con la reducción de la temperatura y el exceso de sombra durante el invierno en cultivos agroforestales. Por otra parte, Rieff *et al.* (2016) reportaron que los sistemas asociados a eucaliptos tienden alterar y disminuir la macrofauna edáfica, aunque Boeno *et al*. (2019) observaron que los eucaliptos desplazan ciertos taxones y facilitan la adaptación de otros, lo cual coincide con los resultados encontrados en este estudio. En caso de *E. torreliana* y *E. saligna* asociados a café, se identificó una diversidad significativa de taxones edáficos, lo que apoya esta última posición. Además, Geisen *et al*. (2019) destaco que la introducción de especies arbóreas modifica la cobertura de hojarasca y, por ende, las propiedades del suelo, influyendo directamente en la densidad y composición de los taxones edáficos, lo cual fue observado en los SAF1, SAF2 y SAF3 durante el invierno. Mientras que, Moura *et al.* (2015) atribuye que los SAF asociados a cultivo en época de invierno el suelo y la cobertura del suelo facilitan un acolchado retrasa la perdida de humedad del suelo, disminuye la tasa de evapotranspiración, mejora el enraizamiento y cobija una gran cantidad de taxones edáficos.

Contexto que se asemeja a los resultados conseguidos en época de verano en los SAF estudiados.

4.1.4. Diversidad edáfica en sistemas agroforestales evaluados

La diversidad cuantificada a través del índice Shannon fue más alto en época de verano en la mayoría de los SAF estudiados, con valores que alcanzaron los 2,97 (SAF1) y 2,37 (SAF4). El sistema agroforestal *C. torelliana* + *C. arabica* presentó valores bajos en verano a diferencia de invierno que mostró una disminución muy notable, obteniendo un índice de Simpson de 0,50 lo que indicó una menor uniformidad y una mayor dominancia en ciertos taxones. En el SAF4, el índice de Simpson fue de 0,72 en invierno, sugiriendo una redistribución de la abundancia entre taxones. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las condiciones ambientales y características propias de cada SAF influyen en la macrofauna edáfica. Los resultados muestran una variación significativa en los índices de diversidad de Shannon y Simpson entre los SAF evaluados en verano e invierno. En los resultados se pudo observar que los SAF1, SAF2 y SAF4 percibieron una disminución en el índice de diversidad durante la época de invierno. Este acontecimiento podría estar relacionado con factores climáticos, exceso de humedad y la disminución de la temperatura. Por otro lado, el SAF3 mostró una mayor estabilidad, manteniendo el índice de diversidad de 2,58 en ambas épocas, dando a entender que este SAF podría proporcionar condiciones más constantes y favorables para la macrofauna edáfica.

Los resultados coinciden parcialmente con hallazgos de otros autores. Morales *et al.* (2021) reportaron que los SAF de la Amazonia presentaron una mayor diversidad en época de verano, debido a condiciones más favorables con una mayor descomposición de la hojarasca y temperaturas optimas. Este patrón es evidente en los sistemas agroforestales SAF 1, SAF2 y SAF4, donde la diversidad fue mayor en verano. Sin embargo, los resultados de este estudio difieren con respecto al SAF3, debido que, mantuvo una diversidad constante en ambas épocas, esto podría atribuirse a las diferencias de especies arbóreas al manejo específico del sistema que amortigua las variaciones estacionales. En contraste, Boeno *et al.* (2019) y Rieff *et al*. (2016) atribuyeron que los sistemas agroforestales con especies de eucalipto tienden a disminuir la diversidad del suelo debido a variaciones químicas en el suelo. Si bien este estudio no valoró directamente el efecto de los eucaliptos,

los patrones observados en el SAF2, que presentó la menor diversidad en invierno, podrían estar relacionados con condiciones similares, como cobertura densa o competencia entre especies. Además, Kamau *et al*. (2017) atribuyeron que las lluvias en ivierno generan un exceso de humedad que termina afectando negativamente a los taxones, lo que respalda los resultados observados en el SAF1, SAF2 y SAF4. El estudio discrepa con los resultados de Zagatto *et al.* (2018) quienes observaron una menor variación estacional en la diversidad de macrofauna edáfica en los SAF bien manejados. Esto sugiere que el modelo de manejo y la forma como están compuestos los SAF podrían ser factores determinantes en la estabilidad de la macrofauna edáfica.

La variación entre los índices de Shannon y Simpson entre los SAF fortalece la influencia de factores ambientales y de manejo de macrofauna edáfica. Para Morales *et al*. (2021) atribuyen que índices de Shannon altos, como los de 2,97 registrados en el SAF1 durante el verano, reflejan una mayor equidad en la distribución de taxones debido a las condiciones climáticas favorables. Mientras que, los índices bajos en invierno, como los de 1,11 observado en el SAF2, evidenciaron una dominancia de pocos taxones, posiblemente causado por la disminución de la temperatura y el exceso de humedad, como también señalan Kamau *et al*. (2017) en plantaciones similares. Inkotte *et al.* (2024) identificaron la presencia de Collembolo, Isoptera y Diptera en época de verano, y Hymenoptera, Isoptera y Diptera en temporada de lluvias, en sistemas asociados a eucaliptos. Sus índices de diversidad de Shannon oscilaron en 0,339 a 0,761 en época lluviosa y 0,013 en época seca, fueron bajos, atribuibles al aumento de la temperatura y reducción de humedad superficial en el suelo durante el verano. En comparación con los índices identificados en el SAF2 (2,13 en verano y 1,90 invierno) evidenciando una mayor diversidad probablemente a la heterogeneidad de las coberturas arbóreas, que disminuyen el efecto de condiciones adversas como las descritas por Inkotte *et al*. (2024).

Por otro lado, Marques *et al.* (2014) reportaron la presencia de orden Hymenoptera Oligochaeta y Coleopteros en todos los sistemas de café y eucalipto en ambas épocas del año, destacando que los índices de diversidad de Shannon para eucaliptos fueron de 1,42 en verano y invierno1,47 en invierno, mientras que, en café fue de 1,56 en invierno y 1,77 en verano. Los índices son bajos respecto a los obtenidos en los SAF evaluados, como SAF1,

que en verano presentó un índice de 2,97, evidenciando una mayor diversidad. no obstante, en ambos estudios se reconoce la importancia del orden Oligochaeta en el mantenimiento de los ecosistemas edáficos. La presencia predominante del orden Oligochaeta puede reducir los índices al aumentar la dominancia, lo que se podría explicar las discrepancias entre ambos trabajos. Los resultados también revelan que, a diferencia de las plantaciones de eucalipto reportados por Marques *et al.* (2014) donde el orden Araneae aporta al ciclo de nutrientes del suelo, en los SAF evaluados el orden predomínate vario entre Oligochaeta, Coleoptera y Hymenoptera dependiendo de la época.

4.2. Determinar el estado situacional de las características fisicoquímicas del suelo en cuatro arreglos agroforestales instalados en la jurisdicción de la provincia de Rioja

En los sistemas agroforestales evaluados, los suelos presentaron una variabilidad en sus propiedades fisicoquímicas. La textura fluctuó entre franco y franco arenoso, el SAF1 y SAF2 clasificados como franco arenoso, mientras que, el SAF3 y SAF4 como franco. La densidad aparente del suelo varió entre 1,37 y 1,53 g/cm^3 en el SAF1, SAF2 y SAF3, en tanto, el SAF4 mostró valores más elevados (1,70 a 1,90 g/cm^3 en invierno) lo que sugirió una posible compactación del suelo. Los pH cuantificados indicaron suelos ácidos, el SAF1 registró el valor más bajo con 4,40 en verano y 4,59 en invierno y el SAF2 más cercano al neutro (5,44 a 6,06). La conductividad eléctrica se mantuvo baja, fluctuando entre 0,00049 y 0,00124 dS/m con un ligero incremento en invierno. En cuanto a macronutrientes el nitrógeno y fósforo mostraron variaciones estacionales, el SAF2 y SAF3 registraron los mayores valores de N (0,89 a 1,24 %), mientras que el SAF4 presentó los niveles más bajos. El K ostentó niveles más bajos en verano, aumentando en invierno con el SAF3 alcanzó el valor más alto (194,87 ppm).

La CIC y nutrientes como el Ca, Mg, y Al, mostraron incrementos en invierno, destacando el SAF2 con el mayor contenido de calcio (14,16 mEq/100 g). El incremento del Ca^{++} en invierno podría deberse a una combinación de procesos naturales, como la mayor mineralización y liberación por meteorización en condiciones de alta humedad, ya prácticas antrópicas como la aplicación de cal, dolomita, compost, lo cual es típico en los agricultores realizar fertilización sin tener en cuenta análisis de suelos. Lo señalado tiene relación con lo

señalado por Shabtai *et al*. (2023) que los aumentos por calcio en los suelos pueden atribuirse a una combinación de procesos naturales (como la mineralización intensificada y la liberación por meteorización bajo condiciones de alta humedad) y prácticas antrópicas (como la aplicación de cal, dolomita, compost o yeso).

En los SAF evaluados, los suelos presentaron una variabilidad en sus propiedades físicas y químicas, destacando diferencias significativas entre SAF. En términos de textura, los suelos de los SAF1 y SAF4 fueron clasificados como franco arenoso, mientras que, los SAF3 y SAF4 fueron franco, alineándose con observaciones similares en SAF estudiados por Schwartzman (2019) y Tapia *et al*. (2016) quienes resultaron la influencia de la textura en la retención agua y nutrientes. En el caso de la densidad aparente fueron estables los resultados en los SAF1, SAF2 y SAF3 con valores que fluctuaron entre 1,37 y 1,53 g/cm^3, siendo adecuados para el desarrollo de los cultivos asociados. Sin embargo, el SAF4, los valores obtenidos fueron de 1,70 a 1,90 g/cm^3 en invierno, lo que sugirió haber una compactación severa, como lo señalan Schwartzman (2019) y Casimiro (2022) que densidades superiores a 1,46 g/cm^3 pueden limitar la actividad biológica y el desarrollo radicular para las plantas.

La humedad del suelo aumentó en todos los SAF durante el invierno, pero este incremento no siempre favoreció la abundancia de macrofauna, ya que su efecto depende de la porosidad y textura del suelo. En suelos arenosos como el *C. cateniformis* + *C. arabica*, la elevada proporción de macroporos favoreció el drenaje y la pérdida de nutrientes, provocando una drástica reducción de taxones pese al aumento de humedad (928-320 ind/m²). En cambio, los SAF con texturas más finas y porosidad equilibrada, como *E. saligna* + *C. arabica* y *C. torelliana* + *C. arabica*, lograron mantener comunidades más estables, con abundancias similares o solo leves descensos (1 200-1 184 ind. /m² y 1 520-1 104 ind./m²). Por su parte, en *I. edulis* + *C. arabica*, aunque la humedad aumentó, la macrofauna disminuyó notablemente (1 600-1 040 ind./m²), lo que evidencia que factores adicionales como la baja materia orgánica y la acidez también limitan la diversidad edáfica.

En cuanto al pH, fueron identificados suelos ácidos en todos los sistemas agroforestales, el SAF1 mostró los resultados más bajos, siendo indicativo que puede limitar la disponibilidad

de nutrientes esenciales como el P, y Mg. Mientras que, el SAF2 ostentó un pH más cercano al neutro, siendo más favorables para los cultivos. Estos resultados coinciden con los de Ccoycca (2018) y Ruiz (2023), quienes asociaron suelos ácidos con una menor fertilidad química y actividad biológica. Opuestamente sucedió con la CE, donde el resultado fueron bajos en todos los sistemas agroforestales con un leve incremento en invierno. Schwartzman (2019) destacó que suelos con baja CE reflejan poca salinidad, pero también una capacidad limitada para trasportar nutrientes, especialmente en suelos ácidos. Referente a los nutrientes (N y K), el SAF2 y SAF3 expusieron los mayores valores en N, mientras que, el SAF4, tuvo los valores más bajos, no coincidiendo con Tapia *et al*. (2016) quienes manifestaron que sistemas diversificados presentan mayores niveles de N, debido a la acumulación de materia orgánica. El K inicialmente bajo en verano y aumento en invierno con el SAF3 alcanzando el nivel más alto (194,87 ppm) coincidiendo con Schwartzman (2019) quien encontró resultados similares.

La capacidad de intercambio catiónico obtuvo un resultado de nivel medio (15-25 cmol (+).kg^{-1}) en los SAF2 y SAF3 lo que favoreció la retención de nutrientes, en tanto que, en los SAF1 y SAF4 fue baja (5 – 15 cmol (+).kg^{-1}), limitando la fertilidad química del suelo. Ante este resultado Durán *et al*. (2018) señalaron que SAF con mejor diversidad de macrofauna edáfica presentan una mejor CIC, debido al enriquecimiento orgánico. Además, los niveles de Ca y Mg aumentaron en invierno, destacando el SAF2 con el mayor contenido de calcio (14,16 mEq /100 g). con respecto al Aluminio (Al^{3+}) los SAF1 y SAF2 mostraron niveles críticos (5,00 y 2,500 mEq /100 g) clasificados como suelos malos (> 2 mEq /100 g) lo que puede inhibir el desarrollo radicular y absorción de nutrientes esenciales según (Aranda y Vásconez, 2022). En cambio, los SAF2 y SAF4 presentaron resultados más bajos y manejables (< 1,50 mEq /100 g).

En los análisis efectuados para textura de los suelos variaron entre franco arenoso en el SAF1 y SAF2 y franco en SAF3 y SAF4, influyendo significativamente en la retención de agua y nutrientes. Valdez *et al*. (2022) afirman que los suelos franco arenoso son altamente permeables facilitando el crecimiento radicular, aunque pueden estar limitados a retener nitrógeno y fósforo. Estos suelos también pueden contener buenas cantidades de potasio y micronutrientes como hierro y manganeso, como lo señala Ramos (2019). En términos de

densidad aparente, el SAF1, SAF2 y SAF3 alcanzaron valores más apropiados (1,37-1,53 g/cm^3), en tanto, el SAF4 ostentó valores más altos en época de invierno siendo indicativo de un suelo de compactación severa, este fenómeno según Restrepo (2015) disminuye la porosidad del suelo y limita la infiltración del agua y el crecimiento radicular. Además, García-Gallegos y Hernández-Acosta (2014) señalan que la compactación afecta negativamente la disponibilidad de oxígeno y la actividad biológica del suelo. Estas apreciaciones pueden ser mejoradas según Contreras-Santos *et al*. (2023) con la incorporación de materia orgánica a fin de mejorar la estructura del suelo y optimizar la funcionalidad del ecosistema edáfico agroforestal.

En los resultados obtenidos densidad del suelo mostró una correlación positiva moderada con la abundancia de macrofauna edáfica en ambas estaciones del año, sugiriendo que una mayor compactación no siempre limita la presencia de taxones. No obstante, esta relación varió entre sistemas agroforestales, indicando la influencia de factores adicionales como textura, humedad y cobertura vegetal. Por ejemplo, SAF4, con densidades altas, mantuvo una abundancia elevada, mientras que SAF1, con densidades dentro del rango óptimo, presentó baja macrofauna, posiblemente por su textura arenosa. En invierno, la abundancia disminuyó en general, confirmando que la densidad del suelo no actúa de forma aislada, sino que está condicionada por un conjunto de variables edáficas y climáticas. Los señalado concuerda con lo que indica Vaolli *et al*. (2024) que a densidad aparente refleja el nivel de compactación del suelo, lo que influye directamente en la estructura porosa, aireación e infiltración. Suelos más compactos inhiben la movilidad y actividad de organismos como lombrices y hormigas.

El pH del suelo es un parámetro importante que indica la calidad y funcionalidad del ecosistema edáfico. En los SAF, la interacciones entre los componentes vegetales y del suelo influyen directamente en el pH; por tanto, determinar su acidez o alcalinidad facilitará conocer el impacto sobre la biodiversidad y la disponibilidad de nutrientes en el suelo para las plantas (Castillo-Trejo *et al*., 2023; Lavelle y Velasquez, 2022). Los suelos evaluados expusieron suelos predominantemente ácidos. El SAF1 compuesta por *C. cateniformis* + *C. arabica*, el pH fue más bajo con 4,40 en verano y 4,59 en ivierno. En cambio, el SAF2 de eucalipto torreliana ostentó el pH más cercano al neutro, este hallazgo muestra el roll de las

especies en la regulación química del suelo (Quinto *et al*., 2016; Vigo y Oclocho, 2020). La macrofauna edáfica como lombrices y termitas, son esenciales para mantener la estructura del suelo. Si bien estas especies suelen adaptarse a pH ácidos (3,8-4,0) prefieren condiciones más favorables (Lavelle *et al.,* 2022). En suelos ácidos la abundancia de macrofauna edáfica disminuye lo que podría afectar negativamente los procesos como disponibilidad de nutrientes y la productividad agrícola (Quinto *et al*., 2016; Vigo y Oclocho, 2020).

En estudios recientes se ha demostrado que plantaciones de eucaliptos poseen una tendencia de generar un efecto acidificante de los suelos (Vigo y Oclocho, 2020), mientras que especies como guaba asociada a café el suelo es moderadamente ácido, esto reveló que el tipo de vegetación influye en la química del suelo, modula el pH y reduce el impacto del aluminio, mejorando la calidad del suelo (Nieto, 2015). La acidez del suelo indica una predominancia de cationes como el aluminio, elemento que puede ser tóxico para la biota del suelo y las plantas si están en concentraciones elevadas (Quinto *et al*., 2016). La presencia del aluminio puede ocasionar toxicidad inmovilizando nutrientes como el fósforo y reducir la productividad agrícola (Vigo y Oclocho, 2020).

La conductividad electica es un parámetro esencial para valorar la calidad química del suelo ya que es un indicador de la concentración de sales solubles que pueden influir en la biodiversidad de taxones y disponibilidad de nutrientes en el suelo (Javed *et al*., 2022). En los resultados obtenidos, estos se encontraron por debajo del rango de suelos no salino (0-0,98 dS/m), lo cual indicó que, bajo los resultados obtenidos, la salinidad no representa un problema para los cultivos y macrofauna edáfica (Carmo *et al*., 2016; Torres *et al*., 2017). También fue identificado que la CE en los SAF evaluados favorecen a la macrofauna edáfica, para Lavelle *et al.* (2022) y Castillo-Trejo *et al*. (2023) la CE eléctrica en óptimos niveles crea las condiciones estables para la macrofauna, contribuyendo a la formación de agregados estables en el suelo y una mayor infiltración de retención de agua.

El carbono total es otra propiedad importante del suelo que actúa como indicador clave de la salud del suelo e implicancias directas en la actividad biológica y dinámica de macrofauna edáfica en sistemas agroforestales (Dos Santos *et al*., 2024). Los resultados obtenidos

mostraron que en verano hay una mayor cantidad de carbono (SAF3 y SAF2) con una tendencia de aumento para invierno. Mientras que, los SAF1 y SAF4 presentaron niveles menores en ambas épocas, lo que refleja diferencias en la capacidad de las especies arbóreas para acumular carbono. Los resultados son consistentes con otros estudios que destacan que al asociar guaba con otras especies promueve la acumulación de materia orgánica que mejoran la estructura del suelo y la biodiversidad (lombrices, termitas y otros) facilitando la formación de agregación y retención de carbono a nivel suelo (Lavelle *et al*., 2022; Torres *et al*., 2017). La macrofauna del suelo juega un rol importante en la dinámica del carbono, facilita el reciclaje de nutrientes y la estabilización del carbono, por ende, fomenta la abundancia y diversidad de macrofauna. Además, investigaciones recientes sugieren que las diferencias en el carbono total entre épocas podrían deberse a la actividad biológica estacional y los procesos de descomposición de biomasa vegetal (Castillo-Trejo *et al*., 2023). Estos hallazgos marcan la importancia de los SAF como estrategia para mejorar la calidad de los suelos.

La materia orgánica es un componente básico de la estructura del suelo que afecta la fertilidad, retención de humedad e influye creando un ambiente favorable para la macrofauna edáfica en los sistemas agroforestales (Rodríguez *et al*., 2021). Los resultados obtenidos con respecto a esta propiedad en el SAF evaluados en época de verano fueron altos en los SAF2 y SAF3 (26,75 y 25,92 %) y con cierto incremento en época de invierno. En tanto los SAF1 y SAF4 ostentaron valores menores en ambas estaciones, lo que pone de manifiesto la importancia de la composición de los SAF y las prácticas de acumulación de materia orgánica en el suelo. Estudios recientes afirman que los SAF, al incorporar especies arbóreas de guaba asociado a otras especies favorecen el aumento de materia orgánica, creando un ambiente favorable para la macrofauna edáfica (Castillo-Trejo *et al*., 2023). La actividad de la macrofauna juega un rol esencial en el secuestro de carbono (Marsden *et al.,* 2020). También la presencia de materia orgánica en SAF está relacionado directamente con las propiedades fisicoquímicas como la conductividad electica y el pH que influyen en la distribución abundancia de taxones edáficos (Torres *et al*., 2017).

Los macronutrientes (NPK) cumplen un rol importante en SAF, debido que, influyen en la fertilidad del suelo y la actividad de los taxones edáficos (Rosalen *et al*., 2024). Los datos

del presente estudio indicaron que el SAF3 fue el que obtuvo una mayor cantidad de nitrógeno en época de verano, mientras que, que el SAF2 lo fue en invierno. Con respecto al fósforo los cuatro SAF mostraron resultados entre nivel bajo y medio. Respecto al potasio, fueron observados incrementos estacionales, por ejemplo, el SAF4 paso de 78,93 ppm en verano a 121,49 ppm en invierno, aunque permaneciendo en la categoría de bajo. Según los resultados obtenidos para macronutrientes sugieren que la composición especifica de cada SAF y las prácticas de manejo desempeñan un papel crucial en la disponibilidad de nutrientes. Estudios recientes han demostrado que promover los SAF y silvopastoriles mejoran la fertilidad del suelo y promueven una mayor biodiversidad (Fahad *et al*., 2022; Stöcker *et al*., 2020; Udawatta *et al*., 2019). La presencia de especies arbóreas como Ingas sp + café han mostrado efectos positivos en la mejora de atributos físicos, micro, macronutrientes y colonización de macrofauna edáfica (Ochoa *et al*., 2020). Por lo tanto, la implementación de SAF con una adecuada selección de especies arbóreas y prácticas de manejo adecuadas optimizan los nutrientes de NPK en el suelo y la actividad biológica.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) desempeña un papel importante en la calidad del suelo y puede verse influenciado por tres características importantes (físico, químico y biológico) (Khaledian *et al*., 2017). Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los SAF evaluados fueron observados variaciones entre estaciones (época), el SAF2 en verano presentó una baja CIC clasificada como baja, mientras que, en invierno ascendió llegando a una clasificación media. Se podría atribuir que los incrementos estacionales, estarían dadas por una mayor descomposición de materia orgánica y la actividad biológica presente en épocas húmedas. Vigo y Oclocho (2017) determinaron que en los eucaliptos la CIC es baja (5,44 mEq /100 g), lo señalado tendría relación con los SAF2 y SAF4. Hay estudios que han demostrado que la implementación de SAF puede mejorar la CIC del suelo y sobre todo cuando se incorpora especies arbóreas idóneas que aportan materia orgánica, promoviendo una mayor actividad de biodiversidad edáfica (Alcudia-Aguilar *et al*.,2024). El tipo de SAF implantado favorece la abundancia de macrofauna edáfica, desempeñando un rol importante en la mejora de la CIC al fragmentar la materia orgánica y formar agregados, que mejora el intercambio de cationes (Vanolli *et al*., 2022). Esta apreciación tendría relación con el SAF2, SAF3 y SAF4 a pesar de estar en un nivel bajo la CIC (5-15 cmol (+) /kg^{-1}).

Los resultados obtenidos en los elementos cambiables indicaron variaciones en las concentraciones de los cationes con respecto a las épocas de evaluación en los SAF evaluados. Durante el invierno fue observado un incremento en los niveles de calcio en el SAF1 y SAF4. Según Yáñez *et al*. (2018) los incrementos de calcio en SAF estarían relacionados con la descomposición de materia orgánica y la liberación de cationes retenidos en complejos orgánicos, procesos que suelen aumentar en situaciones de mayor humedad y menor temperatura. Con respecto al potasio fueron evidenciados niveles muy bajos en época de verano, específicamente en el SAF1 y siendo más estable SAF3. La baja disponibilidad de potasio puede limitar la nutrición de las plantas afectando crecimiento y desarrollo de cultivos, esto estaría ligado al proceso de descomposición de la hojarasca, debido que, este libera el potasio mientras sucede la descomposición (Arévalo-Gardini *et al*., 2015). Hay que tener en cuenta lo que señala Abreu *et al*. (2016) que cuando el catión potasio es elevado, estaría ligado a una alta fertilización antrópica. Mientras que, Abbasi *et al*. (2018) manifiesta que, en general la relación de nutrientes en los suelos asociados entre cultivos y árboles, debe ser un buen indicador el estado optimo de cada uno. Para ello, ambos deben de mostrar un efecto positivo y no estar afectados de manera negativa uno por el otro. Es importante considerar que la dinámica del potasio en el suelo esta influenciado por factores con la textura del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y las prácticas de manejo. Asimismo, hay que tener en cuenta que los niveles de potasio absorbido por los árboles son mayores que, el potasio que se repone al suelo por el complejo proceso de mineralización de la materia orgánica (Arevalo-Gardini *et al*., 2015).

Los niveles de sodio estuvieron elevados en ambas épocas en los SAF, superando los 0,15 mEq/100 g, lo cual implicaría un riesgo de sodificación y afectación al suelo. Para Ogazie *et al*. (2024) el sodio no es beneficiosos para las plantas, solo salvo cuando el potasio es deficiente, el sodio puede actuar como un nutriente funcional o sustitutivo, sin embargo, con tal puede considerar como un elemento no esencial o funcional para las plantas (Alves *et al*., 2024). Por su parte el magnesio expuso incrementos en invierno, con valores superiores a 1,01 mEq/100 g, mientras que, en verano fluctuó en un nivel medio (0,51 a 1 mEq/100 g). La alta concentración de magnesio estaría ligado a la alta presencia de materia orgánica superficial más otros factores químicos, físicos y ambientales del suelo (Arevalo-Gardini *et al*., 2015). El magnesio es importante para el proceso fotosintético y la salud de

las plantas, sin embrago, niveles excesivos pueden causar antagonismo en la absorción del calcio y el potasio (Ishfaq *et al*., 2022).

Con respecto al aluminio, fueron elevados los valores en los SAF1 y SAF3 (2,50 y 5,00 mEq/100 g) sobre todo en época de invierno sucedieron los incrementos. El aumento de aluminio en el suelo, dificulta que los nutrientes no estén disponibles para los cultivos. Lo indicado se corrobora con Suntasig-Negrete *et al*. (2024) quienes afirman que altas concentraciones de aluminio en la estructura del suelo pueden ser tóxicas para las plantas, afectando el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes. En los SAF de eucaliptos por ejemplo a pesar de estar bajos en los resultados de aluminio su presencia con sistema agroforestal ha sido asociado a acidificación de suelos y alteración en la disponibilidad de cationes intercambiables (Ca, K, Na) lo que puede afectar la fertilidad del suelo y productividad de los cultivos (Vigo y Oclocho, 2017). Lo indicado tendría relación con los sistemas trabajados asociados a eucalipto donde el café no estuvieron en buenas condiciones. Mientras que, Ofoe *et al*. (2023) el aluminio en pH de 4,5 a nivel de suelo estimula el crecimiento radicular de algunos cultivos como por ejemplo el café, incluso regula las presiones bióticas y abióticas. Sin embargo, por debajo del valor de pH señalado en el suelo este se vuelve toxico para las plantas.

4.3. Determinar la época temporal que afecta las variables de densidad, abundancia, diversidad de macrofauna y características fisicoquímicas del suelo

En el estudio realizado en los cuatro SAF, fueron identificados una mayor presencia de macrofauna edáfica durante la época de verano con un total de 5 248 individuos, mientras que, en invierno esta cifra se redujo a 3 648, representando una reducción del 17,9 %. Los resultados obtenidos contrastan con investigaciones que sugieren que las mejores condiciones para la actividad de la macrofauna se encuentran en invierno debido a la mayor humedad y actividad de taxones edáficos (Navia *et al*., 2020, Santos *et al*. 2018). Mientras que, Ronchi *et al*. (2022), afirman que la estacionalidad influye en la densidad de macrofauna edáfica, con mayor reducción en invierno de taxones edáficos. La presencia de taxones edáficos con respecto a la estacionalidad es diversa, aún no está bien definido. A pesar de ello en los SAF evaluados la variable humedad parece haber sido idónea, ya que siempre

fueron identificados ingenieros de ecosistemas (lombrices, termitas, hormigas, cochinillas, cien pies), al menos uno o dos por sistema evaluado.

La macrofauna edáfica esta influenciada por factores estacionales como la temperatura y la humedad del suelo. Durante el verano, las temperaturas pueden favorecer el desarrollo de organismos adaptados a ambientes cálidos. Por ejemplo, en sistemas silvopastoriles se ha observado una mayor diversidad en suelos con árboles, lo que se atribuye a la regulación de la temperatura y la creación de microclimas favorables (Muñoz y Santacruz., 2024). En contraste, durante el invierno, aunque la humedad del suelo aumenta la reducción de la temperatura puede disminuir el ritmo metabólico de ciertos organismos. Estudios han demostrado que la densidad de la macrofauna edáfica tiene una alta proporción con la humedad del suelo, disminuyendo significativamente en épocas de menor precipitación (Suarez *et al*., 2015). Además, los cambios bruscos en la temperatura y la humedad junto con la cobertura vegetal escasa, pueden limitar la diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica. La presencia de árboles favorece la colonización de una diversidad de taxones a comparación d un monocultivo (Ramírez-Suárez *et al*., 2018).

Los resultados de este estudio contrastan con lo señalado por Fernández *et al.* (2015) quienes encontraron que la macrofauna es mayor en épocas húmedas, debido a la atracción que ejercen las lluvias continuas sobre los taxones, sin embargo, Dos Reis (2017) sostienen que los cambios estacionales pueden causar la ausencia de algunas taxas y favorecer el incremento de otros, lo que podría explicar las variaciones observadas entre épocas. Además, Rojas- Ruiz *et al*. (2020) destacan que en la región San Martín, la precipitación anual oscila entre 1 000 y 2 000 mm, con lluvias intensas de diciembre a marzo y precipitaciones discontinuas durante el verano, puede haber influido en la disminución de taxones sensibles. Diversos estudios coinciden en que la abundancia de macrofauna del suelo disminuye significativamente en invierno, debido a la reducción de lluvias y temperaturas más frías. D'Hervilly *et al*. (2022) y Zulu *et al.* (2022destacan que los diplópodos son particularmente sensibles a estas condiciones secas, mientras que investigaciones en sistemas agroforestales mediterráneos evidencian que lombrices, diplópodos y escarabajos presentan densidades más altas en primavera y verano, pero caen drásticamente en invierno, acentuado por la perturbación del suelo tras labores agrícolas. Finalmente, este estudio confirma, lo señalado

por Navarro *et al*. (2019), quienes concluyeron que lo SAF jóvenes con edades entre 10 a 15 años, proporcionan condiciones ideales de humedad y temperatura minimizando las variaciones drásticas en la macrofauna edáfica entre estaciones.

4.4. Comparar los arreglos agroforestales que provee cambios significativos en el suelo y macrofauna edáfica como indicador de conservación de ecosistema valorado mediante rangos de clasificación

Los sistemas agroforestales SAF2, SAF3 y SAF4 mostraron una abundante presencia de lombrices (Oligochaeta), lo que constituye un indicador biológico de suelos saludables, con buena porosidad, humedad disponible y un adecuado contenido de materia orgánica. La abundancia de Oligochaeta en estos SAF implica que estos sistemas favorecen los procesos de aireación, reciclaje de nutrientes y formación de agregados estables, contribuyendo directamente a la mejora de la fertilidad y resiliencia del suelo (Lavelle *et al*., 2022). En contraste, el SAF1 (*C. cateniformis* + *C. arabica*), a pesar de registrar alta materia orgánica, no presentó lombrices, lo que sugiere que la calidad de la materia orgánica y la fuerte acidez del suelo (pH 4,40) limitan la colonización de este grupo. Esto tiene importantes implicancias: la materia orgánica no necesariamente se traduce en condiciones edáficas favorables si no existe un balance químico adecuado; la acidez extrema puede inmovilizar nutrientes y afectar la actividad biológica. Por ello, este SAF requeriría prácticas correctivas como enmiendas calcáreas o incorporación de especies leguminosas que tamponen el pH y mejoren la disponibilidad de nutrientes. La presencia de Isoptera e Hymenoptera en verano, y de Araneae como grupo dominante, indica que el SAF1 tiende a albergar taxones tolerantes a condiciones de estrés edáfico, lo que puede interpretarse como un ensamble faunístico de resiliencia, pero no de estabilidad. Esto contrasta con los SAF con eucaliptos, donde el pH osciló entre 5,83 y 4,85, rangos menos restrictivos que permiten una mayor diversidad funcional de la macrofauna.

En cuanto a las propiedades físicas, las texturas franco-arenosas y franco-arcilloso-arenosas con densidades entre 0,674 y 0,921 g/cm³ reflejan suelos no compactados y aptos para el desarrollo radicular, mientras que la baja conductividad eléctrica (0,06–0,197 mS/cm) confirma la ausencia de problemas de salinidad. Sin embargo, la notoria diferencia en el índice de conservación del SAF1 (0,71 en verano y 0,36 en invierno) evidencia una mayor

fragilidad ecológica y menor capacidad de resiliencia estacional, lo que lo coloca en una condición de prioridad para intervenciones de restauración y manejo adaptativo.

La presencia del orden Oligochaeta como indicador de los suelos en buenas condiciones edáficas ha sido ampliamente documentada. Álvarez *et al*. (2020) manifiestan que estos individuos están asociados con el desdoblamiento de la materia orgánica y la formación de agregados, siendo sensibles a pH ácidos y suelos compactos. La ausencia de lombrices en el SAF1, con pH 4,40 es consistente con lo que reportado por Rojas-Ruiz *et al*. (2020), quienes encontraron que la acidez del suelo limita la actividad biológica, afectando directamente la presencia de Oligochaeta. la dominancia de Isoptera e Hymenoptera en el SAF1 puede ser indicativo de perturbación del suelo, ya que estos taxones son conocidos por su capacidad de adaptarse a condiciones de estrés y degradación edáfica (Hernández *et al*., 2018). Asimismo, la alta presencia de Araneae en SAF1 es consistente con los hallazgos de Cabrera-Mireles *et al*. (2019) quienes relacionan este orden con ecosistemas arbóreos nativos, destacando su función como reguladores biológicos en suelos con vegetación nativa. La reducción del pH en suelos con plantaciones de eucaliptos ha sido ampliamente reportada. según Vigo y Oclocho (2017), estas especies tienden a acidificar el suelo, debido a la liberación de compuestos fenólicos, afectando la disponibilidad de nutrientes esenciales como el fósforo y el calcio. Por otro lado, Delgado *et al*. (2020) encontraron que la textura franco arenosa de estos suelos favorece una baja densidad aparente, que puede limitar la retención de agua y nutrientes.

Los resultados obtenidos en este estudio corroboran la importancia del pH y la textura del suelo como factores claves que influyen en la presencia de la macrofauna edáfica. La ausencia del orden Oligochaeta en SAF1 subraya la necesidad de manejar adecuadamente la acidez del suelo para garantizar la sostenibilidad edáfica y funcionalidad biológica. Según Castro *et al*. (2021), el manejo de la materia orgánica y el pH puede restaurar las condiciones para favorecer la actividad biológica, promoviendo la biodiversidad del suelo. La relación entre la perturbación y dominancia de taxones como los Isopteros e Hymenoptera, sugiere que las prácticas intensivas en el SAF1, como el uso excesivo de fertilizantes y la rotación constante de cultivo, han alterado significativamente la estructura del suelo. Navarro *et al*. (2020) concluyen que los índices bajos de conservación reflejan una baja

calidad edáfica y un predominio de organismos adaptados a condiciones adversas. Finalmente, el comportamiento de los suelos con plantaciones de eucaliptos en las reducciones pH cambios texturales, refuerzan la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible para mitigar los impactos negativos en la calidad del suelo. Según Echevarría *et al*. (2019) la incorporación de cobertura vegetales complementarias podría mejorar las condiciones edáfica, aumentando la capacidad de retención de agua y biodiversidad funcional.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. El análisis de la macrofauna edáfica en los sistemas agroforestales evaluados (SAF) demostró una composición y riqueza taxonómica variable según la época del año. En verano, el SAF1 presentó 10 órdenes, 26 familias, el SAF2 10 órdenes y 22 familias, el SAF3 11 órdenes y 17 familias, y el SAF4 ocho órdenes y 22 familias. En invierno hubo una reducción general en la riqueza, con excepción delSAF3, que superó incluso los valores de verano (11 órdenes y 22 familias). Esto sugiere una mayor resiliencia en el SAF3 frente a cambios estacionales.

2. La densidad de macrofauna en verano varió entre 928 ind./m^2 (SAF1) y 1600 ind./m^2 (SAF2), mientras que, en invierno estas cifras disminuyeron notablemente, con densidades mínimas de 320 ind./m^2 en el SAF1. El SAF3 mostró mayor estabilidad, con una reducción menos pronunciada, evidenciando una mejor capacidad para mantener la biodiversidad bajo condiciones climáticas adversas.

3. En el SAF1, la mayor abundancia correspondió a Isoptera, Hymenoptera, y Coleoptera en verano (20,7; 19,0; 13,8 % respectivamente). Mientras que, en invierno predominó Araneae (40 %) asociado a la regeneración edáfica. En el SAF2 y SAF3, los taxones más representativos incluyeron Oligochaeta (hasta 60, 0 % en invierno), destacando su papel como bioindicador en suelos en recuperación y en el reciclaje de materia orgánica.

4. Los índices de Shannon y Simpson confirman una diversidad significativa en verano, especialmente en el SAF1 (H=2,97; s=0,07), mientras que, en invierno se obtuvo una reducción generalizada, excepto en el SAF3 (H=2,58). Esta variación estacional refleja cambios en las condiciones ambientales y su influencia sobre la composición edáfica.

5. Las características fisicoquímicas del suelo, el SAF1 y SAF2 presentaron suelos francos arenosos con baja retención de nutrientes, mientras que, los SAF3 y SAF4 mostraron suelos francos, más nutritivos y con mejor retención hídrica. En cuanto al pH, predomino la acidez, con ligera tendencia a aumentar en verano. Los niveles de carbono total, materia orgánica y nitrógeno fueron superiores en los SAF3 y SAF2, particularmente en épocas de luvias. Sin embargo, los niveles de fósforo fueron bajos

en verano y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se mantuvo entre niveles bajos y medios.

6. Durante el invierno, los suelos con mayor proporción de arena, como en el SAF1, mostraron menor abundancia de macrofauna debido a la baja retención de agua y nutrientes, lo que genera condiciones menos favorables para los organismos edáficos. En contraste, los suelos con mayor contenido de arcilla (SAF3 y SAF4) favorecieron la presencia de macrofauna al mantener mayor humedad y nutrientes, creando microhábitats más estables. El limo, aunque presentó una correlación débil de manera aislada, potencia el efecto de la arcilla en texturas equilibradas, contribuyendo a mejorar la disponibilidad de recursos. En conjunto, se confirma que durante el invierno los suelos con menor arena y mayor limo sostienen una mayor riqueza de taxones, resaltando la importancia de la textura como regulador clave de la biodiversidad edáfica bajo condiciones limitantes de humedad y nutrientes.

7. En verano favoreció una mayor riqueza y diversidad de órdenes y familias en todos los SAF evaluados. Durante el invierno, fue observado una disminución significativa en los SAF de *C. cateniformis* + *C. arabica*, *E. torreliana* + *C. arabica* y *I. edulis* + *C. arabica* a excepción del SAF a base de *E. saligna* + *C arabica* que mantuvo una mayor estabilidad. Los órdenes como Mantodea y Chilopoda en SAF1, Blattodea, Dermaptera en el SAF2 y Blattodea el SAF4 desaparecieron durante la época lluviosa, evidenciando una sensibilidad diferencial de los sistemas ante cambios estacionales.

8. El SAF1 a base de *C. cateniformis* + *C. arabica* presentó un nivel de conservación bajo en ambas épocas a pesar de que los árboles de *C. cateniformis* presentaron buenas características edafológicas, sin embargo, el cultivo de café no presentó buenas características edafólogas. En tanto, el SAF2, conformado por *E. torreliana* + *C. arabica* en ambas épocas presento buen estado de conservación arbóreo, sin embargo, el cultivo de café no fue el ideal. Por su parte, el SAF3 y SAF4 en ambas épocas presentaron un nivel de conservación intermedio, debido que están en un estado sucesional. Este estado se evidencio por la abundancia de organismos detritívoros, fundamentales para proceso ecológicas importantes como reciclaje de nutrientes y estabilización de ecosistema.

9. En la época de verano, Oligochaeta presentó una marcada afinidad con pH, K y CIC, mientras que Coleoptera se asoció con P y CIC, y Hymenoptera evidenció una correlación negativa con MO, N y CT. Estos resultados confirman el papel de la macrofauna edáfica como bioindicadora de la fertilidad y calidad del suelo, mostrando respuestas diferenciadas según la estación y las condiciones químicas. En invierno, los descomponedores como Oligochaeta, Coleoptera e Isopoda se relacionaron con suelos de mayor fertilidad (MO, N, P y CIC), en contraste con Hymenoptera y Orthoptera, que manifestaron correlaciones negativas, reflejando ambientes de menor fertilidad.

10. La investigación realizada resulta de gran relevancia al generar información técnica sobre el estado de conservación del suelo y la macrofauna edáfica en los sistemas agroforestales de la provincia de Rioja, San Martín. Los hallazgos obtenidos constituyen una base científica que permitirá fortalecer estrategias de manejo sostenible, orientar prácticas agroforestales más adecuadas y apoyar la conservación de los recursos naturales en la región. De igual modo, los resultados aportan lineamientos para iniciativas de restauración de suelos degradados, contribuyendo a la resiliencia de los sistemas productivos locales frente a los efectos del cambio climático.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que futuras investigaciones incluyan la evaluación de la capacidad de campo del suelo, junto con la medición de la temperatura ambiental y la caracterización de la macrofauna edáfica estratificada por horizontes del perfil. La capacidad de campo es un indicador clave del potencial hídrico del suelo y permite una mejor comprensión de la retención y disponibilidad de agua para los cultivos en sistemas agroforestales. Estas variables son esenciales para una evaluación integral de la calidad edáfica, el estado de conservación y la funcionalidad ecosistémica, y permiten establecer estrategias de manejo adaptadas a las condiciones específicas de cada sistema.

2. Dado que las especies arbóreas introducidas de *C. torreliana* y *E. saligna* evaluados en este estudio tuvieron características juveniles entre 10 y 15 años y demostraron un aporte positivo en la proporción de macrofauna edáfica, se sugiere realizar estudios con ejemplares más maduros para confirmar o contrastar mejores resultados.

3. A los investigadores realizar estudios en otros espacios de SAF con respecto a la especie nativa *C. cateniformis,* debido que presentó la macrofauna edáfica más baja, de tal manera que el presente estudio sea base para comparar.

4. A los investigadores realizar estudios a nivel de especies de macrofauna edáfica, debido que las investigaciones a este nivel son escasos y la diversidad abundante, por la importancia que cumplen en el aporte de servicios ecosistémicos.

5. A Los agricultores evitar el uso de herbicidas para controlar la maleza, debido que los SAF evaluados están en proceso de estabilización, de tal manera que facilite la incorporación de los Ingenieros de Ecosistema. Igualmente, realizar análisis de suelo antes de aplicar fertilizantes a fin de no generar disturbios. A los agricultores mantener un proceso de poda de los árboles de tal manera que facilite la producción de café.

6. A los agricultores continuar con la implementación entre la asociación *I. edulis* + *C. arabica*, debido que en este estudio los resultados fueron alentadores y otros antecedentes también lo demuestran, con el objetivo de brindar una sostenibilidad a los servicios ecosistémicos.

7. Desde una visión ambiental, los resultados evidencian que la textura del suelo y la macrofauna edáfica son factores clave para la sostenibilidad de los sistemas agroforestales (SAF). En los SAF con mayor proporción de arena (SAF1 y SAF2), la baja capacidad de retención hídrica y nutricional demanda estrategias de manejo que incrementen la materia orgánica y reduzcan la erosión, no solo para mejorar la fertilidad del suelo, sino también para garantizar la infiltración de agua y prevenir la degradación ambiental a largo plazo. El uso de coberturas vivas, barreras naturales y la reducción de escorrentías son prácticas que favorecen la resiliencia del ecosistema frente a sequías y lluvias intensas.

8. En los SAF con mayor contenido de limo y arcilla (SAF3 y SAF4), si bien la retención de humedad es mayor, existe riesgo de compactación que podría afectar la porosidad y el ciclo del carbono en el suelo. Por ello, se recomienda promover un manejo que mantenga la estructura edáfica estable, limite el tránsito de maquinaria pesada y potencie el rol de la biodiversidad edáfica como reguladora de procesos ecológicos, tales como el reciclaje de nutrientes y la mejora de la calidad del suelo.

REFERENCIAS

Abbasi, A., Nazari, M., Fallah, S., Iranipour, R. y Mousavi, A. (2020). The competitive effect of almond trees on light and nutrients absorption, crop growth rate, and the yield in almond–cereal agroforestry systems in semi-arid regions [El efecto competitivo de los almendros en la absorción de luz y nutrientes, la tasa de crecimiento del cultivo y el rendimiento en sistemas agroforestales de almendras y cereales en regiones semiáridas]. *Agroforestry Systems,* 94(3), 1111-1122. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00469-2

Abdulai, I., Jassogne, L., Graefe, S., Asare, R., Van Asten, P., Läderach, P. y Vaast, P. (2018). Characterization of cocoa production, income diversification and shade tree management along a climate gradient in Ghana [Caracterización de la producción de cacao, la diversificación de ingresos y el manejo de árboles de sombra a lo largo de un gradiente climático en Ghana]. *PloS one*, 13(4), e0195777. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195777

Abreu, H., Arruda, M., Barros, R., De Almeida, F., Maranh, C., Da Silva, L., Silva, C., Alves, F., Neves, F. y Collier, S. (2016). Chemical attributes of the soil in agroforestry systems subjected to organic fertilizations [Atributos químicos del suelo en sistemas agroforestales sometidos a fertilizaciones orgánicas]. *African Journal of Agricultural Research*, 11(27), 2378-2388. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11182

Albaladejo, J., Díaz-Pereira, E. y De Vente, J. (2021). Eco-holistic soil conservation to support land degradation neutrality and the sustainable development goals [Conservación ecoholística del suelo para apoyar la neutralidad de la degradación de la tierra y los objetivos de desarrollo sostenible]. *Catena*, 196, 104823. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104823

Alcudia-Aguilar, A., Villanueva-López, G., Alayón-Gamboa, J. A., Nahed-Toral, J., Aryal, D. R., Casanova-Lugo, F., Ayala-Montejo D., Martínez-Zurimendi, P., Jiménez-Ferrer., G., De la Cruz-López, A. y Medrano-Pérez, R. (2024). Plant species richness in agroforestry systems correlates to soil fertility in the humid tropic of Mexico [La riqueza de especies vegetales en sistemas agroforestales se correlaciona con la fertilidad del suelo en el trópico húmedo de México]. *Agroforestry Systems*, 98 (4), 891-909. https://doi.org/10.1007/s10457-024-00961-4

Alegre, C., Lao, C., Vásquez, J., Duran, E., Moya, F. y Lavelle, P. (2019). Socialización de los indicadores de las propiedades químicas, físicas y biodiversidad del suelo para la generación de servicios ecosistémicos. http://repositorio.iiap.org.pe/bitstream/IIAP/489/1/alegre_report_2019.pdffaro,

Al-Shammary, G., Kouzani, Z., Kaynak, A., Khoo, Y., Norton, M., y Gates, W. (2018). Soil bulk density estimation methods: A review [Métodos de estimación de la densidad aparente del suelo: una revisión]. *Pedosphere,* 28(4), 581-596. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60034-7

Andrea, F., Bini, C. y Amaducci, S. (2018). Soil and ecosystem services: Current knowledge and evidences from Italian case studies [Suelo y servicios ecosistémicos: conocimientos actuales y evidencias de estudios de casos italianos]. *Applied Soil Ecology*, 123, 693-698. https://doi.org/10.1016/j.apsil.2017.06.031

Anthony, A., Bender, F. y Van der Heijden, G. (2023). Enumerating soil biodiversity [Enumeración de la biodiversidad del suelo]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(33), e2304663120. https://doi.org/10.1073/pnas.2304663120

Antonini, A., Vieira, A., Fialho, F., Macena, A., Naudin, K. y Malaquias, V. (2020). Desempenho agronômico de mandioca de mesa manejada sob irrigação e cobertura plástica do solo. In Colloquium Agrariae, 16 (6), 47-55). https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3819/3154

Aranda, S. y Vásconez, G. (2022). Cationes de intercambio en un transecto de suelo derivado de materiales volcánicos y su relación con la acidez. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. https://repositorio.uteq.edu.ec/items/7645a533-8db9-4f74-b73d-38fd2fef1c62

Arévalo-Gardini, E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A. y Baligar, V. (2015). Changes in soil physical and chemical properties in long term improved natural and traditional agroforestry management systems of cacao genotypes in Peruvian Amazon [Cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo en sistemas de manejo agroforestal natural y tradicional mejorados a largo plazo de genotipos de cacao en la Amazonía peruana]. *PloS one*, 10(7), e0132147. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132147

Arias, L. (2020). Proyecto de tesis: guía para la elaboración. http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2236/1/AriasGonzales_ProyectoDeTesis_libro.pdf.

Arias, L., y Covinos, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. *Enfoques Consulting EIRL*, 1 (1), 66-78. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf

Atangana, A., Khasa, D., Chang, S., Degrande, A. (2014). Definitions and classification of agroforestry systems [Definiciones y clasificación de los sistemas agroforestales]. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7723-1_3

Balbi, S., Del Prado, A., Gallejones, P., Geevan, C. P., Pardo, G., Pérez-Miñana, E. y Villa, F. (2015). Modeling trade-offs among ecosystem services in agricultural production systems [Modelización de compensaciones entre servicios ecosistémicos en sistemas de producción agrícola]. *Environmental Modelling & Software*, 72, 314-326. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.017

Balvanera, P., Quijas, S., Karp, D. S., Ash, N., Bennett, E. M., Boumans, R., Brown, C., Chan, A, Chaplin-Kramer, R., Halpern, S., Miel-Rosés, J., Ki C., Cramer, W., Martínez-Harms, J. Mooney, H., Mwampamba, T., Nel, J., Polasky, E., Reyers, B., Romano, J., Turner, W., Scholes, J., Tallis, B., Thonicke, K., Fernando, V., Walpole, M. y Walz, A. (2017). Ecosystem services. En Walters, M. y Scholes, J. (Eds). The GEO handbook on biodiversity observation networks, 39-78. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-27288-7

Barbier, B. y Hochard, P. (2016). ¿Does land degradation increase poverty in developing countries? [¿La degradación de la tierra aumenta la pobreza en los países en desarrollo?]. *PloS one*, 11(5), e0152973. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152973

Bardgett, D. y Van der Putten H. (2014). Belo https://doi.org/10.1038/nature13855 wground biodiversity and ecosystem functioning [Biodiversidad subterránea y funcionamiento de los ecosistemas]. *Nature*, 515 (2014), 505-511. https://doi.org/10.1038/nature13855

Bashir, S., Javed, A., Bibi, I. y Ahmad, N. (2017). *Soil and water conservation* [Conservación del suelo y el agua]. Pakistan, University of Agriculture, Faisalabad, 263-286. https://www.researchgate.net/profile/Safdar-Bashir/publication/320729156_Soil_and_Water_Conservation/links/59f96d31458515547c26c187/Soil-and-Water-Conservation.pdf

Baveye, C., Baveye, J. y Gowdy, J. (2016). Soil "ecosystem" services and natural capital: critical appraisal of research on uncertain ground [Servicios del "ecosistema" del suelo y capital natural: evaluación crítica de la investigación en terreno incierto]. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 41. https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041

Biswas, S. y Gawade, H. (2017). Soil fauna-as indicator of soil quality. https://www.biotecharticles.com/PDF_Articles/Soil_Fauna_BA_4381.pdf

Blanco, H. y Lal, R. (2023a). Soil Fertility Management [Manejo de la fertilidad del suelo]. En Blanco, H. y Lal, R. (2023). Soil Conservation and Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30341-8_15

Blanco, H., Lal, R. (2023b). Soil and Water Management. En Blanco, H. y Lal, R. (2023). Soil Conservation and Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30341-8_1

Boeno, D., Silva, F., Almeida, S., Rodrigues, C., Vanzan, M. y Andreazza, R. (2019). Influence of eucalyptus development under soil fauna [Influencia del desarrollo del eucalipto en la fauna del suelo]. *Brazilian Journal of Biology*, 80, 345-353. https://www.scielo.br/j/bjb/a/WBhLFWnL85QxLwZFxVZd89w/?format=html&lang=en

Brevik, C., Pereg, L., Steffan, J. y Burgess, C. (2018). Soil ecosystem services and human health [Servicios ecosistémicos del suelo y salud humana]. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 87-92. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.003

Brown, G., Demetrio, C., Gabriac, Q., Pasini, A., Korasaki, V., Oliveira, J., Dos Santos, F., Torres, E., Galerani, R., Gazziero, P., Benito, P., Nunes, H., Santos, A., Ferreira, T., Nadolny, S., Bartz, C., Maschio, W., Dudas, T., Zagatto, G., Niva, C., Clasen, A., Sautter, D., Froufe, M., Seoane, S., De Moraes, A., James, S., Alberton, O., Brandão, O., Saraiva, O., Garcia, A., Oliveira, E., César, M., Corrêa-Ferreira, S., Bruz, M., Silva, E., Cardoso, X., Lavelle, P., Velásquez, E., Cremonesi, M., Parron, M., Baggio, J., Neves, E., Hungria, M., Campos, A., Da Silva, L., Reissmann, B., Conrado, C., Bouillet, D., Gonçalves, M., Brandani, B., Viani, G., Paula, R., Laclau, P., Peña-Venegas, P., Peres, C., Decaëns, T., Pey, B., Eisenhauer, N., Cooper, M. y Mathieu, J. (2024). Soil macrofauna communities in Brazilian land-use systems [Comunidades de macrofauna del suelo en los sistemas de uso de la tierra brasileños]. Biodiversity Data Journal 12: e115000. https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e115000

Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58.

Cabrera, C. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en cuba*. https://www.rufford.org/files/Manual%20Pr%C3%A1ctico%20Sobre%20la%20Macrofauna%20del%20Suelo.pdf

Cabrera, C., Sánchez, A. y De León Lima, P. (2021). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221. http://www.revistasgeotech.com/index.php/abc/article/view/404

Cabrera, C., Socarrás-Rivero, A., Hernández-Vigoa, G., Ponce de León, D., Menéndez-Rivero, Y. I. y Sánchez-Rendón, J. A. (2017). Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40 (2), 118-126. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000200005&lng=es&tlng=pt.

Cabrera, G., Socarras, A, Gutiérrez, E., Tcherva, T., Martínez, A. y Lozada, A. (2017). *Fauna del suelo*. En Mancina, C. A. y Cruz, D. D. (2017. Eds.). Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas. https://www.academia.edu/37684628/Fauna_del_Suelo

Cabrera-Dávila, G.; Socarrás-Rivero, A.; Hernández-Vigoa, G.; Ponce de León-Lima, D.; Menéndez-Rivero., D.; Sánchez-Rendón, J. (2017). Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 118-126. http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v40n2/pyf05217.pdf

Cabrera-Mireles, H., Murillo-Cuevas, D, Adame-García, J. y Fernández-Viveros, A. (2019). Impacto del uso del suelo en la meso y macrofauna edáfica en caña de azúcar y pastos. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 22 (1), 33-43. https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/Consulta/verDoc.aspx?num=1096

Caicedo-Rosero, C., Méndez-Ávila, F. de J., Gutiérrez-Zeferino, E. y Flores-Cuautle, A. (2021). Medición de humedad en suelos, revisión de métodos y características. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9 (17), 1-8. https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7035

Camara, R., Santos, G., Pereira, M.G., Silva, C., Silva, V. y Silva, R. (2018). Effects of natural atlantic forest regeneration on soil fauna, Brazil [Efectos de la regeneración natural del Bosque Atlántico sobre la fauna del suelo, Brasil]. *Floresta e Ambiente,* 25(1), e20160017. https://www.scielo.br/pdf/floram/v25n1/2179-8087-floram-25-1-e20160017.pdf

Cárceles, B., Durán-Zuazo, H., Soriano, M., García-Tejero, F., Gálvez, B. y Cuadros, S. (2022). Conservation agriculture as a sustainable system for soil health: A review [La agricultura de conservación como sistema sostenible para la salud del suelo: una revisión]. *Soil Systems*, 6(4), 87. https://doi.org/10.3390/soilsystems6040087

Cardinael, R., Mao, Z., Chenu, C. y Hinsinger, P. (2020). Belowground functioning of agroforestry systems: recent advances and perspectives [Funcionamiento subterráneo de los sistemas agroforestales: avances y perspectivas recientes]. *Plant and Soil*, 453(1), 1-13. https://doi.org/10.1007/s11104-020-04633-x

Carmo, D., Silva, A., Lima, D. y Pinheiro, L. (2016). Electrical conductivity and chemical composition of soil solution: comparison of solution samplers in tropical soils [Conductividad eléctrica y composición química de la solución del suelo: comparación de muestreadores de solución en suelos tropicales]. *Revista brasileira de Ciência do Solo,* 40(00), e0140795. https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20140795

Casimiro, J. (2022). *Abundancia de macrofauna del suelo en dos sistemas agroforestales en el Fundo Alborada, distrito Castillo Grande–Provincia Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2240/TS_HJCS_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Castellanos, L., González, A. y Capacho, A. (2019). Influencia de los sistemas agroforestales del Proyecto Plantar sobre la macrofauna del suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 105–116. https://doi.org/10.24054/bistua.vi.222

Castiglion, G., Behrends, F. y Marquez, J. (2018). Conductividad hidráulica saturada determinada por distintos procedimientos en suelos con alta humedad inicial. *Ciencias Suelo (Argentina),* 36 (2), 158-169. https://pdfs.semanticscholar.org/565e/83af705e1cb41b56484e478f82866584f4b7.pdf?_ga=2.249938758.1920314339.1595614724-835401618.1590855797

Castillo, P. y Ñique, A. (2019). Macrofauna del suelo como indicador biológico del estado de conservación en sistemas agroforestales del sector el Choclino en San Martín – Perú. *Rev. Tayacaja*, 2 (2), 46 – 62. http://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/viewFile/49/49

Castillo-Trejo, Y., Flota-Bañuelos, C., Alcudia-Pérez, J., Fraire-Cordero, S., Rosales-Martínez, V., y Quej-Chí, H. (2023). Macrofauna edáfica y calidad del suelo en agroecosistemas agrícolas y pecuarios de Campeche. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14 (3), 413-424. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3108

Ccoycca, L. (2018). *Estudio de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales en los distritos de Laberinto e Inambari del departamento de Madre de Dios* [Tesis de grado Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. Repositorio de http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/353/004-2-3-079.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ceballos, A. y Mischis, C. (2019). Técnicas de muestreo de fauna edáfica para ser usadas en trabajos prácticos de campo. *Revista De Educación En Biología*, 10(2), 42-47. https://doi.org/10.59524/2344-9225.v10.n2.23357

Cezar, M., Vezzani, M., Schwiderke, K., Gaiad, S., Brown, G., Seoane, S., y Froufe, M. (2015). Soil biological properties in multistrata successional agroforestry systems and in natural regeneration [Propiedades biológicas del suelo en sistemas agroforestales sucesionales multiestratos y en regeneración natural]. *Agroforestry systems*, 89, 1035-1047. https://doi.org/10.1007/s10457-015-9833-7

Chávez-Suárez, L., Rodríguez, I. y Estrada, W. (2020). Characterization of the edaphic macrofauna in five grassland agroecosystems from Granma province. Taxonomical identification [Caracterización de la macrofauna edáfica en cinco agroecosistemas de pastizales de la provincia Granma. Identificación taxonómica]. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54 (4), 585-597. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802020000400585&lng=es&tlng=en.

Chumbe R. (2018). *Macroinvertebrados edáficos en el bosque Vásquez Pampa, Luya - Amazonas, 2017* [Tesis de maestria, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza)]. Repositorio digital de UNTRM http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1347/CHUMBE%20RAMIREZ%20GEILYT.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cid-Lazo, G., López-Seijas, T., Herrera-Puebla, J. y González-Robaina, F. (2021). Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11 (2), 3-9. https://www.redalyc.org/journal/5862/586266250001/586266250001.pdf

Coelho, O., Neto, R., Anhê, M., De Lima, S., Da Silva Vieira, M., Loss, A. y Torres, R. (2021). Soil macrofauna as bioindicator of soil quality in different management systems [Macrofauna del suelo como bioindicador de la calidad del suelo en diferentes sistemas de manejo]. *Research, Society and Development*, 10(6), e54210616118-e54210616118.

Collazos, S. (2018). *Incidencia de la biodiversidad en la productividad de sistemas agroforestales con café en los departamentos de Amazonas y San Martín* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. Repositorio digital de la UNTRM. http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1369/Collazos%20Silva%20Erick.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Conrado, C., Demetrio, C., Stanton, W., Bartz, L., James, W., Santos, A., Silva, E., Ferreira, T., Acioli, S., Ferreira, A., Maia, S., Silva, T., Lavelle, P., Velasquez, E., Tapia-Coral, S., Muniz, A., Segalla, F., Decaëns, T., Nadolny, S. Peña, V., Pasini, A., Oliveira, C., Kille, P, Brown, G. Cunha, L. (2023). Amazonian earthworm biodiversity is heavily impacted by ancient and recent human disturbance [La biodiversidad de lombrices de tierra amazónicas se ve gravemente afectada por

perturbaciones humanas antiguas y recientes]. *Science of the Total Environment*, 895, 165087. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165087

Contreras-Santos, L., Martínez-Atencia, J., Rodríguez-Vitola, L., Barragán-Hernández, W., Garrido-Pineda, J. y Falla-Guzmán, K. (2023). Índice de calidad del suelo cajo sistemas agropecuarios en el bosque seco tropical-Colombia. *Terra Latinoamericana*, 41, e1694. https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1694

Cruz, K., Piraneque, V. y Aguirre, E. (2023). *Introducción a la biología y microbiología de suelo*. https://simehbucket.s3.amazonaws.com/miscfiles/9789587465747pdf_4fj7dnw8.pdf

Da-Silva, M., Da Silva, M., De-Lima, S., De-Souza, M., De-Souza, M., Ribeiro, T. y Chaer, M. (2021). Soil macrofauna as a bioindicator of soil quality in successional agroforestry systems [La macrofauna del suelo como bioindicador de la calidad del suelo en sistemas agroforestales sucesionales]. Research, Society and Development, 10(10), e580101019144-e580101019144.

Daza, F. (2019). *Componente microbiológico (macro invertebrados) en el sistema de uso del suelo (Theobroma cacao* L.*) cacao y (Guazuma crinita* L.*) bolaina en el fundo Rosales–Castillo Grande* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio digital de la UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/220d0a89-956c-48c8-8276-9aefb0c87802/content

Dervash, M., Bhat, R., Mushtaq, N. y Singh, V. (2018). Dynamics and importance of soil mesofauna [Dinámica e importancia de la mesofauna del suelo]. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 7(4), 2010-2019. https://www.researchgate.net/profile/Rouf-Bhat-2/publication/325119590_Dynamics_and_Importance_of_Soil_Mesofauna/links/5af94a7faca2720af9eecddc/Dynamics-and-Importance-of-Soil-Mesofauna.pdf

Dollinger, J., José, S. (2018). Agroforestry for soil health [Agroforestería para la salud del suelo]. *Agroforest Systems*, 92, 213–219. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf

Dos Reis, C., De Souza, C., Correia, F., De Resende, S., Dos Anjos, C. y Pereira, G. (2017). Edaphic arthropods in different successional stages of Atlantic forest and abandoned

pasture areas [Artrópodos edáficos en diferentes estadios sucesionales de bosque atlántico y áreas de pastizales abandonados]. *Comunicata Scientiae*, 8 (2), 296-306. https://doi.org/10.14295/cs.v8i2.1750

Dos Santos, N., Barreto-Garcia, B., Monroe, M., Pereira, G., Barros, T. y Nunes, R. (2024). Carbon in soil macroaggregates under coffee agroforestry systems: Modeling the effect of edaphic fauna and residue input [Carbono en macroagregados del suelo en sistemas agroforestales de café: Modelando el efecto de la fauna edáfica y el aporte de residuos]. *Applied Soil Ecology*, 202, 105604. https://doi.org/10.1016/j.apsil.2024.105604

Dumanski, J. (2015). Evolving concepts and opportunities in soil conservation [Evolución de conceptos y oportunidades en la conservación del suelo]. *International Soil and Water Conservation Research*, 3 (1), 1-14. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.04.002

Duran-Bautista, H., Angel-Sanchez, K. y Bermúdez, F. (2023). Agroforestry systems generate changes in soil macrofauna and soil physical quality relationship in the northwestern Colombian Amazon [Los sistemas agroforestales generan cambios en la relación entre la macrofauna y la calidad física del suelo en el noroccidente de la Amazonía colombiana]. Agroforest Syst 97, 927–938 (2023). https://doi.org/10.1007/s10457-023-00838-y

Durán, E., Rodríguez, L. y Suárez, J. (2018). Relación entre macroinvertebrados y propiedades del suelo bajo diferentes arreglos agroforestales en la Amazonia-Andina, Caquetá, Colombia. *Acta Agronómica*, 67(3), 395-401. https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.67266

Echevarría, L., Estévez, J. V. y Bedoya, J. G. (2014). Caracterización física, química y mineralógica de suelos con vocación forestal protectora, Región Andina Central Colombiana. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín,* 67, (2), 7345-7354. http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v67n2/v67n2a10.pdf

Eklöf, S., Donadi, S., Van der Heide, T., Van der Zee, M. y Eriksson, K. (2015). Effects of antagonistic ecosystem engineers on macrofauna communities in a patchy, intertidal mudflat landscape [Efectos de los ingenieros antagónicos del ecosistema sobre las comunidades de macrofauna en un paisaje irregular de marismas intermareales]. *Journal of Sea Research*, 97, 56-65. https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.12.003

Fahad, S., Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, A. R., Kumar, M., Kakade, V., Pradhan, A., Jinger, D., Rawale, G., Kumar, D., Kumar, V., Hassan, T., Ali10, B., Vijay Sawant, A., Saud, S., Yue, S., Poczai, P. y Poczai, P. (2022). Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance [Sistemas agroforestales para

mejorar y mantener la salud del suelo]. *Sustainability*, 14 (22), 14877. https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/14877

Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café.* CENICAFE, https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4213

Fernández, T., González, C., Gallardo, F., Cairo, C., Acosta, R. y Prado, M. (2015). Macrofauna del suelo en cuatro fincas en conversión hacia la producción agroecológica en el Municipio Cruces, Cuba. *Centro Agricola*, 42(1), 43-52. https://biblat.unam.mx/hevila/Centroagricola/2015/vol42/no1/7.pdf

Ferreras, A., Inés, S., Faggioli, V.S. y Galarza, C.M. (2015). Sensibilidad de los indicadores biológicos del suelo en un Argiudoll de la pampa argentina. *Spanish Journal of Soil Science*, 5 (3), 227-242. https://doi.org/10.3232/SJSS.2015.V5.N3.04

Figueroa, A., Álvarez, G., Forero, F., Salamanca, C. y Pinzón, P. (2017). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Temas Agrarios*, 17 (1), 32 – 43. https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/b757e0dc-840d-440b-b9db-aae2faad2b37/content

Francaviglia, R., Almagro, M. y Vicente-Vicente, L. (2023). Conservation agriculture and soil organic carbon: Principles, processes, practices and policy options [Agricultura de conservación y carbono orgánico del suelo: principios, procesos, prácticas y opciones de políticas]. *Soil Systems*, 7(1), 17. https://doi.org/10.3390/soilsystems7010017

Frouz, J. (2018). Effects of soil macro-and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization [Efectos de la macro y mesofauna del suelo sobre la descomposición de la hojarasca y la estabilización de la materia orgánica del suelo]. *Geoderma*, 332, 161-172. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.039

Gachene, K., Nyawade, O., Karanja, N. (2020). Soil and Water Conservation: An overview [Conservación del suelo y el agua: una visión general]. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., Wall, T. (eds) Zero Hunger. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals [Enciclopedia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU]. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95675-6_91

Galantini, A., Duval, M., Martinez, M., Mora, V., Baigorri, R. y García-Mina, M. (2016). Quality and quantity of organic fractions as affected by soil depth in an Argiudoll under till and no-till systems [Calidad y cantidad de fracciones orgánicas afectadas

por la profundidad del suelo en un Argiudoll bajo sistemas de labranza y siembra directa]. *International Journal of Plant and Soil Science.* 10 (5), 1 – 12. https://dadun.unav.edu/server/api/core/bitstreams/aee6a6b4-1ee7-48a9-ba14-1e85ed96e261/content

Gallusser, J.S. (2016). Estudio comparativo sobre sistemas integrados de producción y sistemas agroforestales en el departamento de San Martín. http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/04/144.pdf

García-Gallegos, E. y Hernández-Acosta, E. (2024). Indicadores de calidad para suelos forestales dentro de un Área Natural Protegida. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 15(85), 27-47. https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i85.1467

Gardi, C., M. Angelini, S., Barceló, J., Comerma, C., Cruz G. A., Encina, Rojas, A., Jones, P., Krasilnikov, M. L., Mendonça, S. B. L., Montanarella, O., Muñiz, U. P., Schad, M. I., Vara, R. y Vargas, R. (2014): *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995, Luxembourg. https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/b3674ba0-fbdb-4395-96ac-56d2d3f563db

Geisen, S., Wall, H., y Van der Putten, H. (2019). Challenges and opportunities for soil biodiversity in the Anthropocene [Desafíos y oportunidades para la biodiversidad del suelo en el Antropoceno]. *Current Biology*, 29 (19), R1036-R1044. https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(19)31023-1

Gelvez, M., Moreno, M., y Santos, M. (2020). Guía de muestreo de suelo para análisis microbiológico. https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/167/156/1141-1

Ghabbour, A., Davies, G., Misiewicz, T., Alami, A., Askounis, M., Cuozzo, P., Felice, A., Haskell, J., Moy, A., Roach, A., y Shade, J. (2017). National comparison of the total and sequestered organic matter contents of conventional and organic farm soils [Comparación nacional de los contenidos de materia orgánica total y secuestrada en suelos agrícolas convencionales y orgánicos]. *Advances in agronomy*, 146, 1-35. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.003

Gobierno Regional de San Martín (2016). Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Rioja. http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/08/EDZ-Rioja.pdf

Gómez, P., Godoy, F., Celina, M. y Coronel, M. (2016). Macrofauna edáfica en ecosistemas naturales y agroecosistemas de la eco-región Esteros del Iberá (Corrientes,

Argentina). *Ciencia del suelo*, 34 (1), 43-56. http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v34n1/v34n1a05.pdf

Gomiero, T. (2016). Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge [Degradación del suelo, escasez de tierra y seguridad alimentaria: revisión de un desafío complejo]. *Sustainability*, 8(3), 281. https://doi.org/10.3390/su8030281

Gongalsky, B. (2021). Soil macrofauna: Study problems and perspectives [Macrofauna del suelo: problemas de estudio y perspectivas]. *Soil Biology and Biochemistry*, 159, 108281. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108281

Grand, A. y Michel, V. (2020). Materia orgánica del suelo. https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/es/18.pdf

Hatt, S., Artru, S., Brédart, D; Lassois, L., Francis, F., Haubruge, E., Sarah, G., Pierre, S., Marc, D., Monty, A. y Boeraeve, F. (2016). Towards sustainable food systems: the concept of agroecology and how it questions current research practices. A review [Hacia sistemas alimentarios sostenibles: el concepto de agroecología y cómo cuestiona las prácticas de investigación actuales. Una revisión]. *Biotechnologie, Agronomie, Société et environnement*, 20 (1), 215-224. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/197503/1/Hatt%2c%20Artru%2c%20Boeraeve%20et%20al.%202016%20%20Agroecology%20for%20sustainable%20food%20systems.pdf

Hendrix, Crossley, A., Blair, M. y Coleman, D. C. (2020). Soil biota as components of sustainable agroecosystems [La biota del suelo como componente de los agroecosistemas sostenibles]. In Edwards, A. (2020). Sustainable agricultural systems. CRC press. https://doi.org/10.1201/9781003070474

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2017). *Metodología de la investigación.* http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf

Hernández-Blanco, M. y Costanza, R. (2018). Natural capital and ecosystem services [Capital natural y servicios ecosistémicos]. En Cramer, G., Paudel, K. y Schmitz, A. (Eds.). The Routledge handbook of agricultural economics (pp. 254-268). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315623351

Herrera, F. y Cuevas, E. (2017). Artrópodos del suelo como bioindicadores de recuperación de sistemas perturbados. *Venesuelos*, 11(1-2):67-78. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/967

Holmstrup, M. (2015). Reprint of: The ins and outs of water dynamics in cold tolerant soil invertebrates [Reimpresión de: Los pormenores de la dinámica del agua en invertebrados tolerantes al frío]. *Journal of Thermal Biology*, 54, 30-36. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.10.006

Huamán, L. (2023). *Diversidad de la macrofauna edáfica en el banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria de la Selva–Tingo María–Perú, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Amazonía]. Repositorio Institucional https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/01dbe359-f540-43c9-ac47-a93c2612d365/content

Hurtado, E., Ibañez, V. y Lavelle, P. (2024). A global indicator of soil macroinvertebrate community composition, abundance and diversity [Un indicador global de la composición, abundancia y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados del suelo]. *Applied Soil Ecology,* 193, 105138. https://doi.org/10.1016/j.apsil.2023.105138

Inkotte, J.; Bomfim, B.; Rosa, D; Valadão, X.; Gatto, A.; Santos, A.; Pereira, S. (2024). Changes in land use through eucalyptus plantations impact soil fauna communities in brazilian savannas [Los cambios en el uso de la tierra a través de plantaciones de eucaliptos impactan las comunidades de fauna del suelo en las sabanas brasileñas]. *Sustainability*, 16 (7), 2943. https://doi.org/10.3390/su16072943

Ishfaq, M., Wang, Y., Yan, M., Wang, Z., Wu, L., Li, C. y Li, X. (2022). Physiological Essence of Magnesium in Plants and Its Widespread Deficiency in the Farming System of China [Esencia fisiológica del magnesio en las plantas y su deficiencia generalizada en el sistema agrícola de China]. *Frontiers in plant science*, 13, 802274. https:// doi.org /10.3389/fpls.2022.802274.

Javed, A., Ali, E., Afzal, B., Osman, A. y Riaz, S. (2022). Soil fertility: Factors affecting soil fertility, and biodiversity responsible for soil fertility [Fertilidad del suelo: factores que afectan la fertilidad del suelo y biodiversidad responsable de la fertilidad del suelo]. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 12(1), 21-33. https://fortuneonline.org/articles/soil-fertility-factors-affecting-soil-fertility-and-biodiversity-responsible-for-soil-fertility.pdf

Jónsson, G., Davíðsdóttir, B. y Nikolaidis, P. (2017). Valuation of soil ecosystem services [Valoración de los servicios ecosistémicos del suelo]. *Advances in Agronomy*, 142, 353-384. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.011

Jónsson, G. y Davíðsdóttir, B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services [Clasificación y valoración de los servicios ecosistémicos del suelo]. *Agricultural Systems*, 145, 24-38. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010

Jose, S. (2019). Environmental impacts and benefits of agroforestry [Impactos ambientales y beneficios de la agroforestería]. In Oxford research encyclopedia of environmental science. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.195

Kamau, S., Barrios, E., Karanja, K., Ayuke, O. y Lehmann, J. (2017). Soil macrofauna abundance under dominant tree species increases along a soil degradation gradient [La abundancia de macrofauna del suelo bajo especies arbóreas dominantes aumenta a lo largo de un gradiente de degradación del suelo]. *Soil Biology and Biochemistry*, 112, 35-46. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.04.016

Kaushal, R., Mandal, D., Panwar, P., Kumar, P., Tomar, S. y Mehta, H. (2021). Soil and water conservation benefits of agroforestry [Beneficios de la agroforestería para la conservación del suelo y el agua]. En Shit, K., Pourghasemi, R., Adhikary, P., Bhunia, S. y Sati, P. (Eds.). Forest resources resilience and conflicts. Elsevier. (pp. 259-275). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822931-6.00020-4

Kekane, S., Chavan, P., Shinde, N., Patil, L. y Sagar, S. (2015). A review on physico-chemical properties of soil [Una revisión sobre las propiedades físico-químicas del suelo]. *International Journal of Chemical Studies*, 3 (4), 29-32. https://www.chemijournal.com/archives/2015/vol3issue4/PartA/3-3-9.1.pdf

Khaledian, Y., Brevik, C., Pereira, P., Cerdà, A., Fattah, A., y Tazikeh, H. (2017). Modeling soil cation exchange capacity in multiple countries [Modelado de la capacidad de intercambio catiónico del suelo en varios países]. *Catena*, 158, 194-200. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.002

Kruse, J., Abraham, M., Amelung, W., Baum, C., Bol, R., Kühn, O., Lewandowski, H., Niederberger, H., Oelmann, Y., Rüger, C., Santner, J., Siebers, M., Siebers, N., Spohn, M., Vestegren, J., Vogts, A. y Leinweber, P. (2015). Innovative methods in soil phosphorus research: A review [Métodos innovadores en la investigación del fósforo en el suelo: una revisión]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178: 43-48. https://doi.org/10.1002/jpln.201400327

La Notte, A., D'Amato, D., Mäkinen, H., Paracchini, L., Liquete, C., Egoh, B., Ganaletti, D. y Crossman, D. (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework [Clasificación de los servicios ecosistémicos: una perspectiva de la ecología de sistemas desde el marco en cascada]. *Ecological indicators*, 74, 392-402. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.030

Laban, P., Metternicht, G. y Davies, J. (2018). Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas. http://catalogue.unccd.int/1027_2018-004-Es.pdf

Lacalle, G., Becerril, M. y Garbisu, C. (2020). Biological methods of polluted soil remediation for an effective economically-optimal recovery of soil health and ecosystem services [Métodos biológicos de remediación de suelos contaminados para una recuperación eficaz y económicamente óptima de la salud del suelo y de los servicios ecosistémicos]. *Journal of Environmental Science and Public Health*, 4 (2), 112-133. https://fortuneonline.org/articles/biological-methods-of-polluted-soil-remediation-for-an-effective-economicallyoptimal-recovery-of-soil-health-and-ecosystem-service.pdf

Largaespada, K. y Henríquez, C. (2015). Distribución espacial de la humedad y su relación con la textura en un suelo. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 137-147. https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v39s1/0377-9424-ac-39-s1-00137.pdf

Lavelle, P. y Velásquez, E. (2022). Macroinvertebrate communities: actors and indicators of soil quality [Comunidades de macroinvertebrados: actores e indicadores de la calidad del suelo]. En Reyes Sánchez, B., Horn, R., y Costantini, A. (2022). Sustainable soil management as a key to preserve soil biodiversity and stop its degradation. International Union of Soil Sciences [IUSS]. https://www.old.iuss.org/media/iuss_sustainable_soil_management_as_a_key_to_preserving_soil_biodiversity_and_stopping_its_degradation_book.pdf

Lavelle, P., Spain, A., Blouin, M., Brown, G., Decaëns, T., Grimaldi, M., Jiménez, J., Mckey, D., Mathieu, J., Velasquez, E. y ZAngerlé, A. (2016). Ecosystem engineers in a self-organized soil: A review of concepts and future research questions [Ingenieros de ecosistemas en un suelo autoorganizado: una revisión de conceptos y preguntas de investigación futuras]. *Soil Science*, 181, (3/4), 91-109. http://dx.doi.org/10.1097/SS.0000000000000155

Lavelle, P., Spain, A., Fonte, S., Bedano, J. C., Blanchart, E., Galindo, V., Grimaldi, M., Jiménez, J., Velasquez, E. y Zangerlé, A. (2020). Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle [Agregación del suelo, ingenieros de ecosistemas y el ciclo del C]. *Acta Oecologica*, 105, 103561. https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103561

Leoni, A. (2015). Propiedades físicas de los suelos. https://ingenieroleoni.com/wp-content/uploads/2015/09/Capitulo-1-Propiedades-F--sicas-de-los-suelos.pdf

López, J. (2022) *Macrofauna y microbiología edáfica: relación con servicios ecosistémicos y parámetros físicoquímicos del suelo en dos agroecosistemas con café, San Ramón, Matagalpa, 2016* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional https://repositorio.una.edu.ni/4637/1/tnp34l864.pdf

Madrigal, S., Cristóbal, D., Hernández, E. y Romo, L. (2019). Influencia de la cobertura, pendiente y profundidad, sobre el carbono y nitrógeno del suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales,* 10 (51), 201-223. http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113

Mamabolo, E., Pryke, S. y Gaigher, R. (2024). Soil macrofauna are important bioindicators of soil quality in agroecosystems under different management [La macrofauna del suelo son bioindicadores importantes de la calidad del suelo en agroecosistemas bajo diferentes manejos]. *Ecological Indicators*, 167, 112723. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112723

Mancilla, F., Rangel, L., Alcón, F., Gamboa, J y Valdez, D. (2017). Riqueza y abundancia de la macrofauna epigea en cuatro sistemas tropicales del Estado de Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 33(3), 464 – 471. http://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v33n3/2448-8445-azm-33-03-464.pdf

Marañón, T. y Madejón, E. (2016). Funciones del suelo y servicios ecosistémicos: importancia de la materia orgánica. Repositorio digital de https://digital.csic.es/bitstream/10261/152351/1/Funciones_suelo_servicios_VJorREC_2016.pdf

Marichal, R., Grimaldi, M., Feijoo, A., Oszwald, J., Praxedes, C., Cobo, D. H. R., Hurtado, M. P., Desjardins, T., Lopes, S. J. M., Gonzaga, S. C. L., Souza, M. I., Delgado Oliveira, M. N., Brown, G. G., Tsélouiko, S., Bonifacio, M. M., Decaëns, T., Velasquez, E. y Lavelle, P. (2014). Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia [Comunidades de macroinvertebrados del suelo y servicios ecosistémicos en paisajes deforestados de la Amazonia]. *Applied Soil Ecology*, 83, 177-185. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.006

Marques, M., Silva, B. da, Silva, M. da, Moreira, A., y Pinto, S. (2014). Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, 30 (5). 588-1597. http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22926/15034

Marsden, C., Martin-Chave, A., Cortet, J., Hedde, M., y Capowiez, Y. (2020). How agroforestry systems influence soil fauna and their functions-a review [Cómo los sistemas agroforestales influyen en la fauna del suelo y sus funciones: una revisión]. *Plant and Soil*, 453, 29-44. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04322-4

Masin, C., Rodríguez, R., Zalazar, C. y Godoy, L. (2020). Approach to assess agroecosystem anthropic disturbance: Statistical monitoring based on earthworm populations and edaphic properties [Enfoque para evaluar la perturbación antrópica en agroecosistemas: monitoreo estadístico basado en poblaciones de lombrices y

propiedades edáficas]. *Ecological Indicators*, 111, 1 – 11. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105984

Medina, Á., Rojas, C., Bustamante, W., Loaiza, M., Martel, P., Castillo, Y. (2023). *Metodología de la Investigación: Técnicas e instrumentos de investigación.* Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.https://www.editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/download/90/133/157?inline=1

Miccolis, A., Peneireiro, M., Marques, R., Vieira, L., Arco-Verde, F., Hoffmann, R., Rehder, T. y Pereira, V. (2016). *Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga* [Restauración ecológica con sistemas agroforestales: cómo conciliar conservación con producción: opciones para Cerrado y Caatinga.]. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1069767

Ministerio de Agricultura (2010). *Reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos* (Decreto Supremo Nº 013-2010-AG). https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2010/ds13-2010-ag.pdf

Montanarella, L. (2015). Agricultural policy: Govern our soils [Política agrícola: Gobernar nuestros suelos]. *Nature* 528, 32–33 (2015). https://doi.org/10.1038/528032a

Montanarella, L., Pennock, J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K., Young Hong, S., Vijarnsorn, P., Zhang, L., Arrouays, D., Black, H., Krasilnikov, P., Sobocká, J., Alegre, J., Henriquez, R., Mendonça-Santos, M., Taboada, M., Espinosa-Victoria, D., AlShankiti, A., AlaviPanah, K., Elsheikh, M., Hempel, J., Camps Arbestain, M., Nachtergaele, F. y Vargas, R. (2016). World's soils are under threat [Los suelos del mundo están bajo amenaza], *SOIL*, 2, 79–82. https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016, 2016

Mora-Donjuán, A. y Alanís-Rodríguez, E. (2016). Resiliencia de bosques de pino – encino en América: Una visión global del estado actual. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(33), 01–02. https://doi.org/10.18845/rfmk.v13i33.2571

Morales, E., Quintana, C., Vela, C., Oliva, M. y Quiñones, L. (2021). Macrofauna edáfica y propiedades fisicoquímicas del suelo, en fincas cafetaleras de pequeños agricultores. *Rev. Fac. Agron. (LUZ),* 38 (4), 913-929 https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n4.11

Morel, J. L., Chenu, C. y Lorenz, K. (2015). Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs) [Servicios ecosistémicos proporcionados por suelos de zonas urbanas, industriales, de tráfico, mineras y militares (SUITMA)]. *J Soils Sediments*, 15, 1659–1666. https://doi.org/10.1007/s11368-014-0926-0

Moura, G., Aguiar, A., Piedade, R. y Rousseau, X. (2015). Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern Amazon [Contribución de los residuos de árboles leguminosos y de la macrofauna al mejoramiento de las propiedades abióticas del suelo en la Amazonía oriental]. *Applied Soil Ecology*, 86, 91-99. https://doi.org/10.1016/j.apsil.2014.10.008

Mpanda, M., Majule, E., Marchant, R. y Sinclair, F. (2016). Variability of soil micronutrients concentration along the slopes of Mount Kilimanjaro, Tanzania [Variabilidad de la concentración de micronutrientes del suelo a lo largo de las laderas del Monte Kilimanjaro, Tanzania]. *Applied and Environmental Soil Science*, 2016, 1-7. http://downloads.hindawi.com/journals/aess/2016/9814316.pdf

Municipalidad Provincial de Rioja (2021). Plan provincial de gestión integral de residuos sólidos de la provincial de Rioja 2021-2025. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-rioja/archivos/public/docs/pigars_202120220412_13262014_compressed.pdf

Muñoz, A. y Santacruz, C. (2024). Macrofauna edáfica en el establecimiento de un sistema agroforestal en la región altoandina del sur de Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 41 (1), e1223. https://doi.org/10.22267/rcia.20244101.223

Mubaraka, R., Hussain, B., Tariq, H., Qayyum, M. y Tariq, I. (2022). Mulches effects on soil physical properties porosity, aggregate stability, infiltration rates, bulk density, compaction [Efectos de los acolchados sobre las propiedades físicas del suelo, es decir, porosidad, estabilidad de los agregados, tasas de infiltración, densidad aparente y compactación]. En: Akhtar, K., Arif, M., Riaz, M. y Wang, H. (Eds). Mulching in Agroecosystems [Acolchado en agroecosistemas]. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6410-7_3

Narváez, V., y Zapata-Ríos, G. (2020). Manual para el muestreo de fauna silvestre con transectos lineales. https://www.researchgate.net/publication/343296023_Manual_para_el_Muestreo_de_Fauna_Silvestre_con_Transectos_Lineales

Navia, F., Delgado, L. y Lagos-Burbano, C. (2021). Macrofauna evaluation in two coffee agroforestry systems [Evaluación de macrofauna en dos sistemas agroforestales

cafetaleros]. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 3 8(2), 89-98. http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v38n2/2256-2273-rcia-38-02-89.pdf

Negassa, W. y Sileshi, G. W. (2018). Integrated soil fertility management reduces termite damage to crops on degraded soils in western Ethiopia [La gestión integrada de la fertilidad del suelo reduce el daño causado por las termitas a los cultivos en suelos degradados en el oeste de Etiopía]. *Agriculture, ecosystems & environment*, 251, 124-131. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.023

Nielsen, N., Wall, H. y Six, J. (2015). Soil biodiversity and the environment [Biodiversidad del suelo y medio ambiente]. *Annual review of environment and resources*, 40, 63-90. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021257

Nieto, M. J. J. (2015). *Efecto de las propiedades físicas, químicas y almacenamiento de Carbono Orgánico en tres Sistemas Agroforestales en el Distrito de Nuevo Progreso* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional https://repositorio.unas.edu.pe/items/f0db7801-a7d9-4d22-8ee2-e5681654dcb9

Ofoe, R., Thomas, H., Asiedu, K., Wang-Pruski, G., Fofana, B. y Abbey, L. (2023). Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms [Aluminio en plantas: beneficios, toxicidad y mecanismos de tolerancia]. *Frontier Plant Science*, 13:1085998. Doi: 10.3389/fpls.2022.1085998.

Ogazie, A., Ekeke, C. y Odoemelam, O. (2024). Status of soils collected under some agroforestry trees [Estado de los suelos colectados bajo algunos árboles agroforestales]. *Scientia Africana*, 23 (4), 303-316. https://www.ajol.info/index.php/sa/article/view/284228

Olivera, C., Avellaneda, M. y Durán, C. (2018). Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales: construcción participativa del diagnóstico de suelos. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35025

Orduz, A., Machado. L. y Rodríguez, L. (2021). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova*, 6, 27–38. https://doi.org/10.23850/25004476.3681(p.32)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2015). Suelos y biodiversidad. https://www.fao.org/3/i4551s/i4551s.pdf [FAO]

Organismos de la Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (2019). Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management. [Erosión del suelo: El mayor desafío para la gestión sostenible del suelo]. https://www.fao.org/3/ca4395en/ca4395en.pdf [FAO]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020*). State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities* [Estado del conocimiento de la biodiversidad del suelo - Estado, desafíos y potencialidades]. https://openknowledge.fao.org/items/24035f6b-eed4-40a8-a838-b45b866c35c2 [FAO]

Pachacama, B. (2023). *Determinación de la afectación de los suelos colindantes a plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus) y pino (Pinus radiata) mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en la Comunidad de Pesillo, cantón Cayambe (Bachelor's thesis)* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24423/1/TTS1198.pdf

Pantera, A., Mosquera-Losada, R., Herzog, F. y Den Herder, M. (2021). Agroforestry and the environment [Agroforestería y medio ambiente]. *Agroforestry Systems,* 95, 767–774. https://doi.org/10.1007/s10457-021-00640-8

Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz, R.M. y Brevik, E.C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management [Servicios ecosistémicos del suelo, sostenibilidad, valoración y gestión]. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7–13. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003

Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, (2019). *Edafología: uso y protección de suelos*. https://books.google.com.ec/books?id=7x1fAwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false

Potapov, A. M., Beaulieu, F., Birkhofer, K., Bluhm, L., Degtyarev, I., Devetter, M., Goncharov, M., Gongalski, B., Bernhard, K, Daniel I. Korobushkin, L, Marca, J. McDonnell, M., Pollierer, S., Shrubovych, I. Semenyuk, S., Jiri, T., Tumová, M, Vassilieva, B., Chen, W, n Geisen, S, Schmidt, O., Tiunov, V. y Scheu, S. (2022). Feeding habits and multifunctional classification of soil-associated consumers from protists to vertebrates [Hábitos alimentarios y clasificación multifuncional de los consumidores asociados al suelo desde protistas hasta vertebrados]. *Biological Reviews*, 97 (3), 1057-1117. https://doi.org/10.1111/brv.12832

Quinto, C. C. E. (2016). *Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo la influencia de tres sistemas de uso de la tierra en el distrito José Crespo y Castillo, Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].

Repositorio Institucional https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f87898aa-3e57-4b6c-8528-28c34c7ca77f/content

Quiroz, M. C. R. (2015). *Evaluación de la macrofauna como indicador biológico del suelo en tres sistemas de manejo y asocio en el cultivo de café Coffea arabica en la comunidad de Yasica Sur, municipio de San Ramón, departamento de Matagalpa, en las dos épocas del año verano e invierno, período 2015* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nicaragua, León]. Repositorio institucional http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/4022/1/230060.pdf

Quiroz, R., Castellón, D., Cea Navas, E., Ortiz, S. y Zuniga-Gonzalez, A. (2021). Caracterización de la macrofauna edáfica en diferentes sistemas agroforestales, en el Municipio de San Ramón, Departamento de Matagalpa, Nicaragua. *Nexo Revista Científica*, 34(02), 572–582. https://doi.org/10.5377/nexo.v34i02.11542

Rajkumar, M. (2022). Biodiversity conservation potential of agroforestry systems [Potencial de conservación de la biodiversidad de los sistemas agroforestales]. In: Berry, N., Rao, G. y Shekara, P. (2022). Agroforestry and Opportunities in value addition [Agroforestería y Oportunidades en agregación de valor] 91.https://www.agriclinics.net/rtp-material/Agroforestry%20and%20Opportunities%20in%20Value%20Addition.pdf#page=95

Ramírez-Suárez, M., Hernández-Chávez, B., Zurita-Rodríguez, A. y Navarro-Boulandier, M. (2018). Comportamiento de la macrofauna edáfica en sistemas ganaderos, en una entidad productiva del municipio Yaguajay, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 41(4), 259-265. http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v41n4/pyf04418.pdf

Ramos, A., Castro, E., León, S., Álvarez, D. y Huerta, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana*, 37(1), 45-55. https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v37n1/2395-8030-tl-37-01-45.pdf

Ramos, D., Lima, D., Ferreira, S., Pinto, S., Ferreira, R., Días, A., Silva, P. y Pereira, M. G. (2025). Macrofauna and soil properties in agroforestry system and secondary forest [Macrofauna y propiedades del suelo en sistemas agroforestales y bosque secundario]. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 49, e0240091. https://www.scielo.br/j/rbcs/a/hyNp3kvq7QsGNPLmNLtPKyt/?format=pdf&lang=en

Rawat, J., Sanwal, P. y Saxena, J. (2016). Potassium and Its role in sustainable agriculture [Potasio y su papel en la agricultura sostenible]. En Meena, V., Maurya, B., Verma,

J., Meena, R. (Eds) Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_17

Rieff, G. G., Natal-da-Luz, T., Sousa, J. P., Wallau, M. O., Hahn, L., y De Sá, E. L. S. (2016). Collembolans and mites communities as a tool for assessing soil quality: effect of eucalyptus plantations on soil mesofauna biodiversity [Comunidades de colémbolos y ácaros como herramienta para evaluar la calidad del suelo: efecto de las plantaciones de eucalipto en la biodiversidad de la mesofauna del suelo]. *Current Science*, 110(4), 713–719. http://www.jstor.org/stable/24907935

Ritchey, L.; McGrath, M. y Gehring, D. (2015). Determining soil texture by feel [Determinación de la textura del suelo por tacto]. Agriculture and Natural Resources Publications. 139. https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1139&context=anr_reports

Rivera, E., Sánchez, M. y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista De Iniciación Científica*, 4, 101-105. https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829

Rodríguez, L., Suárez, C., Rodriguez, W., Artunduaga, J. y Lavelle, P. (2021). Agroforestry systems impact soil macroaggregation and enhance carbon storage in Colombian deforested Amazonia [Los sistemas agroforestales impactan la macroagregación del suelo y mejoran el almacenamiento de carbono en la Amazonia deforestada colombiana]. *Geoderma*, 384, 114810. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114810

Rojas, C., Bocanegra, J. y Mariño, J. (2014). Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la gestión del suelo-subsuelo. *Opera,* 14, 9-26. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2499739

Rojas-Ruiz, R., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Carbonell, E., Castro-Cepero, V. y Julca-Otiniano, A. (2020). Caracterización de fincas productoras de café convencional y orgánico en el valle del Alto Mayo, región San Martín, Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 100-111. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182020000200013&lng=es&tlng=es.

Ronchi, L, Schorn., A, Santos, F. y Vitorino, D. (2022). Macrofauna del suelo en áreas con diferentes etapas de vegetación sucesionales después de la cosecha de *Eucalyptus grandis* en Brasil. *Semina: Ciencias Agrícolas*, 43 (3), 1111–1126. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n3p1111

Rosalen, K., Baretta, D., Baretta, M., Galina, J. y Golin, L. (2024). Effect of remineralizer on soil biological quality [Efecto del remineralizador sobre la calidad biológica del suelo]. *Biologia,* 79(11), 3327-3336. https://doi.org/10.1007/s11756-024-01783-6

Roy, S., Roy, M.M., Bano, R. y Saxena, P. (2017). Soil Microarthropods: Biodiversity and Role in Grassland and Agroforestry Ecosystems [Microartrópodos del suelo: biodiversidad y función en los ecosistemas de pastizales y agroforestería]. En Dagar, J. y Tewari, V. (Eds) Agroforestry. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_26

Ruiz, F. (2023). *Macrofauna edáfica asociada en cuatro sistemas de producción en el distrito de Pueblo Nuevo, Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2666/TS_FFRC_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salazar, C., González, P., Corrales, D., Lacayo, J., Carrillo, K. y Montero, H. (2020). Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo. *Alcances Tecnológicos*, 13(1), 5 - 12. https://doi.org/10.35486/at.v13i1.164

Sánchez, G. (2018). *Evaluación de la macrofauna del suelo en cuatro diferentes sistemas de uso, en el distrito Las Piedras, provincia de Tambopata, departamento Madre de Dios* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Madre de Dios]. Repositorio Institucional UNAMAD https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/348/004-2-3-074.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480

Santos, D., Ramos, C., Azevedo, R., Oliveira, D., Baretta, D. y Cardoso, N. (2018). Soil macrofauna in organic and conventional coffee plantations in Brazil [Macrofauna del suelo en cafetales orgánicos y convencionales en Brasil]. *Biota Neotropica*, 18, e20180515. https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515

Santos, J., Wilson, G., Ostinelli, M. (2017). *Metodología de muestreo de suelo y ensayos de campo: protocolos básicos comunes*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_metod_muestreo_suelo_y_ensayo_a_campo.pdf

Savari, M., Yazdanpanah, M. y Rouzaneh, D. (2022). Factors affecting the implementation of soil conservation practices among Iranian farmers [Factores que afectan la

implementación de prácticas de conservación del suelo entre los agricultores iraníes]. *Scientific Reports*, 12, 8396. https://doi.org/10.1038/s41598-022-12541-6

Schwartzmann, M. (2019). *Cambios en la calidad del suelo en un sistema agroforestal comparado con un pastizal en Madre de Dios* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur]. Repositorio digital https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/UCS/807

Shah, A.N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, H., Fahad, S., Ali, S., Bukhari, M., Tung, S., Hafeez, A. y Sauliyanonh, B. (2017). Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview [Efectos de la compactación del suelo sobre la salud del suelo y la productividad de los cultivos: una visión general]. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 10056–10067. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y

Silva, D., Barreto-Garcia, B., Monroe, M., Nogueira, R., Teixeira, W., y Nunes, M. R. (2025). Coffee agroforestry systems favor soil macrofauna abundance and composition and reduce seasonal influences [Los sistemas agroforestales de café favorecen la abundancia y composición de la macrofauna del suelo y reducen las influencias estacionales]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis,* 56(11), 1670-1684. https://doi.org/10.1080/00103624.2025.2471345

Silva, A., Siqueira, M., Costa, L., Guedes, O. y Silva, F. (2018). Spatial variability of soil fauna under different land use and managements [Variabilidad espacial de la fauna del suelo bajo diferentes usos y manejos del suelo]. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, 1-18. http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20170121

Silva, M., Silva, M., Lima, S., Souza, M., Souza, M., Ribeiro, T. y Chaer, M. (2021). Soil macrofauna as a bioindicator of soil quality in successional agroforestry systems [Macrofauna del suelo como bioindicador de la calidad del suelo en sistemas agroforestales sucesionales]. *Research, Society and Development*, 10 (10), e580101019144, 4. https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19144/17174

Sobucki, L., Ramos, F., Bellé, C. y Antoniolli, I. (2019). Manejo e qualidade biológica do solo: uma Análise [Manejo y calidad biológica del solo: un análisis]. *Revista Agronomia Brasileira,* 3(3), 10-13. https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo-Ramos-14/publication/331713267_Soil_management_and_biological_quality_a_review_Manejo_e_qualidade_biologica_do_solo_uma_analise/links/5c89081f45851564fadb3c5a/Soil-management-and-biological-quality-a-review-Manejo-e-qualidade-biologica-do-solo-uma-analise.pdf

Sofo, A., Mininni, A. N. y Ricciuti, P. (2020). Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems [Macrofauna del suelo: un factor clave para aumentar la fertilidad del suelo y promover el uso sostenible del suelo en agrosistemas de huertos frutales]. *Agronomy,* 10(4), 456. https://doi.org/10.3390/agronomy10040456

Souza, T., Cassol, C., Baretta, D., Bartz, C, Klauberg, O, Mafra, L. y Rosa, G. (2016). Abundance and Diversity of Soil Macrofauna in Native Forest, Eucalyptus Plantations, Perennial Pasture, Integrated Crop-Livestock, and No-Tillage Cropping [Abundancia y Diversidad de Macrofauna del Suelo en Bosque Nativo, Plantaciones de Eucalipto, Pastos Perennes, Cultivos-Ganadería Integrados y Cultivos sin Labranza]. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, 1 – 14. https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150248

Stöcker, M., Bamberg, L., Stumpf, L., Monteiro, B., Cardoso, H. y de Lima, R. (2020). Short-term soil physical quality improvements promoted by an agroforestry system [Mejoras de la calidad física del suelo a corto plazo promovidas por un sistema agroforestal]. *Agroforestry Systems*, 94 (5), 2053-2064. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00524-3

Stolte, J., Tesfai, M., Øygarden, L., Kværnø, S., Keizer, J., Verheijen, F., Panagos, P., Ballabio, C. y Hessel, R. (2015). Soil threats in Europe [Amenazas al suelo en Europa]. https://core.ac.uk/download/pdf/38631482.pdf

Stromberger, M., Comerford, N. y Lindbo, D. (2015). Soil Ecosystem Services and Natural Capital [Servicios ecosistémicos del suelo y capital natural]. En Stromberger, M., Comerford, N. y Lindbo, D. (2020). *Soil Ecosystems Services* [Servicios de los ecosistemas del suelo] https://doi.org/10.2136/2015.soilecosystemsservices.2014.0055

Suárez, C., Duran, H. y Rosas, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta Agronómica*, 64(3), 214-220. https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.38033

Tahat, M., Alananbeh, K., Othman, Y. y Leskovar, D. (2020). Soil health and sustainable agriculture [Salud del suelo y agricultura sostenible]. *Sustainability*, 12(12), 4859. https://doi.org/10.3390/su12124859

Takasu, T., Haga, I., Rodrigues, F. y Alves, J. (2014). Produtividadeda cultura do milho em resposta à adubação potásica [Productividad del cultivo de maíz en respuesta a la fertilización con potasio]. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 13 (2), 154-161. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n2p154-161

Tale, S. y Ingole, S. (2015). A review on role of physico-chemical properties in soil quality [Una revisión sobre el papel de las propiedades físico-químicas en la calidad del suelo]. *Chemical Science Review and Letters*, 4(13), 57-66. https://chesci.com/wp-content/uploads/2016/10/V4i13_8_CS29204512.pdf

Tapia, S., Teixeira, A., Velásquez, E. y Waldez, F. (2016). Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. *Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA*, 8, 260-267. https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.380

Ticona, Y. y Casas, M. (2019). Evaluación de la metodología Bray-Kurtz y Olsen para la determinación de fósforo disponible en suelos. *Apthapi,* 5(1), 1407-1414. https://doi.org/10.53287/ayss4561hg43w

Tobasura, A., Obando, H., Moreno, A., Morales, S. y Henao, A. (2015). De la conservación del suelo al cuidado: Una propuesta ético-afectiva del uso del suelo. *Ambiente & Sociedade*, 18, 121-136. https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC802V1832015

Tolimir, M., Kresović, B., Životić, L., Dragović, S., Dragović, R., Sredojević, Z., y Gajić, B. (2020). The conversion of forestland into agricultural land without appropriate measures to conserve SOM leads to the degradation of physical and rheological soil properties [La conversión de tierras forestales en tierras agrícolas sin medidas adecuadas para conservar la materia orgánica del suelo conduce a la degradación de las propiedades físicas y reológicas del suelo]. *Scientific Reports*, 10 (1), 13668. https://doi.org/10.1038/s41598-020-70464-6

Torres, D., Álvarez, J., Contreras, J., Henríquez, M., Hernández, W., Lorbes, J. y Mogollón, José Pastor. (2017). Identificación de potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del Estado Lara, Venezuela. *Bioagro,* 29(3), 207-218. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612017000300006&lng=es&tlng=es

Torri, S. Urricariet, S. y Lavado. R. (2014). Micronutrientes y elementos traza. https://www.researchgate.net/publication/283492275_Micronutrientes_y_Elementos_Traza

Udawatta, P., Rankoth, M. y Jose, S. (2019). Agroforestry and biodiversity [Agroforestería y biodiversidad]. *Sustainability*, 11(10), 2879. https://doi.org/10.3390/su11102879

Valencia, O., y Reyes, T. (2018). Familia: Hábitat natural del ser humano–estructura base de una verdadera ecología humana. Apuntes de Bioética: *Revista del Instituto de Bioética,* 1(1), 57-75.

https://pdfs.semanticscholar.org/04d2/66d9e21eb7856bd51992ce8d1e43d6ad8aa2.pdf

Valdez, J., Delgado, F., Rodríguez, I., Garrido, S. y Tangoa, E. (2022). Características del suelo y su influencia en el crecimiento de plantaciones de *Eucaliptus urograndis* en la región Ucayali. *Revista de Innovación y Transferencia Productiva*, 2 (2), e003. https://doi.org/10.54353/ritp.v2i2.e003

Vanolli, S., Canisares, P., Franco, L., Delabie, H., Cerri, E. y Cherubin, R. (2021). Epigeic fauna (with emphasis on ant community) response to land-use change for sugarcane expansion in Brazil [Respuesta de la fauna epigeica (con énfasis en la comunidad de hormigas) al cambio de uso de la tierra para la expansión de la caña de azúcar en Brasil]. *Acta Oecologica*, 110, 103702. https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103702

Vanolli, S., Prudêncio, A., Franco, A. y Cherubin, S. (2022). Response of epigeic compared to edaphic macrofauna to land-use change [Respuesta más fuerte de la macrofauna epigea en comparación con la edáfica al cambio de uso del suelo]. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4122010

Velasquez, E. y Lavelle, P. (2019). Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes [La macrofauna del suelo como indicador para evaluar los servicios ecosistémicos basados en el suelo en paisajes agrícolas]. *Acta Oecologica*, 100, 1-18. https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446

Vigo. N. y Oclocho. E. (2017). *Influencia de las plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus) en las características del suelo a diferentes pisos altitudinales, distritos de Magdalena, Tingo y San Isidro del Maino, Amazonas, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. Repositorio Institucional https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1195/Tesis-Carmen-Fely.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vincent, Q., Leyval, C., Beguiristain, T., y Auclerc, A. (2018). Functional structure and composition of Collembola and soil macrofauna communities depend on abiotic parameters in derelict soils [La estructura funcional y la composición de las comunidades de colémbolos y macrofauna del suelo dependen de parámetros abióticos en suelos abandonados]. *Applied Soil Ecology*, 130, 259-270. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.07.002

Virginio, M., Figueroa, H., y Angamarca, M. (2018). El rol de los sistemas agroforestales en la conservación, recuperación y manejo de los suelos en sistemas de producción agropecuarios. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5450

Wang, S., Pan, K., Tariq, A., Zhang, L., Sun, X., Li, Z., Xiaoming, S., Zilong, L., Shui, S., Xiong, Q, Song, D. y Olatunji, A. (2018). Combined effects of cropping types and simulated extreme precipitation on the community composition and diversity of soil macrofauna in the eastern Qinghai-Tibet Plateau [Efectos combinados de los tipos de cultivo y la simulación de precipitaciones extremas sobre la composición de la comunidad y la diversidad de la macrofauna del suelo en la meseta oriental de Qinghai-Tíbet]. Journal of Soils and Sediments, 18, 3215-3227. https://doi.org/10.1007/s11368-018-1998-z

Wu, P. y Wang, C. (2019). Differences in spatiotemporal dynamics between soil macrofauna and mesofauna communities in forest ecosystems: the significance for soil fauna diversity monitoring [Diferencias en la dinámica espaciotemporal entre las comunidades de macrofauna y mesofauna del suelo en ecosistemas forestales: su importancia para el monitoreo de la diversidad de la fauna del suelo]. *Geoderma,* 337, 266-272. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.031

Xiao, Q., Hu, D. y Xiao, Y. (2017). Assessing changes in soil conservation ecosystem services and causal factors in the Three Gorges Reservoir region of China [Evaluación de los cambios en los servicios ecosistémicos de conservación del suelo y los factores causales en la región del embalse de las Tres Gargantas de China]. *Journal of Cleaner Production*, 163, S172-S180. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.012

Yalli, B. (2017). *Efecto del pastoreo con llamas y vacunos en la función hídrica del pastizal* [Tesis de grado Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio digital UNALM http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3480/yalli-huamani-teodoro-bill.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yang, X., Li, D., McGrouther, K., Long, W., Li, Y., Chen, Y., Xiaobo, L., Khan, N. y Wang, H. (2017). Effect of Eucalyptus forests on understory vegetation and soil quality [Efecto de los bosques de eucalipto sobre la vegetación del sotobosque y la calidad del suelo]. *Journal of Soils and Sediments*, 17, 2383-2389. https://doi.org/10.1007/s11368-016-1431-4

Yáñez, I., Cantú, I. y González, H. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 369-379. https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349

Yin, C., Zhao, W., Cherubini, F. y Pereira, P. (2021). Integrate ecosystem services into socio-economic development to enhance achievement of sustainable development goals in the post-pandemic [Integrar los servicios ecosistémicos en el desarrollo socioeconómico para mejorar el logro de los objetivos de desarrollo sostenible en la era pospandémica]. *Geography and Sustainability*, 2(1), 68-73. https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.03.002

Zagatto, G., Oliveira, C., Baretta, D. y Bran, J. (2020). Mesofauna and macrofauna in soil and litter of mixed plantations [Mesofauna y macrofauna en suelos y hojarascas de plantaciones mixtas]. In: Bran, N. C. E., Gonçalves, J., Balieiro, F. y Franco, A. (eds). Mixed plantations of eucalyptus and leguminous trees [Plantaciones mixtas de eucaliptos y leguminosas]. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32365-3_8

Zhao, W., Liu, Y., Daryanto, S., Fu, B., Wang, S. y Liu, Y. (2018). Metacoupling supply and demand for soil conservation service [Metaacoplamiento de oferta y demanda de servicio de conservación de suelos]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 33, 136-141. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.05.011

Zúñiga-Orozco, A., Carrodeguas-Gonzalez, A., & Solís-Ramos, L. Y. (2022). Micorrizas y rhizobios: un diálogo molecular con el huésped vegetal. *Cultivos Tropicales*, 43 (2), e13-e13. https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1664/pdf

TERMINOLOGÍA

Biomasa. Consiste en el estrato superficial del suelo comprendido por materiales biodegradables de agricultura, hojarasca, vegetales y de animales (García y Martínez, 2014).

Biota edáfica. Organismos que habitan el suelo y participan en el proceso de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos que en efecto mejoran la estructura del suelo y lo hacen disponible para las plantas (Hendrix *et al*, 2020).

Hábitat. Es el espacio que brinda los medios físicos y biológicas tanto para supervivencia y alimentación para asegurar su existencia de las especies (Valencia y Reyes., 2018).

Ingenieros de ecosistema. Organismos que modifican recursos bióticos o abióticos de manera directa e indirecta brindando como respuesta alimento para otras especies y favorecen la manutención de los hábitats (Eklöf *et al*., 2015).

Mesofauna. Comprende el conjunto de organismos que participan en la disgregación de la materia orgánica, también ayudan a reaccionar a flora bacteriana existente (Dervash *et al*., 2018).

Microsimbiontes. Son microrganismos que se interrelacionan entre sí, favorecen el ciclo de elementos como el fósforo, nitrógeno, carbono y otros para el nutrimiento de las plantas (Zúñiga-Orozco *et al.,* 2022).

Resiliencia. Es la capacidad que tienen los ecosistemas de adaptarse para conservar funciones y procesos ante acciones o presiones (Mora-Donjuán y Alanís-Rodríguez, 2016).

Servicios ecosistémicos. Son un conjunto de elementos que producen los ecosistemas que por efecto generan beneficios a la sociedad (Balvanera *et al*., 2017).

Taxon edáfico. Esta referida a la clasificación taxonómica de organismos que habitan el suelo, estos desempeñan un rol importante en la funcionalidad del ecosistema terrestre (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2014)

Transepto. Es el establecimiento del trayecto que se ejecutará un muestreo a lo largo de una parcela (Narváez y Zapata-Ríos, 2020).

APÉNDICE

Apéndice 1

Informe de identificación taxonómica de macrofauna edáfica a nivel de laboratorio correspondiente al mes de verano (agosto y setiembre del 2022)

N° 2022-001

INFORME DE DETERMINACIÓN DE ESPECIES

Por medio del presente, se informa los resultados de la determinación hasta nivel de especie de las muestras enviadas para tal fin, provenientes del **Distrito Nueva Cajamarca y Awajun, Región de San Martín**.

Se consideraron 6 de los 8 frascos enviados, los dos restantes contenían las misas especies que el frasco #6, sólo en seis casos no se pudo llegar a género por falta de datos para realizar la determinación; en diez casos se logró determinar hasta género; en trece casos se llegó hasta especie y solo en uno se tiene dudas a cerca si corresponde al género determinado por la nula información disponible.

Determinado por.- Rubén A. Guzmán Pittman

Lima, 11 de Noviembre de 2022

RUBÉN A. GUZMAN PITTMAN
Responsable en Lima
Asociación Científica para
la Conservación de la
Biodiversidad

Anexo.-
Lista de especies por frasco

Apéndice 2

Muestras de macrofauna edáfico identificados a nivel de laboratorio correspondiente a los meses de agosto y setiembre del 2022

FRASCO #1
Insectos
Pycnoscelus surinamensis
Pachycondyla crassinoda
Gryllotalpa sp.
Acrididae no determinado

Arácnidos
Argiope argentata
Lycosa sp.1
Lycosa sp.2

FRASCO #2
Insectos
Atta colombica
Camponotus cuneidorsus
Pachycondyla crassinoda
Odontomacus haematodus
Pseudomeloe? sp.
Diabrotica septenliturata
Epilampra sp.
Galapagia sp.
Harpalus sp.
Doru sp.
Euborellia sp.
Acrididae no determinado2
Elateridae no determinado
Scarabaeidae no determinado (larva)

Arácnidos
Argiope argentata
Lycosa sp.2

FRASCO #3
Insectos
Pycnoscelus surinamensis
Ectatomma tuberculatum
Cephalotes atratus
Hyperomerus sp.
Acrididae no determinado

FRASCO #4
Insectos
Rasahus arcuiger
Pycnoscelus surinamensis
Pachycondyla crassinoda
Ectatomma tuberculatum
Cephalotes atratus
Chrysina beyeri
Archophileurus
Canthon luteicollis
Passalus sp.
Plochionocerus sp.
Agra sp.
Harpalus sp.
Cicadidae no determinado
Acrididae no determinado
Chrysomelidae no deerminado

FRASCO #5
Insectos
Tenebrionidae no determinado

FRASCO #6
Insectos
Aporrectodea sp.

FRASCO #7
Insectos
Aporrectodea sp.

FRASCO #8
Insectos
Aporrectodea sp.

Apéndice 3

Reporte de la macrofauna edáfico según orden, familia y especie identificado en los meses de agosto y setiembre DEL 2022 en los SAF evaluados según muestras enviados a laboratorio

DETERMINACIÓN DE ESPECÍMENES ENTOMOLÓGICOS											
Localidad											
Lote		1	Frasco-1	Frasco-2	Frasco-3	Frasco-4	Frasco-5	Frasco-6	Total por especie	Foto	Cantidad
Orden	**Familia**	**Especie determ.**									
Hemiptera	Reduviidae	*Rasahus arcuiger*				1			1		1
Hemiptera	Cicaidae	sp.				2			2		2
Hemiptera	Ectobiidae	*Epilampra* sp.		1					1		1
Blattodea	Blattidae	*Pycnoscelus surinamensis*	6		5	3			14		14
Hymenoptera	Formicidae	*Atta colombica*		2					2		2
Hymenoptera	Formicidae	*Camponotus cuneidorsus*		3					3		3
Hymenoptera	Formicidae	*Pachycondyla crassinoda*	2			2			4		4
Hymenoptera	Formicidae	*Ectatomma tuberculatum*			1	2			3		3
Hymenoptera	Formicidae	*Cephalotes atratus*			2	2			4		4
Hymenoptera	Formicidae	*Odontomachus haematodus*		2					2		2
Orthoptera	Tettigoniidae	*Hyperomerus* sp.			1				1		1

*(Continuación)*Apéndice 3

Orthoptera	Acrididae	sp.	2		1	1			4	4
Orthoptera	Acrididae	sp.2		1					1	1
Orthoptera	Gryllotalpidae	*Gryllotalpa* sp.	2						2	2
Mantodea	Mantidae	*Galapagia* sp.		1					1	1
Coleoptera	Chrysomelidae	sp.				1			1	1
Coleoptera	Passalidae	*Passalus* sp.				1			1	1
Coleoptera	Staphilinidae	*Plochionocerus* sp.				1			1	1
Coleoptera	Elateridae	sp.		1					1	1
Coleoptera	Meloidae	*Pseudomeloe* ? sp.		1					1	1
Coleoptera	Scarabaeidae	sp.		3					3	3
Coleoptera	Scarabaeidae	*Chrysina beyeri*				1			1	1
Coleoptera	Scarabaeidae	*Archophileurus*				1			1	1
Coleoptera	Scarabaeidae	*Canthon luteicollis*				1			1	1

(Continuación) Apéndice 3

Coleoptera	Scarabaeidae	*Paraomala* sp.				5			5		5
Coleoptera	Chrysomelidae	*Diabrotica septenliturata*		1					1		1
Coleoptera	Carabidae	*Agra* sp.				1			1		1
Coleoptera	Carabidae	*Harpalus* sp.		2		2			4		4
Coleoptera	Tenebrionidae	sp.					28		28		28
Dermaptera	Forficulidae	*Doru* sp.		1					1		1
Dermaptera	Anisolabididae	*Euborellia* sp.		1		1			2		2
Araneae	Lycosidae	*Lycosa* sp.1	1						1		1
Araneae	Lycosidae	*Lycosa* sp.2	1	3					4		4
Araneae	Araneidae	*Argiope argentata*	1	1					2		2
Oligochaeta	Lumbricidae	*Aporrectodea* sp.						12	12		12

Apéndice 4

Informe de identificación taxonómica de macrofauna edáfica a nivel de laboratorio correspondiente al mes de invierno (marzo del 2023)

N° 2023-001

INFORME DE DETERMINACIÓN DE ESPECIES

Por medio del presente, se informa los resultados de la determinación hasta nivel de especie de las muestras enviadas para tal fin, provenientes del **Distrito Nueva Cajamarca y Awajun, Región de San Martín.**

Se consideraron los 7 frascos enviados, se encontraron especies similares en los frascos del 1-4, sólo en los frascos 5-7 se encontraron Oligchaeta, en el 5 vivos, en el resto sólo vestigios; se encontraron 15 especies, de las cuales cuatro se llegó a nivel de especie, seis a nivel de género y cinco no se determinó especie, sólo hasta familia por carecnia de referencias bibliográficas de la región notropical.

Determinado por.- Rubén A. Guzmán Pittman

Lima, 27 de Marzo de 2023

RUBÉN A. GUZMÁN PITTMAN
Responsable en Lima
Asociación Científica para
la Conservación de la
Biodiversidad

Anexo.-
Lista de especies por frasco

Apéndice 5

Muestras de macrofauna edáfico identificados a nivel de laboratorio correspondiente a los meses de marzo del 2023

FRASCO #1
Insectos
Atta colombica
Harpalus sp.
Scarabaeidae no determinado

Myriapoda
Scolopendridae no determinado

FRASCO #2
Insectos
Maoriblatta novaeseelandiae
Pycnoscelus surinamensis
Pachycondyla crassinoda
Harpalus sp.
Cicadellidae no determinado
Acrididae no determinado
Scarabaeidae no determinado (larva)

Arácnidos
Lycosa sp.

Myriapoda
Centrobolus sp.

FRASCO #3
Insectos
Pycnoscelus surinamensis
Pachycondyla crassinoda
Agra sp.
Cicadellidae no determinado
Acrididae no determinado

FRASCO #4
Insectos
Maoriblatta novaeseelandiae
Pachycondyla crassinoda
Euborellia sp.
Acrididae no determinado
Scarabaeidae no deerminado

Arácnidos
Lycosa sp.

FRASCO #5
Annelida
Aporrectodea sp.

FRASCO #6
Annelida
Oligochaeta no determinado

FRASCO #7
Annelida
Oligochaeta no determinado

Apéndice 6

Reporte de la macrofauna edáfico según orden, familia y especie identificado en los meses de marzo del 2023 en los SAF evaluados según muestras enviados a laboratorio

DETERMINACIÓN DE ESPECÍMENES ENTOMOLÓGICOS												
Localidad												
Lote		1	Frasco-1	Frasco-2	Frasco-3	Frasco-4	Frasco-5	Frasco-6	Frasco-7	Total por especie	Foto	Cantidad
Orden	**Familia**	**Especie determ.**										
Hemiptera	Cicaidae	sp.		1	1					2		2
Hemiptera	Blattidae	*Maoriblatta novaeseelandiae*		1	2	1				4		4
Blattodea	Blattidae	*Pycnoscelus surinamensis*		3						3		3
Hymenoptera	Formicidae	*Atta colombica*	1							1		1
Hymenoptera	Formicidae	*Pachycondyla crassinoda*		1	3	1				5		5
Orthoptera	Acrididae	sp.			3					3		3
Orthoptera	Acrididae	sp.2		1		1				2		2
Coleoptera	Scarabaeidae	sp.	3			3				6		6

(Continuación) Apéndice 6

DETERMINACIÓN DE ESPECÍMENES ENTOMOLÓGICOS												
Localidad												
Lote		1	Frasco-1	Frasco-2	Frasco-3	Frasco-4	Frasco-5	Frasco-6	Frasco-7	Total por especie	Foto	Cantidad
Orden	**Familia**	**Especie determ.**										
Coleoptera	Carabidae	*Agra* sp.			1					1		1
Coleoptera	Carabidae	*Harpalus* sp.	5	1						6		6
Dermaptera	Anisolabididae	*Euborellia* sp.				1				1		1
Araneae	Lycosidae	*Lycosa* sp.2		3		1				4		4
Chilopoda	Scolopendridae	sp.	9	1						10		10
Diplopoda	Pachybolidae	*Centrobolus* sp.		1						1		1
Oligochaeta	Lumbricidae	*Aporrectodea* sp.					7			7		7

Apéndice 7

Reporte de análisis fisicoquímico de las muestras de suelo realizado en el mes de setiembre y noviembre del 2022 según los SAF evaluados

LABORATORIO DE ANÁLISIS AGRÍCOLAS DE SUELOS - ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE NUEVA CAJAMARCA

GOBIERNO REGIONAL SAN MARTÍN

Av. Cajamarca Norte N° 1151, Los Olivos IV Etapa - Distrito de Nueva Cajamarca
Provincia de Rioja, San Martín. Teléfono 556443

PEAM PROYECTO ESPECIAL ALTO MAYO
Dirección de Desarrollo Agropecuario

RESULTADO DE ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION

NOMBRE	:	JACQUES BARZUN INGA TARRILLO	**PROFUNDIDAD**	:	0 - 30 cm
PROCEDENCIA	:	Awajun, Rioja - San Martín	**FECHA DE REPORTE**	:	1-Abr-23
FECHA DE INGRESO	:	1-Mar-23	**CULTIVO**	:	Tesis
			ATENCION	:	

Nro	CLAVE LABORATORIO	EDAD DEL CULTIVO	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis Físico					Análisis Químico												
				Textura			Clase Textural	Densidad Aparente	pH	Conduc-tividad Eléctrica	Carbono Total	Materia Orgánica Total	Elementos Disponibles			Capac. de Intercambio Catiónico	Elementos Cambiables				
				Arena	Arcilla	Limo							N	P	K		Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	Al^{+++}
				%	%	%			1:1	dS / m	%	%	%	ppm	ppm	meq / 100 gr de suelo					
1	ASC23 - 0044	R1 Café+Tomillo	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo	56,9	8,18	34,92	Franco Arenoso	1,40	4,62	0,00058	4,000	6,000	0,265	6,7	58,7	5,27	4	0,56	0,16	0,15	0,4
2	ASC23 - 0045	R2 Café+Tomillo	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo	56,8	6,25	36,95	Franco Arenoso	1,36	4,13	0,00080	5,154	9,134	0,400	7,4	48,4	4,763	3,6	0,5	0,14	0,123	0,4
3	ASC23 - 0046	R3 Café+Tomillo	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo	62,83	10,25	26,92	Franco Arenoso	1,41	4,46	0,00088	11,546	15,578	0,850	5,9	56,1	5,923	4	0,6	0,18	0,143	1,0
4	ASC23 - 0047	R1 Eucalipto Torreliana	CC.PP Naranjillo.Sector Santo Toribio Nva Cajam.	55,75	19,25	25,00	Franco	1,77	5,73	0,00075	12,250	19,564	0,850	10,70	66,70	8,12	6,40	0,96	0,19	0,17	0,40
5	ASC23 - 0048	R2 Eucalipto Torreliana	CC.PP Naranjillo.Sector Santo Toribio Nva Cajam.	55,05	20,03	24,92	Fmaco a Franco Arenoso	1,37	5,31	0,00094	15,700	26,700	0,950	8,40	60,40	7,99	6,40	0,96	0,18	0,15	0,30
6	ASC23 - 0049	R3 Eucalipto Torreliana	CC.PP Naranjillo.Sector Santo Toribio Nva Cajam.	55,18	16,22	28,60	Franco Arenoso	1,45	5,28	0,00085	21,500	34,000	0,880	6,90	58,10	8,25	6,40	0,96	0,14	0,15	0,60
7	ASC23 - 0050	R1 Café+Eucalipto S	CC.PP. San Juan. Caserio La Victoria Nva. Cajam.	47,12	28,18	24,70	Franco Arcillo Arenoso	1,44	4,65	0,00092	12,550	20,450	0,850	5,40	68,70	7,56	4,40	0,66	0,22	0,18	2,10
8	ASC23 - 0051	R2 Café+Eucalipto S	CC.PP. San Juan. Caserio La Victoria Nva. Cajam.	53,19	18,17	28,64	Franco Arenoso	1,61	4,60	0,00078	19,000	29,950	1,034	4,30	60,10	7,33	4,00	0,60	0,18	0,15	2,40
9	ASC23 - 0052	R3 Café+Eucalipto S	CC.PP. San Juan. Caserio La Victoria Nva. Cajam.	51,12	18,18	30,70	Franco	1,55	4,81	0,00067	17,900	27,350	0,990	6,80	64,30	6,78	4,40	0,62	0,20	0,16	1,40
	ASC23 - 0053	R1 Guaba +Cafe	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo-Seotr Río Soritor	39,05	14,25	46,70	Franco	1,76	5,18	0,00051	4,850	7,500	0,250	7,10	76,40	6,57	5,20	0,73	0,14	0,20	0,30
	ASC23 - 0054	R2 Guaba +Cafe	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo-Seotr Río Soritor	41,05	12,18	46,77	Franco	1,78	5,90	0,00051	5,400	9,450	0,375	9,40	86,10	9,50	8,00	1,12	0,16	0,22	0,30
10	ASC23 - 0055	R3 Guaba +Cafe	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo-Seotr Río Soritor	34,90	18,18	46,92	Franco	1,57	5,60	0,00045	3,000	3,500	0,200	5,90	74,30	6,89	5,60	0,78	0,12	0,19	0,20

METODOLOGIA EMPLEADA EN LOS ANALISIS (Anexo de la Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N° 013-2010-AG del 20 de noviembre del 2010):

Textura	: Hidrómetro de Bouyoucos	Materia Orgánica Total	: Carbono Orgánico Total x 1.724			Sodio y Potasio	: Fotometría de Llama
pH	: Potenciómetro en suspensión suelo: agua	Nitrógeno	: Micro Kjeldahl			Calcio y Magnesio	: Versenato E.D.T.A
Conductividad Eléctrica	: Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1	Fósforo	: Olsen Modificado			Aluminio cambiable	: Yuan, extracción con KCl 1N
Carbono Orgánico Total	: Por calcinaciôna 400° C x 3 horas	Capacidad de Intercambio Catiónico	: Suma de Bases cambiables			Acidez Activa	: Yuan, extracción con KCl 1N

Vº Bº Ing. Carlos Egoávil De la Cruz
C.I.P. N° 32743

Gleoder Ruiz Flores
Laboratorista de Suelos

Apéndice 8

Reporte de análisis fisicoquímico de las muestras de suelo realizado en el mes de marzo del 2023 según los SAF evaluados

LABORATORIO DE ANÁLISIS AGRÍCOLAS DE SUELOS - ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE NUEVA CAJAMARCA

GOBIERNO REGIONAL SAN MARTÍN

Av. Cajamarca Norte N° 1151, Los Olivos IV Etapa - Distrito de Nueva Cajamarca
Provincia de Rioja, San Martín. Teléfono 556443

PEAM PROYECTO ESPECIAL ALTO MAYO
Dirección de Desarrollo Agropecuario

RESULTADO DE ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION

NOMBRE	:	JACQUES BARZUN INGA TARRILLO	PROFUNDIDAD	:	0 - 30 cm
PROCEDENCIA	:	Awajun, Rioja - San Martín	FECHA DE REPORTE	:	1-Abr-23
FECHA DE INGRESO	:	1-Mar-23	CULTIVO	:	Tesis
			ATENCION	:	

Nro	CLAVE LABORA_ TORIO	TRATAMIENTO	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis Físico					Análisis Químico												
				Textura			Clase Textural	Densidad Aparente	pH	Conduc-tividad Eléctrica	Carbono Total	Materia Orgánica Total	Elementos Disponibles			Capac. de Intercambio Catiónico	Elementos Cambiables				
				Arena	Arcilla	Limo				dS / m			N	P	K		Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	Al^{+++}
				%	%	%			1:1		%	%	%	ppm	ppm	meq / 100 gr de suelo					
11	ASC23 - 0054	R1 Café+Tornillo	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo	57,90	15,90	26,20	Franco Arcillo Arenoso	1,38	4,43	0,00108	4,000	6,220	0,280	10,94	169,43	11,85	6,40	0,96	0,24	0,54	2,60
12	ASC23 - 0055	R2 Café+Tornillo	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo	56,97	16,05	26,98	Franco Arcillo Arenoso	1,32	4,85	0,00106	5,800	9,019	0,417	7,94	173,85	15,04	7,20	1,08	0,22	0,44	6,10
13	ASC23 - 0056	R3 Café+Tornillo	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo	57,19	13,83	28,98	Franco Arcillo Arenoso	1,41	4,50	0,00100	12,600	19,594	0,890	7,62	160,77	16,01	8,00	1,20	0,18	0,33	6,30
14	ASC23 - 0057	R1 Eucalipto Torreliana	CC.PP Naranjillo.Sector Santo Toribio Nva Cajam.	54,97	15,83	29,20	Franco	1,46	6,44	0,00117	13,000	20,216	0,915	9,72	141,54	19,18	16,00	2,24	0,28	0,36	0,30
15	ASC23 - 0058	R2 Eucalipto Torreliana	CC.PP Naranjillo.Sector Santo Toribio Nva Cajam.	55,90	18,90	25,20	Franco Arcilloso	1,48	5,71	0,00133	17,800	27,680	1,250	9,64	138,46	17,13	14,08	2,07	0,33	0,35	0,30
16	ASC23 - 0059	R3 Eucalipto Torreliana	CC.PP Naranjillo.Sector Santo Toribio Nva Cajam.	56,83	11,97	27,20	Franco	1,41	6,04	0,00123	22,000	34,211	1,555	9,24	140,16	15,48	12,40	1,92	0,18	0,58	0,40
17	ASC23 - 0060	R1 Café+Eucalipto S	CC.PP. San Juan. Caserio La Victoria Nva. Cajam.	55,83	14,97	29,20	Franco Arenoso	1,42	5,79	0,00106	13,800	21,460	0,970	9,32	189,23	13,73	11,20	1,68	0,22	0,43	0,20
18	ASC23 - 0061	R2 Café+Eucalipto S	CC.PP. San Juan. Caserio La Victoria Nva. Cajam.	52,98	16,12	30,90	Franco Arenoso	1,50	4,85	0,00095	19,4	30,168	1,365	8,10	196,92	13,97	8,40	1,26	0,16	0,25	3,90
19	ASC23 - 0062	R3 Café+Eucalipto S	CC.PP. San Juan. Caserio La Victoria Nva. Cajam.	49,05	13,90	37,05	Franco	1,57	4,92	0,00106	18,4	28,613	1,294	8,91	198,46	13,33	8,00	1,20	0,22	0,51	3,40
20	ASC23 - 0063	R1 Guaba +Cafe	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo-Seotr Río Soritor	39,98	13,97	46,05	Franco Arenoso	1,89	4,88	0,00063	5,4	8,397	0,385	8,50	123,08	9,75	7,60	1,14	0,20	0,31	0,50
21	ASC23 - 0064	R2 Guaba +Cafe	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo-Seotr Río Soritor	41,05	20,01	38,94	Franco Arenoso	1,96	4,68	0,00093	6,6	10,263	0,465	7,70	119,08	9,36	7,20	1,08	0,22	0,26	0,60
22	ASC23 - 0065	R3 Guaba +Cafe	Distr. Awajun CCNN Bajo Naranjillo-Seotr Río Soritor	40,90	25,05	34,05	Franco Arcilloso	1,83	4,75	0,00086	3,2	4,976	0,225	8,51	122,31	11,70	6,80	1,02	0,14	0,34	3,40

METODOLOGIA EMPLEADA EN LOS ANALISIS (Anexo de la Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N° 013-2010-AG del 20 de noviembre del 2010):

Textura	:	Hidrómetro de Bouyoucos	Materia Orgánica Total	:	Carbono Orgánico Total x 1.724	Sodio y Potasio	:	Fotometría de Llama
pH	:	Potenciómetro en suspensión suelo: agua	Nitrógeno	:	Micro Kjeldahl	Calcio y Magnesio	:	Versenato E.D.T.A
Conductividad Eléctrica	:	Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1	Fósforo	:	Olsen Modificado	Aluminio cambiable	:	Yuan, extracción con KCl 1N
Carbono Orgánico Total	:	Por calcinacióna 400° C x 3 horas	Capacidad de Intercambio Catiónico	:	Suma de Bases cambiables	Acidez Activa	:	Yuan, extracción con KCl 1N

V°B° Ing. Carlos Egoávil De la Cruz
C.I.P. N° 32743

Gleoder Ruiz Flores
Laboratorista de Suelos

Apéndice 9

Rangos de valoración de las propiedades fisicoquímicas del suelo con respecto a la biodiversidad del suelo

Textura	
Textura gruesa	Arena, arena gruesa
Textura moderadamente gruesa	Franco arenoso
Textura media	Franco, franco limoso, limo
Textura fina	Franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso, franco arcilloso
Textura muy fina	Arcilla arenosa, arcillo limosa, arcilla

Potasio disponible (K_2O) (ppm)		
Bajo	Menos de 300 kg/ha	Menor a 100 ppm
Medio	300 a 600 kg/ha	100-240 ppm
Alto	Mayor a 600 kg/ha	Mayor a 240 ppm

pH	
Menos de 4,4	Extremadamente ácido
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido
5,1-5,5	Fuertemente ácido
5,6-6,0	Moderadamente ácido
6,1-6,5	Ligeramente ácido
6,5-7,3	Neutro
7,4-7,8	Ligeramente alcalino
7,9-8,4	Moderadamente alcalino
8,5-9,0	Fuertemente alcalino
Mayor a 9	Muy fuertemente alcalino

Fósforo disponible (ppm)	
Bajo	Menor a 7 ppm
Medio	De 7 a 14 ppm
Alto	Mayor de 14 ppm

Materia orgánica (%)	
Bajo	Menor de 2 %
Medio	De 2 a 4 %
Alto	Mayor de 4 %

Cationes cambiables (meq/100g de suelo)	
Magnesio (Mg)	
Bajo	Menor a 0,5 meq/100g
Medio	0,51 - 1 Medio
Alto	Mayor a 1,01 meq/100g
Calcio (Ca)	
Bajo	De 0,0-5,0 meq/100g
Medio	De 5,01-9,0 meq/100g
Alto	Mayor a 10 meq/100g
Sodio (Na)	
Bajo	Menor a 0,1 meq/100g
Medio	De 0,11 a 0,14 meq/100g
Alto	Mayor a 0,15 meq/100g

Capacidad de intercambio catiónico ($cmol^{(+)}\ kg^{-1}$ suelo)	
Muy bajo	Menor de 5
Bajo	De 5 a 15
Medio	De 15 a 25
Alto	De 25 a 40
Muy alto	Mayor de 40

Apéndice 10

Clasificación de los taxones en detritívoros y no detritívoros

SAF	Nombre común	Orden	Grupo funcional	Detritívoros	No detritívoros
SAF1	Chinches	Hemiptera	Herbívoros		16
	Hormigas	Hymenoptera	Omnívoros, depredador y I. E		16
	Cucarachas	Blattodea	Detritívoro	16	
	Grillos y saltamontes	Orthoptera	Herbívoro		64
	Escarabajos	Coleoptera	Detritívoro, herbívoro	48	
	Arañas	Araneae	Depredador		128
	Cochinillas	Isopoda	Detritívoro	16	
	Tijeretas	Dermáptera	Depredador, detritívoro		16
SAF2	Hormigas	Hymenoptera	Omnívoros, depredador y I. E		64
	Lombrices	Oligochaeta	Detritívoro y I. E	720	
	Ciempiés	Chilopoda	Depredar		128
	Escarabajos	Coleoptera	Detritívoro, herbívoro	144	
	Arañas	Araneae	Depredador		16
	Arañas	Isopoda	Detritívoro	16	
SAF3	Hormigas	Hymenoptera	Omnívoros, depredador y I. E		112
	Lombrices	Oligochaeta	Detritívoro	320	
	Escarabajos	Coleoptera	Detritívoro, herbívoro	160	
	Arañas	Araneae	Depredador		48
	Cochinillas	Isopoda	Detritívoro	112	
	Chinches	Hemíptera	Herbívoro		96
	Cucarachas	Blattodea	Detritívoro	64	
	Grillos y saltamontes	Orthoptera	Herbívoro	112	48
	Tijeretas	Dermaptera	Depredadores		16
	Caracoles y babosas	Gasterópodos	Detritívoros	192	
	Termitas	Isópteros	Detritívoros	320	
SAF4	Grillos y saltamontes	Orthoptera	Herbívoro		208
	Chinnches	Hemiptera	Depredadores		64
	Hormigas	Hymenoptera	Omnívoros, depredador, I. E		64
	Escarabajos	Coleoptera	Detritívoro	64	
	Arañas	Araneae	Depredadores		144
	Cochinillas	Isopoda	Detritívoro	16	
	Lombrices	Oligochaeta	Detritívoro	544	

Apéndice 11

Abundancia de taxones por sistema agroforestal evaluado

SAF	Repet.	Taxones por 0.0625 m^2	Taxones por m^2	Abundancia de taxones verano	Taxones por 0.0625 m^2	Taxones por m^2	Abundancia de taxones invierno
SAF1	R1	8	128		4	64	
SAF1	R2	4	64		2	32	
SAF1	R3	5	80		0	0	
SAF1	R4	2	32		2	32	
SAF1	R5	4	64		3	48	320
SAF1	R6	14	224	928	0	0	
SAF1	R7	10	160		3	48	
SAF1	R8	5	80		1	16	
SAF1	R9	4	64		2	32	
SAF1	R10	2	32		3	48	
SAF2	R1	14	224		9	144	
SAF2	R2	23	368		4	64	
SAF2	R3	5	80		10	160	
SAF2	R4	7	112		3	48	
SAF2	R5	34	544		8	128	
SAF2	R6	0	0	1600	3	48	1040
SAF2	R7	1	16		9	144	
SAF2	R8	5	80		3	48	
SAF2	R9	7	112		9	144	
SAF2	R10	4	64		7	112	

(Continuación) Apéndice 11

SAF3	R1	17	272		17	272	
SAF3	R2	3	48		3	48	
SAF3	R3	4	64		4	64	
SAF3	R4	0	0		0	0	
SAF3	R5	7	112	1200	7	112	1184
SAF3	R6	4	64		4	64	
SAF3	R7	8	128		8	128	
SAF3	R8	6	96		6	96	
SAF3	R9	5	80		5	80	
SAF3	R10	21	336		20	320	
SAF4	**R1**	**10**	**160**		**3**	**48**	
SAF4	R2	8	128		3	48	
SAF4	R3	4	64		2	32	
SAF4	R4	4	64		6	96	
SAF4	R5	10	160		7	112	
SAF4	R6	14	224	**1520**	5	80	**1104**
SAF4	R7	11	176		6	96	
SAF4	R8	11	176		8	128	
SAF4	R9	9	144		12	192	
SAF4	R10	14	224		17	272	