

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



Evaluación de la biodiversidad de macrofauna edáfica en áreas productivas de granos y cereales, cultivos industriales y pastos y forrajes como indicador de la salud del suelo en la Universidad Nacional de Agricultura

INFORME DE TESIS

POR:

JAVIER EDUARDO MEJIA MEJIA

Catacamas, Olancho

septiembre 2025

Evaluación de la biodiversidad de macrofauna edáfica en áreas productivas de granos y cereales, cultivos industriales y pastos y forrajes como indicador de la salud del suelo en la Universidad Nacional de Agricultura

POR:

Javier Eduardo Mejia Mejia

PhD. José Trinidad Reyes Sandoval
Director de Tesis

TESIS

Presentado a la Universidad Nacional de Agricultura como requisito previo a la obtención del título de

INGENIERO EN GESTION INTEGRAL DE RECURSOS NATURALES

Catacamas, Olancho

septiembre 2025

DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a Dios, que me dio fortaleza, sabiduría y fue mi guía en cada paso de este proceso. Sin su voluntad y bendiciones, este logro no habría sido posible.

Dedico este trabajo investigador a mi familia, en especial a mi madre Danelia Mejía, a mi padre Javier Mejía, a mi tía Fátima Mejía y a mis abuelos, Patrocinea Velásquez y Roberto Mejía, por el amor incondicional, apoyo constaté y ejemplo de perseverancia, siendo el motor que me ha impulsado a alcanzar cada meta propuesta.

Extiendo esta dedicatoria a mi pareja Dulce Gómez, por su comprensión, apoyo y compañía incondicional durante todo este proceso, así como a mis compañeros de carrera y amigos cercanos, con quienes compartí esfuerzos, desafíos y momentos de aprendizaje que enriquecieron mi formación académica y personal.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme vida, salud y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa, guiando cada uno de mis pasos con su infinita misericordia.

Agradezco de manera especial a mi asesor principal, Ph.D. José Trinidad Reyes, por su guía, compromiso y orientación durante el desarrollo de esta investigación. De igual forma, a mis asesores auxiliares, Ph.D. Mario Edgardo Talavera y MSc. Carlos Irías, por su apoyo, aportes y valiosas recomendaciones que enriquecieron este trabajo.

A la Universidad Nacional de Agricultura y a mi carrera de Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales, por brindarme las herramientas académicas y la formación profesional necesarias para mi desarrollo.

Reconozco con gratitud el respaldo de mi familia, cuyo apoyo moral, motivación y confianza en mis capacidades fueron esenciales para avanzar con determinación en cada etapa del proyecto. Extiendo mi aprecio a mi pareja Dulce Gómez, por su paciencia, ánimo constante y acompañamiento en los momentos más exigentes de esta experiencia académica.

También valoro profundamente el compañerismo y la colaboración de mis compañeros de carrera y amigos cercanos, quienes con su apoyo y participación contribuyeron a que este proceso fuera más enriquecedor y llevadero.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCION	2
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. General.	3
2.2. Específicos.....	3
III. HIPÓTESIS.....	4
3.1. Hipótesis Alternativa (H_1)	4
3.2 Hipótesis Nula (H_0).....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Contextualización del estudio.....	5
4.2. Salud del suelo.....	5
4.2.1. Factores que influyen en la salud del suelo.	5
4.3. La macrofauna del suelo.....	6
4.3.1 Clasificación de la macrofauna.....	6
4.3.2 La macrofauna como indicador de la salud del suelo.	8
4.3.3. Funciones ecológicas de la macrofauna en el suelo.....	8
4.3.4. Impacto de las Prácticas Agrícolas en la Macrofauna.	9
4.3.5. Impacto del cambio climático en la macrofauna.	10
4.4. Metodologías para el monitoreo de macrofauna edáfica del suelo	11
4.4.1 Métodos de Muestreo.....	11

4.4.2. Análisis y Evaluación	12
4.5. Comparaciones de macrofauna en diferentes áreas productivas	13
4.5.1. Abundancia de Organismos	13
4.5.2. Diversidad de Especies	13
4.5.3. Función Ecológica	13
4.5.4. Impacto de las Prácticas Agrícolas	14
4.5.5. Condiciones del Suelo	14
4.6. La macrofauna como indicador Clave de Sostenibilidad Agrícola	14
V. MATERIALES Y METODOS	16
5.1. Localización.	16
5.2 Descripción de las áreas	17
5.2.1. Áreas de granos y cereales.....	17
5.2.2. Áreas de cultivos industriales.	18
5.2.3. Áreas de pastos y forrajes.	19
5.2.4. Sitio de Importancia para la Vida Silvestre (La Montañita).	20
5.3. Diseño del muestreo.	21
5.4. Materiales y equipo	23
5.5. Procedimiento de campo	23
5.6. Variables analizadas	27
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
6.1. Comparación de la macrofauna edáfica entre áreas productivas.....	28
6.2. Propiedades físico-químicas del suelo de las áreas evaluadas.	30
6.3. Análisis 1: Análisis de Componentes Principales (PCA) de la macrofauna edáfica	33
6.3.1. Representación conjunta del PCA: Macrofauna, Muestras e histograma.....	33
6.3.2 Agrupación de muestras por sitio de muestreo según composición de macrofauna.....	36
6.3.3. Histograma de prueba de significancia del PCA	37

6.4 Análisis 2: Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables fisicoquímicas.....	38
6.4.1. Representación conjunta del PCA: Variables fisicoquímicas, Muestras e histograma.....	38
6.4.2 Agrupación de muestras por sitio según variables fisicoquímicas	40
6.4.3 Prueba de significancia del PCA por sitio con variables fisicoquímicas.....	41
6.5. Análisis 3: análisis de co-inercia para variables de base	43
6.5.1 Análisis de Co-Inercia entre macrofauna edáfica y propiedades físico-químicas del suelo.	43
6.5.2 Proyecciones de las muestras desde el espacio PCA de macrofauna al físico-químico	44
6.5.3. Prueba de significancia del análisis de co-inercia.....	46
VII. CONCLUSIONES.....	48
VIII. RECOMENDACIONES	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Grupos que componen la macrofauna del suelo, tomado de (Cabrera, 2014)	7
Tabla 2. Variables fisicoquímicas analizadas tomado de (Calderón, Bautista, & Rojas, 2018).	25
Tabla 3. Significado de las abreviaturas, grupos taxonómicos y nombres comunes utilizados en el cálculo del Índice de Abundancia Relativa Ponderada (RawI).....	25
Tabla 4. Composición, abundancia, grupo dominante, riqueza taxonómica e indicador RawI de la macrofauna edáfica en las áreas de estudio.	28
Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de Granos y Cereales	30
Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de Cultivos Industriales.	31
Tabla 7. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de Pastos y Forrajes.	32
Tabla 8. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de La Montañita.	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de áreas productivas en la Universidad Nacional de Agricultura en el municipio de Catacamas, departamento de Olancho, Honduras.	17
Figura 2 Ubicación de los puntos de muestreo del área de granos y cereales en la Universidad Nacional de Agricultura.....	18
Figura 3 Ubicación de los puntos de muestreo del área de Cultivos Industriales en la Universidad Nacional de Agricultura.....	19
Figura 4 Ubicación de los puntos de muestreo del área de Pastos y Forrajes en la Universidad Nacional de Agricultura.....	20
Figura 5 Ubicación de los puntos de muestreo del área de SIPVS La Montañita en la Universidad Nacional de Agricultura.....	21
Figura 6 Descripción del método de muestreo TSBF tomado de (Velásquez, E. 2020)	23
Figura 7 Análisis de componentes principales (PCA) de la macrofauna edáfica en áreas productivas de la UNAG.	34
Figura 8 Distribución de muestras de macrofauna edáfica en áreas productivas de la UNAG.	36
Figura 9. Histograma de valores simulados en la prueba de significancia del PCA para la macrofauna edáfica.....	37
Figura 10. PCA combinado de variables fisicoquímicas, muestras y valores propios en áreas productivas de la Universidad Nacional de Agricultura.	39
Figura 11. Análisis de componentes principales (PCA) con muestras agrupadas por sitio, según variables fisicoquímicas del suelo.	40
Figura 12. Histograma de la prueba de Monte Carlo para el PCA de variables fisicoquímicas.	42
Figura 13. Análisis Co-Inercia entre macrofauna edáfica y propiedades físico-químicas del suelo.	43

Figura 14. Proyecciones de las variables fisico-químicas del suelo en el análisis de co-inercia.	45
Figura 15. Histograma del test de permutación (Monte Carlo) con el valor observado (RV = 0.383) superior al esperado por azar.	46

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Herramientas utilizadas en la investigación (cuadrante, bandeja, pinzas y frascos).	56
Anexo 2. Extracción de monolito en el área de Granos y Cereales.	56
Anexo 3. Extracción de monolito en el área de Cultivos Industriales.	57
Anexo 4. Extracción de monolito en el área de Pastos y Forrajes.	57
Anexo 5. Extracción de monolito en el área de SIPSV La Montañita.	58
Anexo 6. Monolito de suelo con sus divisiones.	58
Anexo 7. Extracción de la macrofauna y submuestras para análisis fisicoquímicos.	59
Anexo 8. Análisis de respiración basal y pH, realizados en el laboratorio de suelos de la UNAG.	59
Anexo 9. Análisis de materia orgánica y humedad, realizados en el laboratorio de suelos de la UNAG.	60
Anexo 10. Análisis de componentes principales (PCA) de variables de macrofauna. ...	60
Anexo 11. Distribución de Muestras según la Composición de Macrofauna Edáfica.	61
Anexo 12. Gráfico de sedimentación del análisis PCA de macrofauna.	61
Anexo 13. Análisis de Componentes Principales de las Variables Fisicoquímicas.	62
Anexo 14. Distribución de Muestras según Variables Fisicoquímicas.	62
Anexo 15. Gráfico de sedimentación del PCA de variables fisicoquímicas.	63
Anexo 16. Composición, abundancia y cálculo de indicador de la macrofauna por muestra en el área de Granos y Cereales	64
Anexo 17. Composición, abundancia y cálculo de indicador de la macrofauna por muestra en el área de Cultivos Industriales.	65
Anexo 18. Composición, abundancia y cálculo de indicador de la macrofauna por muestra en el área de Pastos y Forrajes	66
Anexo 19. Composición, abundancia y cálculo de indicador de la macrofauna por muestra en el área de SIPVS La Montañita	67
Anexo 20. Calculo de análisis de % humedad del área Granos y Cereales.	68
Anexo 21. Calculo de análisis de % humedad del área Cultivos Industriales.	68
Anexo 22. Calculo del análisis de % humedad del área Pastos y Forrajes.	69
Anexo 23. Calculo del análisis de % humedad SIPVS La Montañita.	69
Anexo 24. Calculo del análisis de respiración basal del área Granos y Cereales.	70

Anexo 25.	Calculo del análisis de respiración basal del área Cultivos Industriales.	70
Anexo 26.	Calculo del análisis de respiración basal del área Pastos y Forrajes.	71
Anexo 27.	Calculo del análisis de respiración basal del área SIPVS La Montañita.	71
Anexo 28.	Calculo del análisis de densidad aparente del área Granos y Cereales.	72
Anexo 29.	Calculo del análisis de densidad aparente del área Cultivos Industriales	72
Anexo 30.	Calculo del análisis de densidad aparente del área Patos y Forrajes.	73
Anexo 31.	Calculo del análisis de densidad aparente del área SIPVS La Montañita.	73
Anexo 32.	Calculo del análisis de densidad real del área Granos y cereales.	74
Anexo 33.	Calculo del análisis de densidad real del área Cultivos Industriales.	74
Anexo 34.	Calculo del análisis de densidad real del área Pastos y Forrajes.	75
Anexo 35.	Calculo del análisis de densidad real del área SIPVS La Montañita.	75
Anexo 36.	Calculo del análisis de porosidad del área de Granos y Cereales.	76
Anexo 37.	Calculo del análisis de porosidad del área Cultivos Industriales.	76
Anexo 38.	Calculo del análisis de porosidad del área Pastos y Forrajes.	77
Anexo 39.	Calculo del análisis de porosidad del área de SIPVS La Montañita	77
Anexo 40.	Calculo del análisis de pH del área Granos y Cereales.	78
Anexo 41.	Calculo del análisis de pH del área Cultivos Industriales.	78
Anexo 42.	Calculo del análisis de pH del área Pastos y Forrajes	79
Anexo 43.	Cálculo del análisis de pH del área de SIPVS La Montañita.	79
Anexo 44.	Resultados del análisis de estabilidad de agregados de cada área productiva.	80
Anexo 45.	Calculo del análisis de Materia Orgánica del área Granos y Cereales.	81
Anexo 46.	Calculo del análisis de Materia Orgánica del área Cultivos Industriales	82
Anexo 47.	Calculo del análisis de Materia Orgánica del área Pastos y Forrajes.	83
Anexo 48.	Calculo del análisis de materia orgánica del área SIPVS La Montañita	84
Anexo 49.	Calculo del análisis de textura del área Granos y Cereales.	85
Anexo 50.	Calculo del análisis de textura del área Cultivos Industriales.	85
Anexo 51.	Calculo del análisis de textura del área Pastos y Forrajes.	86
Anexo 52.	Calculo del análisis de textura del área SIPVS La Montañita.	86
Anexo 53.	Varianza explicada por cada componente principal del PCA de macrofauna.	87
Anexo 54.	Aporte de cada grupo de macrofauna a los ejes principales (PC1 y PC2). ...	87
Anexo 55.	Matriz de correlación entre grupos de macrofauna e indicadores.	88

Anexo 56. Estadística descriptiva del test de permutación (Monte Carlo) aplicado al PCA de macrofauna.	88
Anexo 57. varianza explicada por cada componente principal (PCA de variables físico-químicas).	89
Anexo 58. Aporte de las variables físico-químicas a los ejes principales (PCA).	89
Anexo 59. Matriz de correlación entre variables fisicoquímicas del suelo.	90
Anexo 60. Estadística descriptiva del test de permutación (Monte Carlo) aplicado al PCA de variables físico-químicas.	91
Anexo 61. Eigenvalores e inercia proyectada del análisis de co-inercia.	91
Anexo 62. Resultados del análisis de co-inercia: correlación y coeficiente RV.....	91
Anexo 63. Resultados del test de permutación (Monte Carlo) del análisis de co-inercia.	92
Anexo 64. Macrofauna encontrada en el área de Granos y Cereales: Oligochaeta, Hymenoptera, Coleoptera, Chilopoda, Gastropoda e Isopoda.	92
Anexo 65. Macrofauna encontrada en el área de Cultivos Industriales: Oligochaeta, Hymenoptera, Isoptera, Blatodea, Coleoptera, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Larvas de Diptera, Hemiptera, Dermaptera, Larvas de Lepidoptera, Gasterópoda e Isopoda....	93
Anexo 66. Macrofauna encontrada en el área de Pastos y Forrajes: Oligochaeta, Hymenoptera, Isoptera, Blatodea, Coleoptera, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Hemiptera, Dermaptera, Gasterópoda e Isopoda.	93
Anexo 67. Macrofauna encontrada en el área de La Montañita: Oligochaeta, Hymenoptera, Isoptera, Blatodea, Coleoptera, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Larvas de Diptera, Hemiptera, Dermaptera, Larvas de Lepidoptera, Gasterópoda e Isopoda....	94

MEJIA MEJIA. J. E. 2025. Análisis de la biodiversidad de macrofauna edáfica en áreas productivas de granos y cereales, cultivos industriales y pastos y forrajes como indicador de la salud del suelo en la Universidad Nacional de Agricultura. Universidad Nacional de Agricultura, Olancho, Honduras. Tesis Ing. Gestión integral de los recursos naturales. Olancho Honduras, C. A. 108.

RESUMEN

La investigación evaluó la biodiversidad de macrofauna edáfica como indicador biológico de la salud del suelo en cuatro áreas productivas de la universidad nacional de agricultura: Granos y Cereales, Cultivos Industriales, Pastos y Forrajes y el Sitio de Importancia Para la Vida Silvestre (La Montañita). Se aplicó el método Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) y se realizaron análisis fisicoquímicos del suelo, con el fin de integrar indicadores biológicos y edáficos en la evaluación

Los resultados mostraron diferencias marcadas en la composición y abundancia de la macrofauna según el tipo de manejo de cada área. La montaña presentó la mayor diversidad y riqueza taxonómica, asociada a suelos con alto contenido de materia orgánica, buena porosidad y baja compactación. En contraste el área de Granos y Cereales registró la menor abundancia y diversidad, lo que refleja los efectos negativos del monocultivo, labranza intensiva u uso frecuente de agroquímicos. Las áreas de Cultivos Industriales y Pastos y Forrajes mostraron valores intermedios, con dominancia en grupos tolerantes como los ciempiés, asociados a condiciones de compactación y alteración moderada

El análisis de co-inercia evidenció una relación estrecha entre la diversidad de macrofauna y las propiedades físico-químicas del suelo, confirmando que la biodiversidad edáfica responde de manera directa a las prácticas de manejo. Estos resultados validan a la macrofauna como un indicador confiable para diagnosticar la salud del suelo y respaldar la adopción de prácticas agrícolas sostenibles que favorezcan la conservación de los recursos naturales.

Palabras clave: macrofauna edáfica, salud del suelo, biodiversidad, TSBF, análisis multivariado, indicadores biológicos, propiedades físico-químicas.

I. INTRODUCCION

El suelo es el recurso fundamental para los ecosistemas y la sociedad, cumple funciones de gran importancia, sostiene los cultivos, regula el ciclo de nutrientes, captura carbono y mantiene la biodiversidad. La salud del suelo es la capacidad para cumplir estas funciones, es clave para la sostenibilidad agrícola y ambiental. Desafortunadamente el uso intenso de la tierra ha deteriorado progresivamente su estado, afectando la productividad y el equilibrio ecológico (FAO, 2015; Restrepo, 2017).

En Honduras, la agricultura es una de las principales actividades económicas, el uso de la agricultura convencional ha provocado degradación y reducción de la biodiversidad en el suelo. Estas condiciones van disminuyendo la fertilidad y aumentando la vulnerabilidad frente al cambio climático, lo que plantea la necesidad de contar con indicadores confiables para evaluar la salud del suelo (Karlen, 2012; Cabrera, 2014).

La macrofauna está conformada por organismos como lombrices, hormigas, termitas y ciempiés, cumplen funciones esenciales, como la descomposición de materia orgánica la aireación y fertilidad del suelo, cuya sensibilidad a los cambios en el manejo la convierte en un indicador biológico muy confiable (Cabrera, 2012; Brown, 2014; Blouin et al., 2013). Métodos como el TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) facilitan la relación entre la diversidad de macrofauna y las propiedades fisicoquímicas, generando una visión integral de la calidad edáfica (Anderson & Ingram, 1993; Triana, 2015).

Académicamente este estudio aporta al conocimiento en manejo y conservación de suelos, mientras que, en el plano social y productivo, busca ofrecer información que respalden las decisiones orientadas a una agricultura más sostenible.

En este marco, la investigación se analizó en cuatro áreas productivas de la Universidad Nacional de Agricultura: Granos y Cereales, Cultivos Industriales, Pastos y Forrajes, y el Sitio de Importancia para la Vida Silvestre La Montañita. El objetivo general fue evaluar la biodiversidad de macrofauna edáfica como indicador biológico de la salud del suelo en dichas áreas, adicionando análisis fisicoquímicos para lograr una valoración integral.

II. OBJETIVOS

2.1. General.

- Evaluar la diversidad de macrofauna como indicador biológico de la salud del suelo en las áreas productivas de granos y cereales, cultivos industriales y pastos y forrajes de la Universidad Nacional de Agricultura.

2.2. Específicos.

- Identificar la macrofauna del suelo presente en las áreas de productivas de granos y cereales, cultivos industriales y pastos y forrajes de la Universidad Nacional de Agricultura.
- Relacionar la composición y abundancia de la macrofauna edáfica con los diferentes sistemas de manejo de las áreas productivas.
- Establecer la relación entre la macrofauna y las propiedades fisicoquímicas para determinar la salud del suelo.

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis Alterna (H_1)

La macrofauna edáfica presenta variaciones significativas según el tipo de sistema productivo (granos y cereales, cultivos industriales y pastos y forrajes), reflejando diferencias en la salud del suelo en las áreas productivas de la Universidad Nacional de Agricultura

3.2 Hipótesis Nula (H_0)

La macrofauna edáfica no presenta diferencias significativas entre los distintos sistemas de producción agrícola de la Universidad Nacional de Agricultura, lo que indica no hay variación en la salud del suelo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Contextualización del estudio

El suelo es un recurso natural no renovable, un medio vivo y dinámico que proporciona sustento a toda criatura viviente y donde ocurren procesos fundamentales de los ecosistemas como los ciclos del agua, carbono, nitrógeno y fósforo. La selección y aplicación de indicadores para reflejar su calidad, responden a la necesidad de preservar este medio debido a su deterioro creciente y a su valor para la vida en el planeta (Cabrera, 2014)

La función más reconocida del suelo es su papel en la producción de alimentos, siendo la base de la agricultura y el medio en el cual crecen la mayoría de las plantas que nos nutren. Se estima que el 95% de nuestros alimentos depende, directa o indirectamente, de estos suelos. Los suelos en buen estado aportan los nutrientes, agua, oxígeno y soporte necesarios para el desarrollo de las plantas productoras de alimentos y también protegen las raíces contra variaciones bruscas de temperatura. Es en esto que radica la importancia de la evaluación de la calidad del suelo, ya que un suelo saludable es fundamental para sostener la producción agrícola y garantizar nuestra seguridad alimentaria. (FAO, 2015).

4.2. Salud del suelo

La salud del suelo se define como la capacidad de éste para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas, naturales o manipulados, para sostener la productividad animal y vegetal, mantener y/o mejorar la calidad del agua y del aire y proporcionar a las personas salud y habitación (Restrepo 2017).

4.2.1. Factores que influyen en la salud del suelo.

Karlen 2012, dice que los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de los macroinvertebrados. Estos rompen, transportan y mezclan el suelo al construir galerías, nidos, sitios de alimentación, túriculos o compartimientos que afectan los procesos de

manera directa, incorporación y redistribución de varios materiales o indirecta formación de comunidades microbiales, transporte de propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad.

4.3. La macrofauna del suelo

Brown 2014, Menciona que la macrofauna edáfica está compuesta por animales invertebrados que pasan toda o una parte de su vida dentro del suelo, sobre la superficie inmediata de éste, en la hojarasca superficial y los troncos caídos en descomposición. Poseen un ancho de cuerpo o diámetro mayor de 2 mm y una longitud igual o mayor de 10 mm; por lo que son posibles de detectar a simple vista, a diferencia de otros invertebrados más pequeños que integran la mesofauna (diámetro entre 0.2 - 2 mm) y la microfauna edáfica (diámetro menor de 0.2 mm).

Con el objetivo de evaluar la calidad o estado de salud de un suelo, se puede considerar a la macrofauna edáfica como uno de los componentes biológicos que lo caracterizan. La macrofauna está integrada por organismos pequeños que habitan en el suelo, pero fácilmente detectables, entre los que se encuentran las lombrices de tierra, las termitas, las hormigas, los milpiés, las cochinillas, las arañas, los ciempiés y otros (Cabrera 2014).

4.3.1 Clasificación de la macrofauna

La macrofauna del suelo está compuesta por diversos grupos de animales que incluyen varias clases, órdenes y familias. Entre ellos destacan los anélidos, como las lombrices (Oligochaeta), y los miriápodos, como ciempiés y milpiés. También incluye artrópodos como las hormigas (Himenóptera), termitas (Batoidea), y tanto larvas como adultos de insectos de distintos órdenes, como escarabajos (Coleóptera), moscas (Díptera), cochinillas (Isópoda) y mariposas (Lepidóptera).

Por otra parte, Zerbino et al., (2008) menciona que, a partir de su función e impacto en el suelo, de su forma de vida y de su fuente de alimentación o hábito alimentario, la macrofauna se puede dividir en distintos grupos funcionales, entre ellos

los detritívoros, los herbívoros y los depredadores. Con una repercusión especial en la evolución y productividad del suelo se pueden señalar a los ingenieros del ecosistema.

Tabla 1 Grupos que componen la macrofauna del suelo, tomado de (Cabrera, 2014)

	Nombre común		Grupo taxonómico	Grupo funcional
1	Lombrices de tierra		Haplotaxida	Detritívoros e Ingenieros del suelo
2	Babosas y caracoles		Gastropoda	Detritívoros Depredadores
3	Cochinillas		Isopoda	Detritívoros
4	Milpiés		Diplopoda	Detritívoros
5	Ciempiés		Chilopoda	Depredadores
6	Arañas		Araneae	Depredadores
7	Arañas patonas		Opiliones	Depredadores
8	Falsos escorpiones		Pseudoscorpionida	Depredadores
9	Cucarachas		Insecta-Dictyoptera	Detritívoros Herbívoros Omnívoros
10	Escarabajos		Insecta-Coleoptera	Detritívoros Herbívoros Depredadores
11	Tijeretas		Insecta-Dermaptera	Detritívoros Depredadores
12	Moscas y mosquitos		Insecta-Diptera	Detritívoros Depredadores
13	Chinches y salta hojas		Insecta-Hemiptera	Herbívoros
14	Hormigas		Insecta-Hymenoptera- Formicidae	Omnívoros, Depredadores e Ingenieros del suelo
15	Termitas o comejenes		Insecta-Isoptera	Detritívoros e Ingenieros del suelo
16	Mariposas y orugas		Insecta-Lepidoptera	Herbívoros
17	Grillos y saltamontes		Insecta-Orthoptera	Herbívoros

4.3.2 La macrofauna como indicador de la salud del suelo.

Desde el punto de vista biológico, en la evaluación del estado de conservación/perturbación del suelo y del ecosistema se puede tomar en cuenta la macrofauna edáfica, la cual agrupa los invertebrados mayores de 2 mm de diámetro. Muchos organismos de la macrofauna son importantes en la transformación de las propiedades del suelo, entre ellos: las lombrices de tierra (Anélida: Oligochaeta), las termitas (Insecta: Isóptera) y las hormigas (Insecta: Himenóptera: Formicidae), que actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica (Cabrera 2012).

4.3.3. Funciones ecológicas de la macrofauna en el suelo

La macrofauna del suelo desempeña roles clave en los ecosistemas terrestres. Estas son algunas de sus principales funciones ecológicas:

Los principales efectos físicos de estos organismos consisten en el macro y micro mezclado de materiales del suelo; insectos como las hormigas, termitas, lombrices y escarabajos terrestres pueden mover una importante cantidad de suelo, regresar a la superficie materiales minerales de los horizontes más profundos e incorporar al suelo la materia orgánica desde la hojarasca y excrementos, Ruiz et al. (citado por Royero. S, 2019).

De igual forma, a través de la construcción de galerías y estructuras biogénicas, pueden mejorar la aeración del suelo y el flujo de agua. Estas actividades de bioperturbación y descomposición pueden reducir la compactación del suelo, aumentar su porosidad y mejorar su capacidad de infiltración y retención de agua, condiciones que fomentan la penetración de las raíces, la diversidad vegetal y la restauración de la productividad primaria (Blouin et al., 2013; Cammeraat & Risch, 2008; Jouquet, Traoré, Choosai, Hartmann, & Bignell, 2011).

Las actividades de la macrofauna edáfica también presentan importantes efectos en las propiedades químicas del suelo, las excreciones de algunos organismos, como las

lombrices de tierra, pueden modificar el pH del suelo y liberar compuestos que mejoran su fertilidad, ajustando las condiciones para el crecimiento de las plantas.

4.3.4. Impacto de las Prácticas Agrícolas en la Macrofauna.

Cabrera, (2014) clasifica los impactos de las prácticas agrícolas en la macrofauna en;

a). Efectos negativos:

- Sistemas agrícolas convencionales, cultivos anuales, monocultivos, sus efectos son el progresivo deterioro de la materia orgánica, Incremento de la erosión y una baja capacidad de retención de agua, disminuyen las fuentes de alimentos, hábitat y reproducción para la macrofauna benéfica.
- Uso de fertilizantes químicos y plaguicidas, sus efectos Desestabilizan los ciclos de nutrientes en el suelo y causan cambios morfológicos y fisiológicos en las poblaciones de algunos insectos beneficiosos y en las lombrices de tierra.
- Empleo de maquinarias y laboreo intenso, sus efectos causan la compactación, afectan la porosidad, la aireación y el drenaje de agua, con la consecuente pérdida de la calidad física del terreno. De esta manera destruyen los microhábitats disponibles para la permanencia de la macrofauna.

b). Efectos positivos:

- Rotación de cultivos, esto garantizan un balance en la extracción de nutrientes en el suelo, lo que favorece su fertilidad, contribuye a una cobertura vegetal diversa y con ello a un mayor aporte de hojarasca y recursos heterogéneos que determinan un aumento en la macrofauna del suelo.
- Establecimiento de árboles en los sistemas agrícolas y ganaderos, su efecto es que hace un uso más eficiente de las reservas de agua y nutrientes, gracias a que las raíces de los árboles exploran las capas más profundas del suelo, acumulación de

materia orgánica, mejoran las propiedades físicas. La sombra de los árboles condiciona un microclima edáfico favorable de humedad y temperatura que garantiza la recolonización de la macrofauna.

4.3.5. Impacto del cambio climático en la macrofauna.

El cambio climático tiene un impacto significativo en la macrofauna, afectando tanto su supervivencia como su distribución y comportamiento:

a) Alteración de Hábitats

El cambio climático provoca pérdida de hábitats naturales debido al aumento del nivel del mar y el derretimiento de glaciares. Esto es especialmente crítico en regiones polares, donde especies como los osos polares dependen del hielo marino para cazar y reproducirse. La reducción de estos hábitats obliga a las especies a adaptarse o migrar, lo que puede resultar en un aumento del riesgo de extinción (Eiso s. f., Siete impactos del cambio climático en los animales 2023).

b) Cambios en los Patrones de Comportamiento:

Las variaciones en las temperaturas y los patrones climáticos alteran los ciclos naturales de muchas especies. Por ejemplo, la migración de aves se ve afectada, ya que algunas llegan a sus destinos antes de que haya suficiente alimento disponible. Este desajuste fenológico puede llevar a una disminución en las tasas de reproducción y supervivencia (Descubre la energía - Fundación Descubre 2024 y Muerza 2023).

c) Proliferación de Especies Invasoras

El cambio climático también facilita la introducción y proliferación de especies invasoras, que pueden amenazar la biodiversidad nativa. Estas especies suelen ser más resilientes a las nuevas condiciones climáticas, lo que les permite desplazar a las especies

autóctonas y alterar las dinámicas ecológicas existentes (Descubre la energía - Fundación Descubre 2024 y Muerza 2023).

d) Aumento de Plagas y Enfermedades

Las condiciones climáticas cambiantes favorecen la propagación de plagas y enfermedades que afectan tanto a la macrofauna como a otras formas de vida. Las temperaturas más cálidas pueden aumentar la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores, lo que pone en riesgo la salud de diversas especies (Siete impactos del cambio climático en los animales 2023 y Muerza 2023).

e) Escasez de Recursos Naturales

El cambio climático impacta gravemente la disponibilidad de recursos esenciales como agua y alimento. Eventos extremos como sequías prolongadas e inundaciones afectan la producción agrícola y la calidad del agua, lo que repercute directamente en la macrofauna al reducir sus fuentes de alimento y hábitats adecuados (Eiso s. f., Siete impactos del cambio climático en los animales 2023).

4.4. Metodologías para el monitoreo de macrofauna edáfica del suelo

El monitoreo de la macrofauna edáfica es crucial para evaluar la salud del suelo y su capacidad para soportar ecosistemas saludables. Existen diversas metodologías para llevar a cabo este monitoreo, cada una con sus propias ventajas y enfoques.

4.4.1 Métodos de Muestreo

a) Método de Muestreo TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility)

Este método, desarrollado por Anderson y Ingram (1993), implica la recolección de monolitos de suelo de 25 x 25 cm hasta 30 cm de profundidad, divididos en capas (hojarasca, 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) para evaluar la macrofauna. La separación de la fauna del suelo se realiza mediante revisión manual en el lugar del muestreo. Este

método permite obtener una muestra representativa de la macrofauna y es ampliamente utilizado en estudios sobre biodiversidad del suelo (Stella Z, 2010 y Triana 2015).

b) Trampas de Caída (Pitfall Traps)

Las trampas de caída son utilizadas para capturar invertebrados que se mueven por la superficie del suelo, como insectos y arácnidos. Consisten en contenedores enterrados a nivel del suelo que atrapan a los organismos que caen en ellos. Este método permite estimar la abundancia relativa y la riqueza de especies en un área determinada (Ceballos, C. Mischis 2007 y Triana 2025).

c) Muestreo Directo o Manual

Este enfoque implica la recolección activa de individuos en microhábitats específicos dentro del área de estudio. Se pueden utilizar técnicas como el uso de palas o cucharas para excavar el suelo y recolectar organismos directamente. Este método es útil para registrar la diversidad de especies presentes y su distribución en diferentes microhábitats (Ceballos, C. Mischis 2007 y Raymond s. f.).

d) Método de Muestreo por Estratos

Se basa en dividir el área de muestreo en diferentes estratos o capas, lo que permite evaluar cómo varía la macrofauna en función de la profundidad del suelo. Este enfoque es útil para entender mejor las dinámicas de las comunidades edáficas y su relación con las propiedades del suelo (Stella Z, 2010 y Ceballos, C. Mischis 2007).

4.4.2. Análisis y Evaluación

a) Análisis Cuantitativo

Los datos obtenidos se analizan cuantitativamente para determinar la densidad (número de individuos por metro cuadrado) y la riqueza (número total de especies) de la macrofauna. Se pueden utilizar índices como el índice de diversidad de Shannon-Wiener para evaluar la diversidad de especies dentro de las muestras (Triana, 2015)

b) Relaciones con Propiedades del Suelo

El análisis puede incluir correlaciones entre la densidad y riqueza de macrofauna con propiedades fisicoquímicas del suelo, como el contenido de materia orgánica, pH, y nutrientes disponibles. Esto ayuda a entender cómo las prácticas de manejo afectan a las comunidades edáficas (Stella Z, 2010 y Triana 2015).

4.5. Comparaciones de macrofauna en diferentes áreas productivas

Para comparar la macrofauna en diferentes áreas productivas, es clave observar la abundancia, diversidad y tipos de organismos en cada zona, ya que estos indicadores reflejan la salud del suelo.

4.5.1. Abundancia de Organismos

La cantidad de organismos en cada área es un buen indicador de la calidad del suelo. Las áreas con una alta cantidad de macrofauna, como lombrices e insectos, suelen presentar suelos más fértiles y con mejor estructura (Lavelle et al., 2006). Esto es particularmente evidente al comparar áreas de monocultivo intensivo, que suelen tener menor cantidad de organismos, con áreas de cultivo diversificado (Barrios, 2007).

4.5.2. Diversidad de Especies

La variedad de especies en cada área productiva refleja la salud y equilibrio del suelo. Una alta diversidad de macrofauna sugiere un ecosistema resiliente y menos degradado, pues se ha observado que suelos con mayor biodiversidad son más resistentes a los cambios ambientales (Decaëns et al., 2004).

4.5.3. Función Ecológica

Cada grupo de macrofauna cumple roles distintos en el suelo. Las lombrices, por ejemplo, son esenciales para la aireación y la estructura del suelo, mientras que los descomponedores ayudan en la descomposición de materia orgánica (Lavelle y Spain,

2001). Observar qué grupos predominan en cada área permite comprender mejor el estado del suelo y sus funciones ecológicas.

4.5.4. Impacto de las Prácticas Agrícolas

Las prácticas agrícolas, como el uso de pesticidas y la rotación de cultivos, pueden afectar la macrofauna. El uso intensivo de agroquímicos suele reducir la biodiversidad de organismos del suelo, mientras que prácticas más sostenibles, como el cultivo de cobertura, pueden mejorarla (Mäder et al., 2002).

4.5.5. Condiciones del Suelo

Factores como la humedad, textura y contenido de materia orgánica también influyen en la presencia de macrofauna. Los suelos ricos en materia orgánica suelen albergar más macrofauna porque proporcionan alimento y mejores hábitats (Six et al., 2006). Estos factores ayudan a determinar la estructura de la comunidad de macrofauna en cada tipo de área.

4.6. La macrofauna como indicador Clave de Sostenibilidad Agrícola

El análisis de macrofauna es crucial para la gestión sostenible del suelo porque evalúa la salud y calidad del suelo a través de la observación de organismos como lombrices, insectos y otros invertebrados. Estos organismos cumplen funciones ecológicas esenciales, como la descomposición de materia orgánica, la aireación del suelo y el reciclaje de nutrientes, que son fundamentales para la fertilidad y estabilidad del suelo. La presencia, diversidad y abundancia de macrofauna son indicadores de prácticas agrícolas sostenibles, ya que suelos bien manejados y con baja intervención química suelen tener comunidades de macrofauna más diversas y estables.

El análisis permite identificar prácticas perjudiciales que disminuyen la biodiversidad del suelo y afectan la productividad a largo plazo, facilitando la toma de decisiones informadas en la planificación de cultivos y el uso de recursos agrícolas.

En suma, el estudio de la macrofauna no solo revela el estado ecológico del suelo, sino que también guía hacia prácticas de manejo que favorezcan la resiliencia del agroecosistema y contribuyan a la sostenibilidad agrícola.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Localización.

El estudio se realizó en las áreas productivas de la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG) ubicada en el municipio de Catacamas Olancho, Honduras, a una altitud promedio de 357 m s.n.m., con coordenadas centrales 14°50'15.61" N y 85°50'40.02" O.

El clima de la zona es de tipo tropical subhúmedo. Según la clasificación FAO, los suelos predominantes son de tipo Luvic Phaeozem, caracterizados por un horizonte superficial rico en materia orgánica y buena fertilidad natural, aunque susceptibles a la compactación bajo manejo intensivo (FAO, 2022)

La selección de las áreas se basó en su representatividad de las principales prácticas agrícolas implementadas en el campus universitario. En áreas como la de Granos y Cereales predominan cultivos básicos como maíz y frijol, manejos con prácticas de labranza, uso de agroquímicos, suelo totalmente descubierto, lo que genera suelos compactados y escasos de materia orgánica. En el área de Cultivos Industriales, como musáceas y caña, el manejo es más intensivo y tecnificado, con aplicación de agroquímicos y maquinaria, lo que provoca compactación y menor infiltración de agua en el suelo. El área de Pastos y Forrajes, destinada principalmente al alimento para el ganado, la presión por el uso de maquinaria para el corte y el uso de agroquímicos, influye en la estructura del suelo, generando zonas compactadas y afectado su estructura. Finalmente, La Montañita que constituye un área de conservación con mucha vegetación natural y una escasa intervención humana y suelos que son más estables, que sirve como referencia para comparar el efecto del manejo agrícola sobre la biodiversidad de macrofauna.

La inclusión de estas áreas, permite obtener una visión integral del estado del suelo y de la macrofauna, considerando distintos usos y técnicas aplicadas en la producción agrícola de la UNAG.

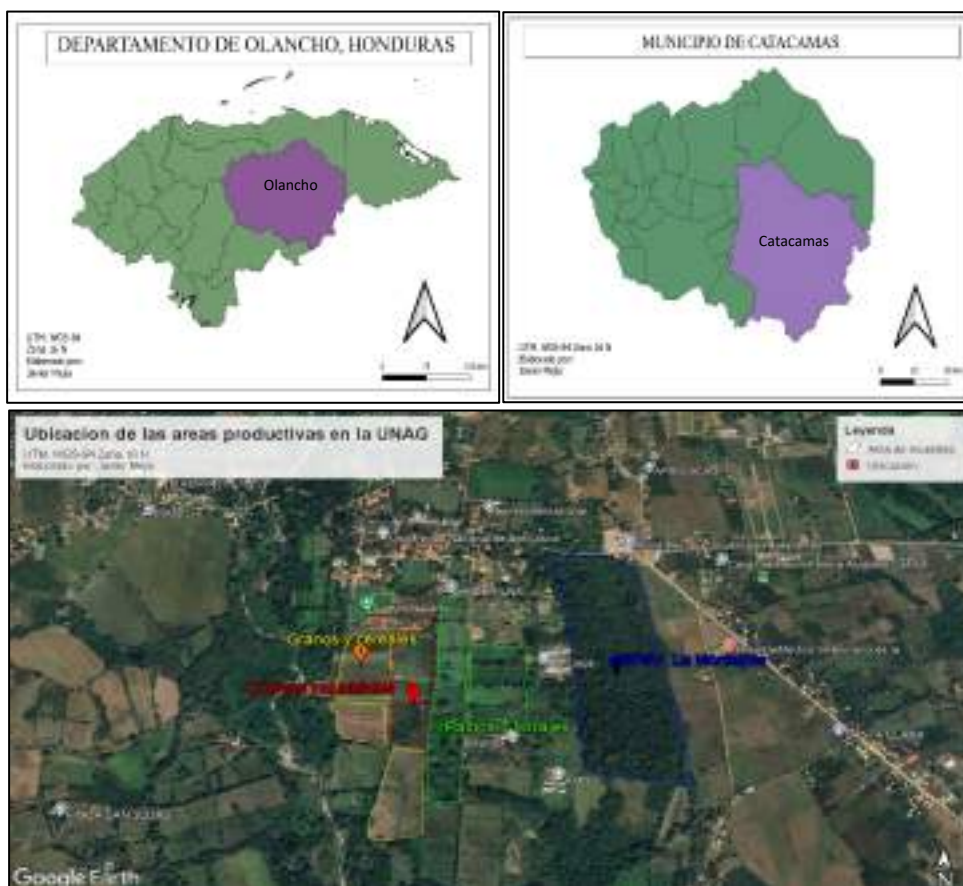


Figura 1 Ubicación de áreas productivas en la Universidad Nacional de Agricultura en el municipio de Catacamas, departamento de Olancho, Honduras.

5.2 Descripción de las áreas

5.2.1. Áreas de granos y cereales.

Esta área abarca una superficie aproximada de 21.48 hectáreas, destinada a la producción de cultivos básicos de gran importancia alimentaria. Los cultivos más predominantes son el maíz, frijol, girasol, sorgo y arroz, los cuales se establecen de manera rotativa o en ciclos productivos según la temporada o la planificación agronómica de la universidad. La cobertura de esta área es principalmente agrícola, con parcelas extensas destinadas a siembras mecanizadas.

El manejo agronómico incluye labranza convencional con maquinaria pesada, fertilización química, aplicaciones de agroquímicos para el control de malezas y plagas, así como riego por inundación en ciertos cultivos como el arroz. La mecanización

intensiva facilita la eficiencia productiva, pero al mismo tiempo intensifica los impactos negativos en el suelo. Los principales problemas identificados son la compactación derivada de la maquinaria, procesos de erosión hídrica, pérdida progresiva de fertilidad, bajo contenido de materia orgánica y amplias zonas de suelo descubierto que incrementan la vulnerabilidad a la degradación.

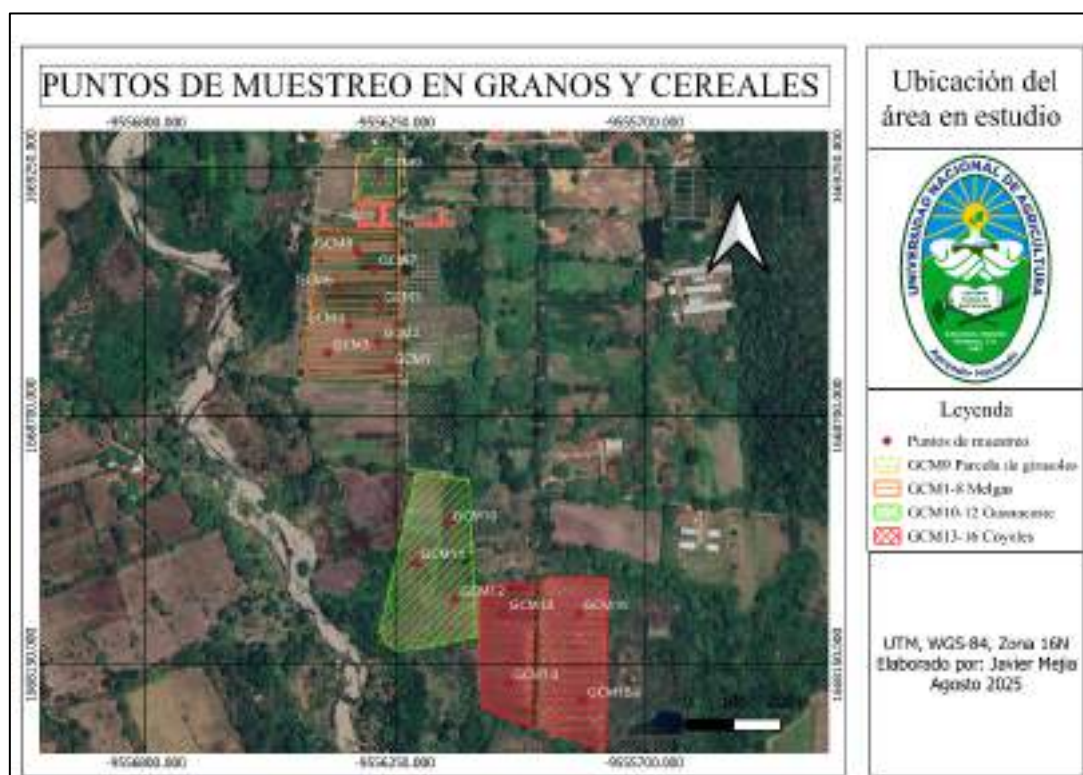


Figura 2 Ubicación de los puntos de muestreo del área de granos y cereales en la Universidad Nacional de Agricultura.

5.2.2. Áreas de cultivos industriales.

El área de cultivos industriales tiene una superficie aproximada de 8.73 hectáreas, dedicada a la producción de cultivos de mayor valor comercial. Entre los cultivos predominantes se encuentran musáceas, marañones, cacao, caña de azúcar, yuyuga, mango, café, caimito y nance, complementados con árboles maderables ubicados en los linderos de las parcelas. Esta diversidad de especies refleja un sistema agrícola con orientación productiva, donde se evalúan diferentes modelos de cultivo de importancia económica.

El manejo agronómico aplicado en esta zona incluye labranza mecanizada, fertilización química periódica, uso de agroquímicos para control de plagas y enfermedades, riego por inundación en especies que lo requieren y uso de maquinaria tanto en la preparación del terreno como para la siembra. Estas prácticas permiten mantener un nivel productivo constante, pero también incrementan los riesgos de degradación del suelo. Los principales problemas observados destacan la compactación generada por el tránsito de maquinaria, erosión en superficies expuestas y una cobertura parcial del suelo, lo que reduce su capacidad de protección ante la degradación.

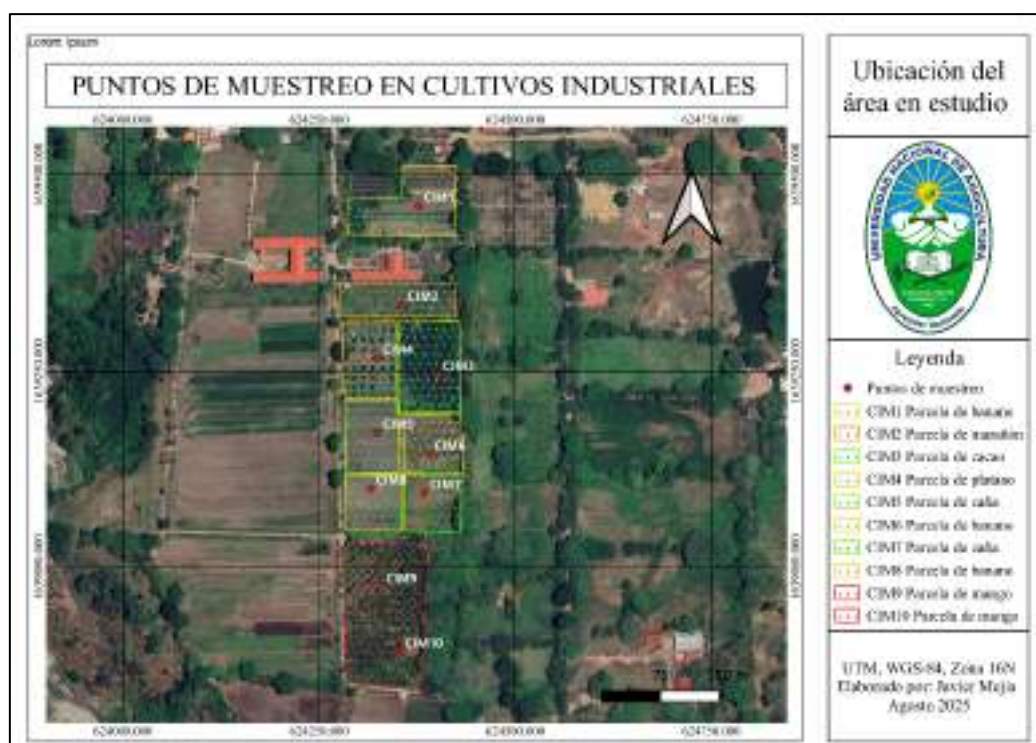


Figura 3 Ubicación de los puntos de muestreo del área de Cultivos Industriales en la Universidad Nacional de Agricultura.

5.2.3. Áreas de pastos y forrajes.

El área de pastos y forrajes tiene una superficie aproximada de 18.41 hectáreas, dedicada principalmente al establecimiento especies pastos, que constituyen la base de la alimentación del ganado de la universidad. La cobertura de estas parcelas está conformada mayormente por el pasto, mientras que en los linderos se mantienen árboles dispersos que actúan como cercas vivas y contribuyen a la provisión de sombra y delimitación del área.

El manejo agronómico aplicado incluye el uso de agroquímicos para el control de malezas y plagas, riego por inundación en algunas secciones, así como la utilización de maquinaria para el corte y posterior empacado del pasto destinado a la alimentación animal. Estas prácticas garantizan el abastecimiento constante de forraje, aunque también generan impactos sobre la calidad del suelo. Entre los principales problemas identificados se encuentran la compactación moderada producto del uso de maquinaria, procesos de erosión y pérdida temporal de la cobertura cuando el pasto es cortado, lo que deja expuesta la superficie y aumenta la vulnerabilidad a la degradación.

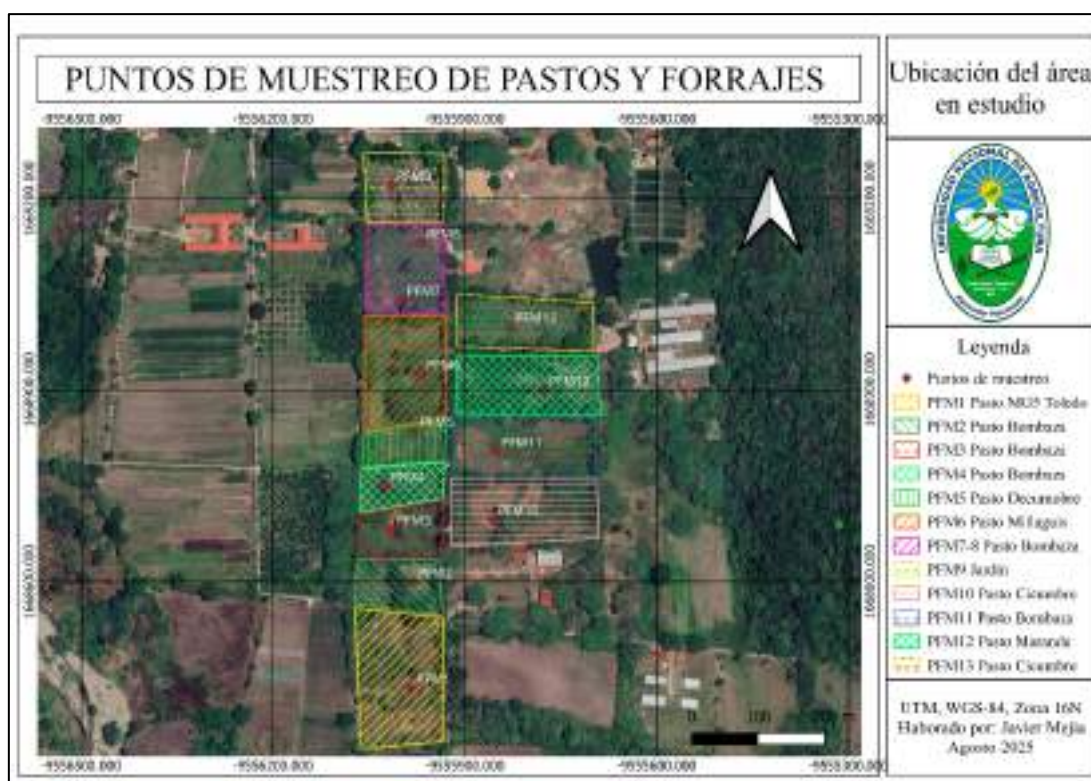


Figura 4 Ubicación de los puntos de muestreo del área de Pastos y Forrajes en la Universidad Nacional de Agricultura.

5.2.4. Sitio de Importancia para la Vida Silvestre (La Montañita).

El Sitio de Importancia para la Vida Silvestre La Montañita ocupa una superficie aproximada de 35 hectáreas y constituye un ecosistema de bosque denso, caracterizado por la presencia de una gran diversidad de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas. La cobertura vegetal es continua y abundante, lo que favorece la protección del suelo y la conservación de la biodiversidad local. Esta condición convierte al área en un hábitat

idóneo para numerosas especies de flora y fauna, funcionando como un corredor biológico dentro del campus universitario.

A diferencia de las áreas productivas, en La Montañita no se utilizan prácticas agronómicas ya que el sitio está destinado a la conservación y al desarrollo de la vida silvestre, utilizándose únicamente con fines de docencia, investigación y monitoreo ambiental. Gracias a que no hay intervención agrícola, el ecosistema mantiene un equilibrio natural que se refleja en la calidad de sus suelos.

En este sector no se identifican problemas de suelo, ya que la buena cobertura vegetal garantiza un alto contenido de materia orgánica, buena estructura, elevada fertilidad y ausencia de compactación. Estas condiciones convierten al suelo de La Montañita en un referente ecológico dentro del campus.



Figura 5 Ubicación de los puntos de muestreo del área de SIPVS La Montañita en la Universidad Nacional de Agricultura.

5.3. Diseño del muestreo.

El muestreo se llevó a cabo entre los meses de enero y abril de 2025 abarcando la temporada de transición seca-lluviosa. En este estudio se aplicó el método Tropical Soil

Biology and Fertility (TSBF), un enfoque ampliamente reconocido para el análisis de la macrofauna del suelo en ecosistemas tropicales (Figura 6). Este método consistió en la extracción de monolitos de suelo de 25 x 25 cm de superficie y 30 cm de profundidad, lo que permite evaluar las comunidades de macrofauna que habitan las distintas capas del perfil edáfico.

Los puntos de muestreo se seleccionaron de manera estratificada según los usos de suelo dentro de cada área evaluada. En cada tipo de uso identificado, por ejemplo, una parcela de plátano, otra de cacao u otros cultivos, se extrajo una muestra representativa. En total se recolectaron 51 monolitos distribuidos proporcionalmente entre las cuatro áreas (GC = 16, CI = 10, PF = 13, MO = 12). Este procedimiento permitió abarcar la diversidad de coberturas y manejos presentes en cada área productiva. Durante la extracción de los monolitos se tuvo especial cuidado en no alterar la estructura del suelo ni dañar a los organismos presentes, garantizando así la integridad de las muestras para su posterior análisis.

La recolección de macrofauna se realizó utilizando bandejas para separar el suelo y pinzas entomológicas para manipular cuidadosamente los especímenes. Los organismos visibles, como lombrices de tierra, hormigas, ciempiés, termitas y otros invertebrados, se recolectaron, identificaron y fueron etiquetados según su grupo taxonómico. Los ejemplares se conservaron en alcohol al 70%, mientras que las lombrices se preservaron en formalina al 4% para evitar su deshidratación. Este método garantiza la integridad de las muestras para su posterior identificación en el laboratorio.

El método TSBF es especialmente útil para este tipo de investigaciones, ya que combina la recolección directa de macrofauna con el análisis físico y químico del suelo, ofreciendo una valoración integral de su calidad. Además, permitió identificar relaciones entre la biodiversidad edáfica y los sistemas de manejo implementados, lo cual fue fundamental para comprender el impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas del suelo.



Figura 6 Descripción del método de muestreo TSBF tomado de (Velásquez, E. 2020)

5.4. Materiales y equipo

Para el desarrollo de estas prácticas se utilizó cuadrantes de madera para extraer el monolito, bandejas de madera, lupas, pinzas entomológicas, machetes, palas, botas, guantes, alcohol al 70%, formalina al 4%, bolsas, frascos (ver Anexo 1).

5.5. Procedimiento de campo

La fase de metodología del método TSBF se estructura en fases claves para garantizar la recolección, análisis y procesamiento de datos de manera eficiente y estandarizada.

a) Selección de las áreas de muestreo

Para iniciar, se identificaron y delimitaron las áreas de estudio asegurando que sean representativas de los sistemas de manejo agrícola en evaluación, como granos básicos, pastos y cultivos industriales. Estas áreas se seleccionaron considerando criterios como el uso del suelo, la vegetación predominante y el tipo de manejo implementado.

Cada área se subdivide en parcelas homogéneas, lo que asegura que la información obtenida sea consistente y relevante para el análisis.

b) Preparación de los materiales y herramientas

Antes de realizar el muestreo, se organizó y preparó el equipo necesario para el trabajo de campo. Entre las herramientas se incluyen palas, machetes y cuadrantes para delimitar los monolitos, así como bolsas etiquetadas para la recolección de muestras. Además, se utilizan guantes, lupas y alcohol al 70% para la conservación de los organismos recolectados, garantizando así la integridad de las muestras para su análisis posterior.

c) Extracción de monolitos

En cada parcela seleccionada, se escogió al azar un punto de muestreo. Allí se delimitó un bloque de 25 cm x 25 cm con una profundidad de 30 cm, separando las capas de hojarasca, 0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm. La extracción se realizó con extremo cuidado para evitar dañar la estructura del suelo y los organismos presentes en él. Este proceso permite obtener una muestra representativa del suelo y su fauna edáfica (ver Anexos 2-6).

d) Separación y recolección de macrofauna

El suelo extraído del monolito se tamiza e inspecciona manualmente para recolectar todos los organismos visibles mayores a 2 mm, como lombrices, insectos y arácnidos. Estos organismos se agrupan según sus características taxonómicas y se almacenan en recipientes etiquetados con información relevante del lugar, la fecha y el grupo correspondiente (ver Anexo 7).

e) Análisis de las propiedades del suelo

Simultáneamente a la recolección de la macrofauna, se toman submuestras del monolito para evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo. Estas propiedades incluyen parámetros como:

Tabla 2. Variables fisicoquímicas analizadas tomado de (Calderón, Bautista, & Rojas, 2018).

Variable	Tipo de variable	Método utilizado
Macrofauna	Biológico	TSBF
Respiración basal	Biológico / Químico	Método de incubación
Estabilidad de agregados	Físico	Agitador estilo Yoder
Humedad	Físico	Método cilíndrico
Densidad aparente	Físico	Método del cilindro
Densidad real	Físico	Método del picnómetro
Textura	Físico	Método de Bouyoucos
Porosidad	Físico	Cálculo indirecto
Porcentaje de nitrógeno	Químico	Método Walkley-Black
Materia orgánica	Químico	Método Walkley-Black
pH	Químico	Potenciómetro

f) Identificación y cuantificación de la macrofauna

En el laboratorio, los organismos recolectados se identifican en grupos funcionales. Posteriormente, se cuantifican métricas como la diversidad (número de especies o grupos presentes), la abundancia (cantidad de individuos por grupo).

Adicionalmente, se calculó el Índice de Abundancia Relativa Ponderada (RawI, Relative Abundance Weighted Index), siguiendo la metodología descrita por Hurtado Lugo (2024). Este índice se obtuvo como la suma ponderada de variables transformadas $\log(x+1)$, multiplicadas por sus correlaciones con los factores 1 y 2 y por los porcentajes de varianza explicados por cada factor en el análisis global. La fórmula utilizada fue:

$$\text{RawI} = 18.30 \cdot \text{EW} + 16.83 \cdot \text{AN} + 9.20 \cdot \text{TE} + 7.69 \cdot \text{BL} + 19.62 \cdot \text{CO} + 15.09 \cdot \text{AR} + 18.78 \cdot \text{DO} + 20.12 \cdot \text{CH} + 16.31 \cdot \text{DL} + 11.29 \cdot \text{HM} + 7.58 \cdot \text{DR} + 9.15 \cdot \text{LE} + 15.08 \cdot \text{GA} + 19.82 \cdot \text{OT} + 24.74 \cdot \text{DN} + 27.88 \cdot \text{TR} \text{ (Hurtado Lugo, 2024).}$$

Tabla 3. Significado de las abreviaturas, grupos taxonómicos y nombres comunes utilizados en el cálculo del Índice de Abundancia Relativa Ponderada (RawI).

Grupo taxonómico	Abreviatura
Lombrices	EW
Hormigas	AN
Termitas	TE
Blatodea	BL
Coleoptera	CO
Arachnida	AR
Diplopoda	DO
Chilopoda	CH
Larvas de Diptera	DL
Hemiptera	HM
Dermaptera	DR
Larvas de Lepidoptera	LE
Gasterópoda	GA
Otros	OT
Densidad total	DN
Riqueza taxonómica	TR

g) Análisis Estadísticos

Los datos obtenidos sobre la macrofauna se relacionan con las propiedades del suelo y los sistemas de manejo agrícola de las parcelas estudiadas. De esta manera, se analizan las tendencias en biodiversidad y calidad del suelo, evaluando cómo influyen las prácticas agrícolas sobre la salud del suelo. Este análisis es crucial para interpretar el papel de la macrofauna como indicador biológico.

Los datos se analizaron con el software R aplicando:

- Análisis de Componentes Principales (PCA) para identificar patrones entre variables.
- Análisis de co-inercia para evaluar relaciones entre macrofauna y propiedades físico-químicas.
- Prueba de permutación de Monte Carlo (999 permutaciones) para determinar significancia estadística.

h) Generación de resultados

Finalmente, los resultados se presentan mediante, gráficos y comparaciones que resumen las principales conclusiones del estudio. Se discute la influencia de las prácticas agrícolas sobre la calidad del suelo, utilizando la diversidad y abundancia de la

macrofauna como un indicador clave para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de manejo.

5.6. Variables analizadas

En esta investigación se evaluaron dos factores fundamentales para determinar la calidad del suelo.

- Diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica: Se utilizó como indicador biológico, registrando la presencia de grupos como lombrices, hormigas, ciempiés, diplópodos, entre otros, así como el número total de individuos y la riqueza taxonómica.
- Propiedades físico-químicas del suelo: Incluyeron análisis de textura, humedad, pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, densidad aparente y real, porosidad y estabilidad de agregados, entre otros parámetros.

La integración de indicadores biológicos y físico-químicos permitió obtener una visión más integral del funcionamiento del ecosistema edáfico y del impacto que tienen las diferentes prácticas de manejo sobre su salud y sostenibilidad.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan e interpretan los resultados del análisis de la macrofauna edáfica y las propiedades del suelo en cuatro áreas productivas de la Universidad Nacional de Agricultura, con el objetivo de evaluar la salud del suelo mediante indicadores biológicos y edáficos. Para ello, se utilizaron técnicas de análisis multivariado como el Análisis de Componentes Principales (PCA) y el análisis de co-inercia, que permitieron identificar patrones de agrupación entre muestras, relaciones entre variables y asociaciones entre biodiversidad edáfica y condiciones del suelo, facilitando una comprensión integral de las diferencias entre áreas y del estado del suelo.

6.1. Comparación de la macrofauna edáfica entre áreas productivas

En la siguiente tabla se aprecia la comparación de la macrofauna edáfica entre las cuatro áreas evaluadas, considerando la abundancia total de individuos, grupo dominante, riqueza taxonómica y el valor del indicador RawI. Estos parámetros permiten mostrar las diferencias en la composición y diversidad de los organismos del suelo en función de los distintos sistemas de manejo.

Tabla 4. Composición, abundancia, grupo dominante, riqueza taxonómica e indicador RawI de la macrofauna edáfica en las áreas de estudio.

Área	Abundancia total	Grupo dominante	Riqueza taxonómica	RawI (indicador)
Granos y cereales	165	Hormigas (Hymenoptera)	6	0.46-0.29
Cultivos industriales	481	Ciempíes (Chilopoda)	14	0.62-0.49
Pastos y forrajes	435	Ciempíes (Chilopoda)	11	0.6-0.41
La montaña	509	Hormigas (Hymenoptera)	14	0.78-0.54

El análisis de la macrofauna mostró contrastes muy evidentes entre las áreas evaluadas, refleja directamente la influencia de las diferentes prácticas de manejo del suelo sobre la biodiversidad (Anexo 16-19). El área de La Montaña que se caracteriza

por ser un sitio de conservación con una mínima intervención humana y abundante cobertura vegetal, presento la mayor abundancia de individuos (509) y la mayor riqueza taxonómica (14 grupos), junto con el valor más alto del indicador Rawl (0.78-0.54). Estas condiciones un suelo con elevada diversidad biológica, donde la diversidad de microhábitats, la materia orgánica acumulada y la baja compactación permite el establecimiento de una comunidad edáfica diversa y funcional. La dominancia por parte de las hormigas (Hymenoptera), consideradas ingenieras del ecosistema, resalta su rol en la aireación, la infiltración de agua y la distribución de nutrientes, procesos que sostienen la resiliencia del ecosistema edáfico.

En comparación con el área de Granos y Cereales mostró la menor abundancia (165 individuos) y riqueza (6 grupos), con el valor más reducido de Rawl (0.46-0.29). Este resultado está vinculado con el manejo agrícola intensivo por el que se caracteriza esta área, como ser la labranza mecanizada, uso de agroquímicos, monocultivo y escasa cobertura del suelo (Anexo 16). Dichas prácticas promueven la compactación, pérdida de materia orgánica y la reducción de microhábitats lo que limita el desarrollo de organismos más sensibles. La dominancia de hormigas, grupo reconocido por su tolerancia, confirma la degradación del suelo, ya que desplazan a lombrices y coleópteros que usualmente se asocian con condiciones de mayor estabilidad ecológica en el suelo.

Los resultados más intermedios se observaron en las áreas de Cultivos Industriales y Pastos y Forrajes, con abundancia de 481 y 435 individuos respectivamente y riqueza taxonómica de 14 a 11 (Anexos 17 y 18), en ambos casos los cien pies (Chilopoda) resulto ser el grupo dominante, lo cual es muy relevante ya que este grupo está asociada a suelos con cierto grado de alteración. En cultivos industriales, el manejo tecnificado y la alta aplicación de agroquímicos reducen la diversidad funcional pese a mantener una riqueza taxonómica alta refleja un Rawl de 0.62- 0.49. Por su parte, en Pastos y Forrajes, el uso de la maquinaria para corte compacta el suelo, limitando la diversidad, aunque aun así se mantiene un nivel moderado de abundancia (Rawl 0.60-0.41). La presencia de Chilopoda como grupo dominante puede interpretarse como una señal de que estos ambientes permiten lo que son depredadores resistentes, pero no son óptimos para ingenieros del suelo como las lombrices, lo que compromete procesos clave de reciclajes de nutrientes y estructura edáfica.

En síntesis, se confirma que la macrofauna edáfica responde directamente al manejo de suelos. Los sistemas agrícolas intensivos reducen diversidad y favorecen los grupos tolerantes a las alteraciones, mientras que los sitios con mejor cobertura vegetal y sin intervención, como La Montañita (Anexo 19), mantienen comunidades edáficas más equilibradas y diversa. Esto demuestra que la biodiversidad de macrofauna constituye un indicador confiable para evaluar la salud del suelo

6.2. Propiedades físico-químicas del suelo de las áreas evaluadas.

En las tablas siguientes se presentan resultados de las propiedades fisicoquímicas del suelo de las cuatro áreas de estudio: Granos y Cereales, Cultivos Industriales, Pastos y Forrajes, y La Montañita. Se incluyen variables de humedad, respiración basal, densidad, porosidad, pH, estabilidad de agregados, contenido de materia orgánica y fracciones texturales. Estos parámetros permiten evaluar la calidad y el estado del suelo bajo diferentes sistemas de manejo productivo (Anexo 20-52).

Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de Granos y Cereales

Variable	Media	sd	n	se	Min	Max	CV
% Humedad	20.25	6.3	16	1.58	8.29	29.83	31.14
Respiración basal	300.24	227.06	16	56.77	15.62	649.85	75.63
Densidad aparente	1.6	0.11	16	0.03	1.33	1.73	6.57
Densidad real	2.13	0.04	16	0.01	2.06	2.2	1.98
Porosidad (%)	25.04	4.89	16	1.22	16.02	36.97	19.52
pH	7.23	0.49	16	0.12	6.07	8.25	6.82
Estabilidad de agregados	5.62	0.84	16	0.21	4.08	7.01	15.01
% Materia orgánica	2.07	0.57	16	0.14	1	3.48	27.78
% Carbono orgánico	1.2	0.33	16	0.08	0.58	2.02	27.82
% Nitrógeno total	0.1	0.03	16	0.01	0.05	0.17	27.59
% Arena	55.08	3.83	16	0.96	51.2	63.2	6.95
% Limo	20.5	2	16	0.5	16	24	9.76
% Arcilla	24.43	3.28	16	0.82	14.8	28.8	13.44

sd: desviación estándar, **n:** número de muestras, **se:** error estándar, **Min:** valor mínimo, **Max:** valor máximo, **CV:** coeficiente de variación

Los suelos de Granos y Cereales presentaron un bajo contenido de materia orgánica (2.07%) y una compactación evidente (densidad aparente 1.6 g/cm³), esto se relaciona directamente con el uso de labranza mecanizada intensiva, uso de agroquímicos y suelos totalmente descubiertos. Estas prácticas reducen la porosidad y aumentan la pérdida de la fertilidad, lo que explica la limitada diversidad de organismos edáficos.

Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de Cultivos Industriales.

Variable	Media	sd	n	se	Min	Max	CV
% Humedad	22.59	4.57	10	1.44	13.17	28.39	20.21
Respiración basal	420.76	113.8	10	35.76	241.87	591.86	26.88
Densidad aparente	1.52	0.07	10	0.02	1.41	1.64	4.55
Densidad real	2.14	0.05	10	0.01	2.06	2.22	2.12
Porosidad (%)	28.99	2.94	10	0.93	24.42	33.02	10.13
pH	7.56	0.47	10	0.15	6.85	8.51	6.23
Estabilidad de agregados	5.47	1.42	10	0.45	3.02	7.04	25.93
% Materia orgánica	2.5	0.9	10	0.28	0.86	3.77	36.07
% Carbono orgánico	1.45	0.52	10	0.17	0.5	2.19	36.13
% Nitrógeno total	0.13	0.05	10	0.015	0.04	0.19	37.57
% Arena	52.2	2.84	10	0.9	48.8	56.8	5.43
% Limo	25.4	3.78	10	1.19	18.8	30.8	14.87
% Arcilla	22.4	4	10	1.26	14.4	28.4	17.86

sd: desviación estándar, **n:** número de muestras, **se:** error estándar, **Min:** valor mínimo, **Max:** valor máximo, **CV:** coeficiente de variación

En el área de Cultivos Industriales se observó un pH ligeramente alcalino (7.56) y una respiración basal elevada (420.76 mg CO₂/kg), lo que refleja cierta actividad biológica pese al manejo intensivo. La aplicación frecuente de agroquímicos y uso de maquinaria en algunas parcelas de este sitio, genera compactación moderada y erosión, lo que coincide con la menor porosidad y la necesidad de mayor fertilidad química para sostener la producción.

Tabla 7. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de Pastos y Forrajes.

Variable	Media	sd	n	se	Min	Max	CV
% Humedad	20.06	7.59	13	2.1	5.78	32.17	37.82
Respiración basal	190.79	55.4	13	15.36	123.84	267.46	29.04
Densidad aparente	1.42	0.09	13	0.03	1.24	1.56	6.6
Densidad real	2.06	0.15	13	0.04	1.61	2.22	7.23
Porosidad (%)	30.51	6.37	13	1.77	14.91	42.33	20.86
pH (corregido)	6.66	0.36	13	0.1	6.22	7.51	5.35
Estabilidad agregados	5.82	1.4	13	0.39	3.44	7.19	24.02
% Materia orgánica	4	1.09	13	0.3	2.03	6.57	27.32
% Carbono orgánico	2.32	0.63	13	0.18	1.18	3.81	27.29
% Nitrógeno total	0.2	0.05	13	0.02	0.1	0.33	27.16
% Arena	62.77	4.28	13	1.19	56	72	6.83
% Limo	21.57	1.54	13	0.43	18.8	24.8	7.12
% Arcilla	15.66	3.18	13	0.88	9.2	21.2	20.29

sd: desviación estándar, **n:** número de muestras, **se:** error estándar, **Min:** valor mínimo, **Max:** valor máximo, **CV:** coeficiente de variación

Los suelos de Pastos y Forrajes presentaron el mayor porcentaje de materia orgánica (4%), acompañada de una buena porosidad (30.51%). Esto se explica ya que la cobertura constante de pasto y la presencia de algunos árboles dispersos favorecen una acumulación de residuos orgánicos y la protección del suelo. Sin embargo, el uso de maquinaria para corte y agroquímicos ocasiona una compactación leve y pérdida temporal de cobertura al momento del corte.

Tabla 8. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de La Montañita.

Variable	Media	sd	n	se	Min	Max	CV
% Humedad	14.01	3.86	12	1.12	6.76	18.23	27.57
Respiración basal	146.88	78.4	12	22.65	26.65	278.01	53.42
Densidad aparente	1.38	0.14	12	0.04	1.2	1.76	9.86
Densidad real	2.03	0.06	12	0.02	1.9	2.13	3.15
Porosidad (%)	32.08	6.06	12	1.75	16.59	40	18.9
pH	6.67	0.4	12	0.12	5.9	7.29	6.05
Estabilidad agregados	4.48	1.54	12	0.45	2.3	6.64	34.48
% Materia orgánica	4.45	0.78	12	0.22	2.89	5.47	17.45
%Carbono orgánico	2.58	0.45	12	0.13	1.68	3.17	17.45
% Nitrógeno total	0.22	0.04	12	0.01	0.14	0.27	18.06
% Arena	60.57	5.75	12	1.66	52.4	74.4	9.49
% Limo	23.2	4.67	12	1.35	11.2	29.2	20.13
% Arcilla	16.23	3.01	12	0.87	12.4	20.4	18.54

sd: desviación estándar, **n:** número de muestras, **se:** error estándar, **Min:** valor mínimo, **Max:** valor máximo, **CV:** coeficiente de variación

Los valores de La Montañita son los más favorables que se registraron, con un alto contenido de materia orgánica (4.45%), una menor densidad aparente (1.38 g/cm³) y buena aireación (32.08% de porosidad). Estas condiciones son resultado de la cobertura vegetal continua y ausencia de prácticas agrícolas. Al no haber intervención con maquinaria ni agroquímicos, se mantiene la fertilidad natural y se favorece la presencia de una comunidad edáfica diversa.

6.3. Análisis 1: Análisis de Componentes Principales (PCA) de la macrofauna edáfica

6.3.1. Representación conjunta del PCA: Macrofauna, Muestras e histograma

Este análisis de componentes principales permite la observación de una forma conjunta las variables de macrofauna, distribución de muestras y la importancia de cada

componente. La integración facilita identificar, como los organismos y las áreas productivas responden a las prácticas de manejo (Figura 7).

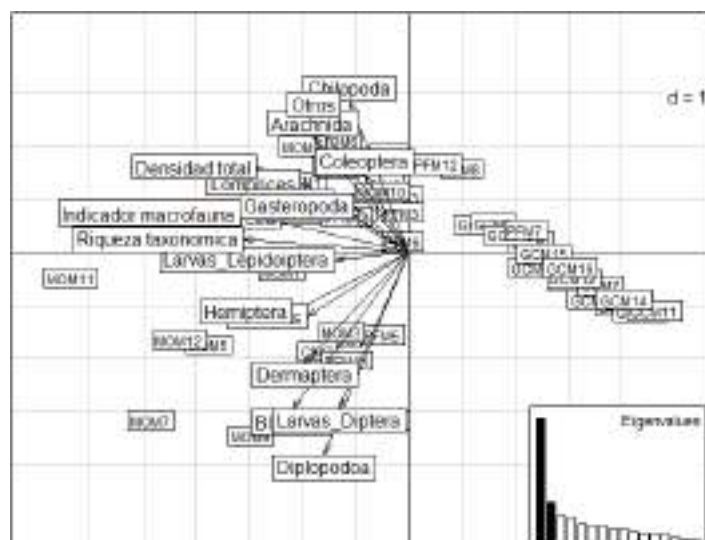


Figura 7 Análisis de componentes principales (PCA) de la macrofauna edáfica en áreas productivas de la UNAG.

El PCA explicó un 50.2% de la variabilidad total, distribuida en los primeros dos ejes (PC1 = 38.0%, PC2 = 12.2%) (Anexo 53). El Eje 1 estuvo definido por la riqueza taxonómica (14.4%), la densidad total (12.2%) y el indicador de macrofauna (15.0%), junto a grupos como lombrices (6.2%), termitas (5.5%) y Blatodea (7.2%). Esto refleja que la mayor parte de la variabilidad se explica por la abundancia y diversidad de la macrofauna edáfica. El Eje 2, en cambio, estuvo determinado por organismos oportunistas como ciempiés (21.6%), larvas de dípteros (12.8%), chilopados (12.1%) y Blatodea (13.0%), lo que indica que la segunda fuente de variación está asociada a grupos más frecuentes en suelos perturbados o en descomposición activa (Anexo 54).

En el área de granos y cereales (GCM), las muestras se agruparon hacia la derecha del PCA, reflejando una comunidad homogénea y con baja diversidad (riqueza = 6; abundancia = 165). El manejo convencional como la labranza y el uso de agroquímicos que redujeron la diversidad de macrofauna, quedando las hormigas (Hymenoptera) como el grupo dominante porque son las que mejor toleran esas condiciones. Por otro lado, cultivos industriales (CIM), las muestras están más dispersas y asociadas a una riqueza mayor (14) y abundancia de 481 individuos, dominadas por los ciempiés (Chilopoda), organismos que se adaptan a suelos perturbados por la mecanización y que prosperan en

ambientes con residuos en descomposición relacionado con los residuos de las musáceas que se integran al suelo.

En el área de pastos y forrajes (PFM), dominados también por ciempiés, se observó una abundancia intermedia (435) y una riqueza de 11, lo que refleja un sistema con cierta estabilidad, aunque con predominio de descomponedores resistentes. Finalmente, en el sitio de La Montañita (MOM) se observó la mayor abundancia (509) y riqueza (14), con dominancia de hormigas, lo que se asocia a un lugar con poca intervención humana y a una heterogeneidad ambiental del sitio, que permite que coexistan distintos grupos funcionales. La dispersión de las muestras en este sitio confirma su mayor variabilidad interna, a comparación con la homogeneidad observada en granos y cereales.

Las hormigas (Hymenoptera), fueron dominantes en granos y cereales y en La Montañita, cumplen un papel clave en la redistribución de nutrientes, aireación del suelo y control biológico. Los ciempiés (Chilopoda), fueron dominantes en cultivos industriales y Pastos y Forrajes, son depredadores y fragmentadores, contribuyendo a la regulación de poblaciones y a la descomposición de materia orgánica. Además, aunque no fueron dominantes, grupos como lombrices y termitas aportaron significativamente a la variabilidad del PCA, por lo que reflejan su importancia como ingenieros del suelo en la formación de agregados, reciclaje de nutrientes y mejora de la estructura edáfica.

La matriz de correlaciones mostró que lombrices y termitas presentaron asociaciones positivas con la densidad total y la riqueza ($r = 0.664$ y $r = 0.561$, respectivamente), confirmando su papel como bioindicadores (Anexo 55). Los sistemas con menor perturbación (La Montañita y pastos y forrajes) mantuvieron comunidades más ricas y diversas, reflejando un suelo en mejor estado de salud. En cambio, en granos y cereales y sobre todo en cultivos industriales, la macrofauna fue menos diversa o dominada por organismos resistentes, lo que señala suelos con menor resiliencia y estabilidad ecológica.

6.3.2 Agrupación de muestras por sitio de muestreo según composición de macrofauna

El análisis de componentes principales permite observar las agrupaciones de las parcelas en función de cómo está compuesta la macrofauna. Este tipo de representación es útil porque muestra las relaciones entre los diferentes sistemas de manejo y la forma en la que la biodiversidad de macrofauna responde a cada uno. También, facilita distinguir las áreas con características comunes y otras con mayor dispersión, lo que ayuda a entender mejor como influyen las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo. (Figura 8)

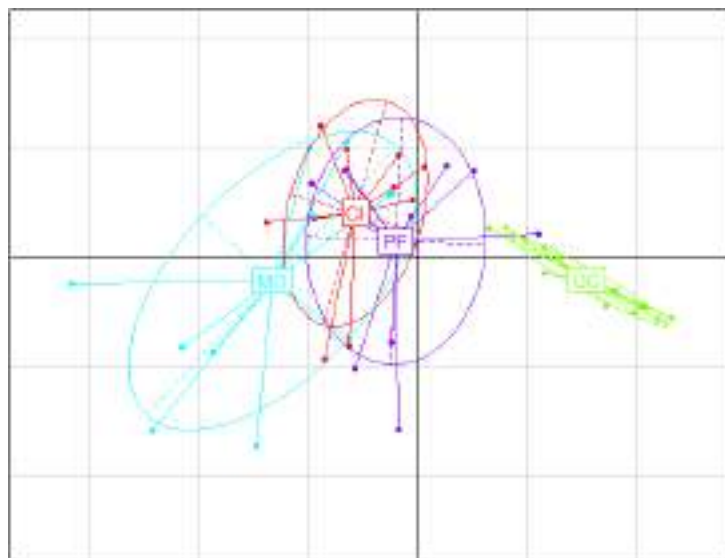


Figura 8 Distribución de muestras de macrofauna edáfica en áreas productivas de la UNAG.

La figura 8 muestra las proyecciones de las muestras en los dos primeros componentes principales, agrupadas según el área de estudio. Se observa que las muestras de granos y cereales (GC) se concentran a la derecha del plano, mostrando una composición más homogénea. En comparación con las de La Montañita (MO) se distribuyen de manera más dispersa hacia la izquierda, indicando mayor variabilidad. Las muestras de cultivos industriales (CI) y pastos y forrajes (PF) se ubican más en el centro, con cierto solapamiento, lo que refleja una similitud en la composición de su macrofauna edáfica.

El agrupamiento de granos y cereales confirma que este sistema, manejado bajo labranza convencional y el uso agroquímico, genera comunidades edáficas homogéneas y con menor riqueza, dominado por hormigas (Hymenoptera). La dispersión de La Montañita refleja su mayor diversidad, producto de un manejo con menor intervención, lo que favorece la coexistencia de distintos grupos (hormigas, termitas, coleópteros). Por otro lado, la proximidad de cultivos industriales y pastos se asocia a un manejo intermedio: aunque presentan diferencias en abundancia y riqueza, en los dos dominan organismos resistentes como ciempiés (Chilopoda), lo que explica su posición cercana en el plano.

La gráfica muestra que los sistemas menos perturbados son La Montañita y, en menor medida, pastos y forrajes por que mantienen una mayor variabilidad y diversidad, lo cual refleja una mejor salud del suelo. A comparación de los sistemas convencionales como granos y cereales y cultivos industriales generan comunidades más simples y resistentes, indicando suelos más degradados.

6.3.3. Histograma de prueba de significancia del PCA

El histograma muestra la distribución de los valores simulados y obtenidos en la prueba de significancia del PCA. Este tipo gráfico permite evaluar si el patrón que se observa en los datos reales se diferencia de lo que ocurre por azar (figura 9).

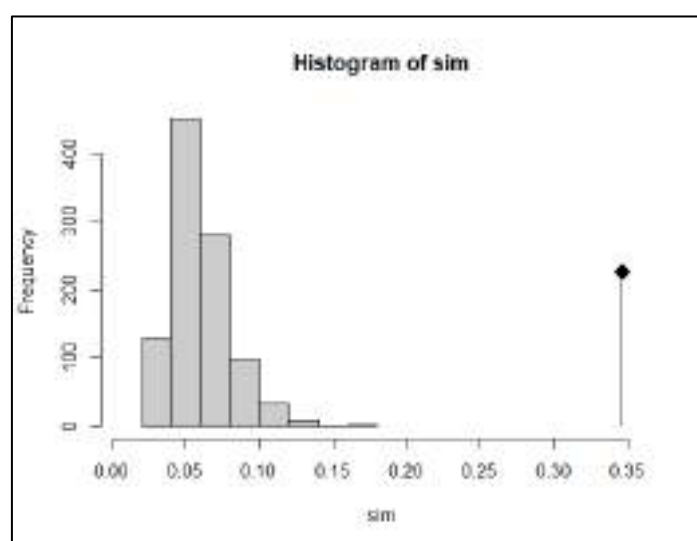


Figura 9. Histograma de valores simulados en la prueba de significancia del PCA para la macrofauna edáfica.

Este histograma muestra la distribución de 999 simulaciones aleatorias (permuta) del estadístico de prueba bajo la hipótesis nula, donde los valores se concentran alrededor de 0.05 a 0.10. El valor observado en el PCA (0.3469) se representa con un rombo negro ubicado en el extremo derecho, muy separado de la distribución simulada (Anexo 56).

El valor observado fue de 0.3469, claramente superior a la expectativa teórica (0.0603) y a la varianza de las permutaciones (0.00036). La prueba arrojó un valor de $p = 0.001$ basado en 999 permutaciones, lo que indica que la separación entre los grupos de sitios observada en el PCA es altamente significativa (Anexo 56).

La significancia estadística confirma que la composición de la macrofauna difiere de manera consistente entre las áreas de estudio. Esto implica que las diferencias en el manejo del suelo ejercen un efecto directo sobre la estructura de la comunidad edáfica.

El resultado refuerza la idea de que los sistemas con mayor conservación como La Montañita y Pastos y Forrajes mantienen comunidades más ricas y diversas, mientras que los sistemas de manejo intensivo como Granos y Cereales y Cultivos Industriales presentan comunidades más homogéneas y resistentes. En conjunto, la prueba de permutación comprueba que la macrofauna puede ser utilizada como un indicador confiable de la salud del suelo, porque refleja de manera significativa los efectos de las prácticas de manejo.

6.4 Análisis 2: Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables fisicoquímicas.

6.4.1. Representación conjunta del PCA: Variables fisicoquímicas, Muestras e histograma.

La figura representa de forma integral las variables fisicoquímicas, las muestras y el histograma de valores propios donde justifica el uso de los dos primeros componentes principales. Como se menciona en las anteriores figuras estos dos explican el 54.54% de la variabilidad total, permitiendo representar adecuadamente las diferencias entre las áreas y sus condiciones (figura 10).

variables como la densidad aparente mostraron correlaciones negativas, confirmando su efecto negativo sobre la salud del suelo (Anexo 59). Estos resultados muestran que las áreas con manejo más intensivo concentran suelos compactados y con menor disponibilidad de nutrientes, mientras que las áreas con manejo más sostenible presentan suelos con mejor estructura, mayor retención de humedad y más resilientes frente a la degradación.

El análisis permite distinguir que los sistemas de mayor perturbación como Granos y Cereales y Cultivos Industriales tienden hacia suelos con menor calidad físico-química, mientras que los sistemas menos perturbados como La Montañita y Pastos y Forrajes mantienen unas condiciones más favorables, reflejando un mejor estado de salud del suelo.

6.4.2 Agrupación de muestras por sitio según variables fisicoquímicas

En esta figura se aprecia la distribución de las muestras según el área de muestreo: GC (Granos y Cereales), CI (Cultivos Industriales), PF (Pastos y Forrajes) y MO (La Montañita), las elipses representan la dispersión interna entre MO y las demás áreas lo que indica diferencias importantes en sus condiciones fisicoquímicas.

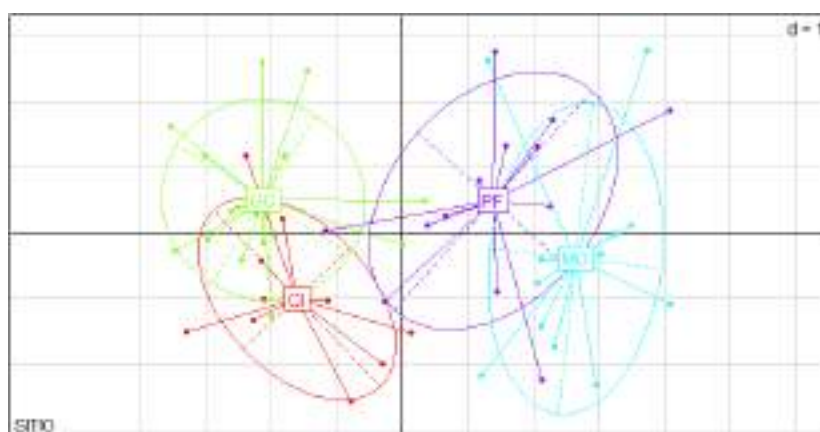


Figura 11. Análisis de componentes principales (PCA) con muestras agrupadas por sitio, según variables fisicoquímicas del suelo.

En la figura se muestra una separación entre los sistemas de manejo. Las muestras de granos y cereales (GC) y cultivos industriales (CI) se agrupan hacia la parte izquierda,

mostrando asociaciones de las propiedades fisicoquímicas más homogéneas, asociadas principalmente a mayor arena, densidad aparente y menor contenido de materia orgánica y nitrógeno (Anexos 57 y 58). Esto refleja el impacto que tiene el manejo intensivo que se caracteriza por una labranza mecanizada y uso de agroquímicos, lo que limita la biodiversidad edáfica.

En comparación con las muestras de La Montañita (MO) que se ubican más dispersas hacia el extremo derecho del gráfico, lo que indica una mayor heterogeneidad en las propiedades fisicoquímicas del suelo. Este patrón está relacionado con la menor perturbación y la cobertura vegetal que favorecen la acumulación de materia orgánica, estabilidad de agregados y porosidad.

Finalmente, las muestras del área de pastos y forrajes (PF) se situaron en una posición intermedia, pero también más cercanas a La Montañita que a los sistemas intensivos, lo que refleja la influencia positiva del aporte constante de los residuos vegetales en la mejora de la materia orgánica y el nitrógeno total (Anexo 59). Esta dispersión de los sitios confirma que los sistemas menos perturbados mantienen una mejor calidad fisicoquímica del suelo, mientras que los intensivos muestran condiciones de degradación.

6.4.3 Prueba de significancia del PCA por sitio con variables fisicoquímicas

Esta figura muestra el histograma de la prueba de Monte Carlo, basada en 999 reordenamientos aleatorios de los datos. En la figura se comparan los valores simulados con el valor real obtenido en el PCA de las variables fisicoquímicas de suelo, lo que permite evaluar si la separación observada entre las diferentes áreas de muestreo es estadísticamente significativa.

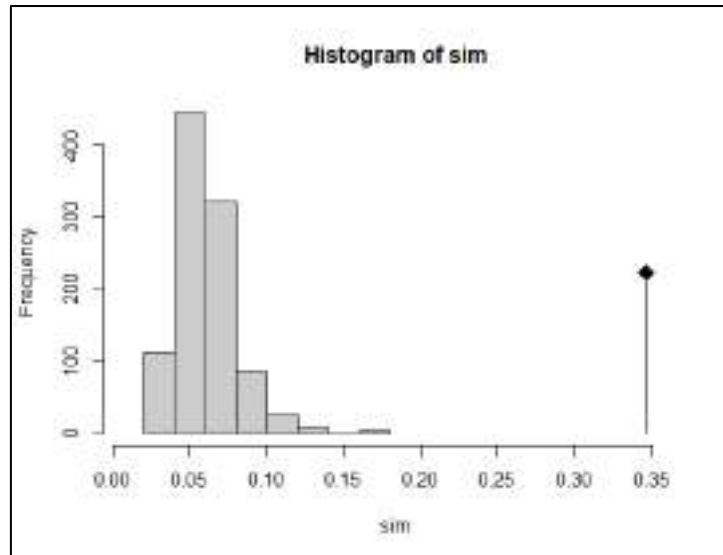


Figura 12. Histograma de la prueba de Monte Carlo para el PCA de variables fisicoquímicas.

El valor observado (0.3867) fue muy superior a la expectativa teórica (0.0592) y a la varianza de las permutaciones (0.00040), con un valor de $p = 0.001$ basado en 999 simulaciones (Anexo 60). Esto indica que la separación entre los grupos de sitios observada en el PCA de las variables fisicoquímicas es altamente significativa.

Este resultado confirma que las propiedades evaluadas difieren de manera consistente entre los sistemas de manejo. Los suelos de Granos y Cereales y Cultivos Industriales, sometidos a prácticas intensivas, mostraron propiedades más homogéneas y asociadas a compactación y bajos niveles de contenido de materia orgánica. A comparación de los suelos de Pastos y Forrajes y de La Montañita conservaron mayor heterogeneidad y mejor diversidad edáfica lo que refleja el efecto positivo de prácticas menos convencionales y menor perturbación en estos sitios.

La significancia estadística valida que las diferencias observadas en análisis no son producto del azar, sino consecuencia directa de los sistemas de manejo. Así, la combinación de indicadores como materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total demuestra ser un conjunto confiable de variables para evaluar la salud del suelo en los distintos usos.

6.5. Análisis 3: análisis de co-inercia para variables de base

6.5.1 Análisis de Co-Inercia entre macrofauna edáfica y propiedades físico-químicas del suelo.

Este análisis de co-inercia muestra como las dos primeras dimensiones explican 92.09% de lo que es la coestructura total (ejes 1 y 2), con una inercia total de 16.83. El primer eje explica por si solo el 85.15% de la inercia proyectada, lo que indica una fuerte estructura que es común entre ambos conjuntos de variables. El coeficiente RV de 0,383 que sugiere una correlación ambos entre la biodiversidad edáfica y las propiedades del suelo.

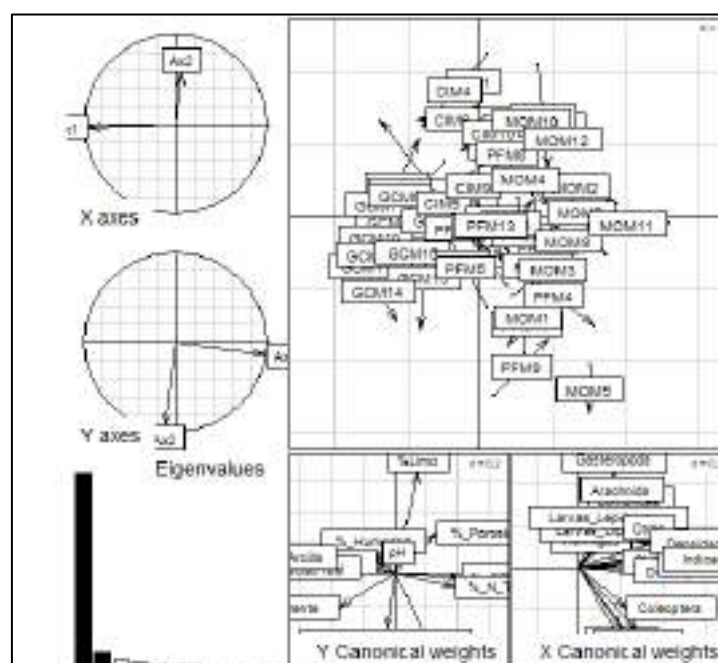


Figura 13. Análisis Co-Inercia entre macrofauna edáfica y propiedades físico-químicas del suelo.

El análisis de co-inercia explicó un total de 16.83 unidades de inercia, donde el primer eje (Ax1) concentró el 85.1% de la co-estructura y el segundo eje (Ax2) un 6.9%, acumulando entre ambos el 92.1% de la variabilidad compartida entre macrofauna y variables físico-químicas (Anexo 61). Esto indica una fuerte asociación entre los dos conjuntos de datos, sustentada también por el coeficiente RV (0.383), que confirma la existencia de una correspondencia significativa entre la composición de macrofauna y las condiciones del suelo (Anexo 62).

En el plano canónico, las muestras de granos y cereales (GC) se ubicaron hacia un lado, relacionadas con una mayor densidad aparente, arena y baja materia orgánica, condiciones que son típicas de suelos perturbados por el manejo intensivo. A diferencia de las muestras de La Montañita (MO) que se distribuyeron hacia la zona opuesta, asociadas a alta estabilidad de agregados, mayor porosidad y diversidad de macrofauna, lo que refleja un manejo mínimo y que favorece tanto la salud física del suelo como la biodiversidad edáfica.

Las muestras de Cultivos Industriales (CI) se situaron en la parte central del plano, vinculadas a compactación intermedia y presencia de organismos resistentes como ciempiés, mientras que los pastos y forrajes (PF) se agruparon más cerca de La Montañita, asociados con mayor aporte de materia orgánica, nitrógeno total y una macrofauna más diversa.

El análisis confirma que la variación de la macrofauna no es independiente de las propiedades fisicoquímicas, sino que las dos responden de manera conjunta al tipo de manejo del suelo. Los sistemas intensivos como Granos y Cereales (GC) y Cultivos Industriales (CI) reducen la diversidad biológica y deterioran las propiedades edáficas, mientras que los sistemas menos perturbados Pastos y Forrajes (PF) y La Montañita (MO) muestran una co-estructura positiva, con suelos que son más fértiles y comunidades de macrofauna más equilibradas. En este sentido, la co-inercia refuerza que la macrofauna representa un confiable indicador biológico del estado fisicoquímico del suelo y que ambos enfoques deben analizarse de manera integrada.

6.5.2 Proyecciones de las muestras desde el espacio PCA de macrofauna al fisico-químico

En el gráfico se observa cómo se relacionan las muestras considerando de manera simultánea la macrofauna y las propiedades del suelo. Cada una de las flechas conecta la posición de una muestra en el espacio definido por la macrofauna (Punto inicial), con su posición en el espacio de las propiedades fisico-químicas (Punto final). Además, la dirección y la longitud de las flechas reflejan un grado de acuerdo y desacuerdo entre

ambos conjuntos de variables: las flechas cortas significan una alta concordancia, mientras que más largas revelan diferencias entre los perfiles biológicos y edáficos.

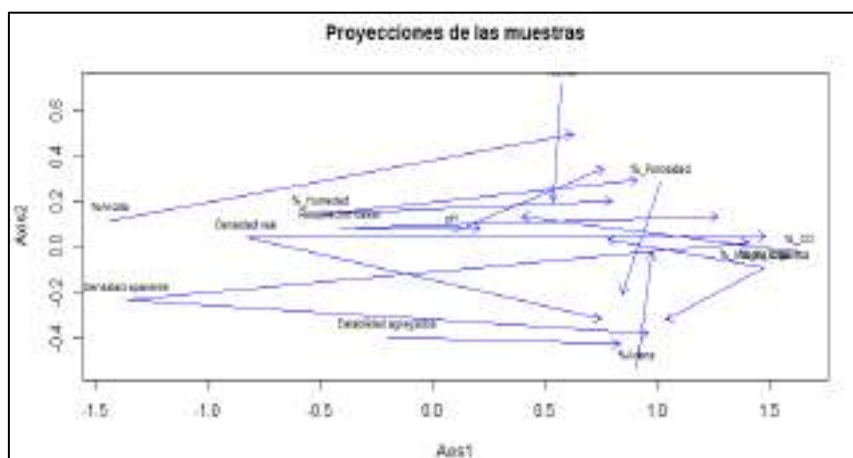


Figura 14. Proyecciones de las variables físico-químicas del suelo en el análisis de co-inercia.

La figura muestra un gradiente claro sobre Ax1: hacia la derecha convergen las puntas de flecha asociadas con % materia orgánica, % C orgánico, % N total y % porosidad, mientras que hacia la izquierda apuntan flechas relacionadas con la densidad aparente y densidad real. Esto confirma que las muestras ricas en MO–CO–N y con mayor porosidad (suelos mejor estructurados) coinciden con comunidades de macrofauna más diversificada y equilibradas, mientras que las muestras con mayor compactación (densidades altas) se corresponden con macrofaunas más simples. Sobre Ax2 destacan % limo y estabilidad de agregados como rasgos que diferencian adicionalmente a las muestras. Estos patrones son consistentes con la fuerte co-estructura cuantificada por la co-inercia ($Ax1 = 85.1\%$ de la inercia proyectada; acumulado $Ax1+Ax2 = 92.1\%$; Anexo 61) y con el coeficiente $RV = 0.383$ (Anexo 62).

En términos de manejo, las flechas que terminan en el sector de MO–CO–N–porosidad representan las áreas de La Montañita y Pastos y Forrajes, porque son sitios donde la menor perturbación y el aporte continuo de residuos favorecen la calidad físicoquímica como la macrofauna. En comparación, las flechas que desembocan hacia densidad aparente y densidad real reflejan las condiciones de Granos y Cereales y parte de Cultivos Industriales, compatibles con labranza y agroquímicos utilizados en el sitio, lo que aumentan la compactación y reducen la diversidad biológica del suelo.

En conjunto, la dirección y longitud de las flechas corroboran que las diferencias en macrofauna y en propiedades físico-químicas no son independientes, sino concordantes, reforzando el uso integrado de ambos conjuntos de variables para evaluar la salud del suelo.

6.5.3. Prueba de significancia del análisis de co-inercia

El análisis de co-inercia permite la evaluación de las relaciones entre la macrofauna y las propiedades fisicoquímicas del suelo mediante la comparación de los valores observados con distribuciones simuladas. Para eso se aplicó una prueba de permutación de tipo Monte Carlo con 999 reordenamientos, lo que facilita determinar si la coestructura identificada entre ambos conjuntos de variables es estadísticamente significativa (Figura 15)

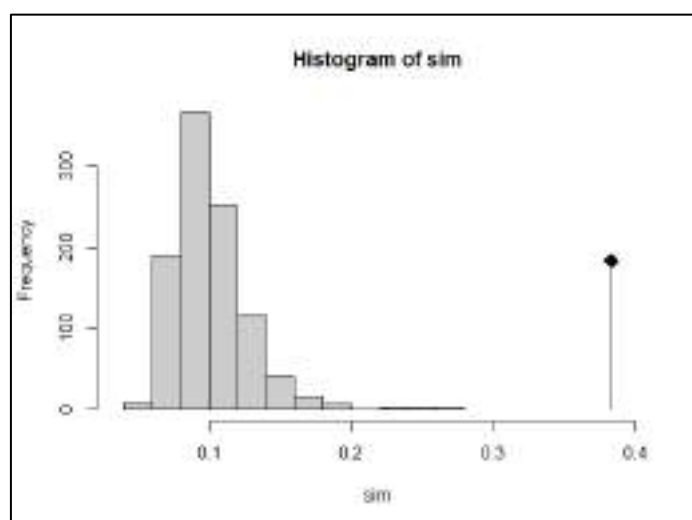


Figura 15. Histograma del test de permutación (Monte Carlo) con el valor observado (RV = 0.383) superior al esperado por azar.

El valor observado (0.383) fue claramente superior a la expectativa teórica (0.100) y a la varianza de las permutaciones (0.00065), con un valor de $p = 0.001$ basado en 999 simulaciones (Anexo 63). Esto demuestra que la co-estructura encontrada entre la macrofauna edáfica y las variables físico-químicas no es producto del azar, sino una asociación estadísticamente significativa.

Este resultado confirma que las diferencias en las comunidades de macrofauna se corresponden estrechamente con las propiedades edáficas medidas. En los sistemas

intensivos (granos y cereales, cultivos industriales), el acoplamiento se da en torno a suelos compactados y con baja materia orgánica, mientras que en los sistemas menos perturbados (pastos y La Montañita), la co-estructura refleja suelos con mayor fertilidad, estabilidad y diversidad biológica.

La significancia estadística valida que la macrofauna puede usarse de forma confiable como un indicador biológico complementario de la calidad físico-química del suelo. La integración de ambos conjuntos de variables permite evaluar de manera más robusta la salud del suelo bajo distintos sistemas de manejo.

VII. CONCLUSIONES

La composición y diversidad de la macrofauna edáfica reflejaron de manera directa el tipo de uso y manejo del suelo en las áreas evaluadas. Los sistemas agrícolas intensivos (granos y cereales, cultivos industriales y pastos y forrajes) mostraron una reducción en la riqueza taxonómica y dominancia de grupos tolerantes, mientras que el área de conservación (La Montañita) mantuvo la mayor diversidad y abundancia de organismos.

La relación entre macrofauna y propiedades físico-químicas del suelo evidenció que suelos con mayor contenido de materia orgánica, menor compactación y mejor porosidad favorecen comunidades edáficas más diversas y funcionales, mientras que las prácticas de labranza mecanizada, uso de agroquímicos y pérdida de cobertura reducen estos indicadores.

En síntesis, la macrofauna edáfica se confirmó como un indicador confiable de la salud del suelo, ya que su abundancia, riqueza y composición responden al manejo agrícola y permiten distinguir entre suelos degradados y suelos con mejor equilibrio ecológico. Estos resultados refuerzan la necesidad de promover prácticas agrícolas sostenibles que conserven la biodiversidad del suelo y fortalezcan la resiliencia de los agroecosistemas.

VIII. RECOMENDACIONES

Optimizar las herramientas de muestreo empleadas en el método Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), utilizando equipos más especializados y adaptados para la extracción y manejo de monolitos, con el fin de mejorar la eficiencia, reducir el riesgo de daño a las muestras y estandarizar el proceso de recolección.

Considerar estudios focalizados en un solo tipo de área de manejo en futuras investigaciones, lo que permitiría profundizar en la caracterización de las comunidades de macrofauna y aumentar la precisión de la relación entre las variables biológicas y fisicoquímicas.

Complementar el análisis de la macrofauna con un estudio de morfología de suelo, para evaluar los agregados biogénicos, físicos y de raíz, para poder obtener un diagnóstico más integral del estado de la salud del suelo

Realizar el muestro a nivel de paisaje y no solo por uso de suelos, con la finalidad de poder tener un visión más completo de la diversidad y dinámica de la macrofauna.

Incrementar la cobertura vegetal en áreas de manejo intensivo como Granos y Cereales y Cultivos Industriales, implementando cultivos de cobertura, sistemas agroforestales y rotación de cultivos, con el objetivo de mejorar la calidad estructural del suelo y favorecer la biodiversidad edáfica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*. (en línea). 64(2), 269-285. Consultado el 6 de noviembre de 2024. Disponible en: [Barrios_SoilBiotaEcosystemServicesandLandProductivity.pdf](#)

Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., ... Brun, J. J. (2013). *A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services*. *European Journal of Soil Science*. Consultado el 6 de noviembre de 2024. (en línea). Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>

Cabrera, G. 2012. *La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba*. Consultado el 5 de noviembre de 2024. (en línea). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269125514007.pdf>.

Cabrera, G. 2014. *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en cuba*. Consultado el 6 de noviembre de 2024. (en línea). The Rufford Foundation. Disponible en: https://ruffordorg.s3.amazonaws.com/media/project_reports/Manual%20Pr%C3%A1ctico%20Sobre%20la%20Macrofauna%20del%20Suelo.pdf.

Cammeraat, E. L. H., & Risch, A. C. (2008). *The impact of ants on mineral soil properties and processes at different spatial scales*. *Journal of Applied Entomology*. Consultado el 6 de noviembre de 2024. (en línea). Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01281.x>

Ceballos, C. Mischis, A, Catalina. 2007. Técnicas de nuestro de fauna edáfica para ser usadas en trabajos prácticos de campo. (en línea). Revista de Educación En Biología. Consultado el 7 de noviembre de 2024. Disponible en: [admin,+Journal+manager,+23357-66812-1-CE \(1\).pdf](#)

Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., y Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141–157. Disponible en: <https://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/524>

Dávila, de la C., C, Grisel. 2019. *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba*. Consultado el 6 de noviembre de 2024. (en línea). RUA. Disponible en <http://hdl.handle.net/10045/88889>.

Decaëns, T.; Jiménez, J. J.; Gioia, C.; Measey, G. J.; Lavelle, P. 2004. The values of soil animals for conservation biology. (en línea). *European Journal of Soil Biology*, 40(3-4), 151-162. Consultado el 8 de noviembre de 2024. Disponible en: [The values of soil animals for conservat.pdf](#)

Hurtado Lugo, E. V. (2024). (en línea) A global indicator of soil macroinvertebrate community composition, abundance and diversity. Palmira, Colombia. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/377038310_A_global_indicator_of_soil_macroinvertebrate_community_composition_abundance_and_diversity

FAO. 2015. *Los Suelos Sanos Son La Base para la Producción de alimentos*. Consultado el 30 octubre de 2024. (en línea). Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/docs/ES/ES_Print_IYS_food.pdf

FAO. 2024. *Portal de suelos de la FAO*. Consultado el 5 de noviembre de 2024. (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>.

FAO. (2022). *World Reference Base for Soil Resources 2022: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (4th ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado el 6 de noviembre de 2024. (en línea). Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cb8234en>

Jouquet, P., Traoré, S., Choosai, C., Hartmann, C., & Bignell, D. (2011). *Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites*. Consultado

el 6 de noviembre de 2024. (en línea). European Journal of Soil. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.05.005>

Juárez, D. Fragoso, C. 2014. *Comunidades de lombrices de tierra en sistemas agroforestales intercalados, en dos regiones del centro de México*. Consultado el 6 de noviembre de 2024. (en línea). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S006517372014000300013

Lavelle, P.; Decaëns, T.; Aubert, M.; Barot, S.; Blouin, M.; Bureau, F.; Margerie, P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*. (en línea). 42, S3-S15. Consultado el 8 de noviembre de 2024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222429601_Soil_Invertebrates_and_Ecosystem_Services

Lavelle, P; Spain, AV. 2002. Soil Ecology. (en línea). s.l., s.e. Consultado el 8 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/0-306-48162-6>.

Maeder, P; Fliessbach, A; Dubois, D; Gunst, L; Fried, P; Niggli, U. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. (en línea). *Science* 296(5573):1694-1697. Consultado el 6 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.1071148>.

Muerza, ÁF. 2023. ¿Cómo afecta el cambio climático a la fauna y a la pérdida de biodiversidad? (en línea, sitio web). Consultado el 6 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://hablandoenvidrio.com/como-afecta-el-cambio-climatico-a-la-fauna-y-a-la-perdida-de-biodiversidad/>.

Ramírez, W. 2012. *Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso*. Consultado el 5 de noviembre de 2024. (en línea). Estación Experimental de Pastos y Forrajes. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n2/pyf01212.pdf>.

Raymond, E. Métodos de análisis del suelo. (en línea, sitio web). Consultado el 7 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://www.berger.ca/es/recursos-para-los-productores/tips-y-consejos-practicos/metodos-de-analisis-del-suelo/>.

Restrepo, C. 2017. *Determinación de indicadores de calidad del suelo para la producción cafetera en algunos municipios de Antioquia*. Consultado el 5 de noviembre de 2024. (en línea). Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78845/15265377.2017.pdf?sequence=4>.

Royero, S. 2019. *Macrofauna edáfica y características físicas y químicas del suelo en áreas con diferentes sistemas de manejo en el Departamento del Atlántico, Colombia*. Consultado el 6 de noviembre de 2024. (en línea). Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: https://ruffordorg.s3.amazonaws.com/media/project_reports/Manual%20Pr%C3%A1ctico%20Sobre%20la%20Macrofauna%20del%20Suelo.pdf

Six, J; Frey, SD; Thiet, RK; Batten, KM. 2006. Bacterial and Fungal Contributions to Carbon Sequestration in Agroecosystems (en línea). Soil Science Society Of America Journal 70(2):555-569. Consultado el 6 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>.

Stella Zerbino, M. 2010. *Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivos-pasturas con laboreo convencional*. (en línea). Acta Zoológica Mexicana. Consultado el 7 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v26nspe2/v26nspe2a14.pdf>.

Triana, S. 2015. *La macrofauna del suelo como indicadora de degradación de bosques ribereños en la Amazonia oriental brasilera*. (en línea). Revista de la Facultad de Agronomía, la Plata 114. Consultado el 7 de noviembre de 2024. Disponible en: <file:///C:/Users/jemej/Downloads/Dialnet-LaMacrofaunaDelSueloComoIndicadoraDeDegradacionDeB-5718198.pdf>

Zerbino, S.; Altier, N.; Morón, A. y Rodríguez, C. 2008. *Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo*. Consultado el 6 de noviembre de 2024. (en línea). AGROCIENCIA 12. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/234117774_Evaluacion_de_la_macrofauna_d_el_suelo_en_sistemas_de_produccion_en_siembra_directa_y_con_pastoreo/link/568a562b08ae051f9afa433d/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19.

ANEXOS

Anexo 1. Herramientas utilizadas en la investigación (cuadrante, bandeja, pinzas y frascos).



Anexo 2. Extracción de monolito en el área de Granos y Cereales.



Anexo 3. Extracción de monolito en el área de Cultivos Industriales.



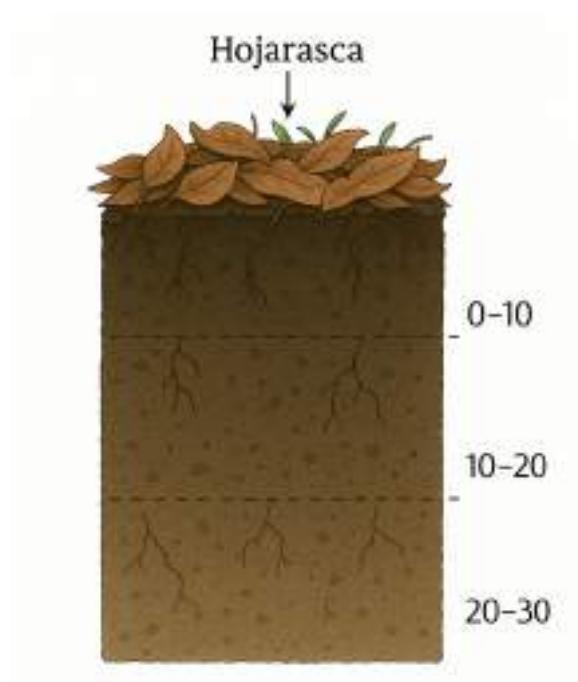
Anexo 4. Extracción de monolito en el área de Pastos y Forrajes.



Anexo 5. Extracción de monolito en el área de SIPSV La Montañita.



Anexo 6. Monolito de suelo con sus divisiones.



Anexo 7. Extracción de la macrofauna y submuestras para análisis fisicoquímicos.



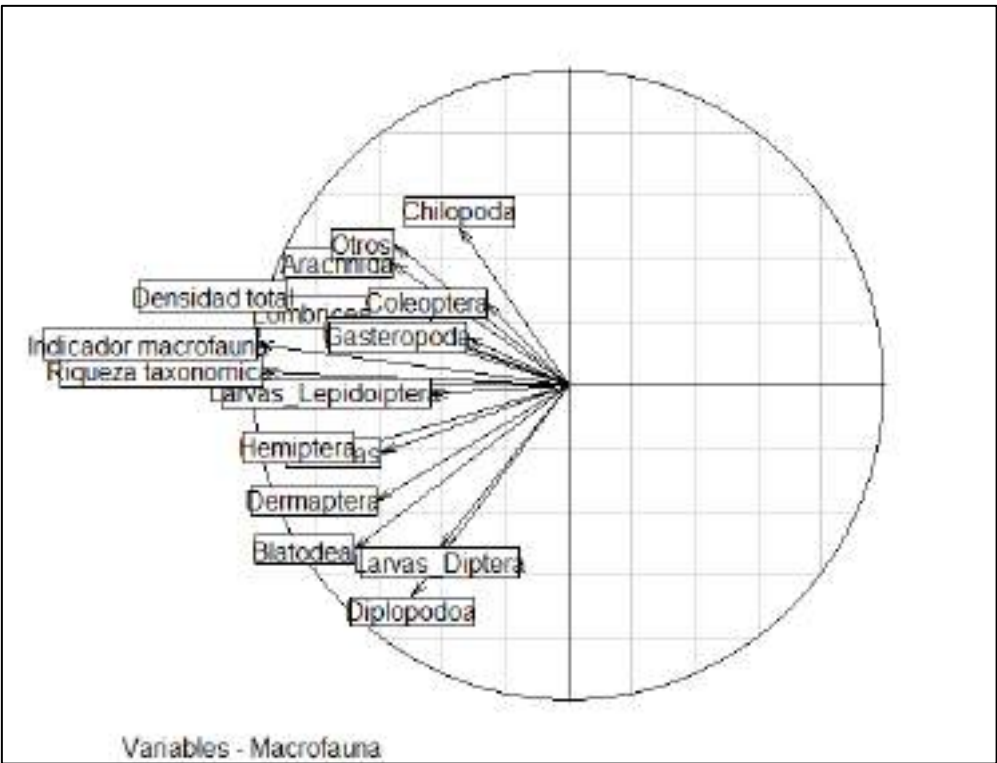
Anexo 8. Análisis de respiración basal y pH, realizados en el laboratorio de suelos de la UNAG.



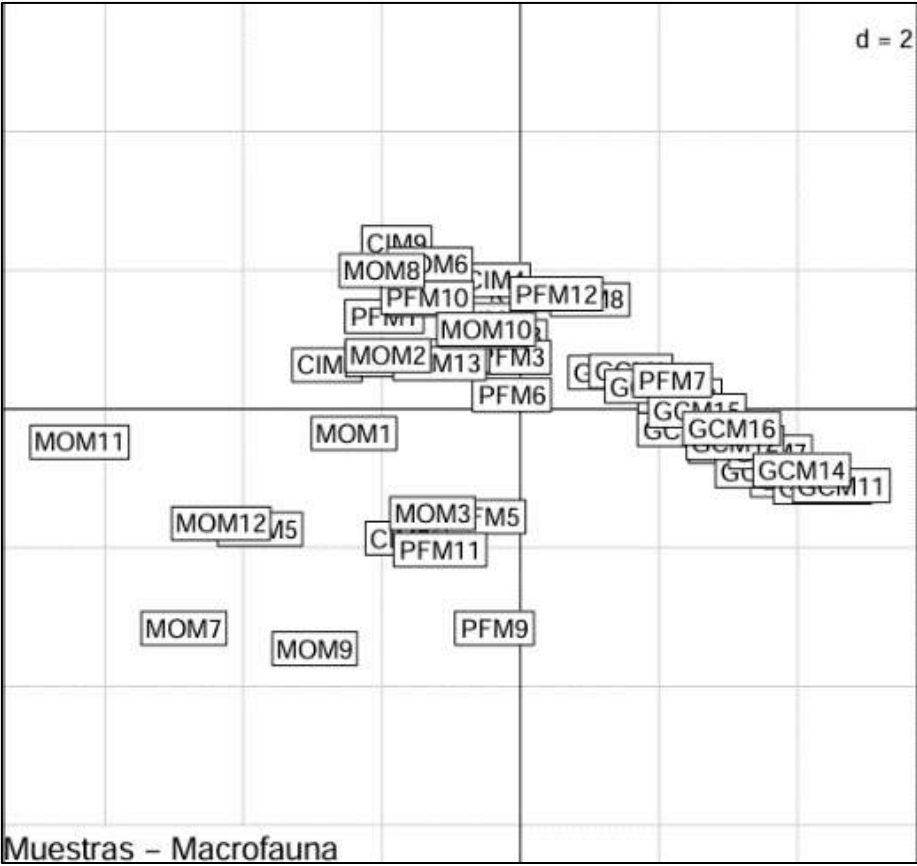
Anexo 9. Análisis de materia orgánica y humedad, realizados en el laboratorio de suelos de la UNAG.



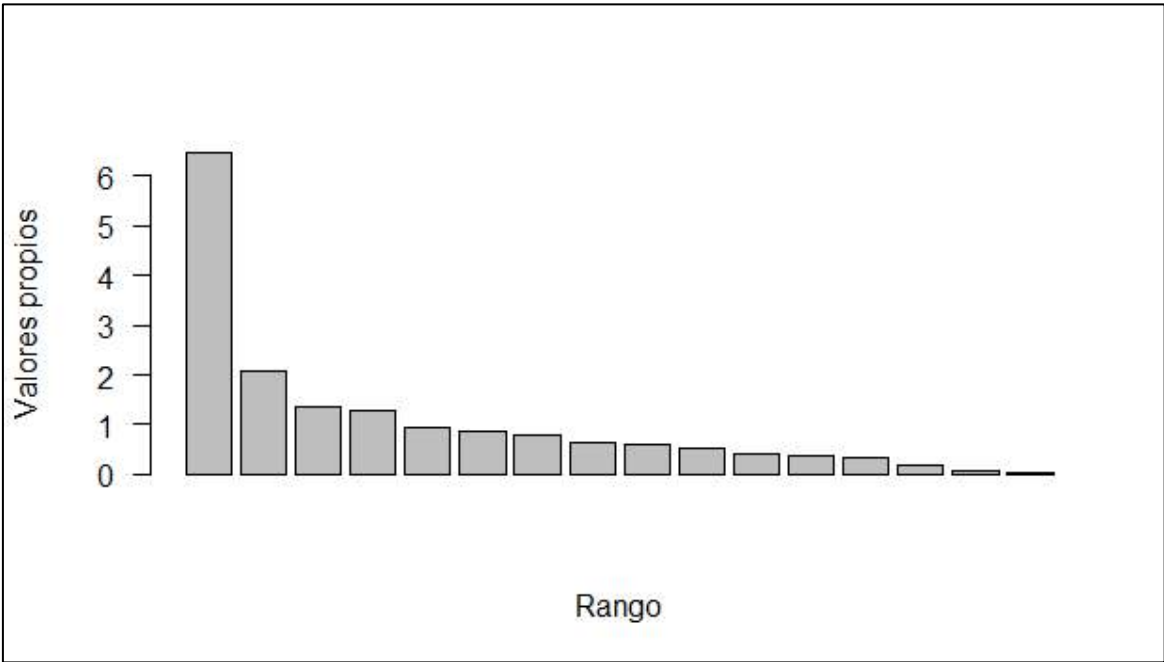
Anexo 10. Análisis de componentes principales (PCA) de variables de macrofauna.



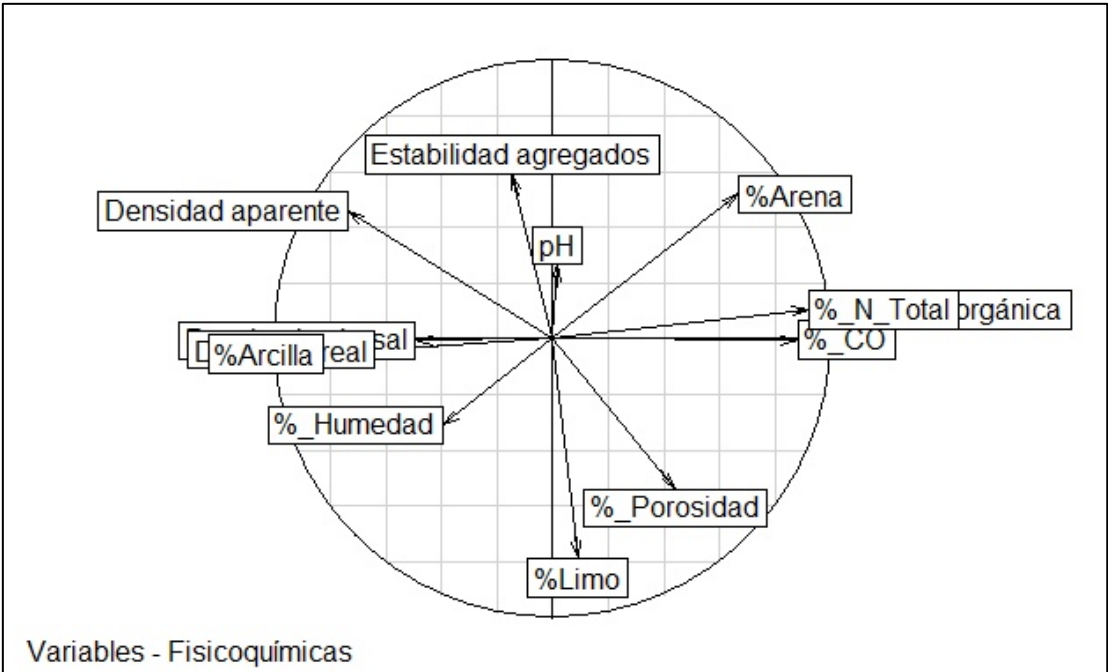
Anexo 11. Distribución de Muestras según la Composición de Macrofauna Edáfica.



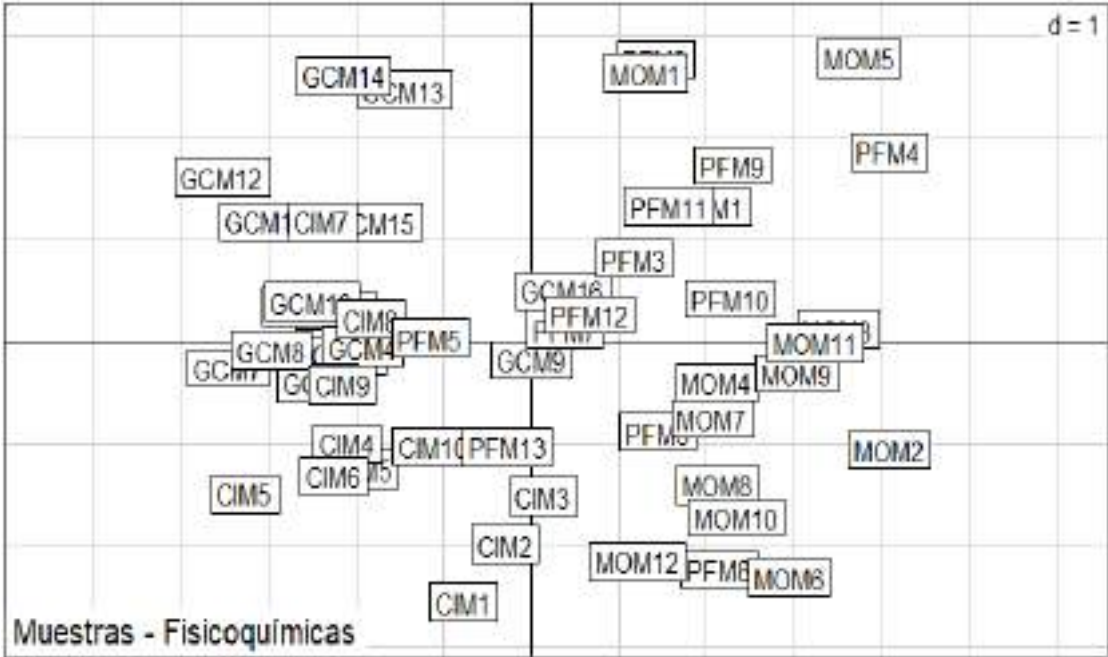
Anexo 12. Gráfico de sedimentación del análisis PCA de macrofauna.



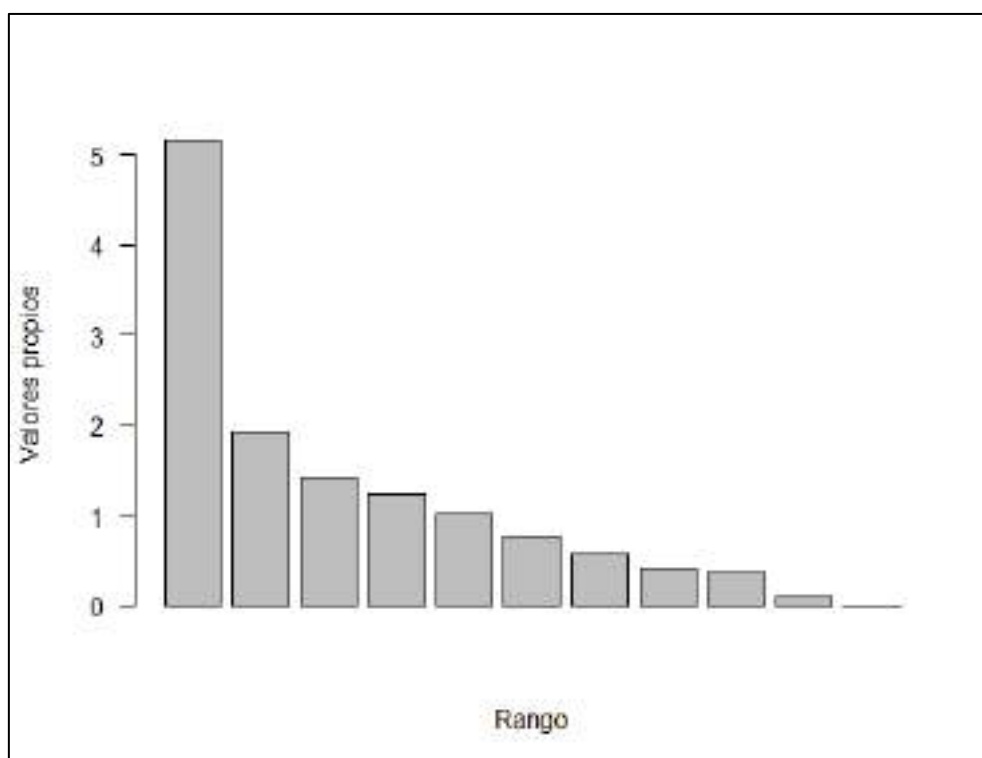
Anexo 13. Análisis de Componentes Principales de las Variables Fisicoquímicas.



Anexo 14. Distribución de Muestras según Variables Fisicoquímicas.



Anexo 15. Gráfico de sedimentación del PCA de variables fisicoquímicas.



Anexo 16. Composición, abundancia y cálculo de indicador de la macrofauna por muestra en el área de Granos y Cereales

Muestra	Lombrices	Hormigas	Termitas	Blatodea	Coleoptera	Arachnida	Diplopoda	Chilopoda	Larvas de Diptera	Hemiptera	Dermaptera	Larvas de Lepidoptera	Gasteropoda	Otros	Densidad total	Riqueza taxonomica
M#	EW	AN	TE	BL	CO	AR	DO	CH	DL	HM	DR	LE	GA	OT	DN	TR
M1	0	13	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	15	3
M2	2	12	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	1	0	19	5
M3	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	2
M4	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	4	2
M5	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	3
M6	2	22	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	25	3
M7	4	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	7	2
M8	1	7	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	12	3
M9	3	10	0	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	20	4
M10	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	2
M11	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	2
M12	1	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	7	3
M13	2	7	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	15	4
M14	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	6	2
M15	1	1	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	8	4
M16	0	3	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1	0	10	3

M#	EW	AN	TE	BL	CO	AR	DO	CH	DL	HM	DR	LE	GA	OT	DN	TR	Indicador
M1	0.0000	39.0481	0.0000	0.0000	24.1414	0.0000	0.0000	24.7566	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	58.9311	47.1227	0.3716
M2	27.7888	38.4659	0.0000	0.0000	24.1414	0.0000	0.0000	34.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	18.5552	0.0000	61.4616	53.2086	0.4607
M3	33.1763	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.7566	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	47.2159	42.3362	0.3065
M4	22.5172	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	34.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	44.8515	42.3362	0.3012
M5	22.5172	28.4460	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.7566	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	47.2159	47.1227	0.3381
M6	27.7888	42.8790	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.7566	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	64.4018	47.1227	0.3897
M7	33.1763	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	34.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	50.7932	42.3362	0.3244
M8	22.5172	34.5533	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	34.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.3875	56.5447	47.1227	0.4068
M9	30.9306	37.1409	0.0000	0.0000	29.7932	0.0000	0.0000	38.3987	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	62.0109	50.5440	0.4483
M10	0.0000	25.5566	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	30.5525	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	44.8515	42.3362	0.3006
M11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.1414	0.0000	0.0000	30.5525	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	41.8155	42.3362	0.2944
M12	22.5172	28.4460	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	34.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	50.7932	47.1227	0.3560
M13	27.7888	34.5533	0.0000	0.0000	24.1414	0.0000	0.0000	38.3987	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	58.9311	50.5440	0.4281
M14	0.0000	28.4460	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	34.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	49.1527	42.3362	0.3155
M15	22.5172	20.7085	0.0000	0.0000	29.7932	0.0000	0.0000	36.4758	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	52.2160	50.5440	0.3972
M16	0.0000	28.4460	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	39.9738	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	18.5552	0.0000	54.5969	47.1227	0.3642

Anexo 17. Composición, abundancia y cálculo de indicador de la macrofauna por muestra en el área de Cultivos Industriales

Muestra	Lombrices	Hormigas	Termitas	Blatodea	Coleoptera	Arachnida	Diplopoda	Chilopoda	Larvas de Diptera	Hemiptera	Dermaptera	Larvas de Lepidoptera	Gasteropoda	Otros	Densidad total	Riqueza taxonomica
M#	EW	AN	TE	BL	CO	AR	DO	CH	DL	HM	DR	LE	GA	OT	DN	TR
M1	7	13	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	1	8	37	5
M2	9	3	0	0	0	0	0	69	0	5	0	0	1	3	90	6
M3	15	0	0	0	1	1	0	30	0	0	2	0	0	0	49	6
M4	12	6	0	0	0	2	0	5	0	0	0	0	1	2	28	7
M5	3	26	3	1	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	38	9
M6	7	5	0	0	0	2	0	8	0	0	1	0	0	3	26	7
M7	2	8	10	1	0	1	1	13	1	0	0	0	0	0	37	9
M8	1	20	0	2	1	2	0	11	0	3	2	0	0	7	49	10
M9	3	33	15	0	1	2	0	25	0	0	0	0	0	3	82	8
M10	4	10	0	1	0	1	0	26	0	1	0	1	1	0	45	9

M#	EW	AN	TE	BL	CO	AR	DO	CH	DL	HM	DR	LE	GA	OT	DN	TR	Indicador
M1	37.5713355	39.048062	0	0	0	0	0	42.465065	0	0	0	0	18.5551697	41.8318881	68.6053731	53.2085623	0.52179964
M2	39.5530344	28.446	0	0	0	0	0	61.232449	0	21.5467959	0	0	18.5551697	33.4996863	78.1453469	55.391196	0.57091755
M3	43.5909119	0	0	0	24.1414078	18.5674742	0	53.9647589	0	0	11.5103357	0	0	0	71.6190753	55.391196	0.49029922
M4	41.8256988	33.4373683	0	0	0	22.9143754	0	38.3987186	0	0	0	0	18.5551697	30.0969463	65.6165745	57.239827	0.53131855
M5	30.9305883	44.0968898	15.5498039	9.46215221	29.7932435	18.5674742	0	0	0	13.8917683	9.32680282	0	0	0	68.8914318	60.2589399	0.52107673
M6	37.5713355	32.1198029	0	0	0	22.9143754	0	42.465065	0	0	9.32680282	0	0	33.4996863	64.822166	57.239827	0.51994269
M7	27.7888051	35.5212248	20.3027981	9.46215221	0	18.5674742	23.1078307	46.6813433	20.0686219	0	0	0	0	0	68.6053731	60.2589399	0.56251039
M8	22.5172153	42.1844797	0	11.6773722	24.1414078	22.9143754	0	45.2292221	0	19.0823137	11.5103357	0	0	40.6920147	71.6190753	61.5263054	0.62233176
M9	30.9305883	45.835759	21.9145568	0	24.1414078	22.9143754	0	52.3752648	0	0	0	0	0	33.4996863	77.1458693	58.8432411	0.61464105
M10	33.1763144	37.1408795	0	9.46215221	0	18.5674742	0	52.7171374	0	13.8917683	0	11.2586076	18.5551697	0	70.7053184	60.2589399	0.55602727

Anexo 18. Composición, abundancia y cálculo de indicador de la macrofauna por muestra en el área de Pastos y Forrajes

Muestra	Lombrices	Hormigas	Termitas	Blatodea	Coleoptera	Arachnida	Diplopoda	Chilopoda	Larvas de Diptera	Hemiptera	Dermaptera	Larvas de Lepidoptera	Gasteropoda	Otros	Densidad total	Riqueza taxonomica
M#	EW	AN	TE	BL	CO	AR	DO	CH	DL	HM	DR	LE	GA	OT	DN	TR
M1	16	23	0	1	1	2	0	8	0	1	0	0	0	1	53	8
M2	2	6	5	0	0	2	0	23	0	2	0	0	0	4	44	7
M3	4	0	0	0	0	1	0	17	0	1	1	0	0	2	26	6
M4	3	6	16	0	1	1	0	11	0	3	0	0	0	0	41	7
M5	3	5	0	2	0	0	1	4	0	1	0	0	0	1	17	7
M6	5	8	6	0	1	0	0	12	0	0	1	0	0	0	33	6
M7	0	5	0	0	3	1	0	4	0	0	0	0	0	0	13	4
M8	1	0	0	0	2	2	0	10	0	0	0	0	0	3	18	5
M9	1	0	10	1	0	0	1	3	0	2	1	0	0	0	19	7
M10	4	5	6	0	18	0	0	14	0	1	0	0	0	4	52	7
M11	5	0	0	1	1	0	3	22	0	1	2	0	0	0	35	7
M12	3	5	0	0	2	0	0	17	0	0	0	0	0	3	30	5
M13	4	25	8	1	1	0	0	14	0	0	0	0	0	1	54	7

M#	EW	AN	TE	BL	CO	AR	DO	CH	DL	HM	DR	LE	GA	OT	DN	TR	Indicador
M1	44.1017762	43.2030537	0	9.46215221	24.1414078	22.9143754	0	42.465065	0	13.8917683	0	0	0	24.3874976	72.4611763	58.8432411	0.59822012
M2	27.7888051	33.4373683	17.5580622	0	0	22.9143754	0	51.6485705	0	17.1440224	0	0	0	35.9319427	70.4641988	57.239827	0.56777804
M3	33.1763144	0	0	0	0	18.5674742	0	49.0155925	0	13.8917683	9.32680282	0	0	30.0969463	64.822166	55.391196	0.48400356
M4	30.9305883	33.4373683	22.1713847	0	24.1414078	18.5674742	0	45.2292221	0	19.0823137	0	0	0	69.7065672	57.239827	0.54870861	
M5	30.9305883	32.1198029	0	11.6773722	0	0	23.1078307	36.4758167	0	13.8917683	0	0	0	24.3874976	60.2706639	57.239827	0.50614163
M6	34.9252758	35.5212248	18.2783	0	24.1414078	0	0	45.9854131	0	0	9.32680282	0	0	0	67.3782933	55.391196	0.50732708
M7	0	32.1198029	0	0	33.1616471	18.5674742	0	36.4758167	0	0	0	0	0	0	57.4004191	50.5440244	0.41957686
M8	22.5172153	0	0	0	29.7932435	22.9143754	0	44.4013366	0	0	0	0	0	33.4996863	60.8826126	53.2085623	0.47410384
M9	22.5172153	0	20.3027981	9.46215221	0	0	23.1078307	34.0067451	0	17.1440224	9.32680282	0	0	0	61.461578	57.239827	0.45639656
M10	33.1763144	32.1198029	18.2783	0	48.2828157	0	0	47.3259123	0	13.8917683	0	0	0	35.9319427	72.2567573	57.239827	0.60190482
M11	34.9252758	0	0	9.46215221	24.1414078	0	31.7418824	51.2612271	0	13.8917683	11.5103357	0	0	0	68.0093412	57.239827	0.5230565
M12	30.9305883	32.1198029	0	0	29.7932435	0	0	49.0155925	0	0	0	0	0	33.4996863	66.3562692	53.2085623	0.51289324
M13	33.1763144	43.8109198	19.4174253	9.46215221	24.1414078	0	0	47.3259123	0	0	0	0	0	24.3874976	72.6617785	57.239827	0.56427253

Anexo 19. Composición, abundancia y cálculo de indicador de la macrofauna por muestra en el área de SIPVS La Montaña

Muestra	Lombrices	Hormigas	Termitas	Blatodea	Coleoptera	Arachnida	Diplopoda	Chilopoda	Larvas de Diptera	Hemiptera	Dermaptera	Larvas de Lepidoptera	Gasteropoda	Otros	Densidad total	Riqueza taxonomica
M#	EW	AN	TE	BL	CO	AR	DO	CH	DL	HM	DR	LE	GA	OT	DN	TR
M1	2	7	8	1	3	1	0	1	0	3	1	0	0	3	30	10
M2	7	4	23	1	1	2	0	2	0	0	0	0	1	1	42	9
M3	4	5	3	1	0	0	1	6	0	0	1	0	0	2	23	8
M4	1	20	0	0	1	1	0	6	0	3	0	0	2	0	34	7
M5	10	16	18	2	1	0	2	5	0	2	3	0	0	2	61	10
M6	12	8	0	0	3	2	0	13	0	0	1	0	0	3	42	7
M7	4	20	12	1	0	1	3	3	3	2	2	1	0	1	53	12
M8	2	5	0	0	1	2	0	5	0	1	0	2	1	10	29	9
M9	3	18	0	1	3	0	2	1	5	3	1	0	2	0	39	10
M10	6	5	0	0	4	1	0	6	0	0	1	0	2	0	25	7
M11	12	9	14	3	3	2	3	23	0	2	4	2	1	3	81	13
M12	5	8	8	1	0	1	0	7	5	5	7	0	2	1	50	11

M#	EW	AN	TE	BL	CO	AR	DO	CH	DL	HM	DR	LE	GA	OT	DN	TR	Indicador
M1	27.7888051	34.5533102	19.4174253	9.46215221	33.1616471	18.5674742	0	24.7566323	0	19.0823137	9.32680282	0	0	33.4996863	66.3562692	61.5263054	0.60049835
M2	37.5713355	30.5113318	23.6166426	9.46215221	24.1414078	22.9143754	0	30.5525005	0	0	0	0	18.5551697	24.3874976	69.9650927	60.2589399	0.59271102
M3	33.1763144	32.1198029	15.5498039	9.46215221	0	0	23.1078307	39.9738473	0	0	9.32680282	0	0	30.0969463	63.5082323	58.8432411	0.54123096
M4	22.5172153	42.1844797	0	0	24.1414078	18.5674742	0	39.9738473	0	19.0823137	0	0	22.8991902	0	67.6984495	57.239827	0.54002589
M5	40.3849135	40.5591745	22.6402602	11.6773722	24.1414078	0	28.5176918	38.3987186	0	17.1440224	12.8116863	0	0	30.0969463	73.9699915	61.5263054	0.66261589
M6	41.8256988	35.5212248	0	0	33.1616471	22.9143754	0	46.6813433	0	0	9.32680282	0	0	33.4996863	69.9650927	57.239827	0.59018998
M7	33.1763144	42.1844797	21.0271272	9.46215221	0	18.5674742	31.7418824	34.0067451	27.5670981	17.1440224	11.5103357	11.2586076	0	24.3874976	72.4611763	63.7213378	0.68550275
M8	27.7888051	32.1198029	0	0	24.1414078	22.9143754	0	38.3987186	0	13.8917683	0	13.8944025	18.5551697	43.7392889	65.9927861	60.2589399	0.60637365
M9	30.9305883	41.4169107	0	9.46215221	33.1616471	0	28.5176918	24.7566323	31.1273907	19.0823137	9.32680282	0	22.8991902	0	69.1700716	61.5263054	0.63392878
M10	36.3579227	32.1198029	0	0	35.5693601	18.5674742	0	39.9738473	0	0	9.32680282	0	22.8991902	0	64.4017918	57.239827	0.54303843
M11	41.8256988	36.3758235	21.6400792	12.9976079	33.1616471	22.9143754	31.7418824	51.6485705	0	17.1440224	13.7418832	13.8944025	18.5551697	33.4996863	77.014135	64.6856785	0.78717693
M12	34.9252758	35.5212248	19.4174253	9.46215221	0	18.5674742	0	41.3079383	31.1273907	21.5467959	15.5623346	0	22.8991902	24.3874976	71.8358684	62.6734947	0.67292769

Anexo 20. Calculo de análisis de % humedad del área Granos y Cereales.

# Muestra	# Laboratorio	Peso húmedo + cilindro	Peso seco + cilindro	peso del cilindro	Peso húmedo	Peso seco	% de humedad
M1	176	312.56	268.64	71.8	240.76	196.84	22.31
M2	177	348.28	297.37	77.63	270.65	219.74	23.17
M3	178	329.03	278.65	75.23	253.8	203.42	24.77
M4	179	330.57	280.67	73.37	257.2	207.3	24.07
M5	180	326.66	277.8	75.3	251.36	202.5	24.13
M6	181	338.53	290.12	75.92	262.61	214.2	22.60
M7	182	337.33	280.47	76.08	261.25	204.39	27.82
M8	183	342.71	280.81	73.28	269.43	207.53	29.83
M9	198	293.57	248.64	74.88	218.69	173.76	25.86
M10	215	338.73	297.89	79.39	259.34	218.5	18.69
M11	216	333.61	300.39	74.05	259.56	226.34	14.68
M12	217	337.43	295.5	73.45	263.98	222.05	18.88
M13	371	335.57	304.3	76.3	259.27	228	13.71
M14	372	343.1	310.19	77.89	265.21	232.3	14.17
M15	373	292.64	276.01	75.44	217.2	200.57	8.29
M16	374	285.71	268.94	76.11	209.6	192.83	8.70

Anexo 21. Calculo de análisis de % humedad del área Cultivos Industriales.

# Muestra	# laboratorio	Peso húmedo + cilindro	Peso seco + cilindro	Peso del cilindro	Peso húmedo	Peso seco	% de humedad
M1	199	302.06	258.41	71.29	230.77	187.1 2	23.33
M2	200	322.41	270.9	75.24	247.17	195.6 6	26.33
M3	207	312.02	270.42	77.74	234.28	192.6 8	21.59
M4	208	301.5	275.03	74.05	227.45	200.9 8	13.17
M5	209	325.6	274.25	73.49	252.11	200.7 6	25.58
M6	210	323.9	280.49	76.22	247.68	204.2 7	21.25
M7	211	333.51	293.09	76.01	257.5	217.0 8	18.62
M8	212	313.01	271.71	71.87	241.14	199.8 4	20.67
M9	213	315.9	262.6	74.87	241.03	187.7 3	28.39
M10	214	311.74	261.46	75.31	236.43	186.1 5	27.01

Anexo 22. Calculo del análisis de % humedad del área Pastos y Forrajes.

# Muestra	# Laboratorio	Peso húmedo + cilindro	Peso seco + cilindro	peso del cilindro	Peso húmedo	Peso seco	% de humedad
M1	339	292.94	266.23	76.23	216.71	190	14.06
M2	340	323.44	280.11	75.33	248.11	204.78	21.16
M3	341	301.56	267.63	77.35	224.21	190.28	17.83
M4	342	293.9	250.59	73.7	220.2	176.89	24.48
M5	343	323.66	273.36	75.37	248.29	197.99	25.41
M6	344	274.36	246.11	74.85	199.51	171.26	16.50
M7	345	295.06	263.61	73.28	221.78	190.33	16.52
M8	346	283.85	239.39	73.2	210.65	166.19	26.75
M9	347	289.75	261.58	73.45	216.3	188.13	14.97
M10	348	290.99	264.16	75.2	215.79	188.96	14.20
M11	349	274.62	263.7	74.72	199.9	188.98	5.78
M12	350	298.69	244.84	71.21	227.48	173.63	31.01
M13	351	323.19	263.06	76.16	247.03	186.9	32.17

Anexo 23. Calculo del análisis de % humedad SIPVS La Montañita.

# Muestra	# Laboratorio	Peso húmedo + cilindro	Peso seco + cilindro	peso del cilindro	Peso húmedo	Peso seco	% de humedad
M1	375	333.23	306.66	73.43	259.8	233.23	11.39
M2	376	257.34	229.15	74.48	182.86	154.67	18.23
M3	377	296.97	263.67	75.14	221.83	188.53	17.66
M4	378	267.73	241.61	71.53	196.2	170.08	15.36
M5	379	269.87	249.93	74.27	195.6	175.66	11.35
M6	380	258.37	241.63	73.15	185.22	168.48	9.94
M7	381	295.76	265.36	75.39	220.37	189.97	16.00
M8	382	250.52	239.33	73.74	176.78	165.59	6.76
M9	383	271.88	253.64	74.81	197.07	178.83	10.20
M10	384	299.44	267.56	77.7	221.74	189.86	16.79
M11	385	277.34	248.76	75.37	201.97	173.39	16.48
M12	386	282.79	251.3	76.28	206.51	175.02	17.99

Anexo 24. Calculo del análisis de respiración basal del área Granos y Cereales.

# Muestra	# Laboratorio	Peso de muestra	Volumen blanco	Volumen muestra	% Humedad	M	Peso seco	Respiración basa
M1	176	25	21	20.2	22.31	0.5	19.42	123.57
M2	177	25	21	20.9	23.17	0.5	19.21	15.62
M3	178	25	21	20.8	24.77	0.5	18.81	31.90
M4	179	25	21	20.7	24.07	0.5	18.98	47.41
M5	180	25	20.9	19	24.13	0.5	18.97	300.51
M6	181	25	20.9	20.6	22.6	0.5	19.35	46.51
M7	182	25	20.9	17.4	27.82	0.5	18.05	581.88
M8	183	25	20.9	17.1	29.83	0.5	17.54	649.85
M9	198	25	20.9	17.3	25.86	0.5	18.54	582.68
M10	215	25	20.7	17	18.69	0.5	20.33	546.06
M11	216	25	20.7	17.1	14.68	0.5	21.33	506.33
M12	217	25	20.7	17.3	18.88	0.5	20.28	502.96
M13	371	25	20.5	19.1	13.71	0.5	21.57	194.69
M14	372	25	20.5	18.4	14.17	0.5	21.46	293.60
M15	373	25	20.5	19	8.29	0.5	22.93	196.27
M16	374	25	20.5	19.1	8.7	0.5	22.83	184.01

Anexo 25. Calculo del análisis de respiración basal del área Cultivos Industriales.

# Muestra	# Laboratorio	Peso de muestra	Volumen blanco	Volumen muestra	% Humedad	M	Peso seco	Respiración basa
M1	199	25	20.2	17.3	23.33	0.5	19.17	453.89
M2	200	25	20.2	18.7	26.33	0.5	18.42	244.33
M3	207	25	20.2	17.2	21.59	0.5	19.60	459.13
M4	208	25	20.2	17.5	13.17	0.5	21.71	373.14
M5	209	25	20.2	18.7	25.58	0.5	18.61	241.87
M6	210	25	20.2	17.3	21.25	0.5	19.69	441.90
M7	211	25	20.6	17.3	18.62	0.5	20.35	486.61
M8	212	25	20.6	17.1	20.67	0.5	19.83	529.43
M9	213	25	20.6	18.3	28.39	0.5	17.90	385.42
M10	214	25	20.6	17	27.01	0.5	18.25	591.86

Anexo 26. Calculo del análisis de respiración basal del área Pastos y Forrajes.

# Muestra	# Laboratorio	Peso de muestra	Volumen blanco	Volumen muestra	% Humedad	M	Peso seco	Respiración basa
M1	339	25	22	20.7	14.06	0.5	21.49	181.52
M2	340	25	22	20.3	21.16	0.5	19.71	258.75
M3	341	25	22	20.2	17.83	0.5	20.54	262.87
M4	342	25	22	21	24.48	0.5	18.88	158.90
M5	343	25	22	20.4	25.41	0.5	18.65	257.41
M6	344	25	22	21	16.5	0.5	20.88	143.71
M7	345	25	22	20.8	16.52	0.5	20.87	172.50
M8	346	25	22	21.2	26.75	0.5	18.31	131.06
M9	347	25	22	20.4	14.97	0.5	21.26	225.80
M10	348	25	21.6	20.6	14.2	0.5	21.45	139.86
M11	349	25	21.6	19.5	5.78	0.5	23.56	267.46
M12	350	25	21.6	20.7	31.01	0.5	17.25	156.54
M13	351	25	21.6	20.9	32.17	0.5	16.96	123.84

Anexo 27. Calculo del análisis de respiración basal del área SIPVS La Montañita.

# Muestra	# Laboratorio	Peso de muestra	Volumen blanco	Volumen muestra	% Humedad	M	Peso seco	Respiración basa
M1	375	25	20.1	19.5	11.39	0.5	22.15	81.25
M2	376	25	20.1	19.6	18.23	0.5	20.44	73.38
M3	377	25	20.1	19	17.66	0.5	20.59	160.31
M4	378	25	20.1	19	15.36	0.5	21.16	155.95
M5	379	25	20.9	19.3	11.35	0.5	22.16	216.58
M6	380	25	20.9	20.7	9.94	0.5	22.52	26.65
M7	381	25	20.9	19.2	16	0.5	21.00	242.86
M8	382	25	20.9	19.9	6.76	0.5	23.31	128.70
M9	383	25	20.9	20.5	10.2	0.5	22.45	53.45
M10	384	25	20.9	19.9	16.79	0.5	20.80	144.21
M11	385	25	20.9	19.5	16.48	0.5	20.88	201.15
M12	386	25	20.9	19	17.99	0.5	20.50	278.01

Anexo 28. Calculo del análisis de densidad aparente del área Granos y Cereales.

# Muestra	# laboratorio	Peso del suelo seco + cilindro g	Peso de cilindro g	Volumen del cilindro cm3	Peso del suelo seco g	Densidad aparente g/cm3
M1	176	268.64	71.8	125.04	196.84	1.57
M2	177	297.37	77.63	133.28	219.74	1.65
M3	178	278.65	75.23	128.72	203.42	1.58
M4	179	280.67	73.37	131.46	207.3	1.58
M5	180	277.8	75.3	133.62	202.5	1.52
M6	181	290.12	75.92	131.26	214.2	1.63
M7	182	280.47	76.08	131.93	204.39	1.55
M8	183	280.81	73.28	127.97	207.53	1.62
M9	198	248.64	79.88	126.66	168.76	1.33
M10	215	297.89	79.39	133.62	218.5	1.64
M11	216	300.89	74.05	131.2	226.84	1.73
M12	217	295.5	73.44	130.8	222.06	1.70
M13	371	304.3	76.3	132.6	228	1.72
M14	372	310.19	77.89	134.3	232.3	1.73
M15	373	276.01	75.44	128.47	200.57	1.56
M16	374	268.94	76.11	131	192.83	1.47

Anexo 29. Calculo del análisis de densidad aparente del área Cultivos Industriales

# Muestra	# De laboratorio	Peso del suelo seco + cilindro g	Peso de cilindro g	Volumen del cilindro cm3	Peso del suelo seco g	Densidad aparente g/cm3
M1	199	258.41	71.29	122.89	187.12	1.52
M2	200	270.9	75.24	127.96	195.66	1.53
M3	207	270.42	77.74	136.37	192.68	1.41
M4	208	275.03	74.05	131.71	200.98	1.53
M5	209	274.26	73.49	131.46	200.77	1.53
M6	210	280.49	76.22	131.93	204.27	1.55
M7	211	293.09	76.01	132.34	217.08	1.64
M8	212	271.71	71.87	127.06	199.84	1.57
M9	213	262.6	74.87	130.59	187.73	1.44
M10	214	261.46	75.31	129.63	186.15	1.44

Anexo 30. Calculo del análisis de densidad aparente del área Patos y Forrajes.

# Muestra	# De laboratorio	Peso del suelo seco + cilindro g	Peso de cilindro g	Volumen del cilindro cm ³	Peso del suelo seco g	Densidad aparente g/cm ³
M1	339	266.23	76.23	132.6	190	1.43
M2	340	280.11	75.33	131.57	204.78	1.56
M3	341	267.63	77.35	134.3	190.28	1.42
M4	342	250.59	73.7	128.86	176.89	1.37
M5	343	273.36	75.37	128.47	197.99	1.54
M6	344	246.11	74.85	137.67	171.26	1.24
M7	345	263.61	73.28	126.24	190.33	1.51
M8	346	239.39	73.2	132.23	166.19	1.26
M9	347	261.58	73.45	129.9	188.13	1.45
M10	348	264.16	75.2	128.86	188.96	1.47
M11	349	263.7	74.72	131.71	188.98	1.43
M12	350	244.84	71.21	122.74	173.63	1.41
M13	351	263.06	76.16	131	186.9	1.43

Anexo 31. Calculo del análisis de densidad aparente del área SIPVS La Montañita.

# Muestra	# De laboratorio	Peso del suelo seco + cilindro g	Peso de cilindro g	Volumen del cilindro cm ³	Peso del suelo seco g	Densidad aparente g/cm ³
M1	375	306.66	73.43	132.23	233.23	1.76
M2	376	229.15	74.48	128.86	154.67	1.20
M3	377	263.67	75.14	131.71	188.53	1.43
M4	378	241.61	71.53	122.74	170.08	1.39
M5	379	249.93	74.27	129.9	175.66	1.35
M6	380	241.63	73.15	126.44	168.48	1.33
M7	381	265.36	75.39	131.57	189.97	1.44
M8	382	239.33	73.74	128.86	165.59	1.29
M9	383	253.64	74.81	137.69	178.83	1.30
M10	384	267.56	77.7	134.2	189.86	1.41
M11	385	248.76	75.37	128.47	173.39	1.35
M12	386	251.3	76.28	131	175.02	1.34

Anexo 32. Calculo del análisis de densidad real del área Granos y cereales.

# Laboratorio	Peso de la muestra g	Volumen del balón ml	Volumen agregado ml	Densidad real g/cm3
176	20	50	40.7	2.15
177	20	50	40.6	2.13
178	20	50	40.7	2.15
179	20	50	40.5	2.11
180	20	50	40.4	2.08
181	20	50	40.8	2.17
182	20	50	40.9	2.20
183	20	50	40.8	2.17
198	20	50	40.5	2.11
215	20	50	40.5	2.11
216	20	50	40.6	2.13
217	20	50	40.9	2.20
371	20	50	40.8	2.17
372	20	50	40.3	2.06
373	20	50	40.4	2.08
374	20	50	40.5	2.11

Anexo 33. Calculo del análisis de densidad real del área Cultivos Industriales.

# Laboratorio	Peso de la muestra g	Volumen del balón ml	Volumen agregado ml	Densidad real g/cm3
199	20	50	41	2.22
200	20	50	40.4	2.08
207	20	50	40.3	2.06
208	20	50	40.5	2.11
209	20	50	40.7	2.15
210	20	50	40.6	2.13
211	20	50	40.8	2.17
212	20	50	40.7	2.15
213	20	50	40.6	2.13
214	20	50	40.7	2.15

Anexo 34. Calculo del análisis de densidad real del área Pastos y Forrajes

# Laboratorio	Peso de la muestra g	Volumen del balón ml	Volumen agregado ml	Densidad real g/cm3
339	20	50	40.4	2.08
340	20	50	40.3	2.06
341	20	50	40.7	2.15
342	20	50	37.6	1.61
343	20	50	41	2.22
344	20	50	40.7	2.15
345	20	50	40.4	2.08
346	20	50	39.8	1.96
347	20	50	40.6	2.13
348	20	50	40.4	2.08
349	20	50	40.4	2.08
350	20	50	40.6	2.13
351	20	50	40.2	2.04

Anexo 35. Calculo del análisis de densidad real del área SIPVS La Montañita

# Laboratorio	Peso de la muestra g	Volumen del balón ml	Volumen agregado ml	Densidad real g/cm3
375	20	50	40.5	2.11
376	20	50	40	2.00
377	20	50	40.1	2.02
378	20	50	40.2	2.04
379	20	50	40.4	2.08
380	20	50	40.1	2.02
381	20	50	40.3	2.06
382	20	50	40.4	2.08
383	20	50	39.8	1.96
384	20	50	40.1	2.02
385	20	50	39.5	1.90
386	20	50	40.6	2.13

Anexo 36. Calculo del análisis de porosidad del área de Granos y Cereales.

# Muestra	# Laboratorio	Densidad aparente	Densidad real	% Porosidad
M1	176	1.57	2.15	26.98
M2	177	1.65	2.13	22.54
M3	178	1.58	2.15	26.51
M4	179	1.58	2.11	25.12
M5	180	1.52	2.08	26.92
M6	181	1.63	2.17	24.88
M7	182	1.55	2.2	29.55
M8	183	1.62	2.17	25.35
M9	198	1.33	2.11	36.97
M10	215	1.64	2.11	22.27
M11	216	1.73	2.13	18.78
M12	217	1.7	2.2	22.73
M13	371	1.72	2.17	20.74
M14	372	1.73	2.06	16.02
M15	373	1.56	2.08	25.00
M16	374	1.47	2.11	30.33

Anexo 37. Calculo del análisis de porosidad del área Cultivos Industriales.

# Muestra	# Laboratorio	Densidad aparente	Densidad real	% Porosidad
M1	199	1.52	2.22	31.53
M2	200	1.53	2.08	26.44
M3	207	1.41	2.06	31.55
M4	208	1.53	2.11	27.49
M5	209	1.53	2.15	28.84
M6	210	1.55	2.13	27.23
M7	211	1.64	2.17	24.42
M8	212	1.57	2.15	26.98
M9	213	1.44	2.13	32.39
M10	214	1.44	2.15	33.02

Anexo 38. Calculo del análisis de porosidad del área Pastos y Forrajes.

# Muestra	# Laboratorio	Densidad aparente	Densidad real	% Porosidad
M1	339	1.43	2.08	31.25
M2	340	1.56	2.06	24.27
M3	341	1.42	2.15	33.95
M4	342	1.37	1.61	14.91
M5	343	1.54	2.22	30.63
M6	344	1.24	2.15	42.33
M7	345	1.51	2.08	27.40
M8	346	1.26	1.96	35.71
M9	347	1.45	2.13	31.92
M10	348	1.47	2.08	29.33
M11	349	1.43	2.08	31.25
M12	350	1.41	2.13	33.80
M13	351	1.43	2.04	29.90

Anexo 39. Calculo del análisis de porosidad del área de SIPVS La Montañita

# Muestra	# Laboratorio	Densidad aparente	Densidad real	% Porosidad
M1	375	1.76	2.11	16.59
M2	376	1.2	2	40.00
M3	377	1.43	2.02	29.21
M4	378	1.39	2.04	31.86
M5	379	1.35	2.08	35.10
M6	380	1.33	2.02	34.16
M7	381	1.44	2.06	30.10
M8	382	1.29	2.08	37.98
M9	383	1.3	1.96	33.67
M10	384	1.41	2.02	30.20
M11	385	1.35	1.9	28.95
M12	386	1.34	2.13	37.09

Anexo 40. Calculo del análisis de pH del área Granos y Cereales.

# Muestra	# Laboratorio	1 hora	2 horas	pH
M1	176	6.09	6.05	6.07
M2	177	7.43	7.42	7.43
M3	178	7.43	7.43	7.43
M4	179	7.12	7.15	7.14
M5	180	7.27	7.27	7.27
M6	181	8.24	8.26	8.25
M7	182	7.74	7.72	7.73
M8	183	7.3	7.28	7.29
M9	198	6.6	6.62	6.61
M10	215	6.8	6.83	6.82
M11	216	6.89	6.94	6.92
M12	217	7.28	7.29	7.29
M13	371	7.18	7.2	7.19
M14	372	7.18	7.21	7.20
M15	373	7.73	7.72	7.73
M16	374	7.33	7.33	7.33

Anexo 41. Calculo del análisis de pH del área Cultivos Industriales.

# Muestra	# Laboratorio	1 hora	2 horas	pH
M1	199	8.12	8.9	8.51
M2	200	7.13	7.1	7.12
M3	207	7.39	7.39	7.39
M4	208	7.71	7.74	7.73
M5	209	7.95	7.96	7.96
M6	210	7.56	7.58	7.57
M7	211	7.78	7.75	7.77
M8	212	7.48	7.48	7.48
M9	213	7.19	7.21	7.20
M10	214	6.87	6.83	6.85

Anexo 42. Calculo del análisis de pH del área Pastos y Forrajes

# Muestra	# Laboratorio	1 hora	2 horas	pH
M1	339	6.22	6.21	6.22
M2	340	76.26	7.3	41.78
M3	341	6.3	6.32	6.31
M4	342	6.38	6.39	6.39
M5	343	6.83	6.84	6.84
M6	344	6.39	6.42	6.41
M7	345	7.11	7.9	7.51
M8	346	6.82	6.82	6.82
M9	347	7.18	7.17	7.18
M10	348	6.44	6.46	6.45
M11	349	6.32	6.33	6.33
M12	350	6.37	6.36	6.37
M13	351	6.71	6.72	6.72

Anexo 43. Cálculo del análisis de pH del área de SIPVS La Montañita.

# Muestra	# Laboratorio	1 hora	2 horas	pH
M1	375	7.04	7.08	7.06
M2	376	6.83	6.87	6.85
M3	377	6.77	6.79	6.78
M4	378	6.54	6.52	6.53
M5	379	6.64	6.62	6.63
M6	380	5.88	5.91	5.90
M7	381	6.91	6.92	6.92
M8	382	6.82	6.83	6.83
M9	383	5.95	5.96	5.96
M10	384	7.27	7.3	7.29
M11	385	6.64	6.63	6.64
M12	386	6.61	6.66	6.64

Anexo 44. Resultados del análisis de estabilidad de agregados de cada área productiva.

Muestra	Granos y Cereales	Cultivos Industriales	Pastos y Forrajes	La Montañita
#	Estabilidad de agregados	Estabilidad de agregados	Estabilidad de agregados	Estabilidad de agregados
M1	5.8122	3.0163	7.0018	4.6779
M2	4.7764	3.2804	6.8585	5.2182
M3	5.7239	5.0805	7.1858	4.6768
M4	5.9366	6.6863	6.5329	5.4316
M5	4.0764	5.1133	5.2970	5.9416
M6	4.2384	5.2134	6.7783	2.4790
M7	5.7954	6.8313	5.3313	6.1672
M8	5.8157	6.3661	3.4400	2.2962
M9	7.0112	6.0220	6.0814	4.7284
M10	5.3790	7.0440	3.4478	3.0772
M11	5.3790		6.7393	6.6403
M12	5.0334		7.0114	2.4158
M13	6.4747		3.9369	
M14	6.8006			
M15	6.4542			
M16	5.1426			

Anexo 45. Calculo del análisis de Materia Orgánica del área Granos y Cereales.

# Muestra	# Laboratorio	Blanco 1	Blanco 2	Volumen blanco	Volumen muestra	ml de dicromato	Mfe2+	Peso muestra	% CO	% MO	% N
M1	176	18	18.9	18.45	13.9	10	0.54	1	0.96	1.66	0.08
M2	177	18	18.9	18.45	14	10	0.54	1	0.94	1.62	0.08
M3	178	18	18.9	18.45	13.3	10	0.54	1	1.09	1.88	0.09
M4	179	18	18.9	18.45	12.1	10	0.54	1	1.34	2.31	0.12
M5	180	18	18.9	18.45	13	10	0.54	1	1.15	1.99	0.10
M6	181	18	18.9	18.45	13.1	10	0.54	1	1.13	1.95	0.10
M7	182	18	18.9	18.45	14.8	10	0.54	1	0.77	1.33	0.07
M8	183	18	18.9	18.45	12.3	10	0.54	1	1.30	2.24	0.11
M9	198	18	18.9	18.45	8.9	10	0.54	1	2.02	3.48	0.17
M10	215	18	18.9	18.45	12.5	10	0.54	1	1.26	2.17	0.11
M11	216	18	18.9	18.45	12	10	0.54	1	1.36	2.35	0.12
M12	217	18	18.9	18.45	15.7	10	0.54	1	0.58	1.00	0.05
M13	371	18	18.9	18.45	11.3	10	0.54	1	1.51	2.61	0.13
M14	372	18	18.9	18.45	12	10	0.54	1	1.36	2.35	0.12
M15	373	18	18.9	18.45	13.8	10	0.54	1	0.98	1.69	0.08
M16	374	18	18.9	18.45	11.7	10	0.54	1	1.43	2.46	0.12

Anexo 46. Calculo del análisis de Materia Orgánica del área Cultivos Industriales

# Muestra	# Laboratorio	Blanco 1	Blanco 2	Volumen blanco	Volumen muestra	ml de dicromato	Mfe2+	Peso muestra	% CO	% MO	% N
M1	199	18	18.9	18.45	10.9	10	0.54	1	1.60	2.75	0.14
M2	200	18	18.9	18.45	9.2	10	0.54	1	1.96	3.37	0.17
M3	207	18	18.9	18.45	8.1	10	0.54	1	2.19	3.77	0.19
M4	208	18	18.9	18.45	13.8	10	0.54	1	0.98	1.69	0.08
M5	209	18	18.9	18.45	16.1	10	0.54	1	0.50	0.86	0.04
M6	210	18	18.9	18.45	12.5	10	0.54	1	1.26	2.17	0.11
M7	211	18	18.9	18.45	12.8	10	0.54	1	1.19	2.06	0.10
M8	212	18	18.9	18.45	11.4	10	0.54	1	1.49	2.57	0.13
M9	213	18	18.9	18.45	12.5	10	0.54	1	1.26	2.17	0.11
M10	214	18	18.9	18.45	8.7	10	0.54	1	2.06	3.55	0.18

Anexo 47. Calculo del análisis de Materia Orgánica del área Pastos y Forrajes.

# Muestra	# Laboratorio	Blanco 1	Blanco 2	Volumen blanco	Volumen muestra	ml de dicromato	Mfe2+	Peso muestra	% CO	% MO	% N
M1	339	17.4	17	17.2	6	10	0.58	1	2.54	4.38	0.22
M2	340	17.4	17	17.2	5.6	10	0.58	1	2.63	4.53	0.23
M3	341	17.4	17	17.2	7.2	10	0.58	1	2.27	3.91	0.20
M4	342	17.4	17	17.2	13	10	0.58	0.25	3.81	6.57	0.33
M5	343	17.4	17	17.2	10.8	10	0.58	1	1.45	2.50	0.13
M6	344	17.4	17	17.2	8.2	10	0.58	1	2.04	3.52	0.18
M7	345	17.4	17	17.2	7.1	10	0.58	1	2.29	3.95	0.20
M8	346	17.4	17	17.2	5.6	10	0.58	1	2.63	4.53	0.23
M9	347	17.4	17	17.2	6.5	10	0.58	1	2.43	4.18	0.21
M10	348	17.4	17	17.2	5.6	10	0.58	1	2.63	4.53	0.23
M11	349	17.4	17	17.2	12.2	10	0.58	0.5	2.27	3.91	0.20
M12	350	17.4	17	17.2	12.8	10	0.58	0.5	2.00	3.44	0.17
M13	351	17.4	17	17.2	14.6	10	0.58	0.5	1.18	2.03	0.10

Anexo 48. Calculo del análisis de materia orgánica del área SIPVS La Montañita

# Muestra	# Laboratorio	Blanco 1	Blanco 2	Volumen blanco	Volumen muestra	ml de dicromato	Mfe2+	Peso muestra	% CO	% MO	% N
M1	375	17.4	17	17.2	5.7	10	0.58	1	2.61	4.50	0.22
M2	376	17.4	17	17.2	4.5	10	0.58	1	2.88	4.96	0.25
M3	377	17.4	17	17.2	13.7	10	0.58	0.25	3.17	5.47	0.27
M4	378	17.4	17	17.2	5.5	10	0.58	1	2.65	4.57	0.23
M5	379	17.4	17	17.2	4.5	10	0.58	1	2.88	4.96	0.25
M6	380	17.4	17	17.2	7.3	10	0.58	1	2.24	3.87	0.19
M7	381	17.4	17	17.2	10.6	10	0.58	0.5	2.99	5.16	0.26
M8	382	17.4	17	17.2	12.5	10	0.58	0.5	2.13	3.67	0.18
M9	383	17.4	17	17.2	8	10	0.58	1	2.09	3.60	0.18
M10	384	17.4	17	17.2	11.2	10	0.58	0.5	2.72	4.69	0.23
M11	385	17.4	17	17.2	10.7	10	0.58	0.5	2.95	5.08	0.25
M12	386	17.4	17	17.2	13.5	10	0.58	0.5	1.68	2.89	0.14

Anexo 49. Calculo del análisis de textura del área Granos y Cereales

# Muestra	# Laboratorio	Peso de la muestra	Lectura de hidrometro		Tempertura				Valor que respresenta la temperatura en °f en la tabla de temeperatura		Lectura de hidrometro corregido		Arena	Limo	Arcilla	Textura
			40 segundos	2 horas	40 segundos		2horas				40 segundos	2 horas	%	%	%	
					°C	°F	°C	°F	40 segundos	2 horas						
M1	176	50	22	12	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	22.4	12.4	55.2	20	24.8	Franco arcilloso arenoso
M2	177	50	23	13	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	23.4	13.4	53.2	20	26.8	Franco arcilloso arenoso
M3	178	50	23	12	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	23.4	12.4	53.2	22	24.8	Franco arcilloso arenoso
M4	179	50	24	13	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	24.4	13.4	51.2	22	26.8	Franco arcilloso arenoso
M5	180	50	24	12	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	24.4	12.4	51.2	24	24.8	Franco arcilloso arenoso
M6	181	50	24	13	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	24.4	13.4	51.2	22	26.8	Franco arcilloso arenoso
M7	182	50	23	13	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	23.4	13.4	53.2	20	26.8	Franco arcilloso arenoso
M8	183	50	23	12	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	23.4	12.4	53.2	22	24.8	Franco arcilloso arenoso
M9	198	50	20	10	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	20.4	10.4	59.2	20	20.8	Franco arcilloso arenoso
M10	215	50	23	12	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	23.4	12.4	53.2	22	24.8	Franco arcilloso arenoso
M11	216	50	24	14	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	24.4	14.4	51.2	20	28.8	Franco arcilloso arenoso
M12	217	50	20	12	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	20.4	12.4	59.2	16	24.8	Franco arcilloso arenoso
M13	371	50	19	10	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	19.4	10.4	61.2	18	20.8	Franco arcilloso arenoso
M14	372	50	21	12	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	21.4	12.4	57.2	18	24.8	Franco arcilloso arenoso
M15	373	50	22	12	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	22.4	12.4	55.2	20	24.8	Franco arcilloso arenoso
M16	374	50	18	7	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	18.4	7.4	63.2	22	14.8	Franco arenoso
MRI	0	50	19	8	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	19.4	8.4	61.2	22	16.8	Franco arenoso
MRI	0	50	19	8	21	69.8	21	69.8	0.4	0.4	19.4	8.4	61.2	22	16.8	Franco arenoso

Anexo 50. Calculo del análisis de textura del área Cultivos Industriales.

# Muestra	# Laboratorio	Peso de la muestra	Lectura de hidrometro		Tempertura				Valor que respresenta la temperatura en °f en la tabla de temeperatura		Lectura de hidrometro corregido		Arena	Limo	Arcilla	Textura
			40 segundos	2 horas	40 segundos		2horas				40 segundos	2 horas	%	%	%	
					°C	°F	°C	°F	40 segundos	2 horas						
M1	199	50	21	6	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	22.6	7.2	54.8	30.8	14.4	Franco arenoso
M2	200	50	22	8	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	23.6	9.2	52.8	28.8	18.4	Franco arenoso
M3	207	50	22	9	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	23.6	10.2	52.8	26.8	20.4	Franco arcilloso arenoso
M4	208	50	24	10	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	25.6	11.2	48.8	28.8	22.4	Franco arcilloso arenoso
M5	209	50	24	12	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	25.6	13.2	48.8	24.8	26.4	Franco arcilloso arenoso
M6	210	50	24	11	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	25.6	12.2	48.8	26.8	24.4	Franco arcilloso arenoso
M7	211	50	20	10	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	21.6	11.2	56.8	20.8	22.4	Franco arcilloso arenoso
M8	212	50	21	10	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	22.6	11.2	54.8	22.8	22.4	Franco arcilloso arenoso
M9	213	50	22	13	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	23.6	14.2	52.8	18.8	28.4	Franco arcilloso arenoso
M10	214	50	23	11	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	24.6	12.2	50.8	24.8	24.4	Franco arcilloso arenoso
MRI	0	50	20	7	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	21.6	8.2	56.8	26.8	16.4	Franco arenoso
MRI	0	50	20	8	24	75.2	23	73.4	1.6	1.2	21.6	9.2	56.8	24.8	18.4	Franco arenoso

Anexo 51. Calculo del análisis de textura del área Pastos y Forrajes.

# Muestra	# Laboratorio	Peso de la muestra	Lectura de hidrometro		Tempertura				Valor que respresenta la temperatura en °F en la tabla de temeperatura		Lectura de hidrometro corregido		Arena	Limo	Arcilla	Textura
			40 segundos	2 horas	40 segundos		2horas				40 segundos	2 horas				
					°C	°F	°C	°F								
M1	375	50	17	8	22	71.6	20	68	0.8	0.2	17.8	8.2	64.4	19.2	16.4	Franco arenoso
M2	376	50	18	7	22	71.6	20	68	0.8	0.2	18.8	7.2	62.4	23.2	14.4	Franco arenoso
M3	377	50	18	7	22	71.6	20	68	0.8	0.2	18.8	7.2	62.4	23.2	14.4	Franco arenoso
M4	378	50	21	10	22	71.6	20	68	0.8	0.2	21.8	10.2	56.4	23.2	20.4	Franco arcilloso arenoso
M5	379	50	12	7	22	71.6	20	68	0.8	0.2	12.8	7.2	74.4	11.2	14.4	Franco arenoso
M6	380	50	20	6	22	71.6	20	68	0.8	0.2	20.8	6.2	58.4	29.2	12.4	Franco arenoso
M7	381	50	23	10	22	71.6	20	68	0.8	0.2	23.8	10.2	52.4	27.2	20.4	Franco arcilloso arenoso
M8	382	50	20	10	22	71.6	20	68	0.8	0.2	20.8	10.2	58.4	21.2	20.4	Franco arcilloso arenoso
M9	383	50	17	6	22	71.6	20	68	0.8	0.2	17.8	6.2	64.4	23.2	12.4	Franco arenos
M10	384	50	22	9	22	71.6	20	68	0.8	0.2	22.8	9.2	54.4	27.2	18.4	Franco arenos
M11	385	50	20	8	22	71.6	20	68	0.8	0.2	20.8	8.2	58.4	25.2	16.4	Franco arenos
M12	386	50	19	7	22	71.6	20	68	0.8	0.2	19.8	7.2	60.4	25.2	14.4	Franco arenos
MRI	0	50	20	8	22	71.6	20	68	0.8	0.2	20.8	8.2	58.4	25.2	16.4	Franco arenos
MRI	0	50	20	8	22	71.6	20	68	0.8	0.2	20.8	8.2	58.4	25.2	16.4	Franco arenos

Anexo 52. Calculo del análisis de textura del área SIPVS La Montañita.

# Muestra	# Laboratorio	Peso de la muestra	Lectura de hidrometro		Tempertura				Valor que respresenta la temperatura en °f en la tabla de temeperatura		Lectura de hidrometro corregido		Arena	Limo	Arcilla	Textura
			40 segundos	2 horas	40 segundos		2horas				40 segundos	2 horas				
					°C	°F	°C	°F								
M1	339	50	15	5	25	77	24	75.2	2	1.6	17	6.6	66	20.8	13.2	Franco arenoso
M2	340	50	16	5	25	77	24	75.2	2	1.6	18	6.6	64	22.8	13.2	Franco arenoso
M3	341	50	16	6	25	77	24	75.2	2	1.6	18	7.6	64	20.8	15.2	Franco arenoso
M4	342	50	17	7	25	77	24	75.2	2	1.6	19	8.6	62	20.8	17.2	Franco arenoso
M5	343	50	18	8	25	77	24	75.2	2	1.6	20	9.6	60	20.8	19.2	Franco arenoso
M6	344	50	18	7	25	77	24	75.2	2	1.6	20	8.6	60	22.8	17.2	Franco arenoso
M7	345	50	20	9	25	77	24	75.2	2	1.6	22	10.6	56	22.8	21.2	Franco arcilloso arenoso
M8	346	50	20	8	25	77	24	75.2	2	1.6	22	9.6	56	24.8	19.2	Franco arenoso
M9	347	50	12	3	25	77	24	75.2	2	1.6	14	4.6	72	18.8	9.2	Franco arenoso
M10	348	50	15	5	25	77	24	75.2	2	1.6	17	6.6	66	20.8	13.2	Franco arenoso
M11	349	50	16	6	25	77	24	75.2	2	1.6	18	7.6	64	20.8	15.2	Franco arenoso
M12	350	50	16	6	25	77	24	75.2	2	1.6	18	7.6	64	20.8	15.2	Franco arenoso
M13	351	50	17	6	25	77	24	75.2	2	1.6	19	7.6	62	22.8	15.2	Franco arenoso
MRI	0	50	19	8	25	77	24	75.2	2	1.6	21	9.6	58	22.8	19.2	Franco arenoso
MRI	0	50	17	7	25	77	24	75.2	2	1.6	19	8.6	62	20.8	17.2	Franco arenoso

Anexo 53. Varianza explicada por cada componente principal del PCA de macrofauna.

Componente	Eigenvalor	% de varianza explicada	% acumulado
PC1	6.28	38	38
PC2	2.01	12.18	50.18
PC3	1.32	8.02	58.2
PC4	1.23	7.48	65.68
PC5	0.9	5.49	71.17
PC6	0.85	5.15	76.32
PC7	0.76	4.65	80.97
PC8	0.6	3.69	84.66
PC9	0.58	3.59	88.25
PC10	0.5	3.05	91.3
PC11	0.4	2.42	93.72
PC12	0.37	2.24	95.96
PC13	0.34	2.07	98.03
PC14	0.19	1.14	99.17
PC15	0.08	0.49	99.66

Anexo 54. Aporte de cada grupo de macrofauna a los ejes principales (PC1 y PC2).

Grupo de macrofauna / indicador	PC1 (%)	PC2 (%)
Lombrices	6.22	2.57
Hormigas	2.97	1.32
Termitas	5.5	2.17
Blatodea	7.22	13.01
Coleóptera	1.05	3.24
Arácnida	4.82	7.21
Diplopoda	3.81	21.62
Chilopoda	1.84	12.1
Larvas dípteras	2.57	12.84
Hemíptera	7.16	1.87
Dermáptera	5.75	6.46
Larvas lepidópteras	2.95	0.03
Gasterópoda	1.62	1.1
Otros	4.78	9.7
Densidad total	12.23	3.84
Riqueza taxonómica	14.45	0.09
Indicador de macrofauna	15.01	0.79

Anexo 55. Matriz de correlación entre grupos de macrofauna e indicadores.

Grupo / Indicador	Densidad total	Riqueza taxonómica	Indicador macrofauna
Lombrices	0.664	0.608	0.635
Hormigas	0.499	0.45	0.5
Termitas	0.497	0.561	0.563
Blatodea	0.446	0.658	0.594
Coleóptera	0.315	0.309	0.348
Arácnida	0.505	0.597	0.568
Diplopoda	0.26	0.437	0.418
Chilopoda	0.485	0.303	0.395
Larvas dípteras	0.22	0.352	0.363
Hemíptera	0.539	0.631	0.624
Dermáptera	0.418	0.568	0.534
Larvas lepidópteras	0.25	0.358	0.412
Gasterópoda	0.282	0.314	0.352
Otros	0.536	0.509	0.614
Densidad total	1	0.874	0.91
Riqueza taxonómica	0.874	1	0.953
Indicador macrofauna	0.91	0.953	1

Anexo 56. Estadística descriptiva del test de permutación (Monte Carlo) aplicado al PCA de macrofauna.

Parámetro	Valor
Observación (valor real)	0.3469
Expectativa teórica	0.0603
Varianza	0.00036
Número de permutaciones	999
Valor p (simulado)	0.001

Anexo 57. varianza explicada por cada componente principal (PCA de variables físico-químicas).

Componente	Eigenvalor	% de varianza	% acumulado
PC1	5.56	39.69	39.69
PC2	2.08	14.85	54.54
PC3	1.53	10.98	65.52
PC4	1.33	9.52	75.04
PC5	1.1	7.89	82.93
PC6	0.82	5.91	88.84
PC7	0.62	4.41	93.25
PC8	0.45	3.21	96.46
PC9	0.39	2.79	99.25
PC10	0.1	0.73	99.98
PC11	0.01	0.01	100

Anexo 58. Aporte de las variables físico-químicas a los ejes principales (PCA).

Variable	PC1 (%)	PC2 (%)
% Humedad	3.04	4.96
Respiración basal	4.73	0
Densidad aparente	10.52	10.92
Densidad real	7.89	0.08
% Porosidad	3.77	14.94
pH	0.01	3.66
Estabilidad agregados	0.41	18.25
% Materia orgánica	16.35	0.57
% Carbono orgánico	14.98	0
% Nitrógeno total	16.35	0.57
% Arena	8.6	13.91
% Limo	0.16	31.99
% Arcilla	13.2	0.14

Anexo 59. Matriz de correlación entre variables fisicoquímicas del suelo.

Variable	% Humedad	Respiración basal	Densidad aparente	Densidad real	% Porosidad	pH	Estabilidad agregados	% Materia orgánica	% CO	% N Total	% Arena	% Limo	% Arcilla
% Humedad	1	0.276	0.074	0.121	-0.027	0.069	0.043	-0.27	-0.38	-0.27	-0.38	0.132	0.345
Resp. basal	0.276	1	0.273	0.356	-0.102	0.035	0.278	-0.316	-0.37	-0.31	-0.32	0.009	0.367
Densidad aparente	0.074	0.273	1	0.453	-0.837	0.131	0.166	-0.569	-0.54	-0.56	-0.32	-0.25	0.55
Densidad real	0.121	0.356	0.453	1	0.105	0.003	0.033	-0.665	-0.56	-0.66	-0.21	-0.12	0.326
% Porosidad	-0.027	-0.102	-0.837	0.105	1	-0.14	-0.174	-0.233	0.285	0.233	0.237	0.217	-0.42
pH	0.069	0.035	0.131	0.003	-0.148	1	0.147	0.084	-0.02	0.084	0.09	0.037	-0.128
Est. agregados	0.043	0.278	0.166	0.033	-0.174	0.147	1	0.002	-0.16	0.002	0.106	-0.39	0.152
% Materia orgánica	-0.27	-0.316	-0.569	-0.665	-0.233	0.084	0.002	1	0.879	1	0.536	0.082	-0.671
% CO	-0.386	-0.379	-0.547	-0.563	0.285	-0.02	-0.168	0.879	1	0.879	0.445	0.11	-0.586
% N Total	-0.27	-0.316	-0.569	-0.665	0.233	0.084	0.002	1	0.879	1	0.536	0.082	-0.671
% Arena	-0.38	-0.326	-0.326	-0.212	0.237	0.09	0.106	0.536	0.445	0.536	1	-0.49	-0.803
% Limo	0.132	0.009	-0.256	-0.121	0.217	0.037	-0.397	0.082	0.11	0.082	-0.498	1	-0.117
% Arcilla	0.345	0.367	0.55	0.326	-0.42	-0.128	0.152	-0.671	-0.586	-0.671	-0.803	-0.11	1

Anexo 60. Estadística descriptiva del test de permutación (Monte Carlo) aplicado al PCA de variables físico-químicas.

Parámetro	Valor
Observación (valor real)	0.3867
Expectativa teórica	0.0592
Varianza	0.0004
Número de permutaciones	999
Valor p (simulado)	0.001

Anexo 61. Eigenvalores e inercia proyectada del análisis de co-inercia.

Componente	Eigenvalor	% de inercia proyectada	% acumulado
Ax1	14.3283	85.15	85.15
Ax2	1.1681	6.94	92.09
Ax3	0.505	3	95.09
Ax4	0.343	2.04	97.13
Ax5	0.2413	1.43	98.56

Anexo 62. Resultados del análisis de co-inercia: correlación y coeficiente RV.

Parámetro	Valor
Inercia total	16.83
Correlación entre ejes (Ax1)	0.679
Correlación entre ejes (Ax2)	0.662
Coeficiente RV (correlación global)	0.383

Anexo 63. Resultados del test de permutación (Monte Carlo) del análisis de co-inercia.

Parámetro	Valor
Observación (valor real)	0.383
Expectativa teórica	0.1
Varianza	0.00065
Número de permutaciones	999
Valor p (simulado)	0.001

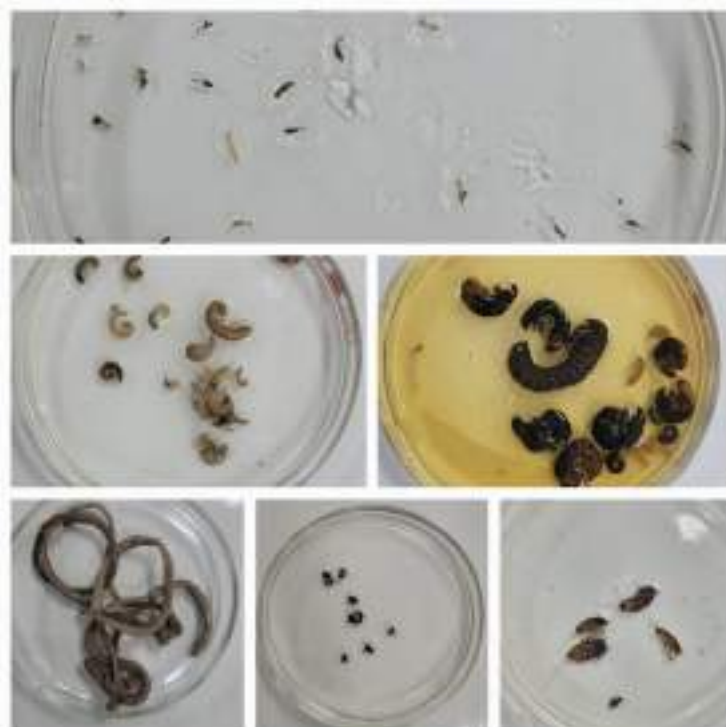
Anexo 64. Macrofauna encontrada en el área de Granos y Cereales: Oligochaeta, Hymenoptera, Coleoptera, Chilopoda, Gastropoda e Isopoda.



Anexo 65. Macrofauna encontrada en el área de Cultivos Industriales: Oligochaeta, Hymenoptera, Isoptera, Blatodea, Coleoptera, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Larvas de Diptera, Hemiptera, Dermaptera, Larvas de Lepidoptera, Gasterópoda e Isopoda.



Anexo 66. Macrofauna encontrada en el área de Pastos y Forrajes: Oligochaeta, Hymenoptera, Isoptera, Blatodea, Coleoptera, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Hemiptera, Dermaptera, Gasterópoda e Isopoda.



Anexo 67. Macrofauna encontrada en el área de La Montañita: Oligochaeta, Hymenoptera, Isoptera, Blatodea, Coleoptera, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Larvas de Diptera, Hemiptera, Dermaptera, Larvas de Lepidoptera, Gasterópoda e Isopoda.

