

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Agronomía

Facultad de Ciencias Forestales



**“LA MACROFAUNA COMO INDICADOR DE CALIDAD BIOLÓGICA
DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA”**

Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de:

Ingeniero Agrónomo

María Angélica Lazo Saire

Ingeniero Forestal

Alex Alfredo Aguirre Cortez

Lima - Perú

2018

DEDICATORIA

Con profundo agradecimiento a Dios por guiarme con amor en todo el largo proceso de aprendizaje y profesionalización, a la memoria de mi amada madre y mis queridos abuelos que no pudieron ver mi crecimiento pero que desde el cielo me guían, a la familia y amigos del alma que siempre me acompañaron y creyeron en mi potencial, y a la Patria nuestra que nos cobija bajo su cielo.

María Angélica Lazo Saire

A Dios nuestro Creador, por haberme permitido el haber llegado hasta aquí: “Ebenezer”

A mis padres Otto y Judith por su sacrificio, consejo y ayuda durante mi época de estudiante, y que aun cuento con ellos.

A mi esposa Milagros, mi ayuda idónea, por su amor, paciencia y consejo.

A mis hijos Valeria y José por darme razones más porque agradecer a Dios.

A mi familia por su constante apoyo y aliento

Alex Alfredo Aguirre Cortez

AGRADECIMIENTO

A nuestro asesor el Ing. Mg.Sc Juan Guerrero Barrantes, que con paciencia y generosidad brindó su tiempo y talento para concretar y llevar a buen término nuestro trabajo de titulación. A los miembros de nuestro jurado Ing. Forestal, Mg.Sc., Ph.D María Isabel Manta Nolasco (presidente del jurado), Dr. Julio Alegre Orihuela (miembro).

Así mismo, al personal del laboratorio de análisis de suelos de la facultad de agronomía que aportaron su profesionalidad en el análisis de las muestras de suelo que enviamos.

Un especial agradecimiento a los jefes de programa y/o campos de la UNALM por asignarnos una parcela para realizar el muestreo de suelos y realizar el posterior análisis y evaluación. Así, gracias a la Ing. Saraí Siura Céspedes, jefe del Programa de Hortalizas de la UNALM (Huerto) por asignarnos el campo “Alegra 3”, Ing. Jorge Tobaru Hamada, al Jefe del Campo Agrícola Experimental CAE-FUNDO de la UNALM por asignarnos el campo “Libres II”, al Ph.D. Gustavo Gutiérrez Reynoso Jefe del Programa de Investigación y Proyección Social en Ovinos y Camélidos de la Facultad de Zootecnia de la UNALM por asignarnos el campo “El Carmen” y al Ing. Forestal Fernando Bulnes Soriano, Jefe de Silvicultura y Arboricultura Urbana de la facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, quien nos autorizó para extraer muestras del bosquecillo “Dantitas” y nos proporcionó el historial del manejo forestal que se fue dando en el área asignada.

Y, con especial agradecimiento a nuestra Alma Mater en sus facultades de Agronomía y Ciencias Forestales que no solo nos formaron en excelencia técnico - profesional sino que también, y en coherencia con el lema molinero *Colere Cupio Hominem Et Agrum*, “Quiero Cultivar al Hombre y al Campo”, nos formaron en lo humano y ético para ser hombres y mujeres que sirven con excelencia al país.

Gracias totales.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

I.	INTRODUCCION	1
II.	REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1	GENERALIDADES	4
2.2	BIOLOGÍA Y ETOLOGÍA DE LA MACROFAUNA DEL SUELO	4
2.3	PRINCIPALES COMPONENTES DE LA MACROFAUNA DEL SUELO....	5
2.3.1	PHYLLUM ANNELIDA	5
2.3.2	PHYLLUM ARTROPODA	7
2.4	LA MACROFAUNA Y SU EFECTO EN EL SUELO	12
2.5	INFLUENCIA DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA MACROFAUNA DEL SUELO.....	14
2.5.1	POR EL TIPO DE CULTIVO Y/O COBERTURA DEL SUELO.....	14
2.5.2	POR EL LABOREO AGRONÓMICO	15
2.5.3	POR EL EMPLEO DE PLAGUICIDAS	15
2.5.4	POR EL EMPLEO DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS.....	16
2.6	CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO.....	16
2.7	LA MACROFAUNA EDÁFICAINDICADOR DE CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO.....	18
2.8	SITEMAS PRODUCTIVOS	19
2.8.1	AGRICULTURA CONVENCIONAL	19
2.8.2	AGRICULTURA ORGÁNICA.....	19
2.8.3	SISTEMA PASTIZAL.....	20
2.8.4	SISTEMA FORESTAL.....	20
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1.	UBICACIÓN DEL CAMPOS EVALUADOS	22
3.2.	HISTORIAL DE MANEJO DE LOS CAMPOS EVALUADOS.....	24

3.2.1. CAMPO “ALEGRE 3”: SISTEMA DE AGRICULTURA ORGÁNICA CON CULTIVOS HORTÍCOLAS	24
3.2.2. CAMPO “LIBRES II”: SISTEMA DE AGRICULTURA CONVENCIONAL CON CULTIVOS ANUALES	25
3.2.3. CAMPO “EL CARMEN”: SISTEMA DE PASTIZAL ORGÁNICO CON CULTIVO PERMANENTE	26
3.2.4. ARBORETUM “DANTITAS”: SISTEMA FORESTAL CON ESPECIES PERMANENTES.....	27
3.3. ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS SUELOS EVALUADOS	28
3.3.1. CAMPO “ALEGRE 3”: AGRICULTURA ORGÁNICA CON CULTIVOS HORTÍCOLAS.....	28
3.3.2. CAMPO “LIBRES II”: AGRICULTURA CONVENCIONAL CON CULTIVOS ANUALES	28
3.3.3. CAMPO “EL CARMEN”: SISTEMA PASTIZAL ORGÁNICO CON CULTIVO PERMANENTE	28
3.3.4. ARBORETUM DANTITAS”: SISTEMA FORESTAL CON ESPECIES PERMANENTES.....	28
3.4. IDENTIFICACIÓN DE MACROFAUNA	29
3.5. MATERIALES	29
3.6. METODOLOGÍA.....	30
3.6.1. METODOLOGÍA DE RECOJO DE MUESTRAS EN CAMPO.....	30
3.6.2. METODOLOGÍA DE TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. DENSIDAD DE LOMBRICES DE TIERRA	33
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS DENSIDAD DE LOMBRICES.....	35
4.3. ANÁLISIS ESTADISTICO DE LA DENSIDAD DE MACROFAUNA	39
V. CONCLUSIONES	43
VI. RECOMENDACIONES.....	44

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRFICAS.....	45
VIII. ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°	Título	Pág.
Tabla 3.1	Características de los campos y ubicación geográfica en coordenadas UTM.	22
Tabla 3.2	Caracterización cualitativa del análisis de suelos.	28
Tabla 4.1	Densidad promedio de lombriz de tierra en cuatro sistemas productivos ubicados en el campus de la UNALM.	33
Tabla 4.2	Comparativo de densidad (individuos/m ²) de lombrices (<i>Pontoscolex corenthurus</i>) en diferentes sistemas productivos de Colombia, México y Perú.	35
Tabla 4.3	Resultado de las comparaciones múltiples de cuatro sistemas productivos.	37
Tabla 4.4	Ranking de sistemas productivos en base a su media estadística.	37
Tabla 4.5	Densidad promedio (individuos/m ²) de macrofauna del suelo en cuatro sistemas productivos ubicados en el campus de la UNALM.	40
Tabla 4.6	Comparativo de la prueba estadística Kruskal Wallis en los cuatro sistemas productivos evaluados.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°	Título	Pág.
Figura 1	Mapa de Ubicación de los sistemas productivos evaluados.	23
Figura 2	Campo “Alegre 3” administrado por el Programa de Hortalizas (Huerto) de la UNALM.	24
Figura 3	Campo “Libre II” ubicado en el Campo Agrícola Experimental - FUNDO de la UNALM.	25
Figura 4	Campo “El Carmen” administrado por el Programa de Ovinos y Camélidos (Granja Rigoranch) de la facultad de zootecnia de la UNALM.	26
Figura 5	Arboretum “Dantitas” administrado por el departamento de Manejo Forestal de la facultad de Ciencias Forestales de la UNALM.	27
Figura 6	Método de recojo del monolito suelo según TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility).	31
Figura 7	Análisis gráfico para la densidad de lombrices por sistema productivo evaluado.	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°	Título	Pág.
Anexo 1	Listado de Unidades Taxonómicas	54
Anexo 2	Análisis de Suelos.	60
Anexo 3	Número de lombrices de tierra y macrofauna encontrada a diferentes profundidades en el campo “Alegre 3” (agricultura orgánica).	61
Anexo 4	Número de lombrices de tierra y macrofauna encontrada a diferentes profundidades en el campo “Libres II” (agricultura convencional).	62
Anexo 5	Número de lombrices de tierra y macrofauna encontrada a diferentes profundidades en el campo “El Carmen” (sistema pastizal).	63
Anexo 6	Número de lombrices de tierra y macrofauna encontrada a diferentes profundidades en el arboretum “Dantitas” (sistema forestal).	64
Anexo 7	Registro Fotográfico.	65

ACRÓNIMOS

ANOVA:	Análisis de la Varianza con un factor
CAE:	Centro Agrícola Experimental
CIAT:	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CSIC:	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
FAO:	Food and Agriculture Organization
IFOAM:	International Foundation for Organic Agriculture
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
MINAGRI:	Ministerio de Agricultura y Riego
ONU:	Organización de las Naciones Unidas
TSBF:	Tropical Soil Biology and Fertility
UNALM:	Universidad Nacional Agraria La Molina
USDA:	United States Department of Agriculture

RESUMEN

Conservar la calidad inherente de los suelos es uno de los principales retos del presente siglo, por este motivo la Asamblea General de la ONU declaró el 2015 como Año Internacional de los Suelos, con el objetivo fundamental de aumentar la concientización y la comprensión sobre la importancia de los suelos para garantizar la seguridad alimentaria y las funciones ecosistémicas esenciales del planeta. Sin embargo, a pesar de esta preocupación creciente sobre la conservación del suelo y su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios de la calidad del suelo. Por ello, es preciso contar con indicadores fiables y prácticos que nos puedan servir para evaluar la condición actual del suelo. De aquí que, el presente trabajo evaluó cuatro sistemas productivos (Agricultura orgánica, agricultura convencional, sistema pastizal y sistema forestal) a dos niveles: nivel superficial, de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm de profundidad, en suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina; Con el objetivo de determinar la influencia del manejo agronómico en la densidad y diversidad de lombrices de tierra y presencia de macrofauna edáfica, y que estas variables puedan ser consideradas como indicadores prácticos de la calidad del suelo. A los datos se aplicó la prueba estadística Kruskal - Wallis, que encontró diferencias significativas sobre la densidad de lombrices de tierra en los 30 primeros cm de suelo, siendo los mejores resultados en el sistema pastizal orgánico con 170.67 individuos/m² y agricultura orgánica con hortalizas con 69.33 individuos/m². A la profundidad de 30 a 60 cm no se hallaron diferencias significativas en la densidad de lombrices. Tampoco se encontraron diferencias a ninguna profundidad para la densidad de macrofauna. Sin embargo, se concluyó que el manejo agronómico sí influye en la calidad del suelo.

Palabras claves: conservación del suelo, indicadores de calidad, lombriz de tierra, *Pontoscolex corenthurus*, macrofauna.

I. INTRODUCCION

El suelo es un recurso que se agota, es decir se pierde y/o se degrada y no revirtiéndose en el curso de una vida humana, ergo es un componente fundamental para el desarrollo agrícola y la sostenibilidad ecológica, ya que es la base la producción de alimentos, pastos, combustibles, además de brindar servicios sistémicos esenciales (Porta *et al.*, 2011); a pesar de esto, es relevante saber que muchas veces vemos al suelo como algo sin vida, que brinda solo un sostén físico de soporte para el desarrollo de las plantas, donde se vierten todo tipo de agroquímicos sin considerar a este como un ente vivo y dinámico (Cañazaca, 2007).

La real dimensión del suelo, es que es un sistema donde actúan en conjunto el aire, el agua, la biota y un flujo de sustancias que existen entre estos elementos, ahora como el suelo es el resultado de la descomposición de la roca madre por factores climáticos y bióticos, implica que posee una fracción mineral y biológica (compuesto orgánico mineral), en tal razón es el sustento de una gran variedad de animales y plantas; además de cumplir funciones ecológicas y socioeconómicas (Medina *et al.*, 2001).

En el suelo el gran número, variedad de invertebrados y su sensibilidad a perturbaciones y cambios que pueda experimentar el suelo afectan profundamente su rol en el ecosistema, por esta razón los cambios en su dinámica y/o población son indicadores a tomar muy en cuenta sobre el impacto antropogénico en el ambiente (Morales, 2009).

Podemos hablar entonces del suelo como un ente vivo de la mayor importancia para la biota en general y el ser humano de manera particular, de aquí la relevancia de su calidad; así, el Instituto de la Calidad de Suelo de los Estados Unidos define calidad del suelo como “Lo bien que hace un suelo, toma lo que se quiere que haga”. Por tanto, un suelo de calidad es aquel que produce sin deteriorarse y conserva su capacidad de amortiguar contaminantes ambientales y patógenos, y con ello favorece a plantas, animales y personas (Porta *et al.*, 2011).

La calidad del suelo dependerá mucho una interacción equilibrada de los componentes, físicos, químicos, biológicos y antrópicos, es decir esta dependerá de la interacción de los organismos presente en él y de las funciones que cada uno desempeñan.

“El estudio del estado biológico del suelo puede servir como un marcador del estatus del suelo, esto es, como un indicador de su calidad, el cual está relacionado directamente con la fertilidad natural de dicho suelo” (CSIC, 2013).

“De entre los macroorganismos que habitan el suelo puede distinguirse a las lombrices de tierra quienes influyen en la estructura física del suelo y en la dinámica de los nutrientes mediante su efecto sobre los procesos de inmovilización y humificación” (Cañazaca, 2007).

Además, sabemos que en la actualidad la productividad de los suelos es limitada, debido a una creciente y constante presión para incrementar su productividad ya sea por actividades agrícolas, forestales, pastoriles y urbanización, para satisfacer la demanda de una creciente población mundial (FAO, 2015).

La situación en el Perú no es ajena a esta problemática, contamos con una extensión territorial de 128'521,560 hectáreas, de estos solo el 5.9% son tierras aptas para cultivo en limpio y cultivos permanentes, 14% son tierras aptas para pastos, un 38% son para uso forestal y 42% son tierras de protección (MINAGRI, 2015); además según cifras del INEI en el 2005 éramos 27'219,264 habitantes que significaban 0.27 ha de suelos cultivables por habitante, para el año 2013 llegamos a ser 30'474,000 habitantes con un ratio de 0.24 ha de tierras cultivables por persona y se proyecta que para el 2021 seremos 33'149,000 habitantes y se tendrá 0.22 ha por persona, cifras relevantes para la toma de decisiones y acciones con respecto al adecuado manejo de recurso suelo.

Finalmente, puesto que todo tipo de vida depende en gran medida de la calidad el suelo, el presente proyecto tuvo como objetivo general evaluar la densidad poblacional y diversidad de macrofauna como indicador indirecto de la calidad biológica de suelos sometidos en cuatro sistemas de producción, agricultura orgánica, agricultura convencional, sistema pastizal y sistema forestal en suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM; y como objetivo específico determinar la influencia y relación de las prácticas de manejo y uso del suelo sobre la población y diversidad de la macrofauna edáfica.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

Brown *et al.*, (2001) citado por Cabrera (2014) indica que la macrofauna la conforman pequeños organismos que habitan en el suelo fácilmente detectables, como las lombrices de tierra, termitas, hormigas, milpiés, cochinillas, arañas, ciempiés y otros. Brown *et al.*, (2001) nos dice que son 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, además de poseer un ancho de cuerpo o diámetro mayor de 2 mm y una longitud igual o mayor de 10 mm; fáciles de detectar a simple vista. Anderson (1994) y Pankhurst (1997) citados por Zerbino (2008) nos refieren que la macrofauna está ensamblada en intrincadas comunidades, que sus hábitos de alimentación varían considerablemente dentro y entre grupos, se mueven libremente, pueden cavar el suelo y crear grandes poros, son estas características que contribuyen con un amplio rango de servicios esenciales para el funcionamiento sustentable de los ecosistemas. Las actividades físicas (mezcla del mantillo con el suelo, construcción de estructuras y galerías, agregación del suelo), así como sus actividades metabólicas (utilización de fuentes orgánicas disponibles, desarrollo de relaciones mutualistas y antagonistas), afectan muchos procesos del suelo como: intervienen en los ciclos de nutrientes, regulan la dinámica de la materia orgánica, la emisión de gases invernadero, secuestro de carbono, modifican la estructura física del suelo, actúan sobre el régimen del agua y la erosión. Mejorando las propiedades funcionales del suelo, promoviendo el crecimiento de las plantas, mejorando la distribución del agua en el perfil y, disminuyendo la contaminación ambiental.

Brown *et al.*, (1997) citado por Cabrera (2014) indica que los invertebrados (macrofauna) del suelo poseen características que permiten su uso como indicadores biológicos de calidad tales como: a) diversidad taxonómica y ecológica, b) hábitos relativamente sedentarios, c) presencia constante a lo largo del año, d) fácilmente manipulables e identificables, e) corto período generacional que permite una rápida respuesta poblacional

a los cambios f) alta densidad y reproducción que facilita un muestreo intensivo, g) importancia funcional en los ecosistemas y h) respuesta aparentemente previsible ante las perturbaciones.

2.2 BIOLOGÍA Y ETOLOGÍA DE LA MACROFAUNA DEL SUELO

Linden *et al.*, (1994) menciona que la fauna del suelo comprende una gran variedad de organismos de tamaños y estrategias adaptativas muy diferentes, especialmente en cuanto a la movilidad y modo de alimentación, lo que determina la manera que puede influir en los procesos del suelo y en mayor manera en las propiedades físicas y químicas de los suelos, además de la creación de macro poros y en la transformación y redistribución de materia orgánica.

Brown *et al.*, (2001) y Moore *et al.*, (2004) encontraron que desde el punto de vista de la alimentación, se reconocen tres grupos funcionales: especies que se alimentan de partes vivas de las plantas (herbívoros); los que consumen animales vivos (depredadores) y los que se alimentan de materia orgánica muerta de origen animal y/o vegetal; de microorganismos asociados, de heces de vertebrados e invertebrados, así como de compuestos producto del metabolismo de otros organismos (detritívoros). Jones *et al.*, (1994) indican que los detritívoros vive en la hojarasca, y/o en la superficie e interior del suelo, interviniendo en la descomposición de la materia orgánica, trituración de los restos vegetales y animales que componen la hojarasca. Esta fragmentación mecánica logra una mayor disponibilidad de alimentos para otros invertebrados más pequeños y para microorganismos (por ejemplo: hongos y bacterias), logrando un papel importante en el reciclaje de nutrientes y la otra parte de los macro invertebrados que funcionan como herbívoros o depredadores, viven tanto en el interior como en la superficie del suelo, donde los primeros se alimentan de las partes vivas de las plantas controlando la cantidad de material vegetal que ingresa al suelo; mientras los depredadores consumen diversos invertebrados, por lo que modifican el equilibrio de sus poblaciones y el balance entre estas y los recursos disponibles del ecosistema.

Lavelle y Spain (2001) mencionan que si prestamos atención a su distribución en el perfil del suelo y a la estrategia de alimentación los invertebrados edáficos los clasificamos en tres categorías ecológicas principales: Los **epigeos** o habitantes de la hojarasca; viven y

comen en la superficie del suelo; la mayor parte se alimenta de material orgánico no descompuesto (hojarasca) liberando nutrientes, su principal función es fragmentar la hojarasca y promover su descomposición; Los **endógenos** o habitantes del interior del suelo; representados principalmente por las lombrices de tierra y termitas, viven y se alimentan de materia orgánica o de raíces; ingieren grandes cantidades de suelo para alimentarse, producen galerías y abundantes excretas que afectan la estructura del suelo; Los **anécicos** o habitantes de las partes profundas; representados por lombrices, termitas y hormigas, viven en el suelo formando redes semi-permanentes de galerías y nidos; para construir las ingieren y transportan gran cantidad de suelo que altera la agregación y promueve la oxigenación e infiltración del agua, la principal función de los anécicos es la de transporte y mezcla de la hojarasca, cambiando la dinámica de su descomposición y su distribución espacial.

2.3 PRINCIPALES COMPONENTES DE LA MACROFAUNA DEL SUELO

2.3.1 PHYLLUM ANNELIDA

a. Lombriz de tierra

Lavelle y Spain (2001) y Edwards y Bohlen (1996) indican que pertenece al Phylum Annelida, siendo anélidos, oligoquetos clitelados, macroscópicos cilíndricos, de textura blanda y húmeda que viven en el suelo, su cuerpo está constituido por una serie de anillos yuxtapuestos denominados metámeros, donde cada uno posee organización y anatomía semejantes, donde los órganos se repiten regularmente; los segmentos anteriores o parte anterior del cuerpo está situada la boca e internamente las estructuras de los sistemas nervioso, circulatorio y reproductivo, en la parte posterior corre el intestino a lo largo del cuerpo, que abre al final en el ano; son hermafroditas, con órganos sexuales femeninos y masculinos en el mismo individuo; externamente desarrollan una estructura llamada clitelo, a modo de cinturón engrosado alrededor de todo el cuerpo que abarca pocos segmentos, lo que representa que el individuo ha alcanzado la madurez sexual y está apto para reproducirse. Representan la mayor biomasa animal en la mayoría de ecosistemas templados terrestres, influyen de forma muy significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y juegan un papel crucial en la modificación de la estructura del suelo y en la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes.

Lavelle y Spain (2001) consideran que desde el punto de vista funcional tienen una acción fundamental en la transformación de las propiedades físicas del suelo debido a que regulan la compactación, porosidad, condiciones hídricas y la macroagregación; transforman el material orgánico en humus y consumen por día una cantidad de alimento equivalente al peso de su cuerpo, esta digestión es mediada por una mezcla de enzimas producidas en la pared del tracto digestivo y por la microflora del suelo que ingirieren. Son poco móviles, en condiciones de exceso de agua salen a la superficie y colonizan ambientes más favorables.

Bouche, (1986). Encontró en base a su tamaño, tipo de alimentación y habilidad de cavado se clasifican en tres grupos ecofisiológicos: epigeas, anécicas y endógenas. Las epigeas viven entre la hojarasca y se alimentan en la superficie del suelo de materiales orgánicos frescos y son importantes en la fragmentación de los residuos, no son cavadoras, presentan pigmentación en todo el cuerpo (con color rosado, rosado azuladas, con bandas amarillentas o naranjas), son pequeñas, y tienen movimientos rápidos. Son eficientes composteras que no impactan en la estructura del suelo. Predominan en las zonas frías

Lavelle y Spain (2001) indican que las lombrices anécicas viven en galerías verticales semipermanentes, se alimentan de los residuos superficiales que los mezclan con suelo, salen por la noche para obtener el alimento, depositan coprolitos en la superficie, presentan pigmentación anterodorsal; modifican los regímenes de agua y gases del suelo, pueden ser buenas indicadores en contaminación por plaguicidas y metales pesados, compactación, contenido de materia orgánica y condiciones hídricas en el medio edáfico. Las endógenas están concentradas en los 10 cm superiores del suelo y viven en túneles horizontales no permanentes alrededor de las raíces. Se alimentan de material vegetal en descomposición y de materia orgánica del suelo. No tienen pigmentación. Depositán coprolitos en superficie. Son responsables de grandes cambios en la estructura física del suelo, su actividad tiene importantes efectos en la agregación y estabilización de la materia orgánica. De estos mismos autores lo clasifican también de acuerdo a la manera en que utilizan los recursos y se dividen en tres subgrupos: Las **polihúmicas** son pequeñas y filiformes, explotan sitios con altas concentraciones de materia orgánica por lo que se encuentran en la interfase residuos-suelo, caracterizadas por seleccionar las partículas orgánicas que ingieren; Las **mesohúmicas** tienen tamaño medio, se alimentan de suelo sin seleccionar las partículas orgánicas, se encuentran entre 10 y 15 cm de la superficie

del suelo, especies que pertenecen a este grupo son *Aporrectodea caliginosa*, *Allobophora clorotica* y *Allobophora rosea*. Las **oligohúmicas** viven en profundidad en sitios pobres de recursos, son muy grandes y tienen movimientos muy lentos. Están restringidas a suelos calientes de las sabanas húmedas

2.3.2 PHYLLUM ARTROPODA

a. Hormigas

Cabrera y Dávila (2014) señalan que pertenecen al Phylum Arthropoda, Clase Insecta, Orden Hymenoptera, Familia Formicidae, de comportamiento gregario, parientes de las avispas y las abejas; en sus colonias existen diferentes miembros o castas que cumplen con funciones distintas, por ejemplo: los soldados que protegen el nido, y las obreras que cuidan la colonia y alimentan a sus integrantes; las hormigas se identifican fácilmente por sus antenas en ángulo recto o de forma acodada y por la presencia de una constricción entre el tórax y el abdomen, llamada pedicelo o cinturita; sus nidos pueden ser simples o altamente complejos, se forman en la superficie o en el interior del suelo, para lo cual remueven los diferentes estratos de este medio, contribuyendo así a la dinámica de descomposición y mineralización de la materia orgánica, creando sitios de refugio y alimentación para otros organismos descomponedores. Las hormigas son organismos omnívoros, poco selectivos, que consumen todo tipo de material vegetal o animal, son efectivos depredadores de otros invertebrados, controlando sobre todo la población de herbívoros y la producción vegetal. Algunos especialistas han registrado un aumento de su abundancia, diversidad y actividad en sistemas agrícolas integrados.

b. Termitas y comejenes

Cabrera y Dávila (2014) señalan que pertenecen al Phylum Arthropoda, Clase Insecta, Orden Isóptera, son insectos sociales, forman colonias donde conviven diferentes castas. El par real (reina y rey) encargada de la reproducción durante toda la vida de la colonia; obreras y los soldados cumplen con la formación, cuidado del nido y la protección contra los depredadores, respectivamente. De cuerpos blandos, blanquecinos o incoloros, con boca masticadora; poseen antenas rectas, uniformes, no acodadas; además, no presentan la estructura de pedicelo entre el tórax y el abdomen. Los adultos son alados, quienes asumirán el rol del par real dentro de la colonia, presentan alas membranosas, ambas activas en el vuelo. Se les reconoce por su acción como de agentes biológicos que atacan

la madera, ya que requieren un alimento rico en polímeros como la lignina, celulosa y hemicelulosa; practican el mutualismo con la microflora que permiten la descomposición de la celulosa, intervienen en la descomposición de la materia orgánica (detritívoros de los ecosistemas tropicales). Se pueden encontrar en hojarasca, troncos caídos en descomposición, formando nidos en la superficie e interior del suelo y afectando árboles vivos. Para la construcción de sus nidos transportan grandes cantidades de material orgánico, que contribuye significativamente el reciclaje de nutrientes y aumenta la actividad microbiológica del suelo, influyen también en la porosidad, aireación y drenaje del suelo.

c. Escarabajos

Cabrera y Dávila (2014) señalan que pertenecen al Phylum Artrópoda, Clase Insecta, Orden Coleóptera, insectos que presentan un tegumento duro (esclerotizado) y piezas bucales masticadoras con fuertes mandíbulas, se diferencian de otros insectos debido a que los adultos presentan un primer par de alas, esclerotizadas, no funcionales para el vuelo, que cubren total o parcialmente el abdomen, llamadas élitros. En el suelo se encuentran tanto larvas como adultos, desarrollan todo su ciclo de vida en el suelo o solo vivir durante su fase larval, y una vez que alcanzan el estado adulto cambiar de ambiente, estas en comparación con las larvas de otros insectos presentan la cabeza con piezas bucales de tipo masticador y tres pares de patas bien diferenciados. Entre las familias de escarabajos más comunes en el suelo se pueden mencionar a: *Elateridae*, *Scarabaeidae*, *Curculionidae*, *Chrysomelidae*, *Tenebrionidae*, *Carabidae* y *Staphylinidae*. Generalmente *Elateridae* y *Scarabaeidae* se encuentran en forma larval, y el resto de las familias, en estado adulto.

Por la gran variedad de formas, tamaños, sitios de refugio y alimentación, podemos encontrar familias detritívoras, herbívoras y depredadoras. Las familias *Elateridae*, *Scarabaeidae*, *Curculionidae* y *Chrysomelidae* son fundamentalmente herbívoras, ya sea de hojas, tallos o raíces. Las dos primeras familias viven en el interior del suelo, entre las raíces de las plantas, y el resto pueden ser encontradas entre la hojarasca superficial. Por su parte, *Tenebrionidae* es detritívora y *Carabidae* depredadora de otros escarabajos, de larvas de moscas y de mariposas, de chinches, de caracoles y de microartrópodos como los colémbolos. En el caso de *Staphylinidae* tiene especies herbívoras, detritívoras y

también depredadoras de otros insectos y de microartrópodos como los ácaros oribátidos. *Tenebrionidae*, *Carabidae* y *Staphylinidae* pueden ser halladas en la superficie o en el interior del suelo. Algunas de estas familias son muy sensibles a cambios en las prácticas agrícolas que afectan los recursos disponibles, ya sea por la aplicación de fertilizantes, plaguicidas o laboreo intenso.

d. Cucarachas

Cabrera y Dávila (2014) señalan que pertenecen al Phylum Arthropoda, Clase Insecta, Orden Dictyoptera, son insectos aplanados y forma ovalada, cabeza pequeña y triangular, donde parten un par de antenas muy largas, piezas bucales masticadoras muy desarrolladas, pueden tener, o no, alas e incluso las especies aladas no siempre vuelan. Poseen patas largas y espinosas; en el suelo habitan tanto formas inmaduras o ninfas, como adultos; consumen con mayor frecuencia todo tipo de material muerto de origen animal o vegetal (omnívoro y detritívoro), o material vegetal vivo (herbívoros); de actividad nocturna fundamentalmente y se encuentran en un amplio rango de ecosistemas.

e. Tijeretas

Cabrera y Dávila (2014) señalan que pertenecen al Phylum Arthropoda, Clase Insecta, Orden Dermáptera, pueden ser confundidos con escarabajos, elongados y con aparato bucal masticador, la mayoría de las especies presentan el primer par de alas como élitros y el segundo en forma de abanico, al final de su cuerpo presentan un par de estructuras a modo de fórceps, cercos o pinzas; realizan todo su ciclo de vida en el suelo, cavando y viviendo en túneles profundos; principalmente de actividad nocturna y función es detritívora y depredadora.

f. Mariposas, polillas, orugas

Cabrera y Dávila (2014) indican que pertenecen al Phylum Arthropoda, Clase Insecta, Orden Lepidóptera, las polillas pueden encontrarse en estado adulto y que al contrario de las mariposas no tienen colores vistosos y actividad fundamentalmente nocturna; es muy común encontrar en el suelo orugas que constituyen la fase larval de los lepidópteros. Se distinguen por la presencia de escamas en todo el cuerpo, y por tener boca en forma de trompa enrollada que permite chupar el néctar de las flores. Las orugas, por su parte, tienen forma de gusano, a veces envueltas en una seda, con la cabeza y los tres pares de

patas diferenciados, y con unas estructuras proyectadas o abultadas hacia el final del cuerpo, consideradas falsas patas. Las orugas son fáciles de encontrar en profundas cámaras o galerías, en pastizales y otros sistemas; tienen hábitos herbívoros pues se alimentan de las hojas de las plantas.

g. Cochinillas

Cabrera y Dávila (2014) señalan que pertenecen al Phylum Arthropoda, Clase Malacostraca, Orden Isópoda, insectos que poseen el cuerpo de coloración gris a negro, aplanado, segmentado y dividido en cabeza, tórax y abdomen; aunque el tórax y el abdomen tienen el mismo ancho, no diferenciándose claramente, la cabeza está fusionada con los primeros segmentos torácicos y provistos de dos pares de antenas que actúan como órganos sensoriales; los segmentos torácicos y abdominales tienden a proyectarse lateralmente, presentan por lo general, siete pares de patas y tienen una estructura final llamada telson, fusionada casi siempre al último segmento abdominal; cuando le amenaza un depredador y a modo de protección algunas especies se enroscan formando una bola; se alimentan de material vegetal muerto, por lo que ayudan en la descomposición de la hojarasca, y en algunas situaciones pueden ingerir excrementos, restos animales y material vegetal vivo; actúan como transformadores de hojarasca con una importante acción trituradora sobre el tejido de plantas muertas; altamente susceptibles a la pérdida de agua, por lo cual están restringidos a hábitats húmedos debido a que su sistema respiratorio es branquial, por lo que necesita lugares húmedos para vivir, esto hace que sus costumbres sean sobretodo nocturnas. Por su permanencia en la superficie del suelo (los únicos crustáceos terrestres), pueden ser afectados por el intenso laboreo y la adición de plaguicidas, fundamentalmente. Los isópodos pueden llegar a vivir 3 años, en ese tiempo muda 5 veces hasta alcanzar la madurez sexual; presentan dimorfismo sexual. Los machos son de un tono más oscuro que las hembras, que suelen tener manchas blanquecinas en su caparazón.

h. Milpiés

Cabrera y Dávila (2014) señalan que pertenecen al Phylum Arthropoda, Subphylum Myriapoda, Clase Diplopoda; de cuerpos cilíndricos, segmentados, de múltiples patas, de diferentes coloraciones y tamaños (desde 2 mm hasta varios cm de longitud); cuerpo compuesto cabeza y el tronco, el cual es alargado, de constitución dura, que termina en el

telson donde abre el ano; cabeza con un par de ojos, provista de mandíbulas y antenas cortas; cada segmento del tronco con dos pares de patas, característica que le da nombre al grupo (Diplopoda). La mayoría de las especies portan un par de glándulas por segmento que secretan una sustancia repelente cuando se sienten amenazados, o se enrollan y adoptan forma esférica; netamente detritívoros, tienen una función importante en la fragmentación y descomposición de la hojarasca, influyendo en la disminución del tamaño de los restos vegetales. Algunas especies están fuertemente asociadas a madera podrida porque habitan bajo la corteza de los árboles, mientras otros solo se encuentran en cuevas. Tienen, al igual que otros habitantes de la hojarasca y la superficie del suelo, una alta dependencia del contenido de humedad.

i. Ciempiés

Cabrera y Dávila (2014) indican que pertenecen al Phylum Arthropoda, Subphylum Myriapoda, Clase Chilopoda, popularmente conocidos como ciempiés y/o escolopendras, son de cuerpo segmentado, alargado y plano, dividido en cabeza y tronco, usualmente azulado, amarillos pálidos y naranjas o con otras combinaciones de colores, poseen un par de patas por segmento del cuerpo, y pueden llegar a medir desde unos mm hasta varios cm. Tienen un par de antenas, por lo general de considerable longitud, localizadas en el margen anterior de la cabeza. Al final del cuerpo presentan el telson, del cual se extienden un par de apéndices a modo de patas; carnívoros o depredadores y atacan todo tipo de animales de su tamaño, para ello poseen piezas bucales modificadas secretando veneno para capturar y matar a sus presas; pueden encontrarse en tocones viejos y podridos de árboles, debajo de piedras, en la hojarasca e incluso en las grietas de cuevas; requieren siempre microclimas húmedos debido a su pérdida de agua.

j. Arañas

Cabrera y Dávila (2014) señalan que pertenecen al Phylum Arthropoda, Clase Arachnida, Orden Araneae, cuerpo dividido en dos regiones: anteriormente, el cefalotórax y posteriormente, el abdomen; en el cefalotórax se ubican de dos a cuatro pares de ojos, y unas estructuras en par llamadas quelíceros (y otras pedipalpos), usadas para capturar y dar muerte a sus presas. El abdomen es liso, no segmentado y generalmente de forma globosa. Es característica en todos los arácnidos la presencia de cuatro pares de patas. Otros representantes de arácnidos que se pueden encontrar con

facilidad en el suelo son los opiliones o arañas patonas y los seudoescorpiones o falsos escorpiones. Los primeros, muy parecidos a las arañas y de cuerpo pequeño, se diferencian por tener las patas largas y delgadas y el cefalotórax y el abdomen fusionados. Los falsos escorpiones son muy pequeños y semejantes a los escorpiones, pero el abdomen es sin cola y sin glándula venenosa; son depredadores principalmente de insectos; habitan la hojarasca y las grietas de la superficie del suelo, bajo piedras, cortezas de troncos; y pueden vivir en los nidos de termitas y hormigas, sobre todo los falsos escorpiones. Las arañas producen seda, llamada telaraña y algunas la usan para cazar a sus presas, otras arañas son cazadoras activas. Las arañas pueden indicar la calidad del hábitat ya que requieren de recursos alimenticios y de refugio disponibles en el ecosistema.

2.4 LA MACROFAUNA Y SU EFECTO EN EL SUELO

Lavelle y Spain (2001) indican que la macrofauna del suelo es un importante regulador de muchos procesos del ecosistema como son: conservación de la estructura del suelo, actúan sobre el microclima y la aireación, influyen en el movimiento y retención de agua, en el intercambio gaseoso y en las propiedades químicas y nutricionales del mismo, pueden activar o inhibir la función de los microorganismos y están involucrados en la conservación y el ciclo de los nutrientes. Astier *et al.*, (2002) indica que las propiedades físicas tales como la estructura, la porosidad y la capacidad de retención de agua, permiten un crecimiento y desarrollo adecuado de las partes subterráneas de las plantas y, en consecuencia de las partes aéreas al evitar algún estrés fisiológico.

Primavesi (1982) menciona que la mayoría de los componentes de la macrofauna mejoran el suelo, en especial en lo que respecta a la movilización de nutrimentos, a través de las enzimas, y en el mejoramiento de la estructura, por medio de la activación de la microvida; en parte mejoran la física del suelo, revolviéndolo y cavándolo; las galerías construidas por la fauna del suelo, facilitan la penetración de las raíces, la infiltración del agua y la circulación del aire en el suelo; la actividad de la macrofauna no puede ser separada de la actividad microorgánica del suelo, ya que muchas veces los animales crean condiciones favorables para la microvida además de controlarla; adicionalmente las enzimas excretadas por la macrofauna del suelo, como lombrices, saprófagos (que viven de materia orgánica muerta), y larvas de insectos, pueden estimular el crecimiento de los

cultivos. Por ejemplo, se ha comprobado que las lombrices favorecen el crecimiento de la soja y el trébol blanco.

Decaëns *et al.*, (1984) citado por el CIAT (2003) señala que la macrofauna ejerce diferentes efectos en los procesos que determinan la fertilidad del suelo; regulan, por ejemplo las comunidades de microorganismos responsables de la mineralización y la humificación y, en consecuencia, influyen en el ciclo de la materia orgánica y en la disponibilidad de nutrientes asimilables por las plantas. A través de su acción mecánica en el suelo, contribuyen a la formación de agregados estables que pueden proteger parte de la materia orgánica de una mineralización rápida y que constituyen, por tanto, una reserva de nutrientes potencialmente disponibles para las plantas.

De manera específica Ríos (s.f) menciona que las lombrices tienen gran influencia sobre las propiedades del suelo, las grandes galerías verticales hechas por las lombrices anécicas, como *Lumbricus terrestris*, pueden facilitar el flujo de agua a través del perfil del suelo, incrementando el transporte de nutrientes y compuestos químicos agrícolas hasta las capas profundas. Otros grupos como las epigeas, facilitan la ruptura y mineralización de los desechos superficiales y las anécicas incorporan desechos superficiales en las capas profundas del perfil, también traen suelo de horizontes profundos hasta la superficie, lo cual al pasar el tiempo puede cambiar la mineralogía de la superficie del suelo. Ellas ingieren partículas del suelo y materia orgánica, la mezcla de los desechos de estas dos fracciones constituyen las excretas o lo que se llama coprolitos o humus. Una vez expulsado al suelo en forma de coprolitos puede ser erosionado debido al impacto de la lluvia o puede formar agregados sólidos estables a través de una variedad de mecanismos de estabilización. Las lombrices generalmente promueven la aireación y porosidad a través de la formación de madrigueras y al incrementar la proporción de grandes agregados en el suelo, y sus efectos son especialmente importantes en suelos con estructura pobre.

Primavesi (1982) menciona que las hormigas, por su lado, aflojan el suelo enriqueciéndolo sustancialmente con calcio., aparte de removerlo pasando toda la capa arable por sus intestinos cada tres años, también poseen glándulas calcíferas ("glándulas de Morren"); de esta manera neutralizan el ambiente con sus excrementos ricos en calcio. Sabemos actualmente que mucha fauna del suelo, como las larvas de ciertos insectos y los miriápodos, poseen glándulas calcíferas, en suelos ricamente poblados por

macrofauna, el humus producido siempre es de buena calidad, además, nunca se forma humus ácido en suelos con actividad animal diversificada, así, donde existe una macrofauna activa hay menos hongos en el suelo, porque los animales ejecutan la tarea de romper las estructuras de lignina y celulosa. Por lo tanto, en estos suelos hay menos peligro de que lleguen a presentarse enfermedades fúngicas. También es conocido el efecto amonificante de la macro fauna del suelo, principalmente porque en sus excrementos prosperan microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico.

2.5 INFLUENCIA DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA MACROFAUNA DEL SUELO

Lavelle *et al.*, (1993) citado por Morales y Sarmiento (2002) señalan que el laboreo agrícola así como el tipo de cultivo establecido en una parcela pueden tener efectos negativos y/o positivos en la densidad, riqueza de morfotipos y la diversidad de la macrofauna del suelo. Es decir que la comunidad de macrofauna es altamente sensible a perturbaciones y cambios que pueda experimentar el suelo donde habita y ello a su vez puede afectar profundamente su rol en el funcionamiento del ecosistema. Rendón (2011) indica que la macrofauna del suelo es poco considerada al momento de establecer las diferentes prácticas agrícolas; no obstante, puede ser afectada por el impacto que ocasiona la labranza y el uso de insumos químicos, condición que se refleja en la reducción o eliminación de especies y en la disminución de la biomasa de estas poblaciones.

2.5.1 POR EL TIPO DE CULTIVO Y/O COBERTURA DEL SUELO

Abecasis (2014) señala que, tener un suelo desnudo o sin cobertura que lo proteja de la luz directa del sol y de los golpes de lluvias copiosas, es una amenaza para la supervivencia y diversidad de la macrofauna, así como instalar grandes superficies con una sola especie o monocultivo no favorece además la conservación del suelo. Todo ello, origina estrés en el suelo, la planta y la fauna del suelo, porque se exige más allá de sus límites al agrosistema y se le cree la posibilidad de que comience a generarse una baja biodiversidad edáfica y de insectos. El autor recomienda que los campos de cultivo se diversifiquen, porque diferentes cultivos tendrán diferentes demandas del suelo y estos a su vez aportaran condiciones edáficas para que prospere la macrofauna y ello sucederá cuando tenga suficiente materia orgánica disponible proveniente de los restos de cosechas

y de los estiércoles de animales mayores (vacunos, ovinos, camélidos, equinos, entre otros).

Cabrera (2014) señala los efectos negativos de un progresivo deterioro de la materia orgánica por una entrada menor e irregular de hojarasca al sistema y retiro de los rastrojos de la superficie. El mismo autor señala que existen también efectos positivos en la fauna edáfica cuando hay asociación y rotación de cultivos, con ello se garantiza un balance entre la extracción y donación de nutrientes en el suelo, lo que favorece su fertilidad y disminuye la incidencia de plagas y enfermedades. Además, contribuye a una cobertura vegetal diversa y con ello a un mayor aporte de hojarasca y recursos heterogéneos que determinan un aumento en la variedad de organismos edáficos benéficos como los detritívoros.

2.5.2 POR EL LABOREO AGRONÓMICO

Primavesi (1982) menciona que, cuando se realiza labranza se voltea la capa arable de suelo exponiendo la fauna edáfica aeróbica a una situación de anaerobiosis inmediata, la que causa su eliminación del sistema y deja el suelo desprovisto de vida en su superficie, que es clave en todos los procesos de formación de suelo agrícola; a esto Abecasis (2014) señala que lo anterior ocurre principalmente cuando se pasa maquinaria, la cual rompe su delicada estructura y provoca la compactación del suelo, y con ello un sinnúmero de dificultades para que la vida en el suelo prospere, un ejemplo, la aparición de microorganismos anaerobios que terminan siendo perjudiciales para las plantas ya que pueden llegar a eliminar casi todo el NO_3 disponible, entre otros males. Esta es una de las principales razones por las que en muchos países del mundo se procura no labrar, y por el contrario se busca introducir plantas protectoras del suelo en los cultivos comerciales. Así mismo, la rotación de cultivos, cuando está acompañada por la incorporación superficial de rastrojo o paja, modifica rápidamente la fauna del suelo, reduciendo los agentes patógenos y eliminando situaciones extremas, sin embargo, en el monocultivo este mecanismo no funciona.

2.5.3 POR EL EMPLEO DE PLAGUICIDAS

Abecasis (2014) menciona que el uso de biocidas para proteger los cultivos de plagas y enfermedades, se realiza creyendo que el problema son estos organismos, cuando el

verdadero problema es la falta de biodiversidad en el suelo (micro, meso y macrofauna), y al aplicar los plaguicidas erradicamos además de la plaga o enfermedad gran parte de la microflora y fauna del suelo, esto vuelve a reducir aún más la ya baja biodiversidad, atentando contra el sistema suelo-planta. Y lo peor del caso es que no se solucionó el verdadero problema. La solución es muy simple: mantener la mayor biodiversidad posible y evitar disturbios en el ecosistema edáfico, esto disminuirá la posibilidad de plagas y enfermedades en los cultivos; y si las hubiera, serán de bajo impacto. Ríos (s.f) mencionan que los plaguicidas tienen efectos varios sobre las lombrices, algunos químicos tienen poca o ninguna toxicidad sobre estas, mientras que otros muestran un efecto letal.

2.5.4 POR EL EMPLEO DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS

Abecasis (2014) indica que, todos los fertilizantes provocan impactos en la biota edáfica, en función de las dosis que se apliquen. Uno de ellos puede ser el cambio de pH, otro el exceso de un tipo de molécula que activa la reproducción de ciertos organismos en detrimento de otros, etc. Y esto genera un desequilibrio que muchas veces puede perjudicar al cultivo, con la adición de sustancias de síntesis, generamos dos tipos de disturbios: 1) excesos de un tipo de molécula en particular que genera el desarrollo de poca biodiversidad edáfica. Por ej.: excesos de N y de P reducen el desarrollo de fijadores y micorrizas, entre otros, y 2) modificaciones químicas del suelo que pueden alterar el hábitat ideal para la reproducción de la fauna (pH, etc.). Por ello, cuando tenemos suficiente cantidad y diversidad de fauna edáfica, las plantas logran obtener una enorme cantidad de nutrientes. Cabrera (2014) señala que los fertilizantes sintéticos 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. Ríos (s.f) agrega que, largas aplicaciones de fertilizantes inorgánicos pueden afectar negativamente sus poblaciones debido a la acidificación y otros cambios en el suelo. El encalado puede beneficiar las poblaciones de lombrices en algunos casos.

2.6 CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO

Doran y Parkin (1994) citado por Cabrera (2014) indican que la calidad del suelo se define como la capacidad continua de este recurso para mantener el crecimiento sano de las plantas y la productividad del ecosistema, lo cual depende de las características químicas, físicas y biológicas del mismo. Larson y Pierce (1994), Karlen *et al.*, (1998) y Astier *et*

al., (2006) citados también por Cabrera (2014) indican que la calidad de suelo es la capacidad inherente que tiene un tipo de suelo (o series de suelos), para funcionar adecuadamente dentro de un ecosistema natural o manipulado, proporcionando ciertos servicios a las plantas, los animales y el hombre, de acuerdo al uso específico o multifuncional, sin que ocurra degradación ni daños de los recursos naturales. Coincide también Unigarro *et al.*, (2009) que la calidad del suelo es un atributo que depende de la integración de diferentes propiedades fisicoquímicas, biológicas, efectos de manejo y sistemas de cultivo, aunadas a condiciones climáticas.

Swift (1999) y Sánchez *et al.*, (2003) citados por Sánchez y Reyes (2003) esbozan un concepto más holístico, donde reconocen que el recurso suelo es parte de un sistema de producción complejo, dinámico y diverso, compuesto por minerales, sustancias orgánicas, solución del suelo, gases y organismos vivos que interactúan continuamente en respuesta a fuerzas biológicas, físicas y químicas naturales e impuestas. Aquí el componente biológico es muy importante para una buena calidad de suelo, el que dependerá en gran parte del estado de este componente y su relación con los otros componentes del suelo, por ello con frecuencia se indica que la función ecológica esencial que desempeñan los organismos biológicos del suelo y su relación con las propiedades del suelo, tanto física como química, determinan sus características tanto de humedad, compactación, porosidad y contenido de materia orgánica, llegando a ser valorados como indicadores de la calidad o fertilidad del suelo y del impacto positivo o negativo que puede llegar a representar la forma en que maneja un suelo.

Brown *et al.*, (2001) citado por Cabrera (2014) mencionan que la fauna del suelo contribuye sustancialmente en diversos procesos y servicios ecosistémicos, como son el reciclaje de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la conservación de la estructura del suelo, convirtiéndose así la presencia fauna en el suelo como garantía de la calidad y fertilidad del medio edáfico sean estos sistemas naturales, agrícolas y forestales, a lo señalado anteriormente se suma el Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, (2013) quien indica que estudios del estado biológico del suelo pueden ser considerados como referentes del estatus del suelo, esto es, como un indicador de su calidad, el cual está relacionado directamente con la fertilidad natural de dicho suelo.

Por tanto, se podría definir que la calidad biológica del suelo es la capacidad inherente y continúa del componente biológico para seguir funcionando adecuadamente dentro de un sistema natural o perturbado, que permita el crecimiento saludable de las plantas, una adecuada productividad del ecosistema, además de proporcionar diferentes servicios ambientales al hombre, animales y plantas; integrando de manera equilibrada a los factores físicos y químicos del suelo y, manejo apropiado del sistemas de cultivo.

2.7 LA MACROFAUNA EDÁFICA INDICADOR DE CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO

Dumanski *et al.*, (1998) citado por A. Bautista Cruz, *et al.*, (2004) indica que para evaluar los cambios en la calidad del suelo y para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, estos representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición Estos indicadores son instrumentos muy importantes de análisis que nos permitirán simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Adriaanse (1993) citado también por A. Bautista Cruz, *et al.*, (2004) refiere que los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él.

De similar manera Doran y Parkin (1994) mencionan que las condiciones y/o propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a ser consideradas como indicadores de calidad son: a) Describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica y cuando sea posible; i) ser componentes de una base de datos del suelo ya existente. Edwards y Bohle (1996) indican además que para que la macrofauna del suelo sea considerada como indicador de la calidad biológica del suelo es necesario que esté fuertemente ligado a otros índices de calidad, tanto físicos como químicos. Así, Brown *et al.*, (1997) citado por Cabrera (2014) menciona que los invertebrados que constituyen la macrofauna del suelo manifiestan algunos de estos rasgos, lo cual argumenta su utilización como indicadores biológicos. Además la macrofauna tiene las siguiente

ventajas que lo hacen ideales para ser considerados indicadores biológicos, tales como: a) su diversidad taxonómica y ecológica, b) hábitos relativamente sedentarios, c) su presencia a lo largo del año, d) la posibilidad de que sean manipulados e identificados (tratamiento taxonómico), e) su corto período entre generaciones que permite una rápida respuesta poblacional a los cambios ambientales, f) su alta densidad y capacidad de reproducción posibilitan un muestreo intensivo, sin que ello provoque desequilibrio en la comunidad. g) importancia funcional en los ecosistemas y h) una respuesta aparentemente previsible ante las perturbaciones.

2.8 SISTEMAS PRODUCTIVOS

2.8.1 AGRICULTURA CONVENCIONAL

Rodríguez *et al.*, (2002) menciona que en general la agricultura convencional es un forma de agricultura que se basaba en el uso de agroquímicos, semillas híbridas, riego abundante y uso de maquinaria para la preparación y sostenimiento de cultivos. Chocobar (2010) coincide en indicar que la agricultura convencional no toma en cuenta el medio ambiente, sus ciclos naturales, ni el uso racional y sostenible de los recursos naturales.

(Rodríguez *et al.*, 2002). Este sistema de producción, expresa la dependencia de agroquímicos por parte de este sistema, lo que implica un incremento de dosis o un cambio de productos por unos de mayor “toxicidad”, esto ocasiona que el suelo pierda su estructura, compactación y fertilidad por el uso de fertilizantes sintéticos, y por esta razón, en la búsqueda de lograr cada vez más altos niveles de producción, el productor continúa con el incremento en dosis y frecuencia de estos insumos deteriorando cada vez más el agroecosistema; la labranza intensiva que es otra característica de la agricultura convencional, que conlleva pérdidas importantes de suelo debido a la erosión ya que el suelo después de esta labranza queda más vulnerable a la influencia del viento y del agua. Otra práctica usada por la agricultura convencional es la irrigación, esta causa contaminación en ríos y otros cuerpos de agua por los lixiviados que dejan prácticas como la fertilización química

2.8.2 AGRICULTURA ORGÁNICA

FAO (2015) indica que el término agricultura orgánica tiene varios sinónimos: ecológica, biológica, etc. según el idioma en que se diga, sin embargo, los principios de la agricultura

orgánica están en armonía con los principios de la agricultura biodinámica y la permacultura (sistema de diseño integral basado en varias ciencias que procura satisfacer las necesidades humanas sin destruir, contaminar o agotar los recursos naturales). Por esto, se puede definir la agricultura orgánica como un proceso que utiliza métodos que respetan el ambiente, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento. Así la producción orgánica no solo se ocupa del producto, sino también de todo el sistema que se usa para producir y entregar el producto al consumidor final, de aquí que las Normas Básicas de la Federación Internacional del Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) del 2002, definen la agricultura orgánica como "un enfoque integral basado en un conjunto de procesos que resulta en un ecosistema sostenible, alimentos seguros, buena nutrición, bienestar animal y justicia social. Esta producción orgánica es, por lo tanto, mucho más que un sistema de producción que incluye o excluye un determinado insumo". Y de acuerdo con el Codex Alimentarius "la agricultura orgánica se basa en un sistema de manejo holístico de la producción que promueve y mejora la salud del ecosistema, incluyendo los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo". Por tanto, lo característico de la agricultura orgánica, es que se basa en el uso mínimo de insumos externos, evita los fertilizantes y plaguicidas sintéticos, y se utilizan métodos para reducir al mínimo la contaminación del aire, suelo y el agua. Éste sistema de producción no permite las prácticas de irradiación de los cultivos y el uso de ingeniería genética en el mejoramiento genético de plantas y animales.

2.8.3 SISTEMA PASTIZAL

FAO (2015) indica que los sistemas de pastoreo son áreas dedicadas a la producción de hierba o pasto de forma permanente, por un periodo mínimo de cinco años o más, y utilizadas principalmente para aprovechamiento ganadero, y lo conforman comunidades vegetales con predominio de plantas herbáceas que sirve de alimento al ganado en los cuales más del 90% de la materia seca con la que se alimenta a los animales, proviene de dehesas, pasturas y forrajes anuales. Este sistema comprende el prado natural, pastizal de alta montaña, pastizal y pastizal matorral.

2.8.4 SISTEMA FORESTAL

Un Sistema Forestal es un conjunto de interrelaciones biótico - sociales que se expresan en una particular combinación de métodos y prácticas relacionadas entre sí, con el objeto

de obtener productos forestales de muy diverso tipo conforme a los usos que define cada especie forestal y a los fines para los cuales se promueven los desarrollos forestales. Este conjunto de interrelaciones tiene una ubicación espacial y territorial definida y características ecológicas, socio culturales, históricas, tecnológicas y económicas propias, constituyendo un complejo Genérico - Genésico, que al mismo tiempo que concreta actividades forestales determinadas, refleja sus orígenes, evolución y tendencias, expresados en los Paisajes Forestales a los que da lugar (Briceño, 2000), en palabras sencillas, se puede decir que un sistema forestal es una área de terreno que se caracteriza por estar amplia y densamente poblado de árboles, arbustos y matorrales, los que pueden estar constituidos por diferentes especies de árboles o por un tipo predominante casi exclusivo. Además, puede considerarse refugio para la vida animal silvestre y por su particularidad, es útil para el hombre, pues sirve como fuente de materia prima, madera, leña y otros productos forestales no madereros como forraje, semillas, etc., y como medio de conservación de los suelos contra la erosión.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

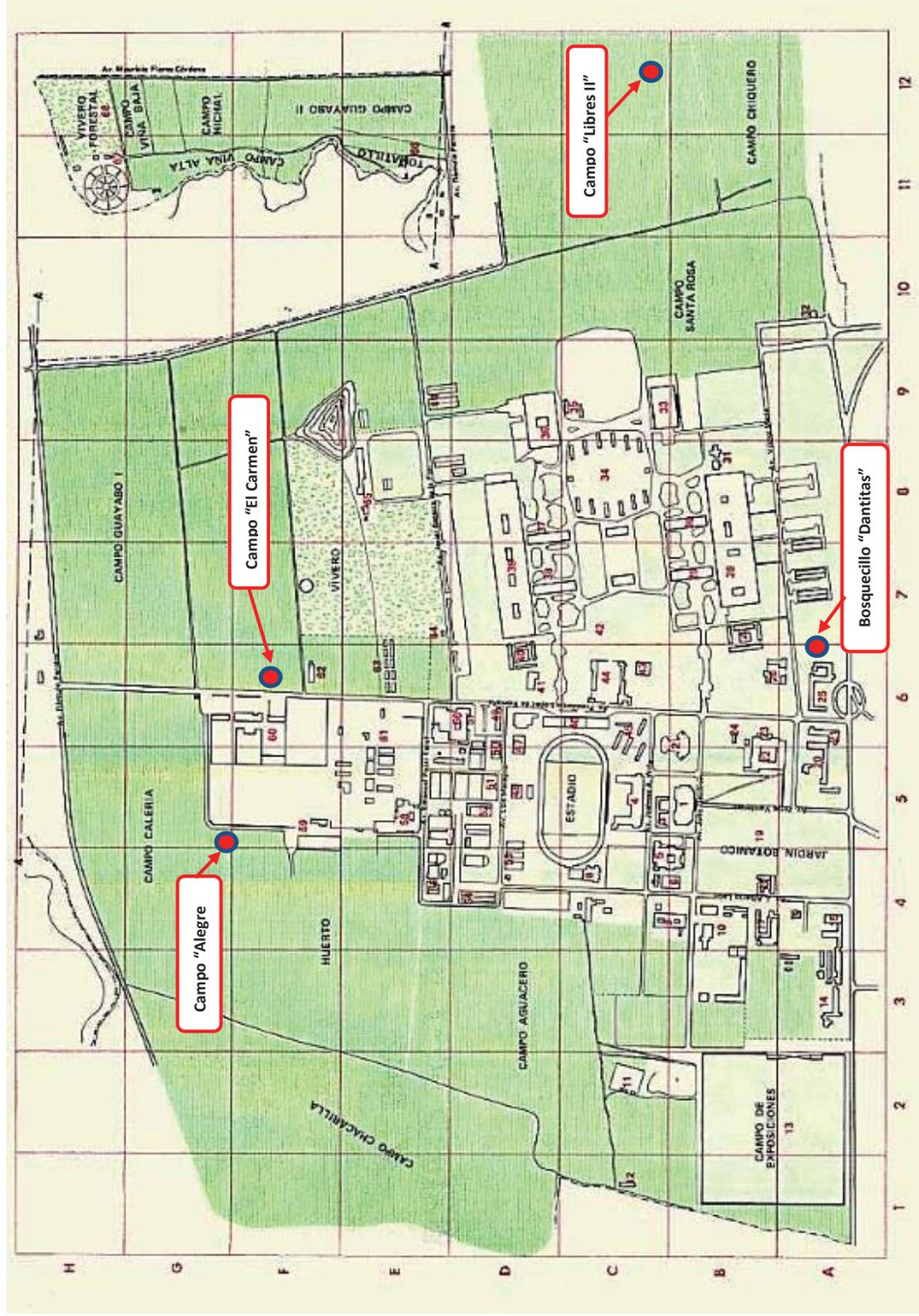
3.1. UBICACIÓN DEL CAMPOS EVALUADOS

Para el presente estudio se eligieron cuatro campos productivos de la Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM (figura 1), ubicado en el distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima. Estos campos difieren tanto en los cultivos o especies que albergan como en el manejo agronómico que se realiza en ellos. La ubicación geográfica de cada uno de los campos es el siguiente, ver tabla 3.1.

Tabla 3.1: Descripción de los campos y ubicación geográfica en coordenadas UTM

Descripción del Campo	Coordenadas UTM WGS84-ZONA 18		Hemisferio
	NORTE	ESTE	
Campo “Alegre 3” es un sistema de agricultura orgánica ubicado en el Programa de Hortalizas (Huerto) de la UNALM, destinado al cultivo de diversas hortalizas como: acelga, albahaca, arveja, betarraga, brócoli, cebolla china, cilantro, col china, espinaca, huacatay, ho lan tao, lechuga, nabo, rabanito, zanahoria, entre otras.	8663362.276	288374.688	Sur
Campo “Libres II” es un sistema de agricultura convencional administrado por Vice rectorado Académico de la UNALM y destinado al cultivo de anuales como: camote var. Jonathan, maíz amarillo duro y maíz chala PM-212 y Dekalb-7088.	8663684.631	287511.975	Sur
Campo “El Carmen” es un sistema de pastizal orgánico administrado por el Programa de Ovinos y Camélidos de la facultad de zootecnia de la UNALM, en este se cultiva de forma permanente pasto elefante <i>Pennisetum purpureum</i> var. Camerún.	8663335.893	288255.715	Sur
Arboretum “Dantitas” es un sistema forestal con especies permanentes que pertenece al Programa de Manejo Forestal de la facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, tiene por finalidad apoyar las prácticas de los cursos de la facultad de Ciencias Forestales y ser fuente de frutos y semillas de especies forestales como el jacarandá, grevilea, tulipán africano, eucalipto, fresno, entre otras especies.	8663990.232	288044.863	Sur

FIGURA 1. Mapa de ubicación de los sistemas productivos evaluados



3.2. HISTORIAL DE MANEJO DE LOS CAMPOS EVALUADOS

3.2.1. Campo “Alegre 3”: Sistema de Agricultura Orgánica con Cultivos

Hortícolas

El campo “Alegre 3” de aproximadamente 5 000 m², pertenece al Programa de Hortalizas (Huerto) de la UNALM, presentando este campo Certificación Orgánica otorgada por Control Union desde el año 2014. En esta área, entre los años 2013 a 2015 se desarrollaron las parcelas experimentales del curso de olericultura general, donde los alumnos de la facultad de agronomía de la UNALM cultivaron diversas hortalizas (*Beta vulgaris*, *Ocimum basilicum*, *Pisum Sativum*, *Amaranthus dubius*, *Brassica oleracea*, *Alium cepa*, *Coriandrum sativum*, *Brassica campestris*, *Spinacia oleracea*, *Tagetes minuta*, *Pisum Sativum*, *Lactuca sativa*, *Brassica rapa*, *Petroselinum crispum*, *Allium ampeloprasum L. var. Porrum*, *Raphanus sativus*, *Daucus carota* y *Cucurbita pepo*) durante un semestre académico. La preparación del terreno en los tres años fue de la siguiente manera: riego machaco, arado, gradeo y surcado con maquinaria, solo en el año 2013 se aplicó un abonamiento de fondo con estiércol de vacuno a la razón de 20 tn/ha. Los riegos fueron por gravedad y semanales y los deshierbos manuales realizados por los alumnos encargados de las parcelas. Además, se aplicó guano de islas por puñados dirigido a algunos cultivos como brócoli, ho-lan-tao y col china. Para el control de plagas y enfermedades se usó: Aceite agrícola de soya o maíz, *Bacillus thuringiensis*, Capcisina, Rotenona, Spinosat y Biol como fertilizante foliar.



FIGURA 2: Campo “Alegre 3” administrado por el Programa de Hortalizas (Huerto) de la UNALM

3.2.2. Campo “Libres II”: Sistema de Agricultura Convencional con Cultivos Anuales

El campo “Libres II” de aproximadamente 04 has de extensión, pertenece al Campo Agrícola Experimental CAE-FUNDO de la UNALM, está administrado por el Vicerrectorado Académico. Esta Unidad tiene como finalidad contribuir al desarrollo integral de la Universidad, en lo académico, investigación agrícola, proyección social y en la generación de recursos propios a través de la producción de bienes y servicios. Por ello, en los años 2013 a 2015 específicamente en el campo Libre II se cultivaron camote var. Jonathan, maíz amarillo duro y maíz chala PM-212 y Dekalb-7088.

En el año 2012 se cultivó camote, *Ipomea batata* variedad Jonathan, en el año 2013 en la campaña de marzo - julio se sembró *Zea mays*, maíz chala y de agosto a marzo de 2014 maíz amarillo, y nuevamente de marzo - julio de 2014 se sembró maíz chala y de agosto a marzo de 2015 maíz amarillo. En la preparación del terreno, el último abonamiento de fondo con estiércol de vacuno fue en el año 2011 a razón de 20 tn/ha. Posterior a ello, en cada campaña se realizaron: riego machaco, arado, gradeo y surcado con maquinaria y para la fertilización química se usó: Urea, fosfato amónico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) y cloruro de potasio (ClK). Los riegos son por gravedad aproximadamente cada 3 semanas. Para el control de plagas y enfermedades del cultivo de maíz amarillo se usó Atracina como herbicida, Nicosulfuron, Metamidofos más Metomil y Carbofuran, y para el maíz chala se usó solo Carbofuran en 2 o 3 aplicaciones. Para el cultivo de camote no se usó ningún fitosanitario.



FIGURA 3: Campo “Libre II” ubicado en el Campo Agrícola Experimental - FUNDO de la UNALM

3.2.3. Campo “El Carmen”: Sistema de Pastizal Orgánico con Cultivo Permanente

“El Carmen” es un campo de producción de pastos cultivados de aproximadamente 0.5 ha de extensión, el cual desde año del 2005 es administrado por el Programa de Ovinos y Camélidos (Granja Rigoranch) de la facultad de zootecnia de la UNALM, ese mismo año se instaló el pasto *Pennisetum purpureum* Schumacher o comúnmente llamado “pasto elefante var. Camerún”, con semilla vegetativa procedente de otro campo cultivado en la UNALM, desde entonces el pasto elefante ha sido tratado como cultivo perenne.

El riego del campo está sometido a la disponibilidad de agua y al turno de riego, así, en promedio se riega una vez al mes. No se realiza ningún control fitosanitario contra plagas o enfermedades. El abonamiento se realiza inmediatamente después de cada corte, aplicándose estiércol de ovino sobre la superficie del suelo a razón de 10 sacos de 50 kg cada uno luego de cada corte o cosecha.

Los cortes se realizan cada 02 meses en verano y cada 4 a 5 meses en invierno, el forraje cosechado se usa como alimento para el ganado ovino y camélido de la universidad.



FIGURA 4: Campo “El Carmen” administrado por el Programa de Ovinos y Camélidos (Granja Rigoranch) de la facultad de zootecnia de la UNALM

3.2.4. Arboretum “Dantitas”: Sistema Forestal con Especies Permanentes

El arboretum o bosquecillo denominado “Dantitas” de aproximadamente 3200 m² de extensión, fue establecido a inicios del año 1980 como área demostrativa del funcionamiento de sistemas agroforestales. Esta área es administrada actualmente por el Programa de Manejo Forestal de la facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, y a día de hoy, este espacio tiene como finalidad apoyar las sesiones prácticas de los cursos de: Medición forestal, Evaluación y toma de datos en Ecología I y Dendrología, además, es fuente de frutos y semillas de especies forestales como el jacarandá, grevilea, tulipán africano, eucalipto, fresno, entre otras especies. Las podas de limpieza y mantenimiento, así como los deshierbos del suelo se realizan mediante faenas forestales con alumnos de la facultad. Los riegos se realizan por inundación, siendo estos 2 veces/mes en épocas de avenidas y cada 3 meses en época seca. No se realiza ningún control sanitario de plagas y/o enfermedades y, desde que se estableció el plantel de especies forestales no ha habido reposición de plantas nuevas.



FIGURA 5: Arboretum “Dantitas” administrado por el departamento de Manejo Forestal de la facultad de Ciencias Forestales de la UNALM

3.3. ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS SUELOS EVALUADOS

3.3.1. Campo “Alegre 3”: Agricultura Orgánica con Cultivos Hortícolas

El análisis de suelo caracterizó a este campo de textura franco arenoso (Fr.Ao), con pH 8.01 o moderadamente alcalino, muy ligeramente salino con CE 0.49 dS/m, con bajo contenido de materia orgánica (0.78%), alta disponibilidad de fósforo (16.5 ppm), disponibilidad media de potasio (211 ppm) y las relaciones K/Mg y Ca/Mg son normales.

3.3.2. Campo “Libres II”: Agricultura Convencional con Cultivos Anuales

El análisis de suelo caracterizó a este campo de textura franco arcillo arenoso (Fr.Ar.Ao), con pH 8.01 o moderadamente alcalino, muy ligeramente salino con CE 0.48 dS/m, con bajo contenido de materia orgánica (1.25%), baja disponibilidad de fósforo (6.9 ppm), disponibilidad baja de potasio (113 ppm) y las relaciones K/Mg y Ca/Mg son normales.

3.3.3. Campo “El Carmen”: Sistema Pastizal Orgánico con Cultivo Permanente

El análisis de suelo caracterizó a este campo de textura franco (Fr.), con pH 7.98 o moderadamente alcalino, muy ligeramente salino con CE 0.44 dS/m, con bajo contenido de materia orgánica (1.05%), baja disponibilidad de fósforo (4.3 ppm), disponibilidad baja de potasio (61 ppm) y las relaciones K/Mg y Ca/Mg son normales.

3.3.4. Arboretum Dantitas”: Sistema Forestal con Especies Permanentes

El análisis de suelo caracterizó a este campo de textura franco (Fr.), con pH 8.05 o moderadamente alcalino, muy ligeramente salino con CE 0.37 dS/m, con bajo contenido de materia orgánica (1.10%), baja disponibilidad de fósforo (3.2 ppm), disponibilidad baja de potasio (98 ppm), las relaciones K/Mg y Ca/Mg son normales.

Tabla 3.2: Caracterización cualitativa del análisis de suelos

Campo Evaluado	Textura	pH	CE	Contenido Materia Orgánica	Disponibilidad		Relación	
					Fósforo	Potasio	K/Mg	Ca/Mg
“Alegre 3” (Orgánico)	franco arenoso	Moderadamente alcalino	muy ligeramente salino	bajo	alta	media	normal	normal
“Libre II” (Convencional)	franco arcillo arenoso	Moderadamente alcalino	muy ligeramente salino	bajo	baja	baja	normal	normal
“El Carmen” (Pastizal)	franco	Moderadamente alcalino	muy ligeramente salino	bajo	baja	baja	normal	normal
“Dantitas” (Forestal)	franco	Moderadamente alcalino	muy ligeramente salino	bajo	baja	baja	normal	normal

3.4. IDENTIFICACIÓN DE MACROFAUNA

En el presente estudio se evaluó la presencia de lombriz de tierra (*Pontoscolex corenthurus*) polihúmicas y endógenas (Lavelle y Spain, 2001), especie que fue reconocida taxonómicamente por Righi en 1992 (Cañazaca, 2007) y que, según estudios previos realizados por Camacho (1994) en suelos agrícolas de la UNALM, se estableció que *Pontoscolex corenthurus* era la especie predominante en suelos productivos de la UNALM.

Para la evaluación de otra macrofauna, como hormigas, escarabajos, tijeretas, cochinillas, arañas, entre otras, se recogió la superficie del suelo a evaluar y se contabilizó individualmente cada una de ellas y se identificó hasta el nivel taxonómico de familia.

3.5. MATERIALES

Los principales materiales a evaluar fueron: a) los monolitos de suelo extraídos de cada uno de los campos seleccionados (El Carmen, Libres II, Alegre 3 y Dantitas) de donde se examinó la presencia de lombrices de tierra y b) las porciones de suelo superficial de cada monolito de donde se evaluó presencia de macrofauna superficial.

Las herramientas empleadas para el recojo de muestras y extracción del monolito de suelo en la fase campo fueron:

- Picos y/o Palas
- Cinta métrica o wincha
- Bolsas de plástico
- Recipientes de plástico de 5 L de capacidad
- Rotuladores indelebles
- Cinta adhesivas de papel (masking tape)
- Carretilla
- Cámara fotográfica

Los materiales en la fase de laboratorio fueron:

- Muestras de suelo a evaluar
- Mallas de tamiz 2 mm
- Brochas, pinzas
- Regla milimetrada

- Alcohol glicerado
- Lupa 10X
- Estereoscopio
- Cámara fotográfica
- Material de escritorio

3.6. METODOLOGÍA

3.6.1. METODOLOGÍA DE RECOJO DE MUESTRAS EN CAMPO

El muestreo para la densidad de lombrices se realizó en suelos con diferentes sistemas de producción: Agricultura Convencional, Agricultura Orgánica, Sistema Pastizal y Sistema Forestal dentro del campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina:

- En cada campo se trazó imaginariamente una diagonal y se marcó tres (03) puntos equidistantes, representativos del área y en lo posible alejados de caminos muy transitados, parches o pequeñas zonas de suelos muy diferentes a simple vista. De cada punto se tomaron tres muestras: 1) suelo superficial (con hojarasca y/o restos vegetales), 2) de los primeros 30 cm de profundidad y 3) de los siguientes 30 cm de profundidad.
- Para la muestra de monolito de suelo se siguió la metodología TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility, 1993), la cual se basa en la demarcación de un área de 0.25 m x 0.25 m de lado (ver Figura 6).
- Demarcada el área se cavó hasta una profundidad de 60 cm dejando el monolito expuesto. Posteriormente se recogió la hojarasca y suelo superficial y el monolito se dividió en dos profundidades de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm.
- De cada sistema de producción se tomó 9 muestras de suelo, 3 puntos de muestreo por campo, y de cada punto se tomó 3 muestras de suelo, una para cada profundidad de estudio. En total se tomaran 36 muestras de suelo para los 4 sistemas de producción.
- El suelo correspondiente a cada profundidad se empacó en bolsas debidamente rotuladas para el momento del traslado al Laboratorio de Análisis de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina.
- De las muestras de suelo se extrajeron los organismos de forma manual.

- Con ayuda de pinzas entomológicas y pinceles se extrajeron los organismos y se depositaron en frascos de vidrio con alcohol glicerado (70% alcohol y 30% glicerina) a fin de mantener y conservar su estructura y color para su identificación.
- Se procedió al conteo o cuantificación individual de los individuos encontrados en los monolitos de diferentes profundidades.

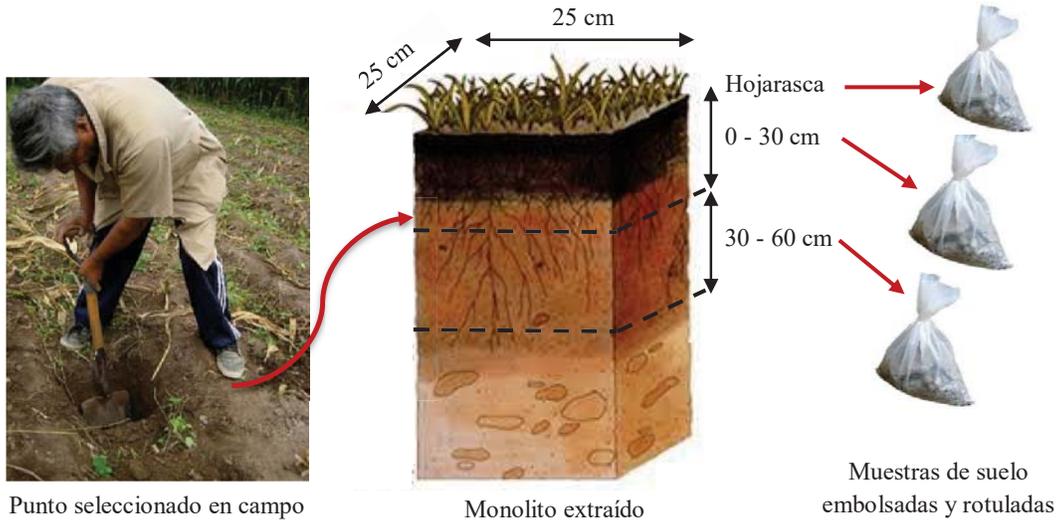


FIGURA 6: Método de recojo del monolito suelo según TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility, 1993)

3.6.2. METODOLOGÍA DE TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

a. Prueba de Kruskal - Wallis

En términos estadísticos, la prueba de Kruskal-Wallis (de William Kruskal y W. Allen Wallis) es un método no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población. Es bastante similar a la prueba de Análisis de la Varianza (ANOVA) con los datos reemplazados por categorías. Esta prueba se aplica generalmente cuando se tiene muestras pequeñas pero de 3 o más grupos, y cuando la variable respuesta es cualitativa. Con esta prueba estadística no calcula la normalidad, sino que en el análisis de la varianza se asume que las observaciones provienen de distribuciones normales (en oposición al tradicional ANOVA) lo que es asumido bajo la hipótesis nula (H_0), esto significa que los datos tienen de la misma distribución (Lara, 2001).

Esta prueba permite contrastar si $k > 3$ muestras aleatorias e independientes proceden de una misma población o de poblaciones idénticas con la misma mediana. Así, sean n_1, n_2, \dots, n_k , los tamaños de cada una de las muestras y N el total de observaciones. Para el

cálculo del estadístico se ordenan las N observaciones de menor a mayor y se les asignan rangos desde 1 hasta n. A continuación se obtiene la suma de los rangos correspondientes a los elementos de cada muestra, R_i , y se halla el rango promedio. Si la H_0 es cierta, es de esperar que el rango promedio sea aproximadamente igual para las k muestras; cuando dichos promedios son muy diferentes es un señal de que H_0 es falsa.

A continuación la ecuación estadística de Kruskal – Wallis que se usa para el calcular la Probabilidad (Pvalor) de aceptar o rechazar H_0 , así, cuando $Pvalor > 0.05$ se acepta H_0 y cuando $Pvalor \leq 0.05$ se rechaza H_0 (se acepta H_1).

$$T = \frac{1}{S^2} \left[\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i,j} R(X_{ij})^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

b. Comparaciones múltiples

De encontrarse que la H_0 es falsa o se rechaza, entonces se realiza un análisis de comparaciones múltiples, el que permite comparar entre si cada categoría y determinar diferencias cualitativas entre ellas.

En aquellas situaciones donde se rechaza la H_0 de la prueba Kruskal – Wallis, significa que las distribuciones poblacionales de las muestras o categorías no son iguales, por tanto será necesario realizar pruebas de contrastes posteriores para determinar o precisar entre qué categorías existen estas diferencias significativas que provocaron rechazar la H_0 , y con esto conocer qué categoría, muestras o tratamientos concretos producen mayor efecto o cuáles son las categorías o tratamientos diferentes entre sí, para ello se usa la siguiente regla de decisión (Lara, 2001 y García *et al.*, 1998).

$$\left| \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right| > t_{(1-\frac{\alpha}{2}, N-k)} \left[\frac{S^2(N-1-T)}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right) \right]^{1/2}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DENSIDAD DE LOMBRICES DE TIERRA

La densidad de lombrices encontradas en los cuatro sistemas productivos se presenta en la tabla 4.1, como se observa el rango promedio de la densidad de lombrices en los sistemas productivos evaluados estuvo entre 21.33 y 170.67 individuos/m², siendo el sistema pastizal el que presentó cuantitativamente mayor presencia de lombrices y el sistema forestal el menor número de lombrices. Estos resultados son reforzados por Laossi et al., (2008) quien menciona que para el caso de los sistemas herbáceos, con influencia casi total de gramíneas y donde se observa un gran volumen de fitomasa aérea y subterránea (sistema de pastizales evaluado), este favorece la presencia de lombrices y termitas, estimuladas por la mineralización del carbono a partir de los exudados radicales. Siendo esto así, la prueba estadística de Kruskal-Wallis demostró que al menos uno de los campos evaluados es significativamente diferente y con la prueba de comparaciones múltiples se elaboró un ranking de campos de mayor a menor densidad poblacional de lombrices.

Tabla 4.1: Densidad promedio de lombriz de tierra en cuatro sistemas productivos ubicados en el campus de la UNALM

Sistema Productivo	Densidad de lombrices de tierra de 0 a 30 cm profundidad (individuos/m ²)	Capacidad de campo (CC) del suelo al momento del muestreo* (%)
Campo "El Carmen" Sistema Pastizal	170.67	≥20
Campo "Alegre 3" Agricultura Orgánico	69.33	<20
Campo "Libres II" Agricultura Convencional	37.33	>20
Arboretum "Dantitas" Sistema Forestal	21.33	<20

* Se dedujo la CC de los suelos muestreados basados en estudios previos realizados a suelos de la UNALM (Reyes, 1999), donde se estima que la capacidad de campo promedio para suelos de la UNALM es de 20 %.

En estudios previos realizados por Lavelle *et al.*, (1994), Decaëns *et al.*, (1984) y Cañazaca, (2007), en el sistema productivo de monocultivo anual de Colombia y Perú, obtuvieron los resultados que pueden observarse en la tabla 4.2, donde la densidad de lombrices de tierra en suelos de monocultivo anual oscila entre 14 y 27 individuos/m², sin embargo, el valor promedio encontrado en el presente estudio fue de 37.33 individuos/m², siendo este valor superior al reportados por los autores antes mencionados. El valor superior encontrado en este estudio es un indicador de que el manejo agronómico del suelo influye en la mayor o menor presencia de lombrices de tierra, pues por el historial que se maneja de los acampos evaluados, para el caso del campo “Libres II” donde se desarrolla agricultura convencional con cultivos anuales (maíz amarillo y camote), con riego machaco, arado, gradeo y surcado con maquinaria, fertilización química y aplicación fitosanitaria, los cultivos anuales son rotados en el campo y se incorpora los restos de cosecha al suelo, de aquí que las lombrices de tierra encuentren mejores condiciones para su desarrollo poblacional.

De similar manera Lavelle *et al.*, (1994), Decaëns *et al.*, (1984) y Cañazaca, (2007) realizaron estudios en Colombia, México y Perú sobre la densidad de lombrices en sistemas de pastizales tradicionales e introducidos, registrando amplios rangos que van desde 32 hasta 948 individuos/m², y el valor promedio encontrado para ese estudio fue de 170.67 individuos/m², observándose que está dentro del rango encontrados por estos autores (ver Tabla 4.2).

Sin embargo, al confrontar los resultados obtenidos por Cañazaca (2007) para suelos con pastizal introducido en la UNALM de 65.6 individuos/m² y los encontrados en este estudio para el campo “El Carmen” de 170.67 individuos/m², según el historial de este campo, el sistema pastizal estudiado es manejado como un cultivo permanente orgánico, donde no se realiza ninguna aplicación fitosanitaria ni fertilización química, no se realiza laboreo mecánico y la cosecha o corte del pasto es seguida de un abonamiento con estiércol de ovino, aproximadamente 500 kg en 0.5 ha (área del campo “El Carmen”), realizándose 3 a 4 cortes al año hacen un total aproximado de 1.5 tn estiércol/año. El estiércol se introduce manualmente con pala, por lo que el suelo no ha sido removido drásticamente desde aproximadamente 10 años, por ello las raíces del pasto, el estiércol y el agua de riego generan condiciones favorables para que las lombrices prosperen, incluso más que en un sistema productivo orgánico de cultivo de hortalizas donde se

encontró en promedio 69.33 individuos/m², como es el caso de estudio del campo “Alegre 3”, donde no se aplica fitosanitarios ni fertilización química, pero que sin embargo se realizan labores de arado, gradeo y surcado con maquinaria, condición que influye de alguna manera en la densidad poblacional.

Tabla 4.2: Comparativo de densidad (individuos/m²) de lombrices (*Pontoscolex corenthurus*), en diferentes sistemas productivos de Colombia, México y Perú.

Región	Sistema productivo	Lombrices (<i>Pontoscolex corenthurus</i>) Densidad (ind/m ²)	Referencia bibliográfica
Colombia	Monocultivo anual	18 - 27	Decaëns <i>et al.</i> 1994
Perú	Monocultivo anual	14	Lavelle <i>et al.</i> 1989
Perú – La Molina	Monocultivo anual	17.6	Cañazaca, E. 2007
Perú - La Molina	Monocultivo anual	37.33	Este estudio
Colombia	Pastizal tradicional	32 - 192	Decaëns <i>et al.</i> 1994
Colombia	Pastizal introducido	139 – 213	Decaëns <i>et al.</i> 1994
México	Pastizal tradicional	620 – 948	Lavelle <i>et al.</i> 1989
Perú	Pastizal tradicional	546 - 740	Lavelle <i>et al.</i> 1989
Perú – La Molina	Pastizal introducido	65.6	Cañazaca, E. 2007
Perú - La Molina	Pastizal introducido	170.67	Este estudio

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS DENSIDAD DE LOMBRICES

a. Análisis Estadístico del Total de Lombrices de 0 – 30 cm.

Los datos de densidad de lombrices se graficaron estadísticamente por el método de cajas (ver figura 7) y se puede observar que la mayor cantidad de lombrices se obtiene en los sistema orgánico y pastizal, sobresaliendo el sistema pastizal, sin embargo, el gráfico también nos indica que en el sistema pastizal existe aparentemente mayor variabilidad, para ello se evaluó estadísticamente a través de la Prueba de Kruskal-Wallis para ver si hay diferencia significativa entre los campos y determinar cuál o cuáles son el que evidencian mayor densidad de lombrices de tierra, y para ello fue necesario establecer hipótesis.

H_0 (0 a 30 cm): La densidad de lombrices a una profundidad de 0 a 30 cm es el mismo en los 4 sistemas productivos.

H_1 (0 a 30 cm): La densidad de lombrices a una profundidad de 0 a 30 cm es diferente en al menos un sistemas productivos

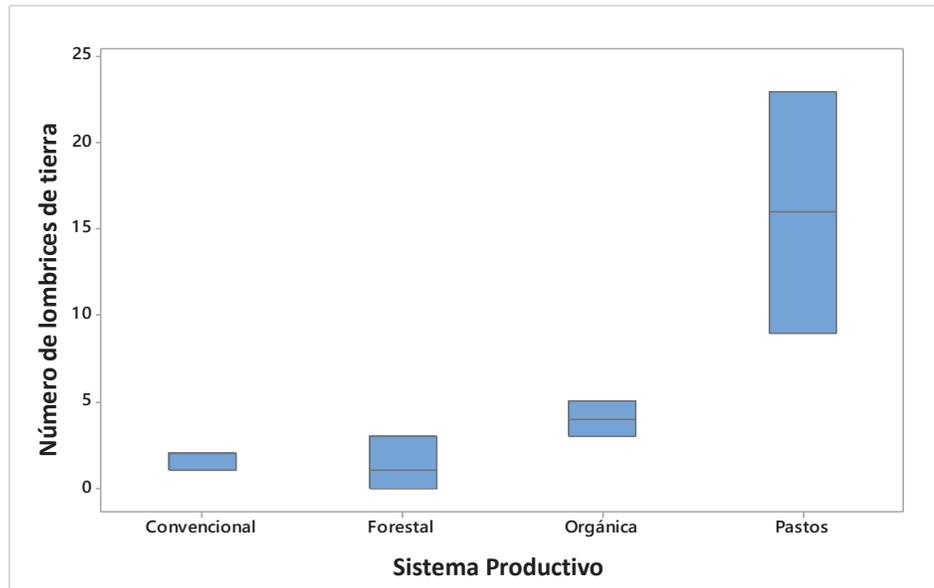


FIGURA 7. Densidad de lombrices por sistema productivo en suelos de la UNALM

Para aceptar o rechazar la H_0 (0 a 30 cm) se aplicó la prueba estadística Kruskal-Wallis la cual usa el siguiente estadístico:

$$T = \frac{1}{S^2} \left[\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i,j} R(X_{ij})^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

De la aplicación de esta prueba estadística a los datos obtenidos para la densidad de lombrices de 0 a 30 cm de profundidad, en cada uno de los cuatro sistemas de producción, dio como resultado:

$T = 7.926267$	$P \text{ valor} = 0.04756037$
----------------	--------------------------------

Esto significa que, a un nivel de significancia del 0.05 rechazamos H_0 , por lo tanto, estadísticamente la densidad de lombrices es diferente en al menos uno de los sistemas productivos evaluados, esto es, se acepta la H_1 (0 a 30 cm).

Para identificar cuál de los 4 sistemas productivos presentó mejores resultados sobre la presencia de lombrices en el suelo a la profundidad de 0 - 30 cm se realizó un análisis de **comparaciones múltiples**, donde se comparó entre si cada sistema productivo, para ello se usó la siguiente regla de decisión:

$$\text{Si } \left| \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right| > t_{(1-\frac{\alpha}{2}, N-k)} \left[\frac{S^2(N-1-T)}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right) \right]^{1/2}$$

Tabla 4.3: Resultado de las comparaciones múltiples de cuatro sistemas productivos

Comparaciones	Diferencia	Pvalor	Sig	LCL	UCL
Convencional - Forestal	0.5	0.7427	ns	-2.961455	3.9614555
Convencional - Orgánica	-4	0.0292	*	-7.461455	-0.5385445
Convencional - Pastos	-6.666667	0.0047	**	-10.536692	-2.7966418
Forestal - Orgánica	-4.5	0.018	*	-7.961455	-1.0385445
Forestal - Pastos	-7.166667	0.0032	**	-11.036692	-3.2966418
Orgánica - Pastos	-2.666667	0.1473	ns	-6.536692	1.2033582

ns: no hay diferencias significativas.

* y ** presentan diferencias significativas.

De acuerdo a la regla de decisión y los resultados observados en la tabla 4.3, se puede observar que no hay diferencia significativa al 0.05 entre el sistema convencional y el sistema forestal, así como tampoco hay diferencia entre el sistema orgánico y el sistema de pastos. Por lo tanto se pasó a identificar el o los mejores sistemas de producción en función de su promedio obtenido (ver tabla 4.4).

Tabla 4.4: Ranking de sistemas productivos en base a su media estadística.

Sistema Productivo	Medias	M
Sistema Pastizal	10.5	a
Agricultura Orgánica	7.83	a
Agricultura Convencional	3.83	b
Sistema Forestal	3.33	b

Letras iguales en la misma columna no difieren a Pvalor<0.05 según prueba de Kruskal – Willis.

Luego de realizar las comparaciones múltiples de la prueba Kruskal Wallis se puede observar que el mayor número de lombrices se puede obtener en el sistema de pastos seguido del sistema de agricultura orgánica.

b. Análisis Estadístico del Total de Lombrices de 30 – 60 cm.

De manera similar se aplicó una prueba estadística a los datos encontrados para la densidad de lombrices a una profundidad de 30 a 60 cm, en cada uno de los 4 sistemas productivos evaluados. Para ello, también se estableció una hipótesis.

H_0 (30 a 60 cm): El número de lombrices a una profundidad de 30 a 60 cm es el mismo en los 4 sistemas productivos evaluados.

H_1 (30 a 60 cm): El número de lombrices a una profundidad de 30 a 60 cm es diferente en al menos uno de los sistemas productivos evaluados.

Para aceptar o rechazar la H_0 (30 a 60 cm) se aplicó la prueba estadística Kruskal Wallis la cual usa el siguiente estadístico:

$$T = \frac{1}{S^2} \left[\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i,j} R(X_{ij})^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

De la aplicación de esta prueba estadística a los datos obtenidos para la densidad de lombrices de 30 a 60 cm de profundidad en cada uno de los cuatro sistemas de producción, dio como resultado:

$T = 4.481481$	$P \text{ valor} = 0.2139481$
----------------	-------------------------------

Esto significa que, a un nivel de significancia del 0.05 no rechazamos H_0 , por lo tanto, estadísticamente la densidad de lombrices no es diferente en al menos un lugar de trabajo, concluyéndose que los tratamientos son iguales a este nivel de profundidad. Debido a que no existen diferencias significativas no fue necesario realizar comparaciones múltiples.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA DENSIDAD DE MACROFAUNA

La densidad de macrofauna encontrada entre la hojarasca de los primeros 5 cm de suelo en cada uno de los cuatro sistemas productivos se presenta en la tabla 4.5. Y como se puede apreciar el rango promedio de densidad es variable para cada Clase de artrópodo, así encontramos que la población de hormigas varía de 21.33 a 90.67 individuos/m² para los sistemas de agricultura convencional y sistema forestal respectivamente y la población de chanchitos de la humedad varía entre 32.00 individuos/m² para agricultura orgánica y convencional y 42.67 individuos/m² para los sistemas de pastos y forestal, así familia formicidae y el orden isópoda, aparentemente resultaron ser las más numerosas en cada uno de los suelos evaluados. Las otras familias variaron su densidad poblacional de 0 a 21.33 individuos/m² esto para los casos de escarabajos en sus formas adulta y larval, larvas de lepidópteros, tijeretas, milpiés y arañas.

Sin embargo, aunque visualmente algunas familias parecen más numerosas que otras en los campos de estudio, la prueba estadística de Kruskal-Wallis demostró que no hay diferencia significativa entre los campos evaluados.

a. Análisis Estadístico del Total de Macrofauna de 0 – 30 cm.

Para el análisis de la sumatoria total de macrofauna encontrados a nivel superficial e incluso hasta los 30 cm de profundidad, en cada uno de los sistemas productivos, también se aplicó la prueba estadística Kruskal – Wallis para aceptar o rechazar la Ho (0 a 30 cm).

$$T = \frac{1}{S^2} \left[\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i,j} R(X_{ij})^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

Para ello, también se estableció la hipótesis.

Ho (0 a 30 cm): La densidad de macrofauna a una profundidad de 0 a 30 cm es el mismo en los 4 sistemas productivos evaluados.

H₁ (0 a 30 cm): La densidad de macrofauna a una profundidad de 0 a 30 cm es diferente en al menos uno de los sistemas productivos evaluados.

Tabla 4.5: Densidad promedio (individuos/m²) de macrofauna del suelo en cuatro sistemas productivos ubicados en el campus de la UNALM

Sistema productivo	Densidad promedio (individuos/m ²) del Phylum Artrópoda									
	Clase									
	Insecta		Diplópoda		Arácnida		Malacostrácea			
Escarabajos adultos	Larva de escarabajos	Larva de lepidópteros	Formigas	Tijeretas	Milpiés	Arañas	Chanchitos de la humedad			
Campo "El Carmen" Sistema Pastizal	10.67	21.33	0.00	40.67	21.33	0.00	0.00	42.67		
Campo "Alegre 3" Agricultura Orgánica	0.00	0.00	0.00	37.33	16.00	0.00	5.33	32.00		
Campo "Libres II" Agricultura Convencional	10.67	0.00	21.33	21.33	16.00	16.00	16.00	32.00		
Arboretum "Dantitas" Sistema Forestal	10.67	5.33	5.33	90.67	16.00	21.33	16.00	42.67		

De la aplicación de esta prueba estadística a los datos obtenidos para la densidad de macrofauna de 0 a 30 cm de profundidad, en cada uno de los cuatro sistemas de producción, dio como resultado:

$T = 5.566188$	$P \text{ valor} = 0.134733$
----------------	------------------------------

Esto significa que, a un nivel de significancia del 0.05 no rechazamos H_0 , por lo tanto, estadísticamente el número de macrofauna para la profundidad de 0 a 30 cm no es diferente en al menos uno de los sistemas productivos, concluyéndose que son iguales a este nivel de profundidad. Debido a que no existen diferencias significativas no fue necesario realizar comparaciones múltiples.

b. Análisis Estadístico del Total de Macrofauna de 30 – 60 cm.

Para el análisis de la sumatoria total de macrofauna encontrados de 30 a 60 cm de profundidad en cada uno de los sistemas productivos, también se aplicó la prueba estadística Kruskal - Wallis para aceptar o rechazar la H_0 (30 a 60 cm).

Para ello, también se estableció una hipótesis.

H_0 (30 a 60 cm): El número de macrofauna a una profundidad de 30 a 60 cm es el mismo en los 4 sistemas productivos evaluados.

H_1 (30 a 60 cm): El número de macrofauna a una profundidad de 30 a 60 cm es diferente en al menos uno de los sistemas productivos evaluados.

De la aplicación de esta prueba estadística a los datos obtenidos para la densidad de macrofauna de 0 a 30 cm de profundidad, en cada uno de los cuatro sistemas de producción, dio como resultado:

$T = 4.481481$	$P \text{ valor} = 0.2139481$
----------------	-------------------------------

Esto significa que, a un nivel de significancia del 0.05 no rechazamos H_0 , por lo tanto, estadísticamente el número de macrofauna para la profundidad de 30 a 60 cm no es diferente en al menos uno de los sistemas productivos, concluyéndose que son iguales a

este nivel de profundidad. Debido a que no existen diferencias significativas no fue necesario realizar comparaciones múltiples.

Tabla 4.6: Comparativo de la prueba estadística Kruskal - Wallis en los cuatro sistemas productivos evaluados.

Evaluación	Prueba Kruskal - Wallis			Comparaciones Múltiples
	T	P valor	Hipótesis aceptada	
Lombrices de 0 a 30 cm	7.926267	0.04756037	H ₁	Pastizal (a), Orgánica (a), Convencional (b), Forestal (b)
Lombrices de 30 a 60 cm	4.481481	0.2139481	H ₀	sin diferencia significativa
Macrofauna de 0 a 30 cm	5.566188	0.134733	H ₀	sin diferencia significativa
Macrofauna de 30 a 60 cm	4.481481	0.2139481	H ₀	sin diferencia significativa

La Tabla 4.6 permite visualizar todos los resultados de la prueba estadística de Kruskal – Wallis aplicados a cada profundidad para evaluar densidad de lombrices de tierra y macrofauna total. En este se observa que la prueba aplicada a la población de lombrices de tierra encontradas de 0 a 30 cm de profundidad es la única que dio diferencias significativas, encontrando que el sistema pastizal y agricultura orgánica tienen mejores resultados en densidad poblacional de lombrices, ello como resultado de un manejo agronómico menos perturbador sobre el suelo. A mayores profundidades, de 30 a 60cm no se encontraron diferencias significativas, ello puede deberse al menor contenido de humedad y materia orgánica necesarios para el desarrollo de la lombriz de tierra.

La prueba aplicada al total de macrofauna encontrada entre la hojarasca e incluso hasta los 30 cm de profundidad estadísticamente no encontró diferencias significativas, ello puede deberse al número de muestras que se tomó, 3 muestras por campo evaluado y al área superficial muestreada fue de 25 cm², aunque posteriormente se extrapolaron a 1 m² para un mejor análisis cualitativo, esto dio como resultado que en algunas muestras no hallaron individuos para registrar, como es el caso de escarabajos (adulto y larva) y milpiés en el campo de agricultura orgánica.

V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos luego aplicar la prueba estadística Kruskal Wallis a los datos y tomando el historial de los cuatro sistemas productivos evaluados así como las condiciones en las que se llevó el estudio, se puede concluir que:

- La densidad poblacional de lombrices de tierra (*Pontoscolex corenthurus*) a la profundidad de 0 a 30 cm fue mayor en el sistema productivo de pastizal, seguido del sistema productivo de agricultura orgánica, considerándose que la presencia de lombrices en un suelo es un buen indicador indirecto de la calidad del suelo.
- La densidad poblacional de lombrices de tierra (*Pontoscolex corenthurus*) a la profundidad de 30 a 60 cm, no tuvo diferencias significativas.
- La densidad poblacional de macrofauna (escarabajos, hormigas, cochinillas de la humedad, tijeretas, entre otros) a nivel de superficie del suelo y profundidades de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm, no tuvieron diferencias significativas.
- Las prácticas culturales o agronómicas influyeron en la densidad poblacional de las lombrices.
- El sistema de agricultura convencional del presente estudio registró en promedio una densidad poblacional baja de 37.33 lombrices/m².

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Repetir las evaluaciones bajo condiciones similares de humedad del suelo, debido a que las lombrices se muestran más activas en suelos con la humedad suficiente que les permita desarrollarse con normalidad.
- Considerar evaluar un mayor número de muestras por sistema productivo, sobre todo para las evaluaciones superficiales (a nivel de hojarasca) de macrofauna del suelo y generar un mayor número de oportunidades de cuantificar individuos y estos puedan ser analizados con la prueba de Kruskal – Wallis.
- Repetir y mejorar el sistema de trampas más eficaces para capturar mayor número de individuos y permitir identificar diversidad dentro de una misma familia taxonómica.
- Considerar evaluar un sistema de frutícola orgánico y convencional y compararlo con los resultados obtenidos en agricultura orgánica y sistema de pastizal orgánico.
- Realizar evaluaciones de macrofauna edáfica en suelos que han sufrido incendios de origen natural o antrópico (rozo y quemadas).
- En suelos con agricultura convencional tener especial cuidado en seguir las recomendaciones técnicas del fabricante de agroquímicos, vigilar el cumplimiento de la legislación nacional en cuanto al uso de productos químicos restringidos por su alta peligrosidad para la salud humana y del suelo (por ejemplo metamidofos).
- En campos de producción hortícola se recomienda una mayor incorporación de materia orgánica (guano de islas, de vacuno, rastrojos, entre otros) con el objetivo de proveer a la macrofauna del suelo condiciones necesarias para su crecimiento poblacional.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRFATICAS

- Abecasis, C. 2014. El Suelo como organismo vivo (en línea). Sitio Argentino de Producción Animal. Buenos Aires. Argentina. Consultado 15 marzo 2015. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/111-SUELO_COMO_ORGANISMO_VIVO.pdf
- Astier, M; Maass, M; Etchevers, J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5):605620.
- Atlas, R; Bartra, R. 2007. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Pearson Education. S.A. Madrid. España. 366-371 pp.
- Barnes, R. 1986. Zoología de los invertebrados. Tomo I y II. 1ra Edición Cubana. Corat Edición en español. 1125 pp.
- Bautista, A; Etchevers, B; Del Castillo, R; Gutiérrez, C. 2008. La calidad del suelo y sus indicadores (en línea). *Revista Ecosistemas* 8(2). Consultado 15 marzo 2015. Disponible en <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revisión2.htm>
- Botina, G; Velásquez, A; Bacca, T; Castillo, F; Díaz, L. s.f. Evaluación de la macrofauna del suelo en *Solanum tuberosum* (solanales, solanaceae) con sistemas de labranza tradicional y mínima. ISSN 0123 – 3068. Boletín Científico. Centro de Museos, Museo de historia natural. 69-77 pp.
- Briceño Méndez, M. 1991. Fundamentos Teórico Metodológicos para el Estudio de las Sociedades Rurales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida 1991. 28 pp.
- Brown, G; Fragoso, C; Barois, I; Rojas, P; Patrón, J; Bueno, J; Moreno, A; Lavelle, P; Ordaz, V; Rodríguez, C. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*, vol. Especial 1. 79-110 pp.

- Cabrera, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación. Perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes, Vol. 35, No. 4, octubre-diciembre. 349-364 pp.
- Cabrera, G. 2014. Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba. Facultad de Biología de la Universidad de La Habana. Cuba. 34 pp.
- Cabrera, G; Robaina, M. y Ponce de León, D. 2011. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Pastos y Forrajes, Vol. 34, No. 3. julio-septiembre. 331-346 pp.
- Camacho, P. 1994. La Lombriz de tierra y su efecto sobre *Fusarium solani* y *F. oxysporum*. Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM. Lima. Perú.
- Cañazaca, E. 2007. Estado poblacional de lombrices de tierra en suelos con diferentes grados de perturbación. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM. Lima. Perú.
- Carrillo, L. 2006. Vida y muerte de los microorganismos (en línea). Consultado 13 marzo 2015. Disponible en <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micragricap2.pdf>
- Cavazos, G. 1988. Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos. Ed.: Mc Graw Hill.
- Cerón, P; Montenegro, S; Noguera, E. 2008. Macrofauna en suelos de bosque y pajonal de la reserva natural pueblo viejo, Nariño, Colombia. Revista Académica de Ciencia: volumen XXXII, número 125-diciembre de 2008.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2003. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los llanos orientales de Colombia. El arado natural: Las Comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia. Capítulo 2. 21-45 pp.
- Chocobar GE. 2010. Edafofauna como indicador de calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejo en un experimento de larga duración. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias. Colegio de

- Posgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo. Texcoco. México.
- Contreras, E; Adriazola, J. 2011. Efecto de la pulpa de café y la fertilización química en el rendimiento y en la macrofauna edáfica del cultivo de café (*Coffea arabica* L.). *Investigación y Amazonía* 2011; 1(2): 53- 58 pp.
- Coyne, M., 2000. *Microbiología del suelo, un enfoque exploratorio*. Editorial Paraninfo, España. 416 pp.
- CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España). 2012. Indicadores de la calidad del suelo en calcisoles mediterráneos (en línea). Consultado 21 abril 2016. Disponible en <http://digital.csic.es/handle/10261/72833>
- CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España). 2013. Calidad de los suelos utilizados en la revegetación de las balsas de fosfoyesos (en línea). Consultado 15 marzo 2015. Disponible en http://csic.es/prensa/Ria%20Huelva%20III/Riahuelha_6.html
- Curry, JP. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. Edwards. Ed. *Earthworm Ecology*. CRC Press. Boca Ratón. California. USA. 37-64 pp.
- De la Rosa, I; Negrete-Yankelevich, S. 2012. Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 201-215 pp.
- Delgado, G; Burbano, A; Silva, A. 2011. Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas con café *Coffea arábica* L. *Revista de ciencias Agrícolas* año 2011 - Volumen XXVIII No. 1. 91-106 pp.
- Decaëns, T; Lavelle, P; Jiménez, J Escobar, G; Rippstein, G. 1994. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los Llanos Orientales de Colombia. *Journal of Soil Biology*. 30(4):157-168.
- Doran, J.W; Parkin, TB. 1994. Defining and assessing soil quality. In J.W. Doran, D. C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart, eds. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

- Doube, B; Schmidt, O. 1997. Can the Abundance or Activity of soil Macrofauna be used to Indicate the Biological Health of soils? Biologicals Indicadors of Soil Health. Editors C. Pankhurst, B. Doube and V. Gupta. CAB International. 265-295 pp.
- Edwards, C; Bohlen, P. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. Chapman and Hall. London. UK. 426 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2015. Año Internacional de los Suelos (en línea). Consultado 13 marzo de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/279372/>
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2015. Preguntas frecuentes sobre agricultura orgánica (en línea). Consultado 13 marzo de 2015. Disponible <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq1/es/>
- FitzPatrick, EA. 2011. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial Trillas. 1ra Edición. México. 19-24 pp.
- Fragoso, C; Castillo, P; Rojas, P. 2001. La importancia de la biota edáfica en México .Acta Zoológica Mexicana. vol. especial 1. 1-10 pp.
- Fraile, J. 2004. Las lombrices de tierra en Costa Rica, importancia agroecológica (en línea). Heredia. Costa Rica. Consultado 13 de marzo 2015. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_X/a50-2388-III_081.pdf
- García, J; Lara, A. 1998. Diseño Estadístico de Experimentos. Análisis de la Varianza. Grupo Editorial Universitario.
- García, Y; Ramírez, W; Sánchez S. 2014. Efecto de diferentes usos de la tierra en la composición y la abundancia de la macrofauna edáfica, en la provincia de Matanzas. Pastos y Forrajes, Vol. 37, No. 3, julio-septiembre. Matanzas. Cuba. 313-321 pp.
- George, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Escuela de Posgrado. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- Gomero, L; Velásquez, H. 1996. Manejo Ecológico de Suelos Conceptos, Experiencias y Técnicas (en línea). Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos – RAAA. Consultado 21 marzo 2015. Disponible en http://www.cepes.org.pe/pdf/manejo_ecologico_de_suelos.pdf
- Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. Sandiego. USA.
- Huauya, M; Huamaní, H. 2014. Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, *Theobroma cacao* L. (Malvaceae). The Biologist. Junio 12 (1). Lima. 45-55 pp.
- Huerta, E; Rodríguez, J; Evia, I; Montejo, E; De la Cruz, M; García, R. 2005. La diversidad de lombrices de tierra (Anélida, Oligochaeta) en el Estado de Tabasco, México. Revista Universidad y Ciencia 21(42). Consultado 15 marzo 2015. Disponible en http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia/diciembre2005/LOMBRICES_art3.pdf
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú). 2015. Consultado 15 marzo 2015. Disponible en <http://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/medio-ambiente/>
- Jiménez, T; Thomas, D; Lavelle, P. 2003. Las comunidades de la macrofauna de la superficie del suelo asociadas a las heces de las lombrices de tierra en los llanos orientales de Colombia / El arado natural “las comunidades de macro invertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia. 285- 305 pp.
- Jiménez, T; Thomas, D; Lavelle P. 2003. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de loa llanos orientales de Colombia / El arado natural “las comunidades de macro invertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia. 21- 45 pp.
- Jiménez, T; Thomas, D; Lavelle, P. 2003. La macrofauna del suelo: recurso natural aprovechable pero poco conocido. El arado natural “las comunidades de macro invertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia. 1- 20 pp.
- Jiménez, T; Thomas, D; Lavelle, P. 2003. Cuantificación de la macrofauna del suelo en una cuenca hidrográfica de Colombia / El arado natural “las comunidades de macro invertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia. 46- 56 pp.

- Killham, K. 1994. Soil Ecology. Cambridge University Press. Unit King.
- Lara, 2001. Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS. Ed.: Proyecto Sur.
- Lavelle, P; Kohlman. 1984. Etude Quantitative de la macrofaune du sol dans foret tropicale du Mexique. Bonampak, Chiapas. Pedobiología. 27:377-393.
- Lavelle, P; Spain, A. 2001. Soil ecology. Kluwer Scientific Publications. Dordrecht. Amsterdam. 211-239 pp.
- Laossi, K.R. et al. 2008. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian Pastures. Pedobiología. 51:397
- Lee, KE. 1985. Earthworms, their ecology and relationships with soil and use: Earthworms and their environment. CSIRO. Division of Soils. Academic Press. Australia. 3-32 pp.
- Linden, D; Hendrix, P; Coleman, D; Van Vliet, P., 1994. Faunal indicators of soil quality. Soil Science Society of America. Special Publication. J.35, 91-110 pp.
- Magdoff, F. 1995. Soil quality and management. In: Altieri, MA. Ed. Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture. 2ed. West View Press Inc. USA. 349-364 pp.
- Makeschin, F. 1999. Earthworms (*Lumbricidae oligochaeta*) Important Promoters of soil Development and soil fertility. Recycling processes nutrient fluxes and Agricultural production. Edited by Gerobenckinser. Marcel Dekker. INC. USA.
- Mateos, F. 2012. Ecología microbiana: Microbiología del suelo (en línea). Consultado 15 marzo del 2015. Disponible en <http://edicionmicro.usal.es/web/educativo/micro2/tema31.html#anchor305138>
- Medina, J; Vallejo, S; Rocha, M. 2001. Bases de política para la prevención de la contaminación del suelo y su remediación (en línea). México. D.F. Consultado 15 de marzo de 2015. Disponible en http://www.ine.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=343&tipo_filepdf&filename=343

- Melo, M. 2010. Evaluación de la macrofauna edáfica en parcelas experimentales enmendadas con biosólidos en diferente proporción en el aula ambiental Soratama. Usaquén, Bogotá D.C. Tesis para optar el título de bióloga. Pontificia Universidad Javeriana facultad de Ciencias carrera de Biología. Bogotá D.C.
- Méndez, M. 2000. Base Teórico Metodológica para la Identificación de Opciones y Propuestas de Desarrollo Forestal. Pág. 53-63. Rev. For. Lat. N° 35/2004
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). 2015. Suelos (en línea). Consultado 15 marzo 2015. Disponible en <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/index.php/component/search/?searchword=suelo&searchphrase=all&Itemid=172>
- Morales, J; Sarmiento, L. 2009. Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el páramo venezolano. Ecotrópicos (en línea). Consultado 13 marzo 2015. Disponible en http://www.150.185.136.100/scielo.php?script=sci_arttex&pid=s101216922002000100009&Ing=es&nrm=iso
- Pashanasi, B; Lavallw, P; Alegre, J. 2006. Efectos de lombrices de tierra (*Pontoscolex corethrurus*) sobre el crecimiento de cultivos anuales y características físicas y químicas en suelos de Yurimaguas. Revista Folia Amazónica 6(1-2). Iquitos. Perú.
- Porta, C; López-Acevedo, R; Poch, R. 2011. Introducción a la edafología. Uso y protección de suelos. Editorial Mundi Prensa. 2da Edición. Madrid. España. 429-431 pp.
- Primavesi, A. 1982. La biología del suelo (en línea). En: Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. 5ta. edición. El Ateneo. Argentina. 123-145 pp. Consultado 13 marzo 2015. Disponible en <http://www.biologia.ucr.ac.cr/profesores/Garcia%20Jaime/SUELO/EL%20SUELO%20COMO%20ORGANISMO%20VIVIENTE.doc>.
- Ramírez, R; Guzmán, M; Leiva E. 2013. Dinámica de las Poblaciones de Lombrices en un Andisol Sometido a Distintos Sistemas de Uso del Suelo. Revista de Facultad Nacional Agraria de Medellín 66(2): 7045-7055 pp.

- Ramírez, W; García, Y; Sánchez, S; López, M; Hernández, L. 2014 Caracterización de la macrofauna edáfica en sistemas de producción intensiva de césped. Pastos y Forrajes. Vol. 37. No. 2. Abril-junio. 158-165 pp.
- Reddy, MV. 1986. Soil inhabiting arthropods as indicators of environmental quality. Acta Biologica Hungarica 37 (1):79-84 pp.
- Rendón, S; Artunduaga, F; Ramírez, R; Quiroz, J; Leiva E. 2011. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de mora, pasto y aguacate. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Revista 64(1):5793-5802. Medellín. Colombia.
- Reyes, T. 1999. Estudios de la variabilidad espacial del contenido de humedad, densidad aparente, salinidad y pH de un suelo a lo largo de un transecto. Tesis para optar el título de ingeniero agrícola. Facultad de ingeniería agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM. Lima. Perú.
- Ríos, Y. s.f. Importancia de las lombrices en la agricultura. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Decanato de Agronomía. Cátedra de Zoología. En: Sistemas Integrados de producción con no rumiantes. Venezuela.
- Rodríguez, 2000. Comunidades de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) en ecosistemas con diferentes grados de perturbación. Revista Biología 14(2). La Habana. Cuba.
- Rodríguez, I; Torres, V; Crespo, G; Fraga S. 2002. Biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes pastizales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 36, núm. 4. Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 403-408 pp.
- Sánchez, S; Hernández, M. 2011. Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos. Pastos y Forrajes, Vol. 34. No. 3. Jul-Sep. 359-366 pp.
- Socarrás, A; Izquierdo, E. 2014. Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica / Pastos y Forrajes, Vol. 3. No. 1. enero-marzo. 47-54 pp.
- Swift, MJ. 1998. The Biology and fertility of Tropical Soils. Report 1997 – 1998. UNESCO, UN Complex. Nairobi, Kenia

- Unigarro, A; Burbano, H; Sánchez de Prager, M. 2009. Evaluación de la calidad de suelos Dystic Cryandept en el Santuario Flora y Fauna Galeras (en línea). Nariño. Colombia. Consultado 13 marzo 2015. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/13078/1/119-710-2-PB.htm>
- USDA (United States Department of Agriculture). 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo (en línea). Consultado 13 marzo 2015. Disponible en http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- USDA (United States Department of Agriculture). 1999. Soil Quality Institute (en línea). Consultado 13 marzo 2015. Disponible en <http://www.fsa.usda.gov/FSA/multilangapp?mylang=es&area=home&subject=landing&topic=landing>
- Vega, A; Herrera, R; Rodríguez, G; Sánchez, S; Lamela, L; Santana, A. 2014. Evaluación de la macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril en el Valle del Cauto, Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Vol. 48(2). 189-193 pp.
- Zerbino, M. 2005. Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción. Tesis para obtener el grado de magister en ciencias ambientales. Universidad de la Republica. Facultad de ciencias. Maestría en ciencias ambientales. Montevideo, Uruguay.
- Zerbino, S; Altier, N; Morón, A; Rodríguez, C. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. Agrociencia. Vol. XII N° 1. 44 – 55 pp.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. LISTADO DE UNIDADES TAXONÓMICAS:

Lista de unidades taxonómicas o grupos funcionales de macrofauna del suelo y sus características principales según Jiménez *et al.*, 2003.

Grupos Funcionales de Macrofauna	Características Principales
Aracnidae (arañas)	Este grupo de arácnidos está ampliamente distribuido es diverso y por lo general abundante. Tienen el cuerpo dividido en dos partes, cefalotórax y abdomen. El abdomen no está segmentado y posee hileras. Todas sus especies son depredadoras y se alimentan principalmente de insectos.
Blattaria (cucarachas)	Son insectos tropicales, que se movilizan por tener patas cursoriales. El cuerpo es ovalado y aplanado; en vista dorsal, la cabeza se oculta debajo de pronoto (1er segmento del tórax), sus alas son tegminas, tienen antenas filiformes y sus aparato bucal es masticador. Las cucarachas son omnívoras.
Chilopoda (ciempiés)	Es común encontrar estos miriápodos, debajo de la corteza de los árboles o en troncos podridos. Son alargados y aplanados. En cada segmento del cuerpo poseen un par de patas. En la cabeza poseen dos apéndices llamados forcípulas, que utilizan para inyectar veneno. Son organismos depredadores.
Coleóptera (escarabajos)	Adultos: Es el grupo más diverso de insectos y se encuentran en cualquier tipo de hábitat. El primer par de alas son élitros, presentan una gran variedad de forma de patas y antenas dependiendo del hábito, tienen un aparato bucal masticador. Se alimenta de todo tipo de plantas y animales. Larvas: son organismos diversos que están presentes en todo tipo de hábitats. Por lo general estas larvas tienen 3 pares de patas torácicas y la cabeza bien desarrollada.
Diplopoda (milpiés)	Estos miriápodos están en el suelo, debajo de hojas y piedras, en musgo y madera en descomposición. Son alargados y cilíndricos pero pueden ser un poco aplanados. En cada segmento del cuerpo poseen dos pares de patas, tienen la cabeza convexa debajo de la cual tienen una estructura en forma de labio llamada gnatoquilario, útil para diferenciar especie. La mayoría son carroñeros y solo algunos son predadores.

Grupos Funcionales de Macrofauna	Características Principales
Díptera (moscas)	Larvas: Las moscas son un grupo diverso y abundante, sus individuos están en todo tipo de hábitats, Por lo general la cabeza la tienen poco desarrollada, pero se distingue un par de garras (mandíbulas). Estas larvas no tienen patas torácicas.
Enchytraeidae	Son anélidos emparentados con las lombrices. Los enchytraeidae son pequeños, blancos y con el cuerpo casi transparente, hasta es posible ver el sistema digestivo. La segmentación del cuerpo no es evidente.
Formicidae (hormigas)	Es un grupo de insectos sociables, con variedad de hábitos y aparecen en todo tipo de hábitat. A diferencia de las avispas y abejas tiene una glándula metapleuraleal y una (o dos) constricción entre el 2do y 3er segmento abdominal (peciolo/s), su aparato bucal es masticador y la casta reproductiva tiene alas membranosas. Por lo general las especies que habitan el suelo son predatoras, a excepción de las cortadoras de hojas que cultivan hongos.
Gasterópoda (caracoles, conchas, etc.)	Este grupo de organismos abarca una gran variedad de individuos, que son principalmente acuáticos y los que son terrestres, necesitan mucha humedad para desarrollarse. SE caracterizan por tener un exoesqueleto muy duro.
Heteróptera (chinches)	Heteróptera es un grupo grande insectos y ampliamente distribuido, la mayoría de sus especies son terrestres, pero también las hay acuáticas. Su primer par de alas son hemielitros, tienen un aparato bucal picador-chupador y poseen glándulas odoríficas a los lados del tórax.
Hirudínea (sanguijuela)	Son anélidos con apariencia de gusanos. Su cuerpo no está segmentado y en región bucal tienen una estructura en forma de ventosa.
Homóptera cigarras	Este grupo es muy similar a heteróptera porque tienen un aparato bucal picador-chupador, las alas pueden ser membranosas o tegminas, sus antenas parecen un pelo corto. Todos se alimentan de plantas.
Himenóptera (abejas, avispas abejorros, hormigas, etc.)	<p>Son insectos sociables Los himenópteros poseen dos pares de alas membranosas (en las hormigas sólo presentan alas las castas reproductoras: reinas y machos). Las alas posteriores son más pequeñas. El ala anterior y la posterior se mantienen acopladas durante el vuelo por una serie de ganchitos llamados hamulus.</p> <p>Las piezas bucales son de tipo masticador o lamador (véase insecto); en los grupos más avanzados, especialmente en las abejas el labio y la maxila forman una especie de lengua con la que pueden absorber líquidos.</p>

	<p>Las antenas generalmente son de diez o más segmentos y son relativamente largas. El tarso o parte final de la pata suele ser de cinco segmentos.</p> <p>Las hembras presentan al final del abdomen una estructura para la puesta de huevos (el ovipositor), que en los grupos más evolucionados se transforma en un aguijón venenoso.</p>
Isópoda (cochinillas de la humedad)	<p>Los isópodos son el orden más diverso de crustáceos, de amplia distribución en toda clase de medios, especialmente en los marinos, aunque existen especies terrestres y dulceacuícolas. Son organismos con el cuerpo aplanado dorso-ventralmente y consta de tres regiones, la cabeza, el tórax y el abdomen. La cabeza posee dos pares de antenas; el primero está bien desarrollado y lo utilizan para explorar, saborear y oler la comida; el segundo par de antenas es pequeño e invisible externamente. El tórax posee ocho segmentos, cada uno de los cuales tiene un par de patas; el primer segmento tiene fusionada la cabeza; los siete segmentos restantes forman el pereon; al final del abdomen poseen un par de apéndices llamados urópodos.</p>
Isóptera (termitas)	<p>Las Isópteras son un grupo de insectos sociales relativamente pequeño pero ampliamente distribuido en todo el mundo. Presentan un comportamiento social con colonias complejas donde hay distribución de funciones y existen una serie de castas: reproductoras y no reproductoras. La casta reproductora la constituyen el rey y la reina. Ambos con alas membranosas pero la hembra presenta un abdomen más grande. Las otras dos castas no reproductoras son: obreros y soldados. Los soldados son individuos pequeños que reparan el nido y recogen alimento. Los soldados presentan una cabeza bastante esclerotizada y más desarrollada, con mandíbulas hipertrofiadas o elementos con funciones defensivas. Los miembros presentan una bolsa rectal con protistas y bacterias simbiotes encargadas de degradar y digerir la celulosa. Se alimentan de madera o materia vegetal, en algún caso pueden cultivar hongos. Los nidos pueden ser bastante complejos y estar situados en el suelo o en madera.</p>
Lepidóptera (mariposas)	<p>Larva: Este grupo presenta una gran diversidad de formas y hábitos. Presentan un aparato bucal de tipo masticador; la mayoría son fitófagas, tienen 3 pares de patas torácicas y otras pseudopatas al final del abdomen. Por lo general, la cabeza está bien desarrollada.</p>
Neuróptera (crisopas, hormigas león)	<p>Larva: Tienen una forma de tipo campodeiforme, es decir, una cabeza alargada y un cuerpo aplanado ventralmente, muy móviles y activas, con piezas bucales de tipo masticador pero modificadas para perforar y chupar, con fusión de los palpos maxilares con las mandíbulas. Producen enzimas digestivas que inyectan a sus presas y después las succionan; las mandíbulas son normalmente muy largas y en forma de tenaza. Todas son</p>

	depredadoras y algunas, como las hormigas león, construyen trampas de caza.
Oligochaeta (lombrices)	Grupo muy heterogéneo que comprende varias familias. Adaptados a muy diferentes ambientes, pueden habitar exclusivamente en el suelo o salir a la superficie, ya sea para alimentarse o para vivir sobre el suelo. En los anélidos, la segmentación es evidentemente superficial, se diferencia por tener una estructura en forma de anillo o “collar” que forma el capullo reproductivo. Es un grupo eminentemente detritívoros.
Opilionidae (viejitos, papaítos piernas largas)	Superficialmente son parecidos a las arañas, de las que se diferencian por la ausencia de pedicelo (cintura) entre el prosoma (cefalotórax) y opistosoma (o abdomen) lo cual forma un todo globoso en el que apenas se distinguen. El tronco globoso mide típicamente entre 5 y 10 mm, pero puede llegar a 20 en especies tropicales y también hay formas diminutas. Del cuerpo salen los mismos apéndices que en todos los arácnidos: un par de quelíceros que acaban en una pinza o quela, un par de pedipalpos que carecen de glándula venenosa y cuatro pares de patas locomotoras. Las patas son largas, a veces desmesuradamente, pudiendo cubrir un diámetro de hasta 12 cm. Los tarsos (las piezas terminales) son multiarticulados y las patas son muy flexibles. Practican la autotomía (autoamputación) para distraer a los depredadores, continuando la pata separada moviéndose durante mucho tiempo gracias a la posesión de un oscilador nervioso independiente. Los ojos simples, relativamente grandes, se insertan a ambos lados de una protuberancia colocada en lo alto del prosoma. La mayoría de sus especies son depredadoras y otras se alimentan de animales muertos.
Ortóptera (grillos, langostas y saltamontes)	Son insectos por lo general de tamaño mediano a grande, aunque algunos pueden ser muy pequeños. La cabeza forma generalmente un ángulo recto con el eje del cuerpo (boca dirigida hacia abajo), con ojos compuestos grandes, con ocelos y antenas más o menos largas. Aparato bucal de tipo masticador. El tercer par de patas normalmente desarrolladas para el salto. Dos pares de alas (ocasionalmente reducidas en mayor o menor grado según las especies, llegando incluso a estar ausentes en algunas): el primer par suele ser de consistencia coriácea (tegminas), el segundo (alas pro- piamente dichas) se encuentra plegado bajo el anterior y es de consistencia más membranosa. La mayoría se alimenta de plantas, solo algunos son depredadores, carroñeros u omnívoros.
Pseudoscorpionidae (falso escorpión)	Los pseudoscorpiones constituyen un orden de diminutos arácnidos, cuyos pedipalpos con quelas recuerdan a los de los escorpiones, con los que mantienen solo un parentesco lejano;

	<p>carecen de "cola" (metasoma) y de aguijón venenoso, y su opistoma es largo y oval. Se encuentran debajo de las piedras o de la corteza de los árboles, en musgo y hojarasca.</p>
Schizomidae	<p>Los esquizómidos son arácnidos muy pequeños; el más grande apenas si llega a los 7 mm. Como miembros de la fauna del suelo se les encuentra entre la hojarasca y tierra suelta, debajo de piedras y entre la madera podrida; algunos pueden enterrarse cavando túneles. Su cuerpo presenta el dorso del prosoma dividido en tres placas; la anterior es más grande que las otras dos laterales. No tienen ojos. La parte posterior del cuerpo u opistosoma termina en un flagelo pequeño, con sólo tres o cuatro divisiones, el flagelo del macho es característico de las diferentes especies, por lo que tiene una importancia taxonómica. Los quelíceros están constituidos por dos artejos, formando así unas pequeñas pinzas o quelas. Los pedipalpos tienen aspecto de patas y carecen de quelas, y aunque se ven poco robustos son prensiles y muy eficaces en la captura de las presas. El primer par de patas es mucho más largo y delgado que los demás y está provisto de órganos sensoriales que ayudan al animal en su orientación. El dimorfismo sexual es muy poco aparente. Lo único que se distingue en algunas especies son los pedipalpos del macho, más largos que los de la hembra, y su flagelo, mucho más grueso que el de ella. No tienen glándulas de veneno ni ojos.</p>
Symphyla (sínfilos)	<p>Los sínfilos son una clase de miriápodos de pequeño tamaño (0,5-8 mm) que habitan lugares húmedos, de color blanco, aspecto frágil y delicado, con el cuerpo constituido por dos regiones, cabeza y tronco. En la cabeza desembocan también los espiráculos (un par) de las tráqueas. En la cabeza desembocan también los espiráculos (un par) de las tráqueas. La cabeza posee un par de antena moniliformes, un par de órganos de Tömösvary, un par de mandíbulas y dos pares de maxilas, el segundo par fusionado entre sí para formar un labio complejo. El tronco presenta de 15 a 22 placas tergaes, estando los esternitos muy reducidos. Poseen 12 pares de patas de cuatro artejos. El tronco se termina en un par de hileras, unas estructuras cónicas que segregan seda. Los gonoporos (poros genitales) desembocan en el tercer segmento. Se alimentan de plantas.</p>
Thelastomatidea	<p>Son un tipo de nematodos que se tomaron en cuenta para esta clasificación, debido a que son evidentes y abundantes en el suelo. Tienen una forma homogénea y parecen hilos blancos, y pueden llegar a medir varios centímetros.</p>

Thysanura (pescadito de plata)	Son un pequeño grupo de insectos apterigotos, tienen el cuerpo alargado, de entre 2 y 20 mm, son aplanados y tienen el tórax más ancho que el abdomen. Según la especie, son de color gris o crema, pero todos tienen un aspecto brillante debido a que poseen el cuerpo recubierto de escamas que renuevan en sucesivas mudas (no tienen metamorfosis). En la cabeza tienen un par de antenas; si presentan ojos son compuestos y tienen un aparato bucal de tipo masticador. En el tórax tienen los tres pares de patas, que les confieren gran movilidad y agilidad a pesar de que son ápteros. El abdomen finaliza en 3 apéndices o cercos que tienen función táctil. Son animales que necesitan humedad para desarrollar su ciclo vital, por lo que habitan entre la hojarasca, debajo de las piedras, en cuevas y en aquellos lugares húmedos donde puedan encontrar alimento. Son omnívoros, pero tienen preferencia por hidratos de carbono de origen vegetal, como el almidón y la celulosa.
--------------------------------	---

Anexo 2. ANÁLISIS DE SUELOS:



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



ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

Solicitante : MARIA ANGÉLICA LAZO SAIRE

Departamento : LIMA
 Distrito : LA MOLINA
 Referencia : H.R. 51648-118C-15

Provincia : LIMA
 Predio :
 Fecha : 20/10/15

Bolt: 12515

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico		Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g			Suma de Cationes Bases	% Sat. De Bases				
								Arene %	Limo %			Arcilla %	Ca ²⁺	Mg ²⁺			K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
13334	M-01, Campo Libres 01	8.01	0.48	5.20	1.25	6.9	113	52	27	21	Fr.Ar.A.	9.60	7.48	1.63	0.30	0.19	0.00	9.60	9.60	100
13335	M-02, Campo El Carmen	7.98	0.44	1.00	1.05	4.3	61	52	29	19	Fr.	12.32	10.32	1.60	0.18	0.22	0.00	12.32	12.32	100
13336	M-03, Campo Alegre 03	8.01	0.49	0.80	0.78	16.5	211	68	21	11	Fr.A.	9.60	7.56	1.43	0.44	0.17	0.00	9.60	9.60	100
13337	M-04, Campo Dantitas	8.05	0.37	1.60	1.10	3.2	98	46	31	23	Fr.	13.92	11.76	1.60	0.27	0.30	0.00	13.92	13.92	100

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

Dr. Saúl García Bendejé
 Jefe del Laboratorio

Anexo 3. Número de lombrices de tierra y macrofauna encontrada a diferentes profundidades en el campo “Alegre 3” (agricultura orgánica):

		ARTHROPODA											
		ANELIDA	INSECTA								MALACOSTRÁCEA		ARÁCNIDA
		OLIGOQUETA	Escarabajos adultos	Escarabajo larva	Lepidóptero larva	Hormigas	Tijereta	Diplópoda	Malacostrácea	Arácnida			
Muestra	Profundidad (cm)	Lombrices	Escarabajos adultos	Escarabajo larva	Lepidóptero larva	Hormigas	Tijereta	Milpiés	Chanchitos	Arañas			
1	0 a 30 cm	5	1	1	0	2	1	0	3	0			
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2	0 a 30 cm	3	0	2	0	3	2	0	3	0			
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
3	0 a 30 cm	4	1	1	0	3	1	0	2	0			
	30 - 60 cm	1	0	0	0	0	0	0	0	0			

Anexo 4. Número de lombrices de tierra y macrofauna encontrada a diferentes profundidades en el campo “Libres II” (agricultura convencional):

		ARTHROPODA										
		ANELIDA	Insecta							Diplópoda	Malacostrácea	Arácnida
		OLIGOQUETA	Escarabajos adultos		Escarabajo larva	Lepidóptero larva	Hormigas	Tijereta	Milpiés	Chanchitos	Arañas	
Muestra	Profundidad (cm)	Lombrices	Escarabajos adultos	Escarabajo larva	Lepidóptero larva	Hormigas	Tijereta	Milpiés	Chanchitos	Arañas		
1	0 a 30 cm	2	1	0	1	2	0	2	2	2		
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	0 a 30 cm	2	0	0	2	1	1	1	3	1		
	30 - 60 cm	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0 a 30 cm	1	1	0	1	1	2	0	1	0		
	30 - 60 cm	1	0	0	0	0	0	0	0	0		

Anexo 5. Número de lombrices de tierra y macrofauna encontrada a diferentes profundidades en el campo “El Carmen” (sistema pastizal):

		ARTRHPODA									
ANELIDA											
OLIGOQUETA											
Muestra	Profundidad (cm)	Lombrices		Insecta			Diplópoda		Malacostrácea		Arácnida
		Escarabajos adultos	Escarabajo larva	Lepidóptero larva	Hormigas	Tijereta	Milpiés	Chanchitos	Arañas		
1	0 a 30 cm	9	0	0	2	0	0	2	0	1	
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0 a 30 cm	1	0	0	3	1	0	3	0	0	
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0 a 30 cm	23	0	0	2	0	0	1	0	0	
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Anexo 6. Número de lombrices de tierra y macrofauna encontrada a diferentes profundidades en el arboretum “Dantitas” (sistema forestal):

		ARTRHPODA									
ANELIDA											
OLIGOQUETA											
Muestra	Profundidad (cm)	Insecta				Diplópoda			Malacostrácea		Arácnida
		Escarabajos adultos	Escarabajo larva	Lepidóptero larva	Hormigas	Tijereta	Milpiés	Chanchitos	Arañas		
1	0 a 30 cm	0	1	1	6	1	3	2	1		
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	0 a 30 cm	0	0	0	5	0	0	3	1		
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0 a 30 cm	2	0	0	6	2	1	3	1		
	30 - 60 cm	0	0	0	0	0	0	0	0		

Anexo 7. Registro Fotográfico

PROCESO DE TOMA DE MUESTRA DE SUELO EN CAMPO



Cavado de una calicata de 0.25 m x 0.25 m de lado hasta una profundidad de 60 cm, extrayendo un monolito del cual se tomó las muestras de suelo a diferentes profundidades: de 0 a 05 cm, de 05cm a 30 cm y de 30 a 60 cm.



Muestra de suelo correspondiente a cada profundidad embolsado y debidamente rotulado, listo para ser llevado al laboratorio de análisis de suelos de la UNALM.

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MACROFAUNA DE MUESTRA DE SUELO EN LABORATORIO



Desterronado de cada muestra de suelo en recipientes de plástico para facilitar la extracción de especímenes de macrofauna.



Extracción manual de cada individuo encontrado en los monolitos de diferentes profundidades, y reservados en frascos para su posterior identificación y clasificación taxonómica.



Individuo de lombriz de tierra encontrado en muestra de suelo.



Primer plano de individuos de lombriz de tierra encontrada en muestra de suelo.

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE MACROFAUNA



Lombriz de tierra *Pontoscolex corenthurus*, perteneciente al Phylum Annelida, Clase Oligoqueta.



Cochinilla o chanchito de la humedad, perteneciente al Phylum Arthropoda, Clase Malacostracea, orden Isópoda.



Escarabajo adulto, perteneciente al phylum Arthropoda, clase Insecta, orden Coleóptera, familia Tenebrionidae.



Larva de escarabajo, perteneciente al phylum Arthropoda y clase Insecta, orden Coleóptera, familia Tenebrionidae.



Tijereta adulta, perteneciente al phylum Arthropoda y clase Insecta, orden Dermáptera.



Hormigas, perteneciente al phylum Arthropoda y clase Insecta, orden Hymenoptera, familia formicidae.