

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE ZOOTECNIA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS PECUARIAS



COMUNIDADES DE LOMBRICES DE SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS
DE USO DE LA TIERRA, EN EL DISTRITO DE JOSÉ CRESPO Y CASTILLO –
AUCAYACU

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

VILLANUEVA AVEL, Luis Miguel.

PROMOCIÓN 2014

Tingo María, Perú

2015



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE ZOOTECNIA**

Av. Universitaria Km. 2 Teléfono: (062) 561280
TINGO MARÍA

"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 31 de julio de 2015, a horas 9:am para calificar la tesis titulada:

"COMUNIDADES DE LOMBRICES DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA, EN EL DISTRITO DE JOSÉ CRESPO Y CASTILLO-AUCAYACU".

Presentada por el Bachiller **LUIS MIGUEL VILLANUEVA AVEL**; después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobada con el calificativo de **"EXCELENTE"**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el **TÍTULO DE INGENIERO ZOOTECNISTA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título, de conformidad con lo establecido en el Artículo 95, inciso "i" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 06 de agosto de 2015

Dr. JORGE RÍOS ALVARADO
Presidente



MSc. MEDARDO DÍAZ CÉSPEDES
Miembro

(Ausente)

MSc. HUGO HUAMANI YUPANQUI
Miembro

MSc. RAFAEL ROBLES RODRÍGUEZ
Miembro - Asesor

ÍNDICE

	Páginas
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Macrofauna del suelo.....	3
2.1.1. Factores que afectan la macrofauna del suelo.....	3
2.2. Lombriz de suelo.....	6
2.2.1. Abundancia de las lombrices de tierra.....	6
2.2.2. Importancia ecológica de las lombrices de tierra.....	9
2.3. Macrofauna en diferentes sistemas de uso de la tierra.....	10
2.3.1. Macrofauna en una Pastura.....	10
2.3.2. Macrofauna en un Bosque natural.....	11
2.3.3. Macrofauna en un Sistema Silvopastoril.....	11
2.3.4. Macrofauna en un Sistema Agroforestal.....	13
2.4. Trabajos realizados en comunidades de lombrices de suelo.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Lugar y fecha de ejecución de la investigación.....	15
3.2. Sistemas de uso de la tierra evaluados.....	16
3.2.1. Pastura degradada (PD).....	16
3.2.2. Sistema Silvopastoril (SSP).....	16

3.2.3. Sistema Agroforestal (SAF).....	16
3.2.4. Bosque Natural (BN).....	17
3.3. Tipo de investigación.....	17
3.4. Muestreo del comportamiento de lombrices de tierra.....	17
3.5. Materiales y equipos.....	19
3.5.1. Materiales.....	19
3.5.2. Equipos.....	19
3.6. Variable independiente.....	19
3.7. Análisis estadístico.....	19
3.8. Variables dependientes.....	20
3.9. Datos a registrar.....	21
3.9.1. Densidad.....	21
3.9.2. Biomasa.....	21
3.9.3. Variedad.....	21
3.9.4. Parámetros físicos y químicos del suelo.....	23
IV. RESULTADOS.....	24
4.1. Densidad y biomasa total por sistema de uso de la tierra.....	24
4.1.1. Densidad y biomasa por sistema.....	24
4.2. Interacción entre los estratos y sistemas de uso de la tierra.....	26
4.2.1. Densidad (ind.m ⁻²) y biomasa (g. m ⁻²) por estrato.....	26
4.3. Número de lombrices de tierra agrupadas en familias.....	32
4.4. Diversidad o riqueza de especies.....	35
4.5. Propiedades del suelo de los sistemas de uso de tierra.....	36

4.5.1. Propiedades físicas del suelo de los sistemas de uso de la tierra evaluados.....	36
4.5.2. Propiedades químicas del suelo de los sistemas de uso de tierra evaluados.....	38
V. DISCUSIÓN.....	41
5.1. Densidad y biomasa total por sistema de uso de la tierra.....	41
5.1.1. Densidad y biomasa por sistema.....	41
5.2. Interacción entre los estratos y sistemas de uso de la tierra.....	43
5.2.1. Densidad (ind.m ⁻²) y biomasa (g. m ⁻²) por estrato.....	43
5.3. Número de lombrices de tierra agrupadas en familias.....	44
5.4. Diversidad o riqueza de especies.....	44
5.5. Propiedades del suelo de los sistemas de uso de tierra.....	45
5.5.1. Propiedades físicas del suelo de los sistemas de uso de la tierra evaluados.....	45
5.5.2. Propiedades químicas del suelo de los sistemas de uso de tierra evaluados.....	46
VI. CONCLUSIONES.....	49
VIII. RECOMENDACIONES.....	51
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
X. ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Fuentes de variación y grados de libertad.....	21
2.	Promedio de individuos. m^{-2} y biomasa ($g.m^{-2}$) de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de tierra evaluados ($n= 10$, Media \pm error estándar).....	25
3	Densidad ($ind.m^{-2}$) y biomasa ($g.m^{-2}$) en diferentes niveles de profundidad (estratos), en los sistemas de uso de la tierra evaluados ($n= 10$, Media \pm error estándar).....	27
4	Densidad ($ind.m^{-2}$) y biomasa ($g.m^{-2}$) en los diferentes sistemas de uso de la tierra según los niveles de profundidad (estratos) ($n= 10$, Media \pm error estándar).....	30
5	Sumatoria de individuos por m^2 en los sistemas de uso de tierra	32
6	Riqueza específica (S), índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de comunidades de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra.....	35
7	Resultados del análisis físico del suelo de diferentes sistemas de uso de la tierra evaluados.....	36
8	Análisis químico del suelo de los diferentes sistemas evaluados...	38
9	Densidad de lombrices de suelo ($ind.m^{-2}$) en los diferentes	63

	sistemas de uso de tierra evaluados.....	
10	Biomasa de lombrices de suelo (g.m-2) en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.....	64
11	Clasificación de las lombrices de suelo según su familia en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización de la ciudad de Aucayacu en el distrito de José Crespo y Castillo.....	15
2	Metodología de muestreo para macrofauna del suelo (según Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF/UNESCO).....	19
3	Densidad (ind.m^{-2}) de comunidades de lombrices de suelo en un Sistema Silvopatoril (SSP), Bosque Natural (BN), Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF).....	25
4	Biomasa total (g.m^{-2}) de comunidades de lombrices de suelo en Sistema Silvopatoril (SSP), Bosque Natural (BN), Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF).....	26
5	Densidad (ind.m^{-2}), en diferentes niveles de profundidad comparados en Sistema Silvopatoril (SSP), Bosque Natural (BN), Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF).	28
6	Biomasa (g.m^{-2}), en diferentes niveles de profundidad comparados en Sistema Silvopatoril (SSP), Bosque Natural (BN), Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF).	29
7	Densidad (ind.m^{-2}), en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados según los niveles de profundidad.....	31
8	Biomasa (g.m^{-2}), en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados según los niveles de profundidad.....	31

9	Presencia de familias en cuanto a densidad de lombrices (ind.m-2) en Sistema Silvopastoril (SSP).....	33
10	Presencia de familias en cuanto a densidad de lombrices (ind.m-2) en Bosque Natural (BN).....	33
11	Presencia de familias en cuanto a densidad de lombrices (ind.m-2) en Pastura Degradada (PD).....	34
12	Presencia de familias en cuanto a densidad de lombrices (ind.m-2) Sistema Agroforestal (SAF).....	35
13	Porosidad (%) y densidad aparente (g/cc) de los suelos de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.....	37
14	Contenido de pH y materia orgánica del suelo de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.....	39
15	Contenido de nitrógeno (%) y fósforo (ppm) del suelo de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.....	40
16	Contenido de potasio (%) y bases cambiables (%) del suelo de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.....	40
17	Materiales empleados en la investigación.	61
18	Monolito de 25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidad.	61
19	Toma de muestra de los suelos de cada sistema.	61
20	Almacenamiento de las muestras en el laboratorio.	61
21	Determinación de la biomasa de las lombrices de suelo.	62
22	Determinación de densidad de las lombrices de suelo.	62
23	Determinación de la variedad de las lombrices de suelo.	62
24	Lombrices de suelo clasificados en familias.	62

VILLANUEVA AVEL, Luis Miguel

TESISTA

M.Sc. ROBLES RODRÍGUEZ, Rafael.

ASESOR

M.Sc. CÁRDENAS RIVERA, Eber.

ASESOR

I. INTRODUCCIÓN

El uso inadecuado de los suelos contribuye a la pérdida gradual de su fertilidad, debido a la sensibilidad de comunidades de organismos edáficos ante su manejo, los cambios en la cobertura y la transformación de la vegetación, así como el efecto negativo de las perturbaciones impuestas por los sistemas de cultivo.

Existen una diversidad de organismos considerados bioindicadores de la estabilidad y la fertilidad del suelo, en especial las lombrices de tierra, que representan la mayor biomasa animal en los ecosistemas terrestres, capaces de procesar hasta 250 toneladas de suelo al año, por hectárea, influyendo significativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Sin embargo, las prácticas de manejo y tecnologías aplicadas por el hombre ejercen importantes efectos en la biología del suelo afectando la composición, abundancia y diversidad de las comunidades.

Para ello se tiene como problema de investigación ¿Cuál es la variación de las comunidades de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra?; planteándonos la siguiente hipótesis: que la densidad, biomasa y variedad de comunidades de lombrices de suelo varían según el

nivel de intervención del hombre y del sistema de uso de la tierra, para demostrar esto se tiene los objetivos siguientes:

Objetivo general:

- Evaluar las comunidades de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el distrito José Crespo y Castillo- Aucayacu.

Objetivos específicos:

- Determinar la densidad (ind.m^{-2}) de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra, en el distrito José Crespo y Castillo- Aucayacu.
- Determinar la biomasa (g.m^{-2}) de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra, en el distrito José Crespo y Castillo- Aucayacu.
- Diferenciar las comunidades predominantes de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra, en el distrito José Crespo y Castillo- Aucayacu.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos del suelo de los diferentes sistemas de uso de la tierra, en el distrito José Crespo y Castillo- Aucayacu.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Macrofauna del Suelo

Agrupación de invertebrados mayores a 2 mm de diámetro; la mayoría tiene ciclo biológico largo (un año o más), baja tasa reproductiva y movimientos lentos (GASSEN y GASSEN, 1996). Las comunidades de la macrofauna varían en su composición, abundancia y diversidad, en dependencia del estado de perturbación del suelo (PASHANASI, 2001)

Según CABRERA *et al.* (2011), estos organismos son importantes en la transformación de las propiedades del suelo, entre ellas tenemos a las lombrices de tierra (*Annelida: Oligochaeta*), las termitas (*Insecta: Isoptera*) y las hormigas (*Insecta: Hymenoptera*), que actúan en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica. Otros intervienen en la trituración de los restos vegetales (*Coleóptera, Diplópoda, Isópoda, Gastrópoda*) y algunos funcionan como depredadores de animales vivos de la macrofauna (*Araneae, Chilopoda*).

2.1.1. Factores que afectan la macrofauna del suelo

Las lombrices de tierra, que, por ser de cuerpo blando y limitada movilidad, son afectadas por factores como el clima, la alimentación, la

humedad, la textura y las condiciones químicas del suelo; por lo que manifiestan cambios de composición y abundancia en una corta escala de tiempo (CHOCOBAR, 2010).

Clima. Las variaciones microclimáticas asociadas a la estructura, densidad de la vegetación y a la presencia de residuos, afectan considerablemente la distribución de los invertebrados dentro de la pastura y su persistencia durante adversidades climáticas. El clima ha sido el factor que ha tenido mayor efecto en los procesos de evolución de largo plazo, determinando la estructura y características de las comunidades vegetales y la distribución y abundancia de los invertebrados (CURRY, 1987).

Características del suelo. Las propiedades físicas y químicas del suelo afectan a la fauna que lo habita de manera directa por el contenido de materia orgánica y de humedad, el pH, la estructura del suelo y la aireación y de forma indirecta a través del efecto que tienen sobre la vegetación (DUBS et al., 2004). Las lombrices de tierra tienden a prevalecer en ambientes edáficos húmedos, no compactados y con alto contenido de materia orgánica (CHOCOBAR, 2010).

La estructura del suelo determina la distribución de la fauna, existe una clara y positiva relación entre el número y tamaño de poros y el tipo de animales que lo habitan (HENDRICKS, 1985). Los grandes invertebrados ocupan los poros del suelo llenos de aire (VERHOEF y VAN SELM, 1983), mientras que en suelos compactados el desarrollo y mantenimiento de *Oligochaetas* es muy limitado (CHAN, 2001). SALDANI (2014), encontró una

mayor densidad y biomasa en un sistema de Pasto natural sin árboles cuya textura de suelo fue franco arenoso; esto se debe a que los *Oligochaetas* se desarrollan favorablemente en suelos con altos contenidos de limo (DECÄENS et al., 2001), considerando que una densidad aparente del suelo a partir de $1,38 \text{ g.cm}^{-3}$ producirá una abrupta disminución en la abundancia de la orden *Oligochaeta* (CHAN, 2001).

RODRÍGUEZ (2000) apuntó que la destrucción de los hábitats naturales y, como consecuencia, el deterioro del contenido de materia orgánica del suelo debido a la pérdida o transformación de la vegetación original, determinan la disminución de la riqueza y la abundancia de las lombrices de tierra, considerando la estrecha relación existente entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno en los suelos (SANZ et al, 1975).

Según CASIERRA (2007), con la reducción del pH del suelo (menor de 5,0) se incrementa la solubilidad del aluminio hasta llegar a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico del suelo.

Labores culturales en los suelos. Cuando un sistema natural se modifica para desarrollar actividades agrícolas, los mayores cambios ocurren en las propiedades del suelo y en la abundancia, biomasa y diversidad de la biota del suelo. Las comunidades presentes van a estar determinadas por la intensidad del cambio inducido y por la habilidad de los organismos para adaptarse a esos cambios (BROWN et al., 2001).

La macrofauna responde al manejo, ya sea por la secuencia de cultivos, preparación del suelo, ingreso de materia orgánica fresca, etc.,

como resultado de las perturbaciones físicas que se producen, de la manera de distribución de los residuos y de la comunidad de plantas presentes (LAVELLE y SPAIN, 2001; WARDLE, 1995).

2.2. Lombriz de suelo

Especie perteneciente a la clase de los anélidos, orden *haplotáxida* que viven en tierras húmedas; son hermafroditas, alcanzando una madurez sexual de 60 a 90 días, con una producción de 1500 huevos por año. Disponen de un cuerpo blando y alargado compuesto por muchos anillos, de respiración cutánea; y con una alta selectividad en cuanto a alimento, logrando ingerir hasta seis veces su peso, llegando a procesar hasta 250 toneladas de suelo al año por hectárea (DOMÍNGUEZ et al., 2009). Las lombrices de suelo pueden ser usadas con fines prácticos para mejorar la fertilidad de los suelos del pasto (STOCKDILL, 1982), para producir compost (a partir de los desechos orgánicos (NEUHAUSER Y MALECKI, 1984), y como fuente proteica (HARSTENSTEIN, 1981).

2.2.1. Abundancia de las lombrices de tierra

La determinación del tamaño de las poblaciones de lombrices de tierra es el primer paso para conocer el significado ecológico de las mismas.

Densidad. Las densidades numéricas varían mucho en los distintos suelos bajo diferentes usos agrícolas. En Costa Rica, las cantidades de lombrices de tierra oscilan desde cero, en algunos suelos sometidos a continuo laboreo, hasta más de 200 individuos.m⁻² en pasturas poco

degradadas (FRAILE, 1986). Las lombrices de la familia *Glossoscolecidae* son las más numerosas alcanzando densidades de más de 500 individuos/m² (FRAGOSO, 2001).

En un bosque secundario evaluado por PASHANI *et al* (1994); se determinó que en el año 1988 se reportaron 137 individuos/ m²; mientras que en el año 1986 disminuyó a 85 individuos. m⁻².

SANCHEZ Y HERNANDEZ (2011), mencionan que en los sistemas estudiados se encontraron un total de 1 037 lombrices por m⁻² (297 en el pastizal de gramíneas y 740 en el sistema silvopastoril); mientras que en los agroecosistemas con prácticas culturales intensivas (aplicación de insumos de síntesis química) y cultivos en surco, como café mezclado con cítricos, predominó una sola especie de lombriz (*P. Corethrurus*) con valores que superaron los 750 individuos por m⁻² (FEIJOO *et al*, 2007).

Biomasa. FRAILE (1989), realizó un estudio sobre la actividad de las poblaciones de lombrices en pasturas de Turrialba; en la que menciona que el *Pontoscolex Corethrurus* constituye más del 90% de la biomasa de la población total (45-68 g peso fresco. m⁻²); sin embargo FRAGOSO (2001), menciona que esta especie, que pertenece a la familia *Glossoscolecidae* puede alcanzar una biomasa de más de 100 g.m⁻²; esto también es respaldado por FRAILE (1986), quien menciona que en pasturas poco degradadas con ganado podemos encontrar más de 100 g peso fresco. m⁻² de lombrices de tierra.

En un bosque secundario evaluado por PASHANI *et al* (1994); se comparó que en el año 1988 se encontró una biomasa de 18.4 g.m^{-2} ; mientras que en el año 1986 solo fue de 11.3 g.m^{-2} .

Variedad. Según FRAGOSO (2001); las once familias de lombrices de tierra muestran una distribución geográfica particular; por ejemplo las *Lumbricidae*, *Glossoscolecidae* y *Eudrilidae* se distribuyen exclusivamente en Euroasia, América central y del sur, y África, respectivamente.

Por otro lado la familia *Megascolecidae* (más simple morfológicamente) se presenta en Asia, América, Africa y Australia. Un caso notorio en esta familia es la tribu *Acanthodrilinini*, en donde la mayoría de sus especies se restringen a las regiones australes de África, América del sur y Australia, excepto las especies encontradas en México, el Caribe y América Central (FRAGOSO, 2001).

Existen lombrices epígeas, como las del género *dichogaster*, que viven principalmente en restos orgánicos superficiales del suelo. Las anécicas están representadas por lombrices del género *Metaphire* y *Amyntas*; mientras que en el grupo de las endógeas; los *Pontoscolex Corethurus*; son las lombrices más comunes y dominantes en casi todos los lugares, que habitan principalmente en suelos agrícolas y juegan un papel ecológico importante debido a su actividad excavadora y consumidora de grandes cantidades de tierra (FRAILE, 1996).

2.2.2. Importancia ecológica de las lombrices de tierra

Las lombrices de tierra contribuyen a la fertilidad del suelo al mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, de manera que favorecen el desarrollo de las plantas (SYERS Y SPRINGET, 1984).

En los ecosistemas, la mayor parte del flujo de energía de los productores secundarios es debido a la fauna y microflora que vive en el suelo. Varios autores han confirmado que en pasturas tropicales las lombrices de tierra son importantes componentes del sistema descomponedor e indican que son responsables de la asimilación del 10 – 15 % de la producción primaria bruta anual en esos ecosistemas (LEE, 1985).

Los efectos físicos de las lombrices de tierra sobre los suelos resultan de la excavación de túneles y producción de excrementos. Estas actividades, contribuyen a mejorar la estructura del suelo, a aumentar la porosidad, infiltración, aireación y la capacidad de almacenamiento del agua del suelo. Las lombrices de tierra también afectan la composición química de los suelos y la distribución de los nutrientes de plantas en los mismos de las siguientes maneras (LEE, 1985):

Una buena evidencia de los efectos de las lombrices de tierra sobre la edafogénesis ha sido suministrada tras la introducción de las mismas en suelos recuperados en Holanda, en los que inicialmente faltaban. Las lombrices de tierra aceleran el proceso de maduración de tales suelos, remueven la capa orgánica superficial y redistribuyen en el suelo, lo que promueve un horizonte A, que aumenta en grosor con el tiempo (HOOGERTKAMP *et al*, 1983).

2.3. Macrofauna en diferentes sistemas de uso de tierra

2.3.1. Macrofauna en una pastura

El pastoreo es una práctica que afecta a la macrofauna del suelo, los efectos son causados a través del corte de la vegetación, del pisoteo y por la presencia de heces (MORRIS, 2000). En general un incremento de la intensidad del pastoreo es acompañado por una disminución de la diversidad de la fauna que habita el suelo, como consecuencia de la simplificación de la vegetación y de la desaparición de la capa de residuos (CURRY y GOOD, 1992; MORRIS, 2000).

Las pasturas son favorables para el desarrollo de numerosas poblaciones de lombrices (*Pontoscolex corethrurus*). Esto confirma anteriores observaciones realizadas en pastizales naturales y mejorados (LAVELLE, 2002 y PASHANASI, 2001), donde se registraron biomásas de 800 a 1 600 kg de peso fresco por hectárea. En las pasturas, que son colonizadas por lombrices exóticas, desaparecen todas las lombrices nativas.

Los pastizales, natural y mejorado, tienen una riqueza taxonómica de 22 y 23 unidades, respectivamente y una biomasa de 57,2 y 165,9 g peso fresco/m. El 47,0 y 72,1% del total de la población está formado por *oligochaetas*, de las cuales *Pontoscolex corethrurus* representa el 27,9 y el 67,7% en cada pastizal (PASHANI, 2001). Según SALDANI (2014) y HUAMANYAURI (2012), a nivel de macrofauna, las pasturas sin árboles presentan índices de Shannon- Wiener (H'), de 0,673 y 0,879 respectivamente,

cuya mayor densidad de individuos ocurre en el estrato superficial del suelo (0 – 10 cm de profundidad) WELLINGTON (1995).

Generalmente las poblaciones son más abundantes y tienen mayores biomásas en rotaciones de cultivos y pasturas que en agricultura continua; la explicación estaría en que las pasturas cultivadas producen un mantillo de alta calidad y hay un mayor aporte de materia orgánica lo que favorece su actividad (FRASER *et al.*, 1994; LAVELLE y SPAIN, 2001).

2.3.2. Macrofauna en un bosque natural

La sombra es un factor clave para el desarrollo de las comunidades de lombrices. Probablemente los sitios con sombra, que están asociados a la presencia de árboles, son los sitios donde hay mayor producción de materia orgánica, lo cual es un requisito para que se desarrolle una comunidad de lombrices. (LUNA *et al.*, 2010).

La riqueza taxonómica de un bosque secundario de 10 años es de 20 unidades taxonómicas, con una densidad poblacional de 703 individuos/m² y una biomasa de 33,9 g peso fresco/m². El 14,5% del total de la población está formado por *oligochaetas*, representando la mayor cantidad de biomasa (75,2%), de las cuales el 84,6% de ellas corresponde a la *Pontoscolex corethrurus*, lombriz típica de suelos disturbados (PASHANI, 2001).

2.3.3. Macrofauna en un sistema silvopastoril

Los sistemas silvopastoriles proporcionan condiciones edafoclimáticas que favorecen el desarrollo de una rica y variada fauna en el

suelo; así lo demuestran los estudios realizados por SÁNCHEZ y REINÉS (2001), quienes observaron incrementos en el número de individuos por metro cuadrado y en los índices ecológicos: diversidad de especies, abundancia proporcional de organismos en el suelo, equitatividad y dominancia, con los mejores resultados para los sistemas silvopastoriles con respecto a las áreas de pastos en monocultivo. HUAMANYAURI (2012), encontró una mayor diversidad de macrofauna en pastura mejorada con árboles (1,48) y SALDANI (2014), determinó una diversidad de 1,403 en una pastura natural con árboles.

El microclima (humedad y temperatura del suelo) creado por la presencia de las plantas arbóreas en las pasturas es más favorable para la actividad biológica de la macrofauna edáfica, lo cual resulta en una mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo (FEIJÓO, Et al, 2004).

La mayor presencia de individuos de la fauna edáfica en el suelo en condiciones silvopastoriles está directamente relacionada con la presencia de los árboles, los cuales proporcionan condiciones adecuadas de humedad y temperatura, mayores contenidos de materia orgánica y deposición de hojarasca, aspectos que se hacen más evidentes en pastizales con la presencia de asociaciones de gramíneas y leguminosas, lo que permite crear las condiciones para una intensa actividad biológica en el suelo (SÁNCHEZ y REINÉS, 2001; RODRÍGUEZ, *et al*, 2002, y HARVEY, 2003).

Según SANCHEZ Y HERNANDEZ (2011), el Sistema Silvopastoril presenta un comportamiento más favorable de los indicadores de calidad de suelo, con un contenido de materia orgánica entre 4,06-4,53%,

CALZADILLA *et al.* (1993) señala que como resultado de siete años de reforestación y regeneración natural en los cuartones de silvopastoreo, los suelos se mejoraron considerablemente y el contenido de materia orgánica se elevó de 3,4 a 4,19%.

2.3.4. Macrofauna en un Sistema Agroforestal

Según PASHANI (2001), los sistemas agroforestales formados por plantaciones de pijuayo con asociación de árboles maderables y cultivos perennes, tienen una riqueza taxonómica de 32 individuos; la densidad de la población es de 557 individuos por m², de los cuales el 23,8% lo representan las *oligochaetas*; mientras que la biomasa es de 85,3 g peso fresco/m²; siendo el 87,1% *oligochaetas*.

La recuperación de pastizales degradados a través de sistemas agroforestales puede ser una opción viable para la recolonización de la macrofauna del suelo (BARROS *et al.*, 2000).

2.4. Trabajos realizados en comunidades de lombrices de suelo

RODRÍGUEZ *et al.* (2002) compararon un sistema de pasto natural con otro de pasto natural más 100% de leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), y encontraron mayor densidad y biomasa de la macrofauna en la mayoría de los años del estudio, en el segundo sistema. Los resultados confirmaron la influencia favorable de la leucaena como especie arbórea en el pastizal, al proporcionar hojarasca de mejor calidad y un microambiente más idóneo para la actividad de la macrofauna en el suelo.

Asimismo SÁNCHEZ Y REYES (2003), al estudiar la morera (*Morus alba L.*) en monocultivo y asociada con diferentes leguminosas arbóreas (*Gliricidia sepium* y *Albizia lebbek*) observaron una respuesta positiva en la colonización de los organismos en el suelo, sobre todo con la presencia de los árboles leguminosos. En estos últimos sistemas se obtuvieron densidades de más de 30 ind.m² para las lombrices de tierra.

CABRERA *et al.* (2011) extendieron su investigación a cuatro usos de la tierra en la Llanura Roja de Artemisa y Mayabeque- Cuba y su efecto sobre la riqueza, abundancia y composición funcional de la macrofauna del suelo. Estos autores obtuvieron que el uso de los bosques secundarios estuvo mejor representado en la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa de la macrofauna, con relación a los restantes usos de los pastizales y los cultivos varios; destacando la biomasa de los ingenieros del suelo por la influencia de las lombrices de tierra.

PASHANI *et al* (1994), evaluó el efecto de *Pontoscolex corethrurus* sobre el crecimiento y producción de 6 ciclos de cultivos anuales y las propiedades del suelo; determinando que la densidad aparente fue estabilizada en 1.22 en los tratamientos con lombrices, mientras sin lombrices fluctuaba entre 1.05 y 1.16. El pH se incrementó significativamente tras la inoculación de lombrices de tierra, mientras que el porcentaje de saturación de aluminio ha decrecido hasta valores mínimos de 35%. El Mg, Ca, P y K han decrecido regularmente durante los 6 períodos de cosecha; sin embargo el contenido de C y N decreció constantemente en los tratamientos con lombrices.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y fecha de ejecución de la investigación

El presente trabajo de investigación se ejecutó en la ciudad de Aucayacu, distrito de José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado, al norte de la región Huánuco. Geográficamente ubicado a $09^{\circ} 09' 07''$ latitud sur, $75^{\circ} 73' 07''$ longitud oeste; a una altitud promedio de 580 m.s.n.m. Presenta una temperatura media anual de 24°C , con una precipitación media anual de 3,179 mm y una humedad relativa de 80%. El presente estudio tendrá una duración de 90 días desde el mes de mayo a julio del 2015.

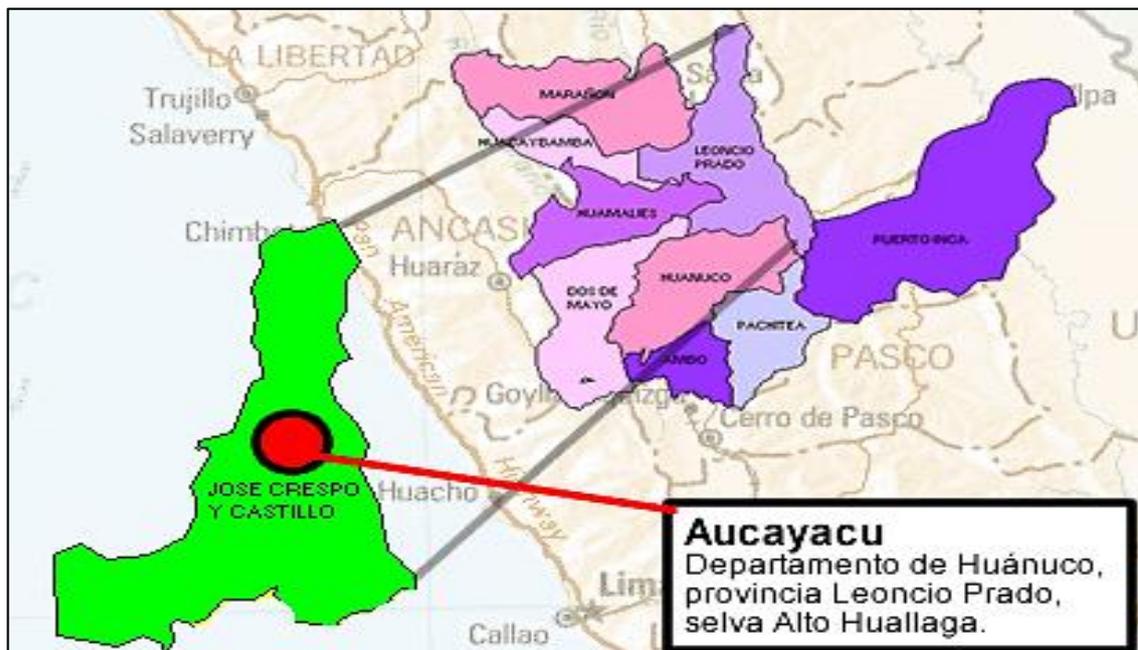


Figura 1. Localización de la ciudad de Aucayacu en el distrito de José Crespo y Castillo

3.2. Sistemas de uso de la tierra evaluados

Se evaluó cuatro sistemas de uso de la tierra, las cuales son:

3.2.1. Pastura degradada (PD)

Ubicado en la ganadería del Sr. Cahuana, a 1.5 Km del óvalo de la ciudad de Aucayacu, al margen derecho de la carretera Fernando Belaunde Terry con dirección a la ciudad de Tocache. El potrero se estableció hace más de 20 años; cuyo pasto de consumo es la *Brachiaria brizantha* y el pasto natural o torurco (*Axonopus Compressus*); tiene un área total de 10944 m², presenta una variedad de malezas destacando el coquito y rabo de zorro. No existen árboles que den sombra a los animales, y tiene algunas zonas encharcadas debido a las precipitaciones y el sobrepastoreo de los animales.

3.2.2. Sistema silvopastoril (SSP)

Ubicado en el módulo lechero de la Facultad de Zootecnia, a 500 metros del óvalo en mención La parcela tiene un área aproximada de 8580 m², instalado hace 5.5 años; en donde se asocian varios componentes: Árboles de aguaje (*Mauritia flexuosa L*) como recurso forestal potencial, el pasto negro (*Paspalum plicatulum*), el ganado vacuno, suelo, etc. En promedio, los árboles de aguaje tienen un distanciamiento entre hileras de 10.2 metros y de 11.3 metros entre plantas.

3.2.3. Sistema Agroforestal (SAF)

Ubicado a 3.5 kilómetros de la ciudad de Aucayacu, en el centro poblado de Yacusisa. La parcela tiene una extensión de 2 hectáreas,

cuyo cultivo agrícola es el cacao de la variedad CCN 51, asociado con plantas de guaba (*Inga sp*) para proporcionarle sombra. Las plantas de cacao tienen aproximadamente 8 años de edad e iniciaron su producción hace 5 años. La última fertilización química se realizó hace un año atrás.

3.2.4. Bosque natural (BN)

Ubicado en el cerro Belaunde, al margen izquierdo del óvalo de la misma ciudad (Aucayacu), entrando por el asentamiento humano 16 de Agosto. Este sistema pertenece a un bosque secundario y cuenta con una gran diversidad de árboles, tales como la uña de gato (*Uncaria guianensis*), el oje (*Ficus insípida*), el pashaco (*Parkia multijuga*), etc y un sinnúmero de arbustos como el platanillo (*Heliconia bihai L*), navajilla, etc. La zona de evaluación estará ubicada en la falda del cerro Belaunde.

3.3. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es exploratorio.

3.4. Muestreo del comportamiento de lombrices de tierra

El método de muestreo de las lombrices del suelo es lo recomendado por el Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (ANDERSON e INGRAM, 1993). El área de la unidad básica de muestreo es un monolito de 25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidad, a lo largo de un transepto que será elegido al azar dentro del sistema.

Por cada uso de la tierra descrita se tomaron 10 muestras (monolitos) cada 10 metros de cada transepto; por lo cual, se realizó en total cuarenta puntos de muestreo. Una muestra está representado por un monolito y de éste se separó individuos presentes en los estratos sucesivos (0-10, 10-20 y 20-30 cm), tal como se describe en la figura 2. Las lombrices colectadas fueron conservadas en frascos con formol al 4%. Posteriormente, en el laboratorio se contaron, pesaron e identificaron.

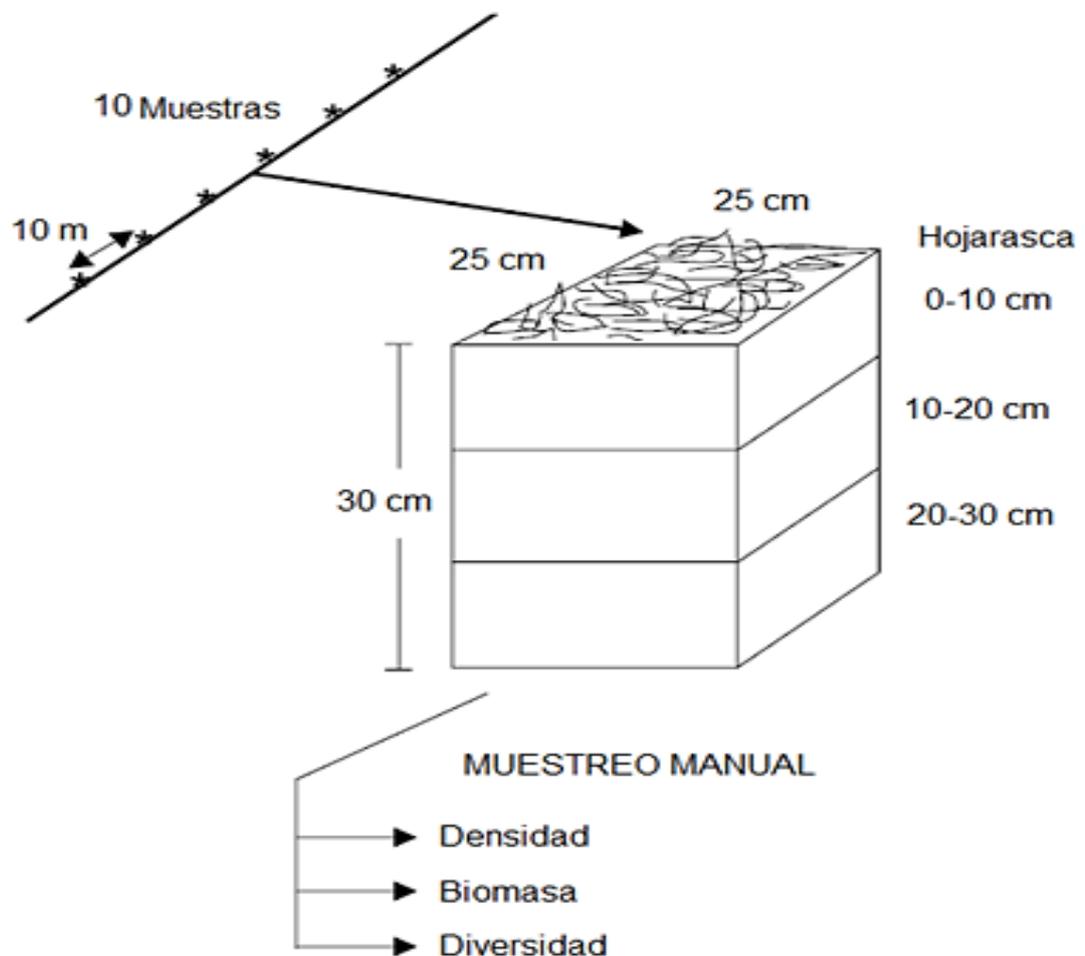


Figura 2. Metodología de muestreo para macrofauna del suelo (según Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF/UNESCO)).

3.5. Materiales y equipos

3.5.1. Materiales

Para la ejecución del proyecto de tesis se necesitó una palana recta, una wincha de 30 m, un marco de madera 25 x 25 cm, machete, bolsas plásticas de 14 x 20, tijeras, pinzas, lupa, frascos de plástico de 25 mL, lapicero, cuaderno de apuntes y formol al 4%.

3.5.2. Equipos

Dentro de los equipos empleados tenemos una balanza de precisión digital, cámara fotográfica, calculadora, computadora, GPS e impresora.

3.6. Variable independiente

Sistemas de uso de tierra.

- PD = Pastura degradada.
- SSP= Sistema silvopastoril.
- SAF= Sistema agroforestal.
- BN = Bosque natural.

3.7. Análisis estadístico

Los datos de densidad (ind.m^2) y biomasa (g.m^2) de lombrices de suelo fueron inicialmente normalizados ($\sqrt{x} + 1$) por no presentar una distribución normal. Se realizó el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 4x3, con 10 repeticiones por sistema con un nivel de

significancia del 5%; se utilizó la prueba de medias DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para diferenciar los sistemas; además, se añadió gráficos y estadística descriptiva. Para todo el desarrollo estadístico se empleó el software InfoStat (versión libre).

Donde:

Factor (A) = Sistema de uso de la tierra (SUT), con 4 niveles.

a1= Pastura Degradada (PD)

a2 = Sistema Silvopastoril (SSP)

a3 = Sistema Agroforestal (SAF)

a4 = Bosque Natural (BN)

Factor (B) = Estratos (E), con 3 niveles de profundidad.

b1= 0-10 cm de profundidad (E1)

b2 = 10-20 cm de profundidad (E2)

b3 = 20-30 cm de profundidad (E3)

- El modelo estadístico a emplear es la siguiente:

$$Y_{ij} = u + A_i + B_j + A_i * B_j + E_{ij}$$

Donde:

U= Media muestral

A_i= Efecto de los diferentes usos de la tierra (1, 2,3 y 4)

B_j = Efecto de los estratos (j = 1, 2 y 3)

A_i*B_j= efecto de la interacción de usos de la tierra y estratos.

E_{ij} = Error experimental

- El análisis de varianza (ANVA) empleado es:

Cuadro 1. Fuentes de variación y grados de libertad

Fuentes de variación	Grados de libertad
Sistemas de uso de la tierra (SUT)	3
Estratos	2
SUT * Estratos	6
Error	108
TOTAL	119

3.8. Variables dependientes

Las variables de medición son:

- Densidad.
- Biomasa.
- Variedad.
- Parámetros fisicoquímicos del suelo.

3.9. Datos a registrar

3.9.1. Densidad

Se estimó en forma cuantitativa el número de individuos por estrato (0-10, 10-20 y 20-30 cm) de cada monolito, con diez repeticiones por sistema. Posteriormente se sumó la población de lombrices de los tres estratos para obtener la densidad total del monolito. Por otro lado, considerando que para cada muestreo se utilizó un cuadrado de 25 cm de lado, lo que representa

1/16 m², extrapolamos estos datos multiplicando por 16 para obtener el número de individuos por m² (ind./m²) (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

3.9.2. Biomasa

La biomasa (g), se calculó mediante el pesado fresco de los individuos por estrato (0-10, 10-20 y 20-30 cm) de cada monolito, con una balanza analítica. Luego, se sumó la biomasa de lombrices de los cuatro estratos para obtener la biomasa total por monolito, y este dato lo extrapolamos a gramos por metro cuadrado (g/m²), multiplicándolo por el factor 16.

3.9.3. Variedad

En la evaluación se clasificó a las lombrices de suelo según su familia; tales como *Glossoscolecidae* (*Pontoscolex sp*), *Acanthodrilidae* (*Dichogaster sp*), *Megascolecidae* (*Polypheretima sp*), *Lumbricidae* (*Perionyx sp* y *Lumbricus sp*).

Para evaluar la diversidad se utilizó tres indicadores:

- Riqueza específica (S)
- ÍNDICE DE SHANNON-WIENER (H'), según la ecuación siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \times \ln \times p_i)$$

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

Donde:

H' : Índice de Shannon-Wiener que en un contexto ecológico.

S : Número de especies o unidades taxonómicas.

n_i : Abundancia de la especie.

N : Número total de individuos.

ln : Logaritmo natural.

- ÍNDICE DE EQUIDAD (J): Según MAGURRAN:

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde:

H' : Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

S : Número de especies o unidades taxonómicas.

ln : Logaritmo natural.

3.9.4. Parámetros físicos y químicos del suelo

Para la toma de muestras de suelo, se recorrió los lotes al azar en forma de zig-zag y cada 10 metros se tomó una submuestra, limpiando la superficie del terreno y depositándola en un balde; acumulando un total de 10 submuestras por sistema de uso de tierra que fueron tomadas entre 10 y 30 cm de profundidad. Luego de tener todas las submuestras en el balde se mezcló homogéneamente y se tomó 1 kg aproximadamente. Se identificó las muestras y se realizó los análisis físico-químicos de los suelos de cada sistema de uso de la tierra en estudio en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía.

IV. RESULTADOS

4.1. **Densidad** y biomasa total por sistema de uso de la tierra

4.1.1. Densidad y biomasa por sistema

La densidad de comunidades de lombrices de suelo (Cuadro 2 y Figura 3) entre los diferentes sistemas de uso de tierra, demostró diferencia altamente significativa entre el Sistema Silvopastoril (SSP), Bosque Natural (BN) y Pastura Degradada (PD), Sistema Agroforestal (SAF), siendo los sistemas SSP y BN ($740,93 \pm 0,03$; $698,02 \pm 0,04$), quienes presentaron un mayor número de individuos por metro cuadrado (ind.m^{-2}) en comparación a la Pastura Degradada (PD) y el Sistema Agroforestal (SAF). En cuanto a biomasa (cuadro 2 y figura 4) también se demostró diferencia significativa entre los sistemas SSP, BN y PD, SAF; siendo el Sistema Silvopastoril y Bosque Natural ($236,85 \pm 0,04$; $186,05 \pm 0,17$) los que obtuvieron mayor biomasa (g.m^{-2}).

En la figura 3, se muestra que existe diferencia altamente significativa ($p = <0,0001$), entre los sistemas evaluados, y muestra que el Sistema silvopastoril (SSP) y Bosque Natural (BN), obtuvieron los mayores valores de densidad que la Pastura Degradada (PD) y el Sistema Agroforestal (SAF).

Cuadro 2. Promedio de individuos. m^{-2} y biomasa ($g.m^{-2}$) de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de tierra evaluados ($n= 10$, Media \pm error estándar).

SISTEMAS	n	Densidad ($ind.m^{-2}$)	Biomasa ($g.m^{-2}$)
Sistema Silvopastoril (SSP)	10	740,93 \pm 0,03 (a)	236,85 \pm 0,04 (a)
Bosque Natural (BN)	10	698,02 \pm 0,04 (a)	186,05 \pm 0,17 (a)
Pastura degradada (PD)	10	290,02 \pm 0,00 (b)	100,80 \pm 0,21 (b)
Sistema Agroforestal (SAF)	10	261,47 \pm 0,04 (b)	93,12 \pm 0,23 (b)
p - valor	-	<0,0001	<0,0001
CV (%)	-	13,35	14.85

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de DGC

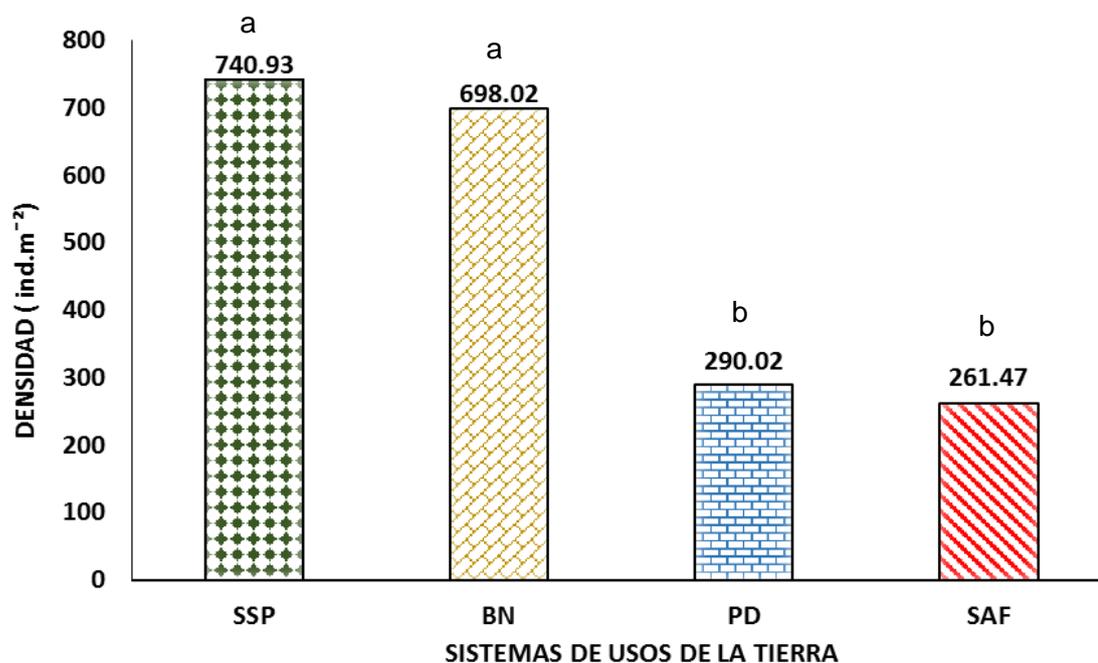


Figura 3. Densidad ($ind.m^{-2}$) de comunidades de lombrices de suelo en un Sistema Silvopastoril (SSP), Bosque Natural (BN), Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF).

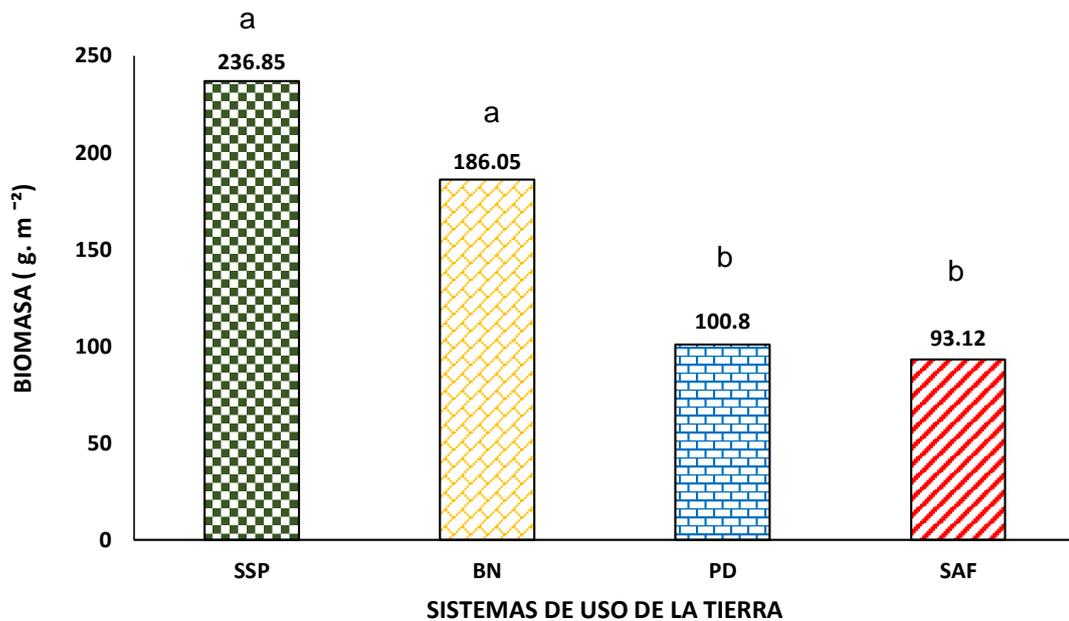


Figura 4. Biomasa total (g.m^{-2}) de comunidades de lombrices de suelo en Sistema Silvopastoril (SSP), Bosque Natural (BN), Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF).

En la figura 4, en cuanto a biomasa (g.m^{-2}), se encontró diferencia altamente significativa ($p < 0,0001$), en los diferentes sistemas de uso de la tierra evaluados, siendo el Sistema silvopastoril (SSP) y Bosque Natural (BN), los que obtuvieron los mayores valores de biomasa ($236,85$ y $186,05 \text{ g.m}^{-2}$) en comparación con la Pastura Degradada (PD) y el Sistema Agroforestal (SAF).

4.2. Interacción entre los estratos y sistemas de uso de la tierra

4.2.1. Densidad (ind.m^{-2}) y biomasa (g.m^{-2}) por estrato

A nivel de densidad, en profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm, existen dos grupos identificados estadísticamente, cuyos valores dependen del nivel de estrato en estudio; sin embargo en el tercer estrato de evaluación, que corresponde de 20- 30 cm de profundidad; los cuatro sistemas de uso de la

tierra son estadísticamente iguales porque tienen el mismo comportamiento, es decir a menor profundidad, mayor población de lombrices de tierra (Cuadro 3).

A nivel de biomasa, el comportamiento de los sistemas es similar al de densidad, ya que, a mayor profundidad, menor biomasa; además, en el estrato de 0-10 cm de profundidad existen tres grupos identificados estadísticamente, mientras que de 10-20 cm solo hay dos; sin embargo en el tercer estrato de evaluación (20-30 cm), todos los sistemas son estadísticamente iguales (cuadro 3).

Cuadro 3. Densidad (ind.m^{-2}) y biomasa (g.m^{-2}) en diferentes niveles de profundidad (estratos), en los sistemas de uso de la tierra evaluados ($n= 10$, Media \pm error estándar).

PROFUNDIDAD	SISTEMAS	DENSIDAD (ind.m^{-2})	BIOMASA (g.m^{-2})
0-10 cm	SSP	646,68 \pm 0,0004 (a)	198,81 \pm 0,09 (a)
	BN	613,06 \pm 0,0729 (a)	149,33 \pm 0,24 (b)
	PD	241,80 \pm 0,0036 (b)	85,38 \pm 0,36 (c)
	SAF	221,41 \pm 0,0400 (b)	76,56 \pm 0,22 (c)
10-20 cm	SSP	75,00 \pm 0,1521 (a)	27,25 \pm 0,48 (a)
	BN	66,91 \pm 0,1369 (a)	27,88 \pm 0,42 (a)
	PD	36,24 \pm 0,0004 (b)	9,61 \pm 0,16 (b)
	SAF	27,88 \pm 0,0441 (b)	13,84 \pm 0,55 (b)
20-30 cm	SSP	9,49 \pm 0,0016 (a)	5,52 \pm 0,04 (a)
	BN	9,12 \pm 0,0169 (a)	4,97 \pm 0,14 (a)
	PD	0,94 \pm 0,1156 (a)	0,71 \pm 0,18 (a)
	SAF	1,28 \pm 0,0625 (a)	0,40 \pm 0,32 (a)

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de DGC

La mayor densidad de lombrices de suelo se obtuvo en el estrato de 0-10 cm de profundidad, tal como se observa en la figura 5, donde se muestra dos grupos identificados estadísticamente. En profundidades de 10-20 cm se obtuvieron valores intermedios; mientras que en el estrato de 20 – 30 cm de profundidad, la densidad de individuos es la más baja y la que presenta estadística no significativa en los cuatros sistemas de evaluación.

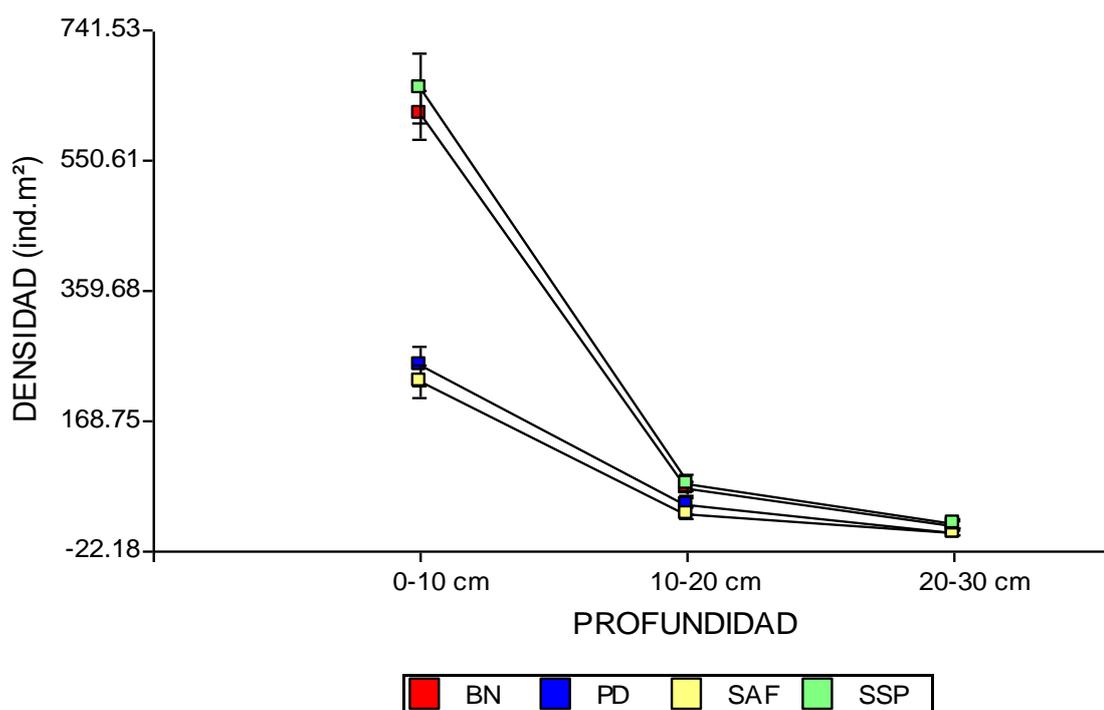


Figura 5. Densidad (ind.m⁻²), en diferentes niveles de profundidad comparados en Sistema Silvopastoril (SSP), Bosque Natural (BN), Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF).

La Figura 6, muestra que la mayor biomasa de lombrices de suelo se obtuvo en el estrato de 0-10 cm de profundidad, donde se identificaron tres grupos estadísticos; en cambio en profundidades de 10-20 cm se obtuvieron valores intermedios con 2 grupos estadísticamente diferentes;

mientras que en el estrato de 20 – 30 cm de profundidad, la biomasa de individuos es la más baja y la que presenta estadística no significativa en los cuatros sistemas de evaluación.

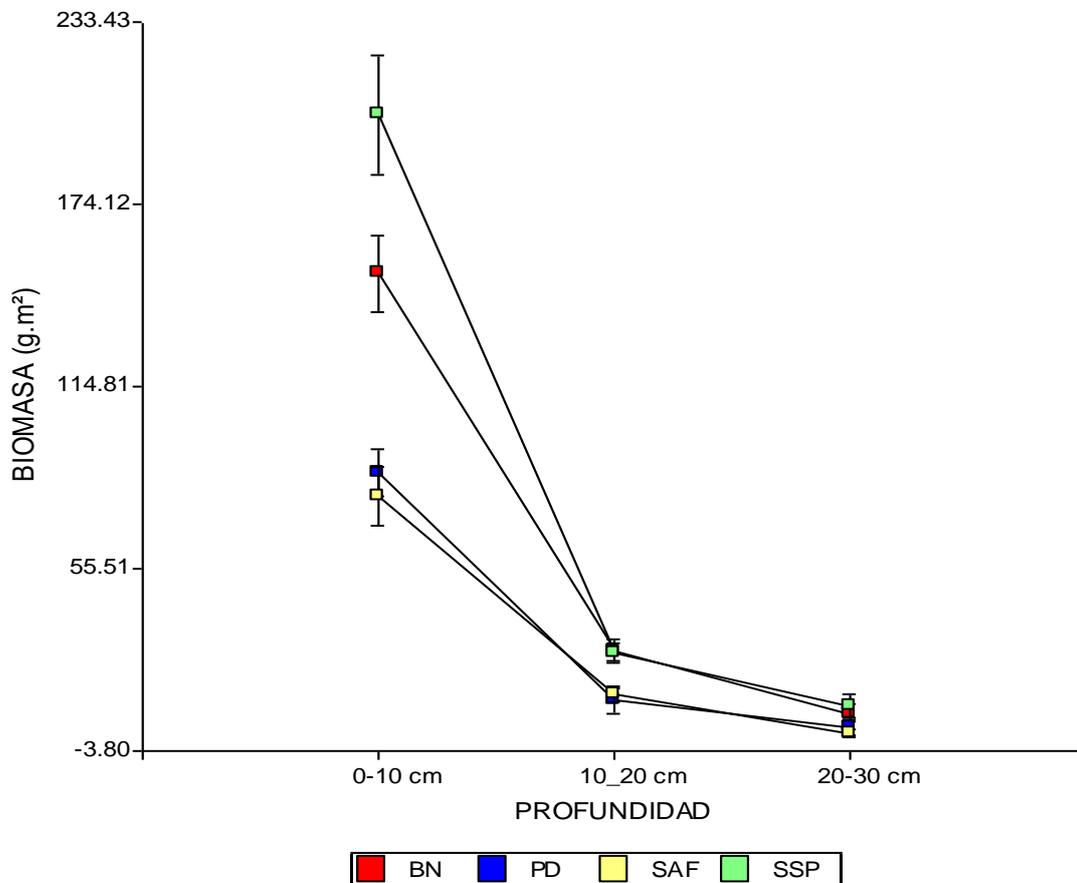


Figura 6. Biomasa (g.m^{-2}), en diferentes niveles de profundidad comparados en Sistema Silvopatoril (SSP), Bosque Natural (BN), Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF).

Como se observa en el Cuadro 4, existe una diferencia altamente significativa a nivel de densidad y biomasa con respecto a las profundidades de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados, tal es el caso que se muestran tres grupos identificados estadísticamente en cada uno de ellos; siendo a nivel de 0-10 cm de profundidad, donde se encontraron los

mayores valores, seguidamente del estrato de 10-20 cm, y finalmente los datos más bajos se obtuvieron en estratos de 20- 30 cm de profundidad.

Cuadro 4. Densidad (ind.m^{-2}) y biomasa (g.m^{-2}) en los diferentes sistemas de uso de la tierra según los niveles de profundidad (estratos) (n= 10, Media \pm error estándar).

SISTEMAS	PROFUNDIDAD	DENSIDAD (ind.m^{-2})	BIOMASA (g.m^{-2})
SSP	0-10 cm	646,68 \pm 0,0004 (a)	198,81 \pm 0,09 (a)
	10-20 cm	75,00 \pm 0,1521 (b)	27,25 \pm 0,48 (b)
	20-30 cm	9,49 \pm 0,0016 (c)	5,52 \pm 0,04 (c)
BN	0-10 cm	613,06 \pm 0,0729 (a)	149,33 \pm 0,24 (a)
	10-20 cm	66,91 \pm 0,1369 (b)	27,88 \pm 0,42 (b)
	20-30 cm	9,12 \pm 0,0169 (c)	4,97 \pm 0,14 (c)
PD	0-10 cm	241,80 \pm 0,0036 (a)	85,38 \pm 0,36 (a)
	10-20 cm	36,24 \pm 0,0004 (b)	9,61 \pm 0,16 (b)
	20-30 cm	0,94 \pm 0,1156 (c)	0,71 \pm 0,18 (c)
SAF	0-10 cm	221,41 \pm 0,0400 (a)	76,56 \pm 0,22 (a)
	10-20 cm	27,88 \pm 0,0441 (b)	13,84 \pm 0,55 (b)
	20-30 cm	1,28 \pm 0,0625 (c)	0,40 \pm 0,32 (c)

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de DGC.

Como se observa en la Figuras 7 y 8, los valores de densidad (ind.m^{-2}) y biomasa (g.m^{-2}) más altos se encontraron en el estrato de 0- 10 cm, seguidos de profundidades de 10-20 cm y por último en profundidades de 20-30 cm donde la población de lombrices es muy reducido, tales diferencias permitieron distribuirlos en tres grupos estadísticamente diferentes en cada sistema de uso de tierra evaluados, según las profundidades correspondientes,

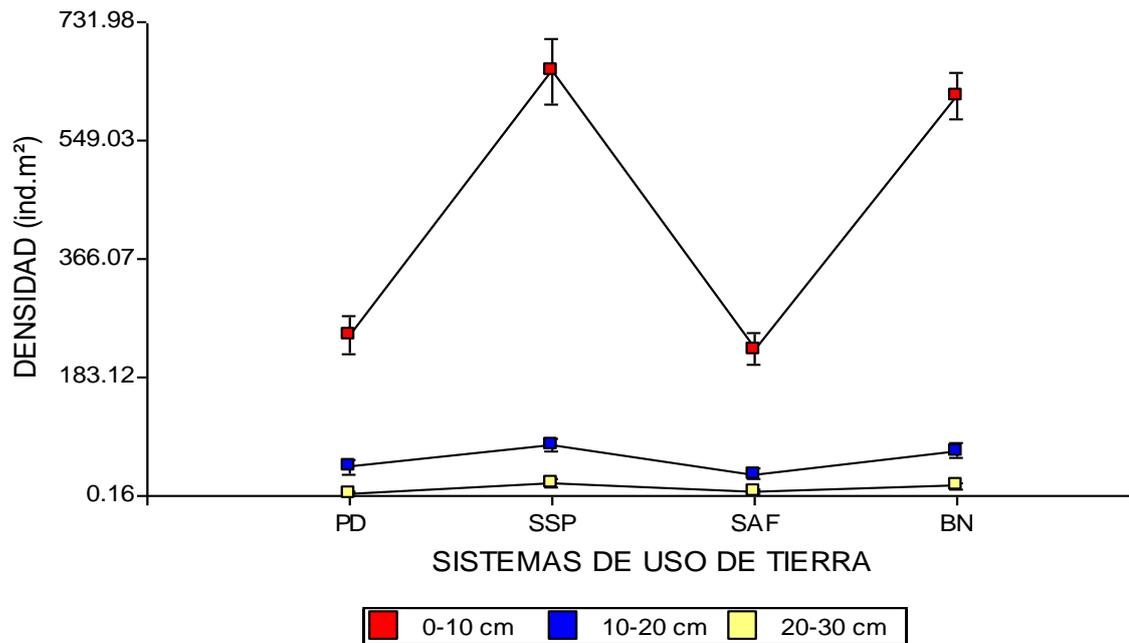


Figura 7. Densidad (ind.m⁻²), en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados según los niveles de profundidad.

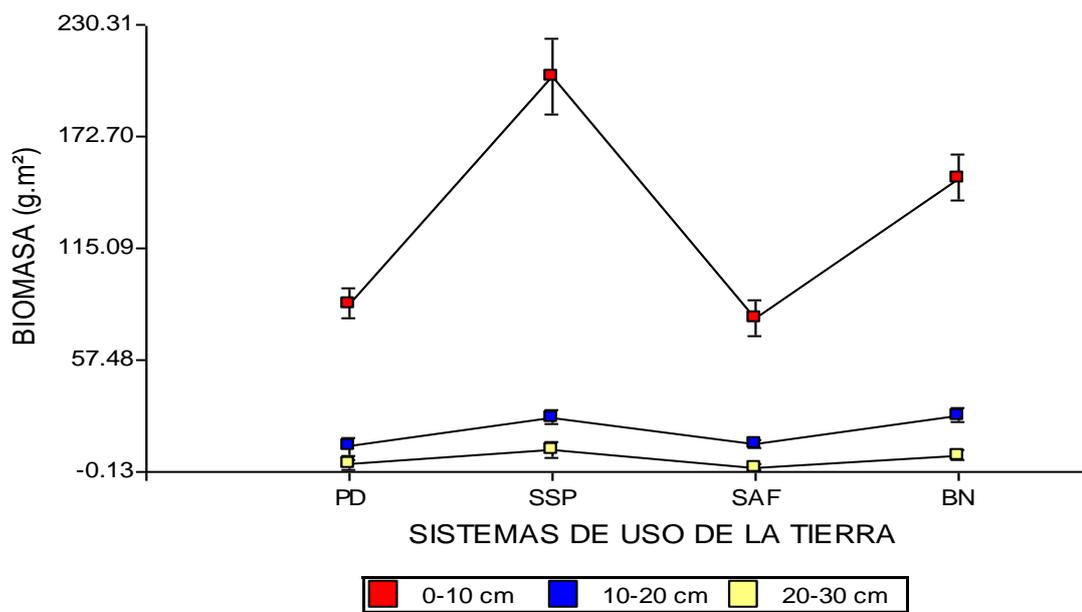


Figura 8. Biomasa (g.m⁻²), en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados según los niveles de profundidad.

4.3 Número de lombrices de tierra agrupados en familias

Cuadro 5. Sumatoria de individuos por m² en los sistemas de uso de la tierra

FAMILIAS	Número de ind.m ⁻² en cada sistema							
	SSP	%	BN	%	PD	%	SAF	%
<i>Glossoscolecidae</i>	355	75.4	369	83.9	148	79.1	129	77.3
<i>Acanthodrilidae</i>	51	10.8	26	5.9	4	2.1	23	13.8
<i>Megascolecidae</i>	5	1.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Lumbricidae</i>	4	0.9	9	2.0	0	0.0	2	1.2
Huevos	56	11.9	36	8.2	35	18.7	13	7.8
TOTAL	471	100	440	100	187	100	167	100

En el cuadro 5, observamos que el Sistema Silvopastoril (SSP) y el Bosque Natural (BN), presentaron la mayor cantidad de individuos destacándose entre ellos, las lombrices de la familia *Glossoscolecidae* y *Acanthodrilidae*, dichas familias también representan el mayor porcentaje en la Pastura Degradada (PD) y Sistema Agroforestal (SAF). Por otro lado, la familia *Megascolecidae* solo se encontró en el SSP y BN, cuya especie principal fue el *Polypheretima sp.*

En la figura 9; se observa que en el Sistema Silvopastoril (SSP), la mayor presencia de lombrices les corresponde a las familias *Glossoscolecidae* (75,4 %) y *Acanthodrilidae* (10,8 %).

SISTEMA SILVOPASTORIL (SSP)

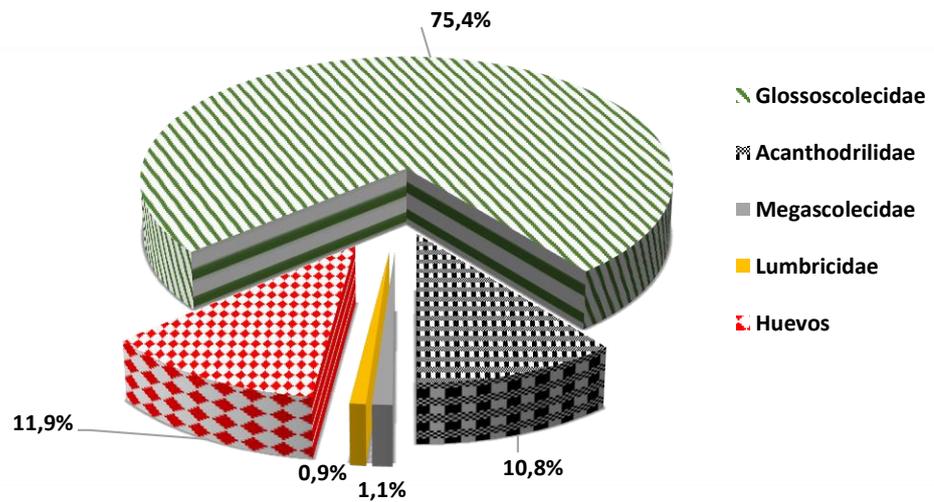


Figura 9. Presencia de familias en cuanto a densidad de lombrices (ind.m⁻²) en el Sistema Silvopastoril (SSP).

BOSQUE NATURAL (BN)

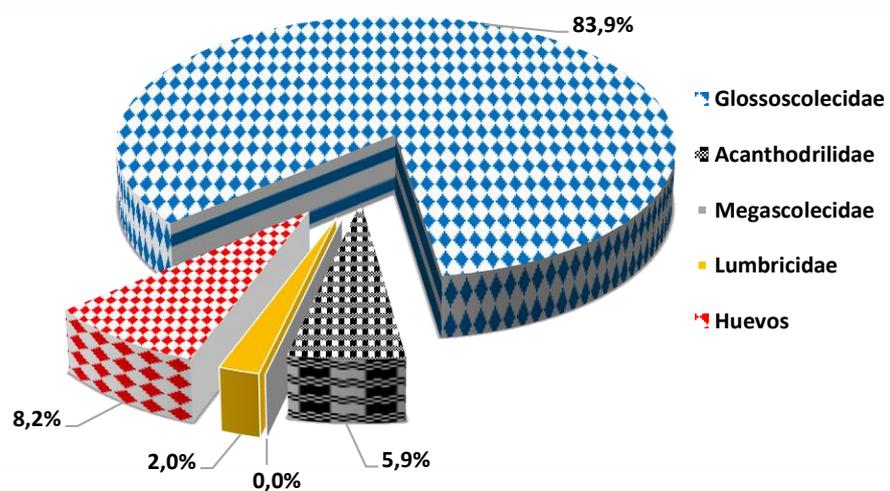


Figura 10. Presencia de familias en cuanto a densidad de lombrices (ind.m⁻²) en el Bosque Natural (BN).

La mayor cantidad de individuos identificados que se encontró en el Bosque Natural también fueron las de la familia *Glossoscolecidae* (83,9 %) y *Acanthodrilidae* (5,9 %); además de ello, el número de huevos de lombrices también es elevado (8,2 %) (Figura 10).

En la figura 11, se puede observar que en la Pastura Degradada (PD) la familia *Glossoscolecidae* (79,1 %) es la que sobresale a nivel de población; seguido del número de huevos de lombrices (18,7 %). Además, no se observó la presencia de las familias *Megascolecidae* y *Lumbricidae*.

Por otro lado en el Sistema Agroforestal (fig. 12), el mayor número de individuos identificados corresponde a lombrices de la familia de lombrices *Glossoscolecidae* (77,3 %), seguido de la familia *Acanthodrilidae* (13,8 %).

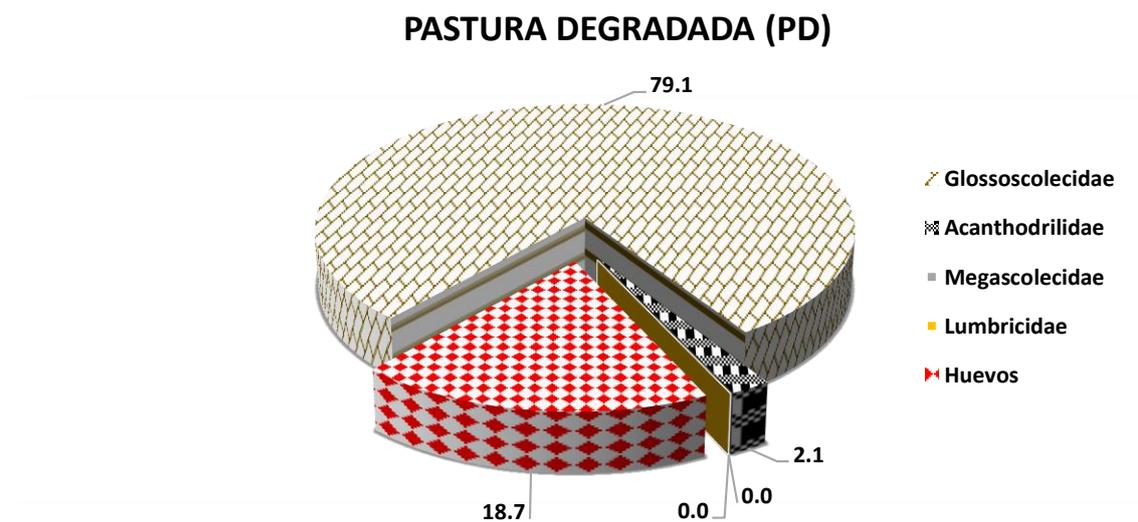


Figura 11. Presencia de familias en cuanto a densidad de lombrices (ind.m⁻²) en Pastura Degradada (PD).

SISTEMA AGROFORESTAL (SAF)

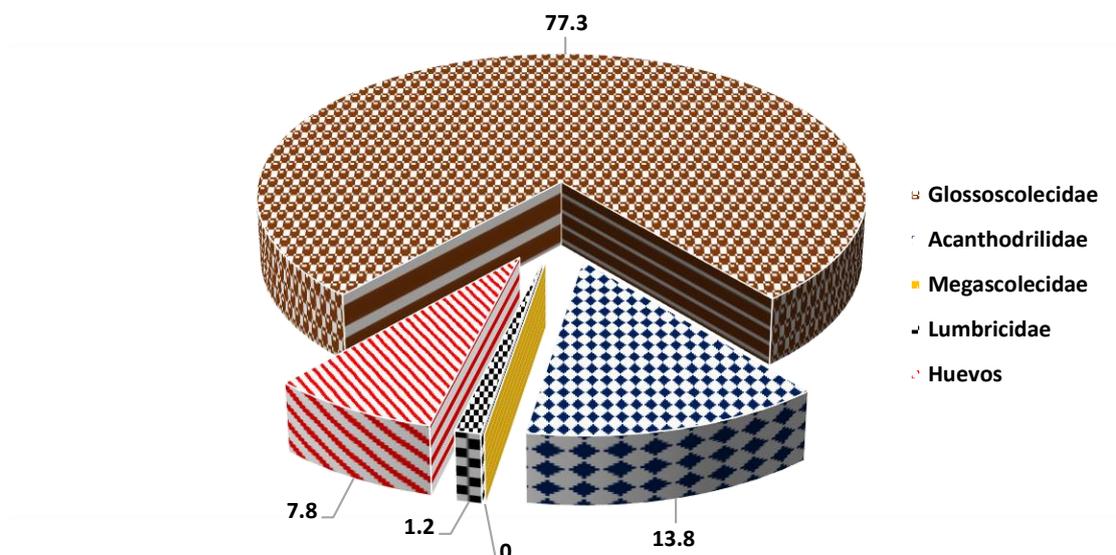


Figura 12. Presencia de familias en cuanto a densidad de lombrices (ind.m⁻²) Sistema Agroforestal (SAF).

4.4. Diversidad o riqueza de especies

Cuadro 6. Riqueza específica (S), índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de comunidades de lombrices de suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra.

SISTEMAS	S	H'	J
Sistema Silvopastoril (SSP)	5	0,796	0,494
Bosque Natural (BN)	4	0,599	0,432
Pastura Degradada (PD)	3	0,581	0,529
Sistema Agroforestal (SAF)	4	0,724	0,522

Elaboración propia.

Según el índice de Shannon-Weaver (H'), el Sistema Silvopastoril (SSP), fue más diverso que los otros sistemas de uso de la tierra evaluados con ($H' = 0,796$) y el menos diverso fue la Pastura Degradada (PD) con ($H' = 0,581$); con respecto a la Riqueza específica (S); el Sistema Silvopastoril también presentó el mayor valor (5) en comparación a los demás sistemas (cuadro 6).

Por otro lado, en lo que refiere a índice de equidad (J), se observó que el sistema que presentó más uniformidad en los valores a través de las familias de lombrices en estudio fue la Pastura Degradada (0,529); mientras que el Bosque Natural (BN) fue el más desuniforme (0,432).

4.5. Propiedades del suelo de los sistemas de uso de tierra evaluados

4.5.1. Propiedades físicas del suelo de los sistemas de uso de tierra evaluados.

Cuadro 7. Resultados del análisis físico del suelo de diferentes sistemas de uso de la tierra evaluados.

TRATAMIENTO	Textura	Densidad Aparente (g/cc)	Porosidad (%)
Pastura Degradada (PD)	Franco	1,429	38,56
Sistema Silvopastoril (SSP)	Franco	1,371	39,14
Sistema Agroforestal (SAF)	Franco Arcillo Arenoso	1,471	38,22
Bosque Natural (BN)	Franco Arcilloso	1,320	47,26

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

En el cuadro 7, podemos observar que la Pastura Degradada (PD) y el Sistema Silvopastoril (SSP) presentan una misma textura de suelo (franco); mientras que la textura del Sistema Agroforestal (SAF) es Franco Arcillo Arenoso y la del Bosque Natural es Franco Arcilloso. Por otro lado, el Bosque Natural (BN), presenta el valor más bajo en densidad aparente (1,320 g/cc); pero el mayor porcentaje de porosidad (47,26%); seguido del Sistema Silvopastoril (SSP) quien tiene una densidad aparente de 1,371 g/cc y el segundo porcentaje de porosidad más alto (39,14%).

En la figura 13, se observa que el porcentaje de porosidad del Bosque Natural es muy superior a los valores de los otros sistemas de uso de tierra evaluados; mientras que en densidad aparente, el Sistema Agroforestal (SAF) presentó el valor más elevado (1.471 g/ cc).

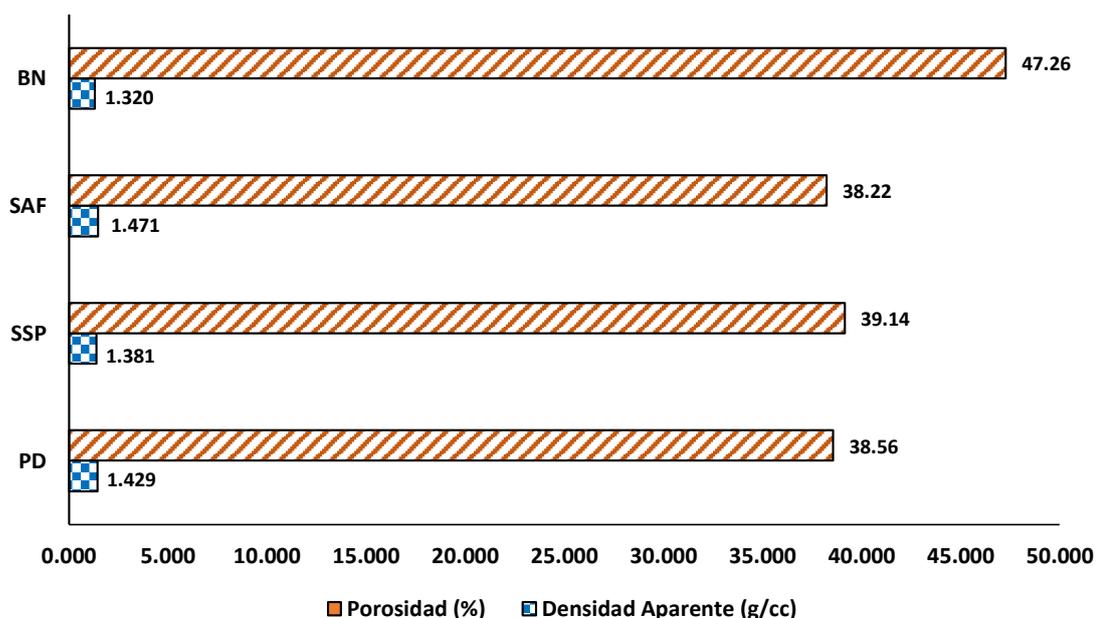


Figura 13. Porosidad (%) y densidad aparente (g/cc) de los suelos de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.

4.5.2. Propiedades químicas del suelo de los sistemas de uso de tierra evaluados.

Cuadro 8. Análisis químico de los suelos de los cuatro sistemas evaluados.

TRAT.	pH	M.O.	N	P	K	CAMBIABLES				% Bas.	% Sat.
	%	%	%	ppm	ppm	Ca	Mg	Al	H	Camb.	Al.
PD	4.01	4.67	0.21	7.84	58.62	1.95	0.76	2.68	1.36	40.1	39.74
SSP	4.44	3.8	0.17	4.46	44.28	1.75	0.63	2.85	1.09	37.61	45.07
SAF	4.35	2.92	0.13	7.53	35.48	3.25	0.99	0.59	0.6	78.19	10.81
BN	4.79	4.96	0.22	6.68	79.62	3.51	1.11	1.09	0.98	69.05	16.29

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS; donde PD: Pastura Degradada, SSP: Sistema Silvopastoril, SAF: Sistema Agroforestal, BN: Bosque Natural.

Los resultados que se muestra en el cuadro 8, indican que los suelos, presentan un nivel de concentraciones de hidrogeno ácido ($\text{pH} \leq 4.79$). Por otra parte el contenido de materia orgánica tiene porcentajes que van de medio a alto (M.O. = 4.67, 3.8, 2.92, 4.96) en la Pastura Degradada (PD), Sistema Silvopastoril (SSP), Sistema Agroforestal (SAF), Bosque Natural (BN) respectivamente, la cual indica buena disponibilidad de nutrientes. Respecto al contenido de macronutrientes en el suelo; los sistemas de uso de tierra evaluados presentan un buen contenido de Nitrógeno ($\text{N} \geq 0.13 \%$), mientras que en fósforo, potasio, calcio y magnesio, los valores son muy bajos ($\text{P} \leq 7.84 \text{ ppm}$, $\text{K} \leq 79.62 \text{ ppm}$, $\text{Ca} \leq 3.51 \text{ Cmol}(+)/\text{Kg}$ y $\text{Mg} \leq 1.11 \text{ Cmol}(+)/\text{Kg}$).

Es importante indicar que debido a la acidez de los suelos y la alta saturación de aluminio, los valores de las bases cambiables son bajos, siendo el Sistema Agroforestal (SAF) y Bosque Natural (BN) los que

presentaron los mayores porcentajes (78.19 y 69.05). Con respecto a la relación Calcio-Magnesio, los valores obtenidos en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados son bajos ($\text{Ca/Mg} = 2.6, 2.7, 3.3, 3.2$).

En términos generales, los suelos de la Pastura Degradada (PD), Sistema Silvopastoril (SSP), Sistema Agroforestal (SAF), Bosque Natural (BN), presentan una buena cantidad de materia orgánica que indica una alta fertilidad de los suelos, sin embargo se muestra la deficiencia de fósforo, potasio, calcio, magnesio y porcentaje de bases cambiables; limitando en cierta medida el crecimiento y desarrollo de las poblaciones de la macrofauna edáfica. Como se observa en la figura 14, el Bosque Natural (BN) obtuvo el mayor valor de pH (considerando que todos los sistemas de uso de tierra tuvieron un pH ácido); de igual manera, el mismo sistema presentó el mayor contenido de materia orgánica (4.96%).

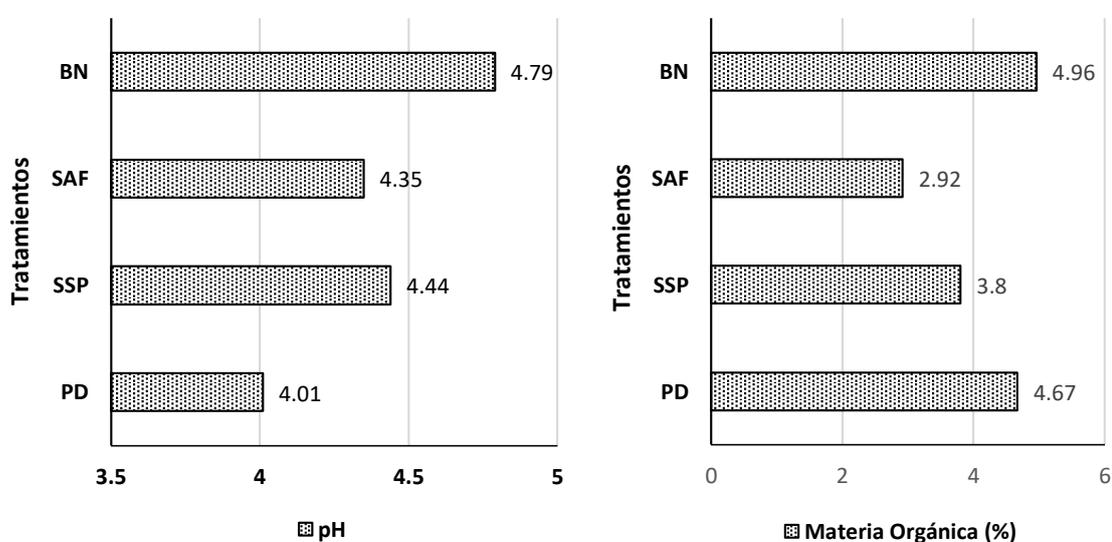


Figura 14. Contenido de pH y materia orgánica del suelo de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.

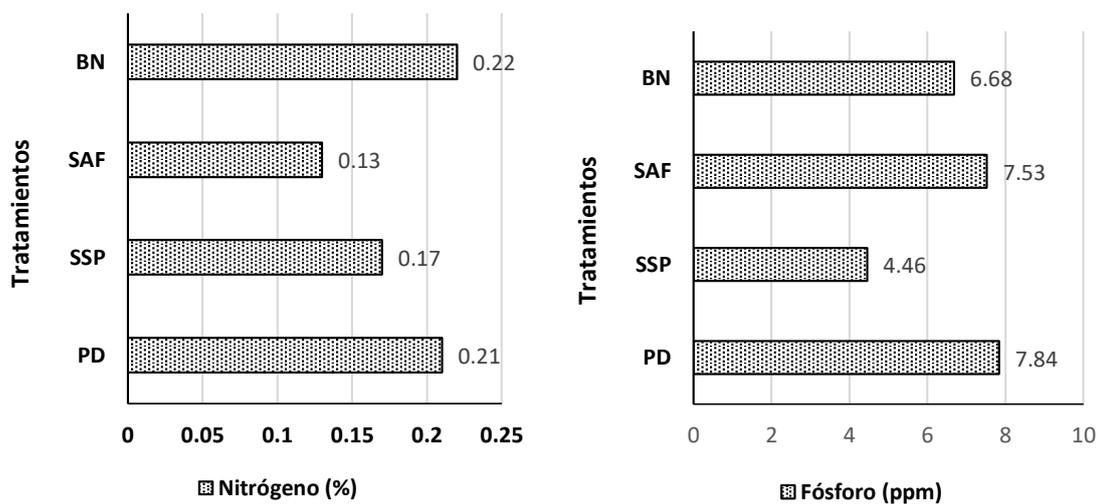


Figura 15. Contenido de nitrógeno (%) y fósforo (ppm) del suelo de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.

En la figura 15, observamos que todos los sistemas evaluados presentan un buen porcentaje de nitrógeno ($N \leq 35.48$); sin embargo; el contenido de fósforo (P), potasio (K) y bases cambiables (ver figura 16) es muy bajo en los cuatro sistemas de uso de tierra evaluados.

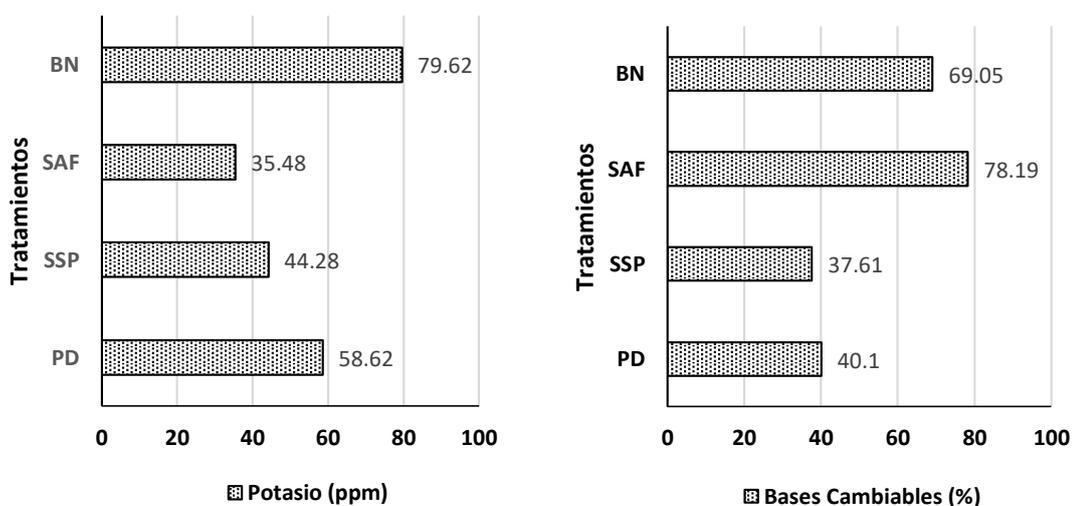


Figura 16. Contenido de potasio (%) y bases cambiables (%) del suelo de los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.

V. DISCUSIÓN

5.1. Densidad y biomasa total por sistema de uso de la tierra

5.1.1. Densidad y biomasa por sistema

En cuanto al número de ind.m⁻², se encontró diferencia estadística significativa entre los diferentes sistemas de uso de la tierra evaluados tal como se observa en el Cuadro 2, donde el Sistema Silvopastoril (SSP), obtuvo una media mayor con 740,93 ± 0,03 ind.m⁻², seguido del Bosque Natural (BN), con 698,02 ± 0,04; cuyos datos son similares a lo reportado por SANCHEZ Y HERNANDEZ (2011), quien encontró 740 lombrices por m⁻² en el Sistema Silvopastoril; mientras que en un bosque secundario evaluado por PASHANI et al (1994); se encontró 137 individuos/ m²; lo cual difiere con el resultado encontrado en la investigación. Por otro lado, los sistemas de menor media fueron la de la Pastura Degradada (PD) con 290,02 ± 0,00 ind.m⁻² y la del Sistema Agroforestal (SAF) con 261,47 ± 0,04. Resultados similares se obtuvo con SANCHEZ Y HERNANDEZ (2011), quienes encontraron un total de 297 ind.m⁻² en el pastizal de gramíneas; de igual manera FRAILE (1986) encontró hasta más de 200 individuos.m⁻² en pasturas poco degradadas; mientras que en agroecosistemas con prácticas culturales intensivas como café mezclado con cítricos, predominó una sola especie de lombriz (P. Corethrurus)

con valores que superaron los 750 individuos por m^{-2} (FEIJOO *et al.*, 2007), lo cual difiere de lo encontrado en la evaluación.

En lo que respecta a biomasa ($g.m^{-2}$), también se encontró diferencia significativa entre ellos (cuadro 2), siendo el Sistema Silvopastoril (SSP) el más sobresaliente con $236,85 \pm 0,04 g.m^{-2}$, seguido del Bosque Natural (BN) con $186,05 \pm 0,17 g.m^{-2}$. Resultados menores presentó FRAILE (1989), quien realizó un estudio sobre la actividad de las poblaciones de lombrices en pasturas de Turrialba; reportando de 45-68 g de peso fresco. m^{-2} ; sin embargo FRAGOSO (2001), menciona que en estas pasturas se puede alcanzar una biomasa de más de $100 g.m^{-2}$; por otro lado, en un bosque secundario evaluado por PASHANI *et al.* (1994); se reportaron biomásas menores a las encontradas en la investigación, ya que en el año 1988 se encontró $18.4 g.m^{-2}$; mientras que en el año 1986 solo fue de $11.3.m^{-2}$. Sin embargo, los sistemas de menor media fueron la Pastura Degradada (PD) con $100,8 \pm 0,21 g.m^{-2}$ y el Sistema Agroforestal (SAF) con $93,12 \pm 0,23 g.m^{-2}$; cuyo resultado es respaldado por FRAILE (1986), quien menciona que en pasturas poco degradadas con ganado podemos encontrar más de 100 g peso fresco. m^{-2} de lombrices de tierra.

En general, el Sistema Silvopastoril (SSP) y el Bosque Natural (BN), obtuvieron los mayores resultados en biomasa y densidad, probablemente debido al microclima (humedad y temperatura del suelo) creado por la presencia de las plantas arbóreas que favorecen la actividad biológica de la macrofauna edáfica (FEIJÓO *et al.*, 2004). Por otro lado la Pastura

Degradada (PD) y el Sistema Agroforestal (SAF), han tenido los valores de densidad y biomasa más bajos debido a que en la Pastura Degradada, un incremento de la intensidad del pastoreo es acompañado por una disminución de la diversidad de la fauna que habita el suelo, (CURRY y GOOD, 1992; MORRIS, 2000); mientras que el Sistema Agroforestal tiene valores menores, posiblemente debido al uso de agrotóxicos que al adicionarle al suelo aumentan la concentración de sales cambiando el potencial osmótico de las lombrices y produciéndoles la muerte (DOMÍNGUEZ *et al*, 2009).

5.2. Interacción entre los estratos y sistemas de uso de la tierra

5.2.1. Densidad (ind.m^{-2}) y biomasa (g.m^{-2}) por estrato

En el cuadro 3, observamos diferencia significativa en la densidad (ind.m^{-2}) y biomasa (ind.m^{-2}) de los dos primeros niveles de profundidad, obteniéndose como resultado que en el estrato de 0 – 10 cm es donde existe la mayor cantidad de individuos y la mayor biomasa total; coincidiendo con lo reportado por WELLINGTON (1995); además esto se debe a que en la superficie del suelo se produce un mantillo de alta calidad y hay un mayor aporte de materia orgánica lo que favorece la actividad de las lombrices de tierra (FRASER *et al.*, 1994; LAVELLE y SPAIN, 2001).

Por otro lado, el cuadro 4, nos muestra que los sistemas de uso de tierra evaluados presentan diferencia estadística significativa al comparar los tres niveles de profundidad (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm), destacando en densidad y biomasa el primer nivel, ya que la producción de

materia orgánica es un requisito para que se desarrolle una comunidad de lombrices. (LUNA *et al*, 2010).

5.3. Número de lombrices de tierra agrupados en familias

La alta densidad de lombrices de la familia *Glossoscolecidae* en todos los sistemas evaluados tuvo una semejanza con lo reportado por FRAGOSO (2001), quien menciona que ésta familia alcanza densidades de más de 500 individuos/m²; del mismo modo FRAILE, (1996) menciona que los *Pontoscolex Corethurus* (familia *Glossoscolecidae*); son las lombrices más comunes y dominantes en casi todos los lugares que habitan.

En el Sistema Silvopastoril (SSP), se ha encontrado cuatro familias de lombrices tales como *Glossoscolecidae*, *Acanthodrilidae*, *Megascolecidae* y *Lumbricidae*; alcanzando además, la mayor población en comparación de los otros sistemas de uso de tierra evaluados, esto lo corrobora PASHANASI (2001), quien señala que las pasturas son favorables para el desarrollo de numerosas poblaciones de lombrices.

Los huevos de lombrices de tierra, representan un buen porcentaje del total de la población de cada sistema de uso de tierra; esto se debe a la alta prolificidad que tienen, alcanzando una madurez sexual de 60 a 90 días, con una producción de 1500 huevos por año (DOMINGUEZ *et al*, 2009).

5.4. Diversidad o Riqueza de Especies

Según el cuadro 6, el Sistema Silvopastoril (SSP), fue el que presentó una mayor riqueza específica (5) e índice de Shannon-Weaver (H'),

($H' = 0,796$), haciéndolo más diverso que los otros sistemas de uso de tierra evaluados; esto también lo afirman SÁNCHEZ y REINÉS (2001), quienes indican que los sistemas silvopastoriles al proporcionar condiciones edafo-climáticas, favorecen el desarrollo de una rica y variada fauna en el suelo; reflejándose en los índices ecológicos: diversidad de especies, abundancia proporcional de organismos en el suelo y equitatividad. Sin embargo, resultados diferentes lo obtuvieron HUAMANYAURI (2012), al encontrar una mayor diversidad en el sistema con pastura mejorada con árboles (1,48) y SALDANI (2014), quien determinó una diversidad de 1,403 en una pastura natural con árboles, ambos en estudios relacionados a la macrofauna del suelo.

El sistema menos diverso es la Pastura Degradada ($H' = 0,581$), cuyos resultados coinciden con lo reportado por SALDANI (2014) y HUAMANYAURI (2012), con índices de Shannon- Wiener (H'), de 0,673 y 0,879 respectivamente en macrofauna del suelo de pasturas sin árboles.

5.5. Propiedades del suelo de los sistemas de uso de tierra evaluados

5.5.1. Propiedades físicas del suelo de los sistemas de uso de tierra evaluados.

Como se observa en el cuadro 7; los suelos de los sistemas de uso de tierra que alcanzaron la mayor cantidad de biomasa y densidad (Sistema Silvopastoril y Bosque Natural) presentan una estructura franco y franco arcilloso respectivamente; la cual se asemeja a lo reportado por SALDANI (2014), quien encontró un mayor densidad y biomasa en un sistema de Pasto natural sin árboles cuya textura de suelo fue franco arenoso; esto se debe a

que los *Oligochaetas* se desarrollan favorablemente en suelos con altos contenidos de limo (DECÄENS et al., 2001).

Por otra parte, la relación entre densidad aparente del suelo y abundancia de lombrices de tierra parece responder a un efecto significativo, ya que CHAN (2001) menciona que a partir de $1,38 \text{ g.cm}^{-3}$ se produciría una abrupta disminución en la abundancia de la orden *Oligochaeta*; esto se puede observar en los resultados obtenidos, donde el Sistema Silvopastoril (SSP) y Bosque Natural (BN), lograron los valores más altos en biomasa y densidad de lombrices, y a su vez, los valores de densidad aparente menores a $1,38 \text{ g.cm}^{-3}$.

El Bosque Natural (BN) y el Sistema Silvopastoril (SSP) presentaron los porcentajes de porosidad más altos (47,26 y 39,14 %), al mismo tiempo, los valores más altos en densidad y biomasa de lombrices por metro cuadrado; esto se debe a que los efectos físicos de las lombrices de tierra sobre los suelos resultan de la excavación de túneles contribuyendo a aumentar la porosidad y aireación del suelo (LEE, 1985); además la compactación del suelo es factor determinante para el desarrollo y mantenimiento de las comunidades de lombrices de suelo (CHAN, 2001).

5.5.2. Propiedades químicas del suelo de los sistemas de uso de tierra evaluados.

Según el cuadro 8, los cuatro sistemas de uso de tierra evaluados presentan suelos ácidos ($\text{pH} \leq 4.79$), considerando que el Sistema Silvopastoril (SSP) y Bosque Natural (BN) alcanzaron las mayores poblaciones

de lombrices (740,93 y 698,02 por metro cuadrado). Estos resultados son similares a lo reportado por SALDANI (2014), quien también encontró las mayores poblaciones de lombrices en suelos ácidos, mientras que en pH ligeramente alcalino las densidades disminuyeron. Sin embargo, HENDRICKS (1985) menciona que si bien las preferencias en cuanto a pH son variadas, la mayoría de organismos evitan los suelos ácidos. Estas diferencias pueden deberse a que aparte del pH, existen un sinnúmero de factores físicos y químicos que podrían afectar la macrofauna edáfica (DUBS et al., 2004).

El Bosque Natural (BN) y Sistema Silvopastoril (SSP) presentaron buenos porcentajes de materia orgánica (4.96 % y 3.80%), en comparación a los demás sistemas evaluados, coincidiendo con SANCHEZ Y HERNANDEZ (2011), quienes encontraron de 4,06-4,53% de materia orgánica; cuyos valores se reflejan en la mayor densidad y biomasa de lombrices de tierra encontradas; tal como lo afirma CHOCOBAR (2010), quien indica que las lombrices de tierra tienden a prevalecer en ambientes edáficos húmedos y con alto contenido de materia orgánica, ya que el deterioro del contenido de materia orgánica del suelo debido a la pérdida o transformación de la vegetación original, determinan la disminución de la riqueza y la abundancia de las lombrices de tierra (RODRÍGUEZ, 2000).

Con respecto al contenido de Nitrógeno; todos los sistemas de uso de tierra evaluados presentan un buen porcentaje; probablemente por la estrecha relación existente entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno en los suelos (SANZ et al, 1975).

El contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio en los suelos de los diferentes sistemas de uso de la tierra es muy bajo, posiblemente por una elevada extracción de nutrientes por parte de los pastos o por las precipitaciones que lavan los nutrientes del suelo en el caso de los bosques

Como se aprecia en el cuadro 8, el porcentaje de saturación de aluminio es alta, lo cual reduce el porcentaje de bases cambiables, tal como lo menciona CASIERRA (2007), quien indica que al reducir el pH del suelo se incrementa la solubilidad del aluminio hasta llegar a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico, donde la concentración de Al en la solución del suelo a pH menor de 5,0 va en aumento.

VI. CONCLUSIONES

- Las comunidades de lombrices de suelo varían en densidad (ind.m^{-2}), biomasa (g.m^{-2}) y variedad de acuerdo a los diferentes sistemas de uso de la tierra.
- El Sistema Silvopastoril y Bosque Natural fueron los que presentaron las más altas densidades de lombrices de suelo con $740,93 \text{ ind.m}^{-2}$ y $698,02 \text{ ind.m}^{-2}$ respectivamente, seguido de la Pastura Degradada con $290,02 \text{ ind.m}^{-2}$, mientras que el Sistema Agroforestal solo presentó $261,47 \text{ ind.m}^{-2}$. Asimismo la mayor densidad de lombrices de suelo se encontró en la profundidad de 0-10 cm; destacando el Sistema Silvopastoril y Bosque Natural con $646,68 \text{ ind.m}^{-2}$ y $613,06 \text{ ind.m}^{-2}$; mientras que la Pastura Degradada y el Sistema Agroforestal presentaron las densidades más bajas con $241,80 \text{ ind.m}^{-2}$ y $221,41 \text{ ind.m}^{-2}$.
- El Sistema Silvopastoril y Bosque Natural también fueron los que presentaron la mayor biomasa de lombrices de suelo con $236,85 \text{ g.m}^{-2}$ y $186,05 \text{ g.m}^{-2}$ respectivamente, seguido de la Pastura Degradada con $100,80 \text{ g.m}^{-2}$, mientras que el Sistema Agroforestal solo presentó $93,12 \text{ g.m}^{-2}$. Asimismo la mayor biomasa de lombrices de suelo se encontró en la profundidad de 0-10 cm; destacando el Sistema Silvopastoril y Bosque Natural con $198,81 \text{ g.m}^{-2}$ y $149,33 \text{ g.m}^{-2}$; mientras que la

Pastura Degradada y el Sistema Agroforestal presentaron los valores más bajos con $85,38 \text{ g.m}^{-2}$ y $76,56 \text{ g.m}^{-2}$.

- Las lombrices de la familia *Glossoscolecidae* y *Acanthodrilidae*, representan el mayor porcentaje de individuos encontrados en los cuatro sistemas de uso de tierra evaluados. El Sistema Silvopastoril presentó una mayor diversidad que los otros sistemas de uso de la tierra evaluados ($H' = 0,796$) y el menos diverso fue la Pastura Degradada con ($H' = 0,581$); con respecto a la Riqueza específica (S); el Sistema Silvopastoril también presentó el mayor valor (5). Por otro lado, en lo que refiere a índice de equidad (J), el sistema que presentó más uniformidad en los valores a través de las familias de lombrices en estudio fue la Pastura Degradada (0,529); mientras que el Bosque Natural fue el más des uniforme (0,432).
- Los suelos de la Pastura Degradada y Sistema Silvopastoril son de textura franco, mientras que el Sistema Agroforestal y Bosque Natural son franco arcillo arenoso y franco arcilloso respectivamente; todos éstos son suelos ácidos; de buen contenido de Materia Orgánica y Nitrógeno; mientras que los valores de Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Bases Cambiables son bajos, asimismo, la concentración de Aluminio es elevado en todos los suelos evaluados.

VII. RECOMENDACIONES

- Establecer sistemas silvopastoriles ya que favorecen el desarrollo de una rica y variada fauna edáfica, contribuyendo a la sostenibilidad del sistema y su conservación.
- Realizar estudios considerando un nivel taxonómico más bajo en la identificación de las lombrices de tierra, con la finalidad de encontrar algunas especies nativas de nuestra zona.
- Realizar estudios que permitan determinar la influencia de los metales pesados en la densidad, biomasa y variedad de comunidades de lombrices de suelo.
- Generar mayor conocimiento del impacto producido por los diversos sistemas agrícolas y pecuarios implementados en la zona sobre la calidad física, química y biológica de los suelos.
- Realizar trabajos de investigación que permitan determinar el efecto de los productos químicos (fertilizantes y pesticidas) en la macrofauna del suelo.
- Realizar estudios en los sistemas de uso de tierra evaluados en otras épocas del año y compararlos con el presente trabajo de investigación y poder generar indicadores que permitan valorar la calidad del suelo.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.; INGRAM, J. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. CAB International, Wallingford, UK. 256 pp.
- BARROS, E.; NEVES, A.; FERNANDES, E.C.M.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. 2000. Soil macrofauna community of Amazonian Agroforestry Systems (no publicado).
- BROWN, G., PASINI, A., Benito, P., DE AQUINO, M., CORREIA, F. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Montreal, Canadá. 20p.
- CABRERA, G.; ROBAINA, N. & 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. P: 34:331.
- CALZADILLA, E. et al. 1993. Informe de experimento silvopastoril. Instituto de Suelos. La Habana, Cuba. 12 p.

- CASIERRA, F. 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Revista Colombiana de ciencias hortícolas*. Colombia. Vol. 1. P: 246-257.
- CHOCOBAR, E.A. 2010. Edafofauna como indicador de la calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejo en un experimento de larga duración. Tesis. Colegio de Postgraduados, de México. 63 p.
- CHAN, K. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soils. *Soil & Tillage Research* 57: 179-191.
- CURRY, J. 1987. The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. II. Factors affecting the abundance and composition of the fauna. *Grass and Forage Science* 42:197-212.
- CURRY, J., GOOD, J. 1992. Soil faunal degradation and restoration. *Advances in Soil Science* 17: 171-215.
- DECÄENS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J.J.; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN, G.; SCHNEIDMADL, J.; SANZ, J.I.; HOYOS, P.; THOMAS, R. J. 2001. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. Colombia. Cali, CIAT. 324. p. 19-41.
- DOMÍNGUEZ, A., BEDANO, C., BECKER, A. 2009. Cambios en la comunidad de lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina) como consecuencia del uso de la técnica de siembra directa en el centro-sur de

córdoba, argentina. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río. Córdoba, Argentina. 19p.

- DUBS, F.,LAVELLE, P.,BRENNAN, A.,EGGLETON, P., HAIMI, J., IVITS, E.,JONES, D.,KEATING, A., MORENO, A., SCHEIDEGGER, C.,SOUSA, P.,SZEL, G., WATT, A. 2004. Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: an European gradient study. 252 p.
- FEIJÓO, M., BUITRAGO, A., CALDERÓN, P., GIL, D., ZÚÑIGA, M. & CAMARGO, J. 2004. Quantifying soil macroinvertebrates under different land usesystems in Colombia.2nd International Symposium on Silvopastoril Systems. Universidad Autónoma. Mérida, Yucatán, México. 88 p.
- FEIJOO, A., ZÚÑIGA, M., QUINTERO, H., LAVELLE, P. 2007. Relaciones entre el uso de la tierra y las comunidades de lombrices en la cuenca del río La Vieja, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Pastos y Forrajes, Vol. 30, No. 2, p (235-250).
- FRAGOSO, C. 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): Diversidad, ecología y manejo. Instituto de Ecología, A.C. México. 40 p.
- FRAILE, J. 1996. Las lombrices de tierra en Costa Rica, importancia Agroecológica. X Congreso Nacional Agronómico. Escuela de Ciencias Biológicas. Costa Rica. 87 p.

- FRAILE, J. 1989. Poblaciones de lombrices de tierra (Oligochaeta: Annelidae) en una pastura de *Cynodon plectostachyus* (pasto estrella) asociado con árboles de *Erythrina poeppigiana* (poró), una pastura asociada con árboles de *Cordia alliodora* (laurel), una pastura sin árboles y vegetación a libre crecimiento, en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, Tesis Mag. Sc. 236p.
- FRAILE, J. 1986. Las lombrices de tierra contribuyen al aprovechamiento de los recursos naturales. *Biocenosis* 2 (3-4): 116-119.
- FRASER, P., HAYNES, R., WILLIAMS, P. 1994. Effects of pasture improvement and intensive cultivation on microbial biomass, *Biol. Fertil. Soils* 17: p. 185-190.
- GASSEN, D., GASSEN, F. 1996. Plantío direto o caminho do futuro. *Passo Fundo, Aldeia Sul*. 207 p.
- HARSTENSTEIN, R. 1981. Production of earthworms as a potentially economical source of protein. *Biotechnology and Bioengineering* 23 (8): 1797-1811.
- HARVEY, C. 2003. La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. Curso Internacional sobre ganadería y medio ambiente. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 21
- HENDRICKS, D. 1985. AnimalsandSoil in Arizona. In Hendricks, D.M. (Ed.) *Arizona Soils*. Tucson, University of Arizona. Editor Haney, R.A. Jr. p. 55-62.

- HOOGERTKAMP, M., ROGAAR, H. EIJSACKERS, H.J.P. 1983. Effect of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. In *Earthworm Ecology from Darwin to vermiculture*. Ed. by I.E. Satchell. London, Chapman. p. 85-105.
- HUAMANYAURI, L. 2012. Macrofauna del suelo en diferentes usos de la tierra en sistemas ganaderos en el distrito de José Crespo y Castillo-Aucayacu. Tesis. Ing. Zootecnista. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 55p.
- LAVELLE, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research* 17:441-450.
- LAVELLE, P. SPAIN, A. 2001. *Soil Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.
- LEE, K. 1985. *Earthworms, their ecology and relationship with soils and land use*. Orlando (Fla), Academic Press. 416 p.
- LUNA, G., SEQUEIRA K., TORREZ, M., TALENO, E., SERRANO, I., GONZÁLEZ, M. 2010. Abundancia y biomasa de lombrices de tierra en dos ecosistemas intervenidos del bosque tropical húmedo, Bluefields. *Ciencia e interculturalidad*. Vol. 6. 131p.
- MORRIS, M. 2000. The effects of structure and its dynamics on the ecology and conservation of arthropods in British grasslands. *Biological Conservation* 95:129-142.

- NEUHAUSER, E.F., MALECKI, R. 1984. Earthworms and waste management. *Biocycle* 25 (3): 26-27.
- PASHANASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*. 12:75.
- PASHANI, B., LAVELLE, P., ALEGRE, J. 1994. Efecto de lombrices de tierra (*Pontoscolex corethrurus*) sobre el crecimiento de cultivos anuales y características físicas y químicas en suelos de Yurimaguas. IIAP. *Folia Amazónica*. Vol 6. p (5-46)
- RODRÍGUEZ, C. 2000. Comunidades de lombrices de tierra en ecosistemas con diferente grado de perturbación. *Rev. Biología*. 14:147.
- RODRÍGUEZ, I; CRESPO, G.; RODRÍGUEZ, C.; CASTILLO, E. & FRAGA, S. 2002. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales o intercaladas con leucaena para la ceba de toros. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 36:181.
- SALDANI, R. 2014. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción ganadera en el distrito de Palcazú, Iscozacán. Tesis Ing. Zootecnista. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 53p.
- SÁNCHEZ, S. y REINÉS, M. 2001. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*. 24:191.

- SÁNCHEZ, S. y REYES, F. 2003. Estudio de la macrofauna edáfica en una asociación de *Morus alba* y leguminosas arbóreas. *Pastos y Forrajes*. 26:315.
- SÁNCHEZ, S. y HERNÁNDEZ, M. 2011. Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos. *Estación experimental de pastos y forrajes*. Cuba. Vol 34. p 359-366.
- SANZ, M.; HERAS, L.; MONTAÑES, L. 1975. Índice de correlación entre el carbon orgánico en suelos de la Cuenca Ebro. *Estación experimental de Aula*. Zaragoza, España. p: 140-149.
- STOCKDILL, S. 1982. Effects of introduced earthworms on the productivity of New Zealand pastures, *Pedobiologia* 24 (1): 29-35.
- SYERS, L., SPRINGETT, J. 1984. Earthworms and soil fertility. *Plant and Soil* 76 (1-3): 93-104.
- VERHOEF, H., VAN SELM, A. J. 1983. Distribution and population dynamics of *Collembola* in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology*. 394 p.
- WARDLE, D. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Advances in Ecological Research* 26:105:185.
- WELLINGTON J. 1995. Abundancia, Distribuição Vertical e Fenología da fauna de arthropoda de uma região de agua mista, próxima de Manaus, am. 167p.

IX. ANEXOS



Figura 17. Materiales empleados en la investigación.



Figura 18. Monolito de 25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidad.



Figura 19. Toma de muestra de los suelos de cada sistema.



Figura 20. Almacenamiento de las muestras en el laboratorio.



Figura 21. Determinación de la biomasa de las lombrices de suelo.



Figura 22. Determinación de densidad de las lombrices de suelo.



Figura 23. Determinación de la variedad de las lombrices de suelo.



Figura 24. Lombrices de suelo clasificados en familias.

Cuadro 9. Densidad de lombrices de suelo (ind.m⁻²) en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.

TRAT.	REP.	DENSIDAD/ PROFUNDIDAD			Total
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	
PD	1	288	16	0	304
PD	2	160	32	0	192
PD	3	224	0	0	224
PD	4	192	32	0	224
PD	5	320	80	0	400
PD	6	400	48	0	448
PD	7	176	16	0	192
PD	8	128	64	32	224
PD	9	224	32	16	272
PD	10	384	128	0	512
SSP	1	736	64	48	848
SSP	2	480	48	32	560
SSP	3	704	128	0	832
SSP	4	656	80	0	736
SSP	5	864	80	32	976
SSP	6	384	32	0	416
SSP	7	752	80	0	832
SSP	8	512	48	0	560
SSP	9	608	80	32	720
SSP	10	864	144	48	1056
SAF	1	320	80	32	432
SAF	2	128	48	32	208
SAF	3	240	64	0	304
SAF	4	224	32	0	256
SAF	5	128	32	0	160
SAF	6	176	16	0	192
SAF	7	176	16	0	192
SAF	8	288	16	0	304
SAF	9	336	0	0	336
SAF	10	256	32	0	288
BN	1	576	144	16	736
BN	2	656	32	0	688
BN	3	544	48	0	592
BN	4	480	48	16	544
BN	5	736	96	48	880
BN	6	640	112	32	784
BN	7	432	48	0	480
BN	8	688	64	32	784
BN	9	800	64	0	864
BN	10	624	48	16	688

Cuadro 10. Biomasa de lombrices de suelo (g.m^{-2}) en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.

TRAT.	REP.	BIOMASA/ PROFUNDIDAD			TOTAL
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	
PD	1	85.12	4.48	0	89.6
PD	2	72.64	14.72	0	87.36
PD	3	52.16	0	0	52.16
PD	4	83.04	8.96	0	92
PD	5	133.6	44.64	0	178.24
PD	6	91.52	7.84	0	99.36
PD	7	76.32	2.88	0	79.2
PD	8	62.72	2.88	26.24	91.84
PD	9	114.72	17.44	10.88	143.04
PD	10	95.84	24.96	0	120.8
SSP	1	219.84	42.88	24.8	287.52
SSP	2	166.56	24.48	22.08	213.12
SSP	3	265.76	24.8	0	290.56
SSP	4	180.96	23.2	0	204.16
SSP	5	304.8	27.2	28	360
SSP	6	103.68	15.36	0	119.04
SSP	7	222.56	42.88	0	265.44
SSP	8	125.92	15.2	0	141.12
SSP	9	204.96	39.52	19.68	264.16
SSP	10	237.76	25.28	17.12	280.16
SAF	1	59.52	14.88	13.76	88.16
SAF	2	49.44	11.68	6.88	68
SAF	3	89.44	20.16	0	109.6
SAF	4	68.32	12.96	0	81.28
SAF	5	37.92	12.96	0	50.88
SAF	6	77.12	9.76	0	86.88
SAF	7	58.56	6.88	0	65.44
SAF	8	125.28	31.04	0	156.32
SAF	9	109.76	12.8	0	122.56
SAF	10	115.52	11.2	0	126.72
BN	1	142.88	49.12	10.72	202.72
BN	2	86.56	8.48	0	95.04
BN	3	163.36	31.84	0	195.2
BN	4	110.24	23.84	10.72	144.8
BN	5	208.64	34.56	24.8	268
BN	6	178.08	40	16.8	234.88
BN	7	135.36	30.88	0	166.24
BN	8	133.76	23.2	11.68	168.64
BN	9	203.36	22.72	0	226.08
BN	10	153.28	24.96	10.88	189.12

Cuadro 11. Clasificación de las lombrices de suelo según su familia en los diferentes sistemas de uso de tierra evaluados.

TRAT.	REP.	FAMILIAS/ SISTEMA DE USO DE TIERRA					TOTAL
		Glossoscolecidae	Acanthodrilidae	Megascolecidae	Lumbricidae	Huevos	
PD	1	14	1	0	0	4	19
PD	2	10	0	0	0	2	12
PD	3	14	0	0	0	0	14
PD	4	11	0	0	0	3	14
PD	5	23	0	0	0	2	25
PD	6	21	2	0	0	5	28
PD	7	10	0	0	0	2	12
PD	8	13	0	0	0	1	14
PD	9	15	1	0	0	1	17
PD	10	17	0	0	0	15	32
TOTAL	---	148	4	0	0	35	187
SSP	1	43	5	1	0	4	53
SSP	2	34	0	0	0	1	35
SSP	3	36	2	4	3	7	52
SSP	4	28	7	0	0	11	46
SSP	5	57	0	0	1	3	61
SSP	6	18	5	0	0	3	26
SSP	7	44	8	0	0	0	52
SSP	8	20	3	0	0	12	35
SSP	9	33	8	0	0	4	45
SSP	10	42	13	0	0	11	66
TOTAL	---	355	51	5	4	56	471
SAF	1	10	12	0	0	5	27
SAF	2	11	1	0	0	1	13
SAF	3	15	3	0	0	1	19
SAF	4	14	2	0	0	0	16
SAF	5	9	1	0	0	0	10
SAF	6	8	0	0	1	3	12
SAF	7	11	0	0	0	1	12
SAF	8	18	0	0	0	1	19
SAF	9	18	2	0	0	1	21
SAF	10	15	2	0	1	0	18
TOTAL	---	129	23	0	2	13	167
BN	1	42	3	0	1	0	46
BN	2	35	7	0	0	1	43
BN	3	29	4	0	0	4	37
BN	4	27	4	0	1	2	34
BN	5	50	0	0	0	5	55
BN	6	34	4	0	0	11	49
BN	7	26	2	0	0	2	30
BN	8	42	2	0	1	4	49
BN	9	45	0	0	5	4	54
BN	10	39	0	0	1	3	43
TOTAL	---	369	26	0	9	36	440