

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**DETERMINACIÓN DE MACROFAUNA EN SUELOS DE CAFETALES  
(*Coffea arabica* L.) EN SANTA ROSA TEALERA, DISTRITO HERMILIO  
VALDIZAN**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN  
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**Presentado por:**

**MILTON MARINO HUARAUYA AGUIRRE**

**2014**

## **DEDICATORIA**

A Dios, Jesucristo y al precioso Espíritu Santo; por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, además de su infinita bondad y amor.

A mis queridos padres: Marino y Lorenza; por ser el pilar fundamental en mi vida, por todo su esfuerzo y sacrificio, lo que hizo posible darme una carrera profesional. Para ellos mi amor, obediencia y respeto.

A mis queridos hermanos: Nelly, Tito, Fisher, Nilda, Rita y mi sobrino Fredy; por estar siempre presentes, por su apoyo incondicional para lograr mis objetivos durante mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, la Facultad de Recursos Naturales Renovables, y a mi asesor Ing. Juan Pable Rengifo Trigozo, por la orientación, valiosas sugerencias y acertados aportes brindados durante el desarrollo de la investigación.

Al presidente del jurado de tesis, el Ing. Ms. Sc. José Lévano Crisóstomo; por sus enseñanzas brindadas, su apoyo y amistad brindados en la ejecución de la tesis y, a los miembros de jurados de tesis: Ing. Erle Bustamante escaglioni, Ing. Fiorela Guere Salazar y Blgo. Cesar Gozme Sulca; por los apoyos, comprensiones y sugerencias ofrecidos en la investigación.

A mi amiga Evelyn Rivera Zevallos; que en forma desinteresada me brindó su ayuda en el levantamiento de información en la etapa de campo durante la investigación.

A todos ellos, mi sincero agradecimiento por su colaboración en la finalización de mi meta.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. La agricultura .....	4
2.2. Suelo.....	4
2.2.1. Materia orgánica del suelo.....	5
2.2.2. Microbiología del suelo .....	5
2.2.3. Microbiología del suelo en la era de la biología molecular.....	5
2.3. Biodiversidad edáfica .....	7
2.3.1. Variabilidad de microorganismos en el suelo.....	8
2.3.2. Microorganismos del suelo (macrofauna) .....	8
2.3.3. Factores que afectan a los microorganismos en el suelo.....	10
2.4. Índices de diversidad .....	11
2.4.1. Índice de diversidad de Shannon – Wiener (H').....	11

2.4.2. Índice de dominancia de Simpson (D) .....	12
2.4.3. Índice de equitatividad o uniformidad (E) .....	12
2.5. Fauna artrópoda del suelo o macrofauna .....	13
2.5.1. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia .....	14
2.5.2. Patrones de distribución de la macrofauna edáfica mundial .....	15
2.5.3. Indicadores de fauna y monitoreo biológico de la calidad del suelo .....	16
2.6. Los cafetales .....	20
2.6.1. El cultivo del café .....	21
2.7. Antecedentes referente a la macrofauna en suelos .....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.1. Lugar de ejecución .....	31
3.1.1. Ubicación política .....	31
3.1.2. Ubicación geográfica .....	31
3.1.3. Clima .....	32
3.2. Materiales y equipos .....	33
3.2.1. Material biológico .....	33
3.2.2. Materiales y equipos de campo .....	33

3.2.3. Materiales y equipos de gabinete .....	33
3.3. Diseño estadístico.....	33
3.3.1. Unidad experimental.....	34
3.3.2. Tamaño de la muestra .....	34
3.4. Trabajo de campo .....	35
3.4.1. Muestreo de macrofauna .....	35
3.5. Variables en estudio.....	36
3.5.1. Variable dependiente .....	36
3.5.2. Variable independiente .....	36
3.6. Trabajo de gabinete .....	37
3.6.1. Análisis sobre densidad y diversidad .....	37
3.6.2. Análisis de correlación.....	39
3.6.3. Prueba de significancia.....	39
IV. RESULTADOS .....	40
4.1. Macrofauna encontrada en suelos cafetaleros en diferentes edades establecidas .....	40
4.2. Densidad de macrofauna encontrada en suelos cafetaleros con diferentes años de plantación.....	47
4.3. Diversidad de la macrofauna encontrada en suelos de cafetales con diferentes edades desde el establecimiento .....	50

4.4.	Correlación de la densidad y grupos taxonómicos de macrofauna con la edad de los cafetales desde el establecimiento .....	51
V.	DISCUSIÓN .....	53
5.1.	Grupos taxonómicos de macrofauna encontrada en suelos de cafetales con diferentes edades de establecimiento .....	53
5.2.	Densidad de macrofauna encontrada en suelos de cafetales con diferentes edades de establecimiento .....	54
5.3.	Diversidad de macrofauna encontrada en suelos de cafetales con diferentes edades de establecimiento .....	55
5.4.	Correlación de la densidad y grupos taxonómicos de macrofauna con la edad de los cafetales desde el establecimiento .....	56
VI.	CONCLUSIONES .....	59
VII.	RECOMENDACIONES.....	61
VIII.	ABSTRACT .....	62
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
	ANEXO.....	73

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Extracción de elementos esenciales por la planta para una producción de 20 qq/ha. ....	24
2. Densidad y biomasa de la macrofauna en distintos sistemas de uso del suelo. ....	26
3. Macrofauna encontrada en suelos cafetaleros con diferentes edades. ....	41
4. ANVA para la cantidad de grupos taxonómicos de macrofauna en suelos de cafetales con diferentes edades. ....	44
5. Comparación de promedios (Duncan) del efecto principal de la edad de establecimiento en suelos de cafetales sobre los grupos taxonómicos de macrofauna.....	45
6. Comparación de promedios (Duncan) del efecto principal de la profundidad de muestreo en suelos de cafetales sobre los grupos taxonómicos de macrofauna.....	45
7. ANVA para la densidad de macrofauna en suelos de cafetales con diferentes edades. ....	47
8. Comparación de promedios (Duncan) del efecto principal de la edad de establecimiento en suelos de cafetales sobre la densidad de macrofauna. ....	48

9.	Comparación de promedios (Duncan) del efecto principal de la profundidad de muestreo en suelos de cafetales sobre la densidad de macrofauna. ....	48
10.	Índices de diversidad en suelos de cafetales con diferentes edades de establecimiento. ....	51
11.	Correlación entre las variables evaluadas. ....	52
12.	Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 1 año de establecido. ....	74
13.	Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 2 años de establecido. ....	75
14.	Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 4 años de establecido. ....	76
15.	Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 8 años de establecido. ....	77
16.	Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 10 años de establecido. ....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Relación entre la macrofauna, suelo y la productividad vegetal.....	17
2. Grupos taxonómicos encontrados en plantaciones de café. ....	43
3. Interacción de los factores edad de establecimiento y profundidad de muestreo sobre la cantidad de grupos taxonómicos de macrofauna.....	46
4. Interacción de los factores edad de establecimiento y profundidad de muestreo sobre la densidad de macrofauna en suelos de cafetales.....	49
5. Delimitación del transecto (café con 1 año de edad). ....	79
6. Limpieza y colocación del cuadrante. ....	79
7. Extracción de monolitos. ....	80
8. Colecta de macrofauna de los suelos (café con 8 años de edad). ....	80
9. Colecta de macrofauna edáfica. ....	81
10. Identificación de macrofauna.....	81
11. Lombriz de tierra (Lumbricidae). ....	82
12. Hormigas (Formicidae). ....	82

## RESUMEN

Las actividades de la fauna artrópoda a través de los efectos producidos en la fertilidad del suelo influyen considerablemente en el crecimiento de las plantas, ante ello, se realizó la investigación cuyo objetivo fue determinar la macrofauna en suelos de cafetales (*Coffea arabica* L.) con diferentes edades de plantación, actividad realizada en predios con café variedad Caturra Roja de 1, 2, 4 y 10 años del establecimiento, más una plantación de 8 años de la variedad Catimor, ubicados en el caserío Santa Rosa Tealera, provincia Leoncio Prado y región Huánuco. La unidad experimental fue un monolito de 25 cm x 25 cm y 30 cm de profundidad, distribuido a lo largo de un transecto (40 m) por plantación de café. En estos volúmenes de tierra se colectó la macrofauna y fueron llevadas al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Agronomía para su identificación. Se determinó que el Japigider (Campodeida), hormigas (Formicidae) y la lombriz de tierra (Lumbricidae) son los especímenes representantes en los suelos cuyo cultivo es el café, mayor grupo taxonómico se registró entre 0 a 10 cm del suelo; mayor densidad se hubo en la plantación de 10 años (392 ind./m<sup>2</sup>) y entre 0 a 10 cm de suelo (239 ind./m<sup>2</sup>); las parcelas fueron pocos diversos con 1.56 (H'), 0.6217 (E) y 0.5567 (D). Hubo relación entre la densidad de macrofauna con el tiempo de establecido del cafetal ( $R^2$ : 0.3648) y profundidad del suelo ( $R^2$ : -0.2451), además, los grupos taxonómicos presentó relación con la profundidad ( $R^2$ : -0.4518) y densidad de macrofauna ( $R^2$ : 0.3552).

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo es el escenario de un balance entre la adición de residuos orgánicos de las plantas y la descomposición por los organismos del suelo. El flujo de energía y el ciclado de nutrientes, requiere la transformación de la materia orgánica en el ecosistema. En esta dinámica la fauna del suelo cumple un papel esencial, porque junto con los microorganismos transforman los restos de origen animal y vegetal, manteniendo la estructura del suelo, aumentando el número de nichos y regulando la disponibilidad de recursos para los productores (TEUBEN y ROELOFSMA, 1990).

En el trópico, los macroorganismos artrópodos del suelo (invertebrados de tamaño mayor que 2 mm) desempeñan un papel clave en los procesos que determinan la fertilidad del suelo, ya que regulan la disponibilidad de nutrientes asimilables para las plantas y la estructura del suelo.

Las esferas de actividad de estos organismos se han definido como sistemas de regulación biológica del suelo, los cuales están constituidos por la fuente de energía (materia orgánica), descomponedores (microorganismos) y reguladores como los macroorganismos (LAVELLE *et al.*, 1992); por tanto, la diversidad y la abundancia de las comunidades de macrofauna y la importancia relativa de los grupos de organismos de mayor interés pueden ser utilizada como indicador de la calidad biológica del suelo (STORK y EGGLETON, 1992).

Las actividades de la fauna artrópoda, a través de los efectos producidos en la fertilidad del suelo influyen considerablemente en el crecimiento de las plantas. Las comunidades de macro – invertebrados pueden considerarse entonces como un recurso natural importante para la sostenibilidad de la producción primaria ya sea en ecosistemas naturales, plantaciones o en agroecosistemas (LAVELLE, 1997; BROWN *et al.*, 1999).

El cultivo de café resulta sumamente importante en algunos países de América Latina, y sobre todo en Perú, ya que desde el punto de vista económico puede ser explotado, tanto en pequeñas unidades agrícolas como en grandes plantaciones. Así se le considera al cultivo del cafeto un agroecosistema con una importancia socioeconómica grande. La producción de café aporta el 7% del PBI nacional y el 25% del agrícola, es el principal cultivo lícito de la selva alta, la principal fuente de ingresos y el mayor generador de empleos en esta región (JNC, 2005; citado por ROSADO, 2005).

En este contexto nacional, resulta necesario mencionar las limitantes que existe sobre qué tipos de macroinvertebrados existen en nuestros cafetales, y cómo éstos varían de acuerdo a ciertos factores, entre ellos la edad desde el establecimiento, y otros, la cual generan interrogantes como ¿Existe alguna relación de la densidad y diversidad de macrofauna con la edad de los cafetales desde el establecimiento?; aceptando la hipótesis sobre la densidad y diversidad de la macrofauna existente en suelos de cafetales presentan relación directa respecto al tiempo, ya que en plantaciones jóvenes la macrofauna es afectada por las actividades antrópicas del establecimiento.

### **1.1. Objetivo general**

- Determinar la macrofauna en suelos de cafetales (*Coffea arabica* L.) con diferentes edades establecidos.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Realizar la clasificación de la macrofauna de suelos cafetaleros con diferentes edades desde el establecimiento.
- Determinar la densidad de macrofauna en suelos cafetaleros con diferentes edades desde el establecimiento.
- Calcular los índices de diversidad de la macrofauna en suelos de cafetales con diferentes edades desde el establecimiento.
- Correlacionar la densidad y grupos taxonómicos de macrofauna con la edad de los cafetales desde el establecimiento

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. La agricultura

La agricultura moderna implica la simplificación de la estructura del ambiente en grandes áreas, donde se reemplaza la diversidad natural con una pequeña variedad de plantas cultivadas (ALTIERI, 1999). En los agroecosistemas convencionales los procesos físicos, químicos y biológicos son manipulados por el hombre con el fin de aumentar su productividad (STINNER & STINNER, 1989).

### 2.2. Suelo

FOTH (1990) manifiesta que deriva del latín *solum* que significa piso o superficie de la tierra. La gran diversidad de suelos que existe en el mundo dificulta dar una definición más precisa. Es aquel en que se le considera como medio para el desarrollo de las plantas.

PLASTER (2000) cita que está formado por partículas sólidas; entre esas partículas sólidas hay espacios porosos que contienen gases y/o agua. Esta combinación de partículas sólidas y espacios porosos se llama matriz del suelo, un sistema de tres fases de sólido, líquido y gas. Se considera

que el suelo ideal está formado por 50% de material sólido (45% de partículas minerales y un 5% de materia orgánica), un 25% de agua y un 25% de aire.

### **2.2.1. Materia orgánica del suelo**

MILIARIUM (2004) cita que la degradación biológica del suelo consiste en la pérdida de materia orgánica por disminución de aportes vegetales, y por el aumento de la tasa de mineralización. Esto es consecuencia principalmente de la erosión hídrica, los malos manejos del suelo en agricultura, el sobrepastoreo y la deforestación. Las consecuencias de la degradación biológica implican una pérdida de las propiedades del suelo, disminuyendo su fertilidad y su capacidad para producir bienes y servicios.

### **2.2.2. Microbiología del suelo**

Existen  $10^8 - 10^{16}$  de bacterias por gramo de suelo. La mayor parte son heterótrofos, siendo comunes los bacilos esporulados, los actinomicetos que son los responsables de la geosmina (olor a tierra mojada), y en la rizósfera (región donde el suelo y las raíces de las plantas entran en contacto) especies de los géneros *Rhizobium* y *Pseudomonas* (PELCZAR, 1993).

### **2.2.3. Microbiología del suelo en la era de la biología molecular**

La aplicación de técnicas de biología molecular al estudio de la microbiología del suelo ha representado un gran avance en el conocimiento de estos ecosistemas. El reconocimiento de la presencia de una gran diversidad

de microorganismos en suelos, que resultaban totalmente desconocidos porque no se habían obtenido en cultivos de laboratorio, es sólo el comienzo de una nueva era en la microbiología molecular de suelos (PELCZAR, 1993).

El gran reto actual es determinar el papel funcional de los diferentes microorganismos que constituyen las comunidades edáficas. La integración de técnicas de estudio de la microbiología más tradicional, junto con metodologías moleculares, incluyendo los avances que suponen las técnicas de genómica y meta genómica sin duda contribuirá a un mejor conocimiento del funcionamiento de las comunidades microbianas del suelo (QUAISER, 2002).

#### **2.2.3.1. El suelo como hábitat para los microorganismos**

La materia orgánica procede de la actividad de los distintos organismos vivos del suelo y su composición y cantidad es variable, principalmente en función del tipo de cubierta vegetal. El resto del volumen del suelo está prácticamente constituido por espacios porosos, que a su vez están ocupados por agua y los gases que constituyen la atmósfera edáfica.

La porosidad (cantidad y tamaño de los poros) depende de la textura, determinada por la cantidad de arena, limo y arcilla, la estructura y el contenido en materia orgánica. Todos estos factores determinan a su vez el movimiento y capacidad de retención de agua del suelo y la composición gaseosa de su atmósfera (QUAISER, 2002).

De forma característica la atmósfera del suelo se encuentra enriquecida en dióxido de carbono y empobrecida en oxígeno, como resultado de la respiración aeróbica de raíces de plantas, animales y microorganismos. Sin embargo, cuando se producen condiciones de anaerobiosis (por acumulación de agua en los poros del suelo) aparecen en la atmósfera del suelo otros gases como óxido nitroso, nitrógeno gaseoso y metano, resultantes de actividad respiratoria anaeróbica bacteriana (QUAISER, 2002).

### **2.3. Biodiversidad edáfica**

Sin dudas es el suelo el lugar donde está la mega diversidad de microorganismos, en especial la zona de la rizósfera, se puede considerar como “un ser vivo” ya que cumple con las descripciones clásicas para ello: “nace, crece, se reproduce y muere”. Es decir, el suelo presenta una dinámica tal que podríamos afirmar que es el ecosistema más estable y sustentable para el grupo microbiano, los aportes de materia orgánica e inorgánica mantienen una inmensa cantidad de microbios los cuales apenas estamos comenzando a descubrir (RUÍZ, 2008).

Directa o indirectamente los desechos humanos y animales, sus cuerpos y los tejidos de vegetales llegan a la tierra y allí “se desaparecen” al transformarse en tierra, todo este trabajo es realizado por los microorganismos; además, estos microorganismos liberan sustancias útiles para las plantas de tal manera que sin la actividad microbiana del suelo la vida se extinguiría gradualmente (RUÍZ, 2008). PELCZAR (1993) cita que en un gramo de suelo

se puede hallar más de ocho mil millones de bacterias ( $8 \times 10^9$ ), cultivados en sustratos adecuados.

### **2.3.1. Variabilidad de microorganismos en el suelo**

La gran variabilidad de los microorganismos depende de las composiciones del suelo, referida a la cantidad y tipo de sustancias nutritivas, la humedad, la aireación, la temperatura, el pH, las interacciones, la presencia de raíces y las prácticas agrícolas, entre otras, producen grandes diferencias en la densidad y diversidad de la población microbiana. Además, todos estos factores ocasionan una compleja red trófica o trama alimentaria en el suelo, que permite la sobrevivencia de unos y la inhibición de otros (RUÍZ, 2008).

### **2.3.2. Microorganismos del suelo (macrofauna)**

WILD (1992) hace referencia que, un suelo naturalmente fértil es aquél en el que los organismos edáficos van liberando nutrientes inorgánicos, a partir de las reservas orgánicas, con velocidad suficiente para mantener un crecimiento rápido de las plantas. La actividad biológica de los suelos es la resultante de las funciones fisiológicas de los organismos y proporciona a las plantas superiores un medio ambiente adecuado para su desarrollo.

Pero la exigencia de microorganismos edáficos en energía, elementos nutritivos, agua, temperatura adecuada y ausencia de condiciones nocivas es similar a la de las plantas cultivadas. Los suelos contienen una amplia variedad de formas biológicas, con tamaños muy diferentes, como los

virus, bacterias, fungi, protozoos, nematodos, colémbolos, ácaros, lombrices, hormigas, algas y, por supuesto, las raíces vivas de las plantas superiores.

La importancia relativa de cada uno de ellos depende de las propiedades del suelo (RUÍZ, 2008). Los fungi, según WILD (1992), pueden representar el 70% de la población microbiana y constituyen el segundo de los dos grandes grupos de microorganismos del suelo. Todos son eucariotas heterótrofos y se incluyen entre las especies que necesitan nitrógeno, ya sea en forma de sales minerales o de compuestos orgánicos nitrogenados, pues están desprovistos de capacidad fijadora.

Las especies edáficas presentan gran diversidad en cuanto a exigencias en sustratos carbonados, variando desde los que pueden utilizar hidratos de carbono, alcoholes y ácidos orgánicos sencillos hasta los que son capaces de descomponer compuestos polimerizados, como celulosa y lignina.

La abundancia y actividad de los microorganismos del suelo pueden estar influenciadas por la actividad de la fauna del suelo, como ocurre en las praderas. De las interacciones que ocurren en el suelo, la que existe entre la microbiota y los invertebrados es relevante (WILD, 1992).

Además de los diferentes grupos que constituyen la fauna del suelo, los nemátodos son los más abundantes, calculándose que existen entre 1.8 y 120 millones/m<sup>2</sup>. Estos microorganismos presentan una gran versatilidad y, por tanto, una gran adaptabilidad que les ha llevado a desarrollar diferentes funciones dentro del suelo, basadas fundamentalmente en su hábito

alimentario y, por consiguiente, en el lugar que ocupan a lo largo de la cadena trófica. Se clasifican en bacteriófagas, micófagas, depredadores y fitófagas.

Otra forma de estimar la población microbiana del suelo es usando el método de diluciones sucesivas, que consiste en tomar una muestra de suelo, la cual se seca al medio ambiente y se diluye en agua destilada estéril de forma sucesiva hasta llegar a la más baja concentración (WILD, 1992).

### **2.3.3. Factores que afectan a los microorganismos en el suelo**

El suelo es un medio muy complejo, donde se dan innumerables interacciones que afectan las poblaciones de los organismos que la habitan. Asimismo, los factores medioambientales pueden afectar directa o indirectamente las poblaciones microbianas. Así tenemos que el contenido de humedad del suelo influye en la actividad de la población microbiana de diferentes maneras, ya que a medida que se va secando el agua, las películas se hacen más finas y afectan la disponibilidad del agua y las relaciones osmóticas de las células.

Otro factor importante es la temperatura, ya que la actividad metabólica de los organismos se inicia cuando se supera un determinado umbral térmico, aumenta a medida que las temperaturas se elevan hasta un cierto valor máximo y finalmente se reduce rápidamente cuando las temperaturas superan este valor (WILD, 1992).

El pH puede tener importancia en la retención de las bacterias en el suelo, según lo observado en experimento por BITTON (1994). La mayor parte de bacterias y actinomicetos se desarrollan mejor a pH neutro y ligeramente alcalino; en cambio, los hongos se desarrollan a pH más amplios. También existe la posibilidad que la materia orgánica por su carga negativa, adsorba y retenga a estos microorganismos de manera significativa (RUÍZ, 2008).

DIGHTON (1997) señala que los factores abióticos del suelo pueden tener un papel importante en la dispersión de los microorganismos del suelo. La aplicación de vapor o productos químicos al suelo producen inicialmente un descenso del número de los organismos que componen su población, seguido de un rápido aumento del número de bacterias una vez que ha pasado la acción de la esterilización.

Los protozoos se recuperan más lentamente y cuando el tratamiento se hace con vapor, el restablecimiento de los hongos suele ser muy lento (WILD, 1992).

## **2.4. Índices de diversidad**

### **2.4.1. Índice de diversidad de Shannon – Wiener ( $H'$ )**

El índice de Shannon se basa en la teoría de la información y por tanto en la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema. El valor máximo suele estar cerca de 5, pero hay ecosistemas excepcionalmente ricos que pueden superarlo. A mayor valor del índice indica

una mayor biodiversidad del ecosistema. ODÚM (1986) y VENEGAS (2004) indican que al encontrar valores de Shannon entre 1.5 y 3.5 son adecuados para este índice, sobrepasando difícilmente el valor de 4.5.

#### **2.4.2. Índice de dominancia de Simpson (D)**

El índice de Simpson ( $\lambda = \sum p_i^2$ ) mide la probabilidad de que dos individuos, extraídos independientemente y al azar de una comunidad, pertenezcan a la misma especie. Obviamente, si una comunidad está dominada por unas pocas especies, esa probabilidad será mayor que en el caso de comunidades con mayor equitatividad en el reparto de individuos en especies. Dado que el valor del índice de Simpson varía entre 0 y 1 (como probabilidad que es), podemos imaginar una medida de diversidad que sería simplemente  $D = 1 - \sum p_i^2$ , ya que D aumenta cuando  $\lambda$  disminuye y viceversa (RODRÍGUEZ, 2004).

#### **2.4.3. Índice de equitatividad o uniformidad (E)**

En el índice de Shannon se da un gran peso al número de especies presentes en la masa, pero en ocasiones es más interesante conocer el reparto de las especies en proporciones sin que influya el número de especies (n). Este es el caso del índice de uniformidad (Evenness) (MAGURRAN, 1988). Este índice varía entre 0, valor que toma cuando todos los individuos pertenecen al mismo grupo, y 1, si los individuos se reparten homogéneamente en los distintos grupos (del RÍO *et al.*, 2003). Es también llamada de "normalización" (DANIEL, 1998).

## 2.5. Fauna artrópoda del suelo o macrofauna

Burges (1971) y Porta (1999), citados por LINARES (2007), manifiestan que son organismos macroinvertebrados que componen la fracción orgánica del suelo, son animales visibles a la vista, con diámetro variable, generalmente mayor a 2 mm y longitud de 1 a 2 cm o más, desarrollan parte de su ciclo de vida en el suelo y/o mantillo superficial (hojarasca, tronco de la vegetación) son importantes por su actividad en los siguientes procesos:

- Depredación de microbios, modificación de la estructura del suelo.
- Descomposición de la materia orgánica.
- Mezcla de la materia orgánica descompuesta con la tierra.
- Incrementan la formación de agregados, proceso que mejora las propiedades físicas del suelo y definen el hábitat de otras comunidades.

Los invertebrados terrestres juegan un papel importante en la productividad de los agroecosistemas, no sólo como plagas o vectores de patógenos, sino también como benefactores por su capacidad de alterar el ambiente superficial y edáfico en el cual se desarrollan las plantas (LAVELLE *et al.*, 1994).

Los invertebrados-plagas reciben mucha atención y representan enormes gastos de millones de dólares anualmente por parte de los agricultores e investigadores, mientras que los invertebrados benéficos reciben relativamente poca atención.

Generalmente se da por hecho su acción y en pocas ocasiones se hace algún cambio en el manejo del ecosistema para beneficiarlos. Sin embargo, es probable que la degradación física y química del suelo, o sea la pérdida de su estructura (por efecto de la erosión, sedimentación, disgregación o compactación) y fertilidad (materia orgánica, nutrientes), esté íntimamente relacionada con la disminución de las poblaciones o la pérdida cuantitativa y/o cualitativa de invertebrados clave de la macrofauna edáfica que regulan el ciclo de la materia orgánica y la producción de estructuras físicas biogénicas (LAVELLE, 2000; PANKHURST *et al.*, 1994, 1997).

### **2.5.1. Clasificación de la macrofauna edáfica y su importancia**

La fauna del suelo o edáfica está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre la superficie inmediata del suelo, en los troncos podridos y la hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra, incluyendo desde animales microscópicos hasta vertebrados de talla mediana. Para vivir en el suelo, estos organismos han tenido que adaptarse a un ambiente compacto, con baja concentración en oxígeno y luminosidad, pocos espacios abiertos, baja disponibilidad y calidad de alimentos y fluctuaciones microclimáticas que pueden llegar a ser muy fuertes (LAVELLE *et al.*, 1992).

En los trópicos la macrofauna es la fauna animal más conspicua del suelo e incluye los invertebrados con un diámetro mayor de 2 mm y fácilmente visibles en la superficie o interior del suelo. Entre sus miembros se encuentran los termites, las lombrices de tierra, los escarabajos, las arañas, las

larvas de mosca y de mariposa, los caracoles, los milpiés, los ciempiés y las hormigas. De estos organismos, los escarabajos suelen ser los más diversos (con mayor número de especies), aunque en abundancia predominan generalmente los termes y las hormigas y en biomasa las lombrices de tierra (LAVELLE *et al.*, 1994).

La abundancia de toda la macrofauna puede alcanzar varios millones de individuos por hectárea y su biomasa varias toneladas por hectárea. Su diversidad podría llegar a superar el millar de especies en ecosistemas complejos (como la selva tropical), aunque todavía carecemos de datos exactos sobre la diversidad específica de la macrofauna tropical edáfica en un ecosistema dado (BROWN *et al.*, 2001).

### **2.5.2. Patrones de distribución de la macrofauna edáfica mundial**

A finales del año 2000 se habían realizado más de 560 muestreos en el mundo (FRAGOSO y BROWN, 2000) usando la metodología TSBF. Hasta el momento, solo se ha publicado una revisión mundial de 73 comunidades de la macrofauna en 29 sitios (LAVELLE *et al.*, 1992), que mostró como biomasa y densidad en comunidades de macrofauna eran dominadas por tres grupos principales: lombrices de tierra, termes y los artrópodos epigeos.

La predominancia de cada grupo varía de acuerdo al ecosistema, uso de la tierra y la región. La biomasa de lombrices de tierra y termes predominó en mayor parte de los casos, aunque los termes parecieron ser más importantes en ecosistemas africanos y australianos, en bosques, sabanas y

en las zonas más áridas. Las lombrices de tierra tuvieron mayor presencia en ecosistemas más húmedos y en pastizales, mientras que los artrópodos epigeos, dependientes de la presencia de hojarasca para su supervivencia, se concentran en bosques y pastizales (SYERS y SPRINGETT, 1983).

La comunidad de la macrofauna de los agroecosistemas de labor (cultivos anuales) era muy pobre y contenía biomasa total menor a los demás ecosistemas estudiados. El promedio de la biomasa total en agroecosistemas fue  $5.1 \text{ g m}^{-2}$ , mientras que en los bosques y las sabanas, la biomasa fue cuatro y siete veces mayor, respectivamente.

Las plantaciones de árboles, los cultivos arbóreos y los acahuals alcanzaron  $38 \text{ g/m}^2$ , mientras que en pastizales se aumentó extremadamente la macrofauna, llegando hasta los  $73.2 \text{ g m}^{-2}$ , cabe resaltar que en ambos casos el aumento de la biomasa fue debido principalmente a las lombrices de tierra, que representaron más del 90% de la biomasa total. También revelaron la relación entre actividades de la macrofauna, características edáficas y productividad vegetal (Figura 1), las cuales se encuentran dentro de un cuadro de interacciones biológicas y determinada por los factores bióticos y abióticos (SYERS y SPRINGETT, 1983).

### **2.5.3. Indicadores de fauna y monitoreo biológico de la calidad del suelo**

El uso de las alteraciones en las comunidades bióticas como indicadores de cambios ambientales se inició al comienzo del siglo XX con el

sistema desarrollado por Kolkwitz y Marsson entre 1908 y 1909 (LINDEN *et al.*, 1994). De acuerdo a la presencia de ciertos organismos, fueron clasificadas zonas que presentaban una severa degradación de las condiciones ambientales como consecuencia de la descarga de residuos orgánicos.

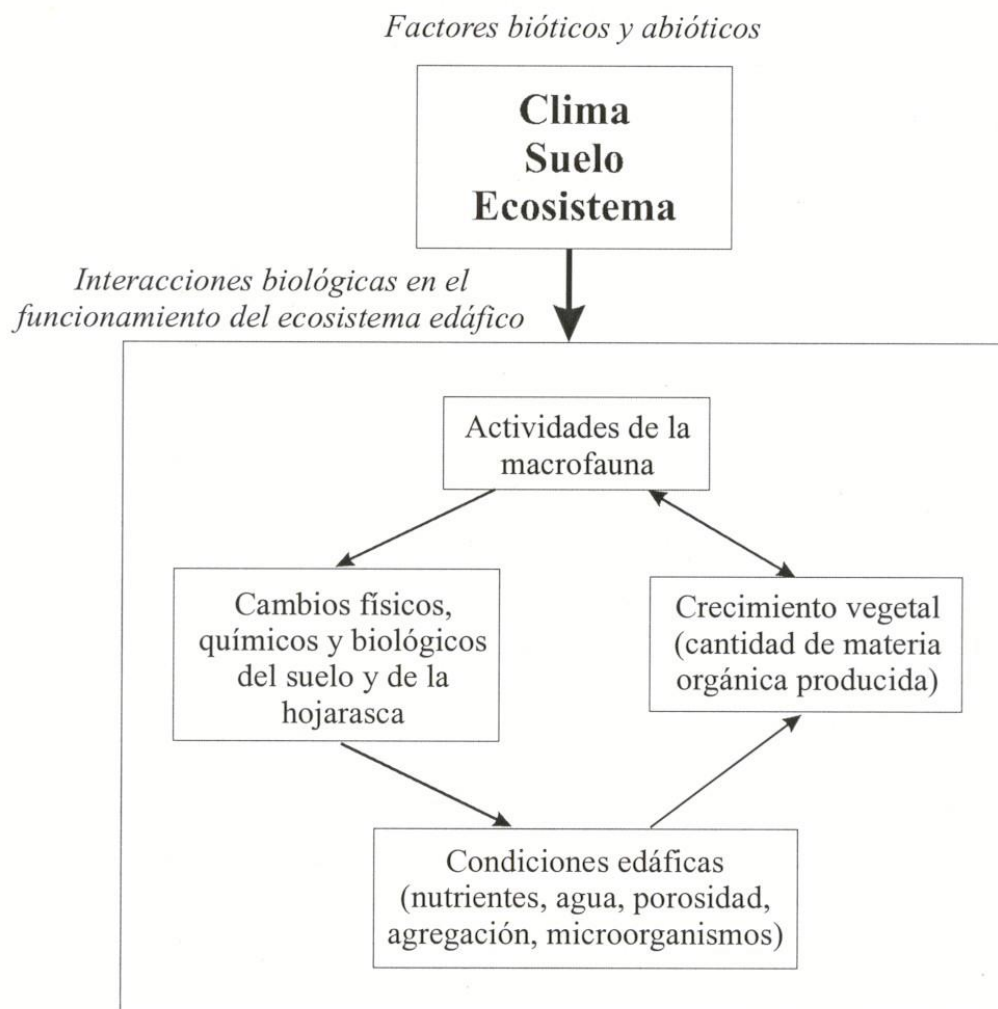


Figura 1. Relación entre la macrofauna, suelo y la productividad vegetal.

El creciente interés por el desarrollo de sistemas sostenibles y el posible uso de los diferentes componentes de la biota y su actividad como indicadores biológicos, determinó la realización de estudios con el objetivo de

evaluar la potencialidad de la fauna del suelo como indicadora (BLAIR *et al.*, 1996).

La elección de un indicador debe ser realizada para situaciones locales específicas y los indicadores básicos deben ser útiles en un rango de situaciones ecológicas y socioeconómicas (DORAN y SAFLEY, 1997). Según estos autores, los indicadores deben:

- Estar relacionados con los procesos ecosistémicos.
- Integrar propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, las cuales son difíciles de medir directamente.
- Ser relativamente fáciles de usar en condiciones de campo para poder ser evaluados por los productores.
- Ser sensibles a las variaciones de manejo y climáticas.

Cambios en la abundancia, diversidad o actividad de morfoespecies pueden ser buenos indicadores, pero es necesario demostrar que los mismos son el resultado de la perturbación causada por la actividad humana y no de las fluctuaciones naturales.

Los índices de diversidad fueron unos de los indicadores utilizados más frecuentemente. Tienen la ventaja que mucha información puede ser representada por un simple índice, pero ello algunas veces ha conducido a resultados errados particularmente en agroecosistemas perturbados por el laboreo, la cosecha de pasto y el pastoreo (PURVIS y CURRY, 1980).

Las especies cuya presencia o abundancia reflejan alguna característica del hábitat dentro del cual se encuentran, pueden ser consideradas como bioindicadoras. DUFRENE y LEGENDRE (1997) proponen un método simple para encontrar especies indicadoras: el valor indicador de una especie (IndVal) que permite determinar los taxa característicos de cada ambiente.

Combina medidas del grado de especificidad de una especie a un tipo de hábitat y su fidelidad dentro del mismo. Alta fidelidad (frecuencia de ocurrencia) de la especie en los sitios de muestreo es generalmente asociada a gran abundancia de individuos. Tiene un rango de 0 a 100 y alcanza el máximo cuando la especie está presente en todos los sitios que están relacionados y componen un grupo.

Este método tiene ventajas sobre las otras medidas utilizadas, es calculado independientemente para cada especie y no tiene restricciones en cuanto a la categorización de los sitios, que pueden ser agrupados arbitrariamente o para grupos de sitios determinados por algún método de clasificación (MCGEOCH *et al.*, 2002).

Este método, tal como lo proponen DUFRENE y LEGENDRE (1997), permite identificar especies “características” de un hábitat particular. Los autores consideran que una especie indicadora es aquella que tiene IndVal significativo y mayor de 70, es decir con altos valores de fidelidad y especificidad.

Sin embargo, también pueden ser útiles especies que tengan otras combinaciones de especificidad y fidelidad. Dado que a lo largo del tiempo la especificidad del hábitat tiene mayor resistencia a los cambios que la densidad, es más frecuente que las especies se muevan dentro de las categorías de fidelidad que en las de especificidad. Con los cambios ambientales, la abundancia y en consecuencia la fidelidad de una especie indicadora, puede disminuir rápidamente, lo cual las convierte en una especie vulnerable (alta especificidad y baja fidelidad) con dificultades para ser muestreada.

Cuando son monitoreados cambios ambientales, las especies que abarcan un amplio rango de hábitats, con valores intermedios de especificidad (“detectoras”), pueden ser más útiles que las especies “características” para indicar la dirección de los mismos, dado que éstas últimas, por su alta especificidad, están restringidas a un solo hábitat (MCGEOCH *et al.*, 2002).

## **2.6. Los cafetales**

Los cafetales son considerados el principal cultivo productor de frutos agrícolas que se consume en el mundo, con un mercado que genera anualmente más de 90 billones de dólares. Cerca de 8% de la población mundial, unos 500 millones de personas, están involucradas en el mercado del café, desde su siembra hasta su consumo final. Actualmente, la producción aproximada de café asciende a 115 millones de sacos (60 kg) de café beneficiado, de los cuales 63% del total corresponden a *Coffea arabica* L. y el 37% restante, a *Coffea canephora* Pierre (BEER *et al.*, 1998).

Nativo de regiones tropicales de África, el café evolucionó como especie leñosa del sub – bosque. Las primeras plantaciones de café fueron, por lo tanto, conducidas bajo condiciones de sombrero mediante el asocio con árboles de mayor altura con el fin de simular el hábitat natural del cafeto. Sin embargo, en muchas situaciones los cafetales a plena exposición solar pueden presentar una productividad superior que aquellas bajo sombrero (FOURNIER, 1988).

Como consecuencia, el sombrero ha sido abandonado como una práctica cultural regular en muchas regiones del mundo, como en Brasil en la década de los 50. En Colombia, actualmente cerca de 67% de los cafetales se establece y conduce bajo sombrero o semi – sombrero (CARDONA – CALLE y SADEGHIAN, 2005).

### **2.6.1. El cultivo del café**

El café se puede cultivar en un rango altitudinal de 400 a 2000 msnm. La zona que ofrece las mejores condiciones para obtener café de buena calidad está entre 1200 a 1800 msnm, con temperaturas que oscilan entre 18 °C a 22 °C y extremos de 17 °C a 23 °C. Por encima de la temperatura promedio de 24 °C, se acelera el crecimiento vegetativo con limitaciones tanto en la floración como en el cuajado de los frutos (FIGUEROA, 1984).

Es importante que las precipitaciones tengan una buena distribución para satisfacer los requerimientos de agua de la planta del cafeto en las etapas de floración, llenado de grano y cosecha. La cantidad requerida

por el café para un buen crecimiento y desarrollo es de 1,600 a 1,800 mm/año (GONZÁLES 2007).

El suelo adecuado para el cafeto es el migajón bien drenado, profundo, ligeramente ácido, rico en nutrientes, particularmente en potasio y con bastante materia orgánica (FIGUEROA, 1984).

#### **2.6.1.1. Ciclo fisiológico**

Se llama así al tiempo transcurrido entre una campaña y otra. Para las condiciones del Perú, según CASTAÑEDA (1997) este ciclo fisiológico consta de cuatro etapas bien definidas: etapa de descanso, floración, llenado de grano y cosecha.

La etapa de descanso dura dos meses, se caracteriza porque la parte aérea está en reposo, no crece el tallo ni las ramas, no se forman hojas nuevas y las ramas formadas en la campaña anterior se engrosan y maduran, en la parte radicular la raíz principal y las raíces secundarias crecen, no hay absorción de agua, ni de sustancias minerales por los pelos absorbentes y las raíces hídricas mantienen el nivel de agua en la planta (CASTAÑEDA, 1997).

La etapa de floración, tiene una duración de tres meses y se inicia con las primeras lluvias. Se caracteriza porque los botones florales se convierten en flores, y la planta entra en su máximo desarrollo vegetativo formando una gran cantidad de ramas y hojas, el sistema radicular entra en su máxima actividad, formándose una gran masa de pelos absorbentes, en las

ramas que se forman durante la presente campaña vendrá la producción de la próxima campaña (FIGUEROA *et al.*, 1996; CASTAÑEDA, 1997).

La etapa de llenado de grano, tiene una duración de cuatro meses y coincide con la época de máximas lluvias. La absorción de elementos minerales es menor que durante la etapa de floración (CASTAÑEDA, 1997).

La etapa de cosecha, tiene una duración de tres meses y comienza cuando los frutos cambian de la coloración verde a la roja o amarilla de acuerdo a la variedad. En esta etapa las lluvias empiezan a disminuir. Crece y desarrolla la cáscara y la pulpa. La formación de hojas en las ramas disminuye.

En la base de las hojas formadas durante toda la campaña se forman las yemas para la cosecha de la próxima campaña. Si en esta época se fertiliza con nitrógeno va a producir mayor diferenciación de yemas y la cosecha de la próxima campaña puede aumentar en un 20% (CASTAÑEDA, 1997).

#### **2.6.1.2. Requerimientos minerales por el cafeto**

El cafeto es una planta que tiene altos requerimientos de nutrientes minerales para producir cosechas rentables, por lo que la fertilización constituye una de las labores efectivas para mejorar su productividad (FIGUEROA, 1984). CASTAÑEDA (1997) manifiesta que una producción de 20 quintales por hectárea extrae del suelo los siguientes elementos esenciales (Cuadro 1):

Cuadro 1. Extracción de elementos esenciales por la planta para una producción de 20 qq/ha.

Órganos de la planta	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg/ha					
Tallo y raíz	15	2	25	9	2	2
Ramas	14	2	20	6	3	1
Follaje	53	11	45	18	7	3
Frutos maduros	30	3	35	3	3	3
<b>Totales</b>	<b>112</b>	<b>18</b>	<b>125</b>	<b>36</b>	<b>15</b>	<b>9</b>

Fuente: CASTAÑEDA (1997).

La máxima absorción de elementos minerales se produce en la etapa de floración en la subida de lluvias y en la etapa de llenado de grano en la bajada de lluvias. Las reservas acumuladas en las hojas y en las ramas son importantes en el llenado de grano para que las semillas alcancen su máximo tamaño, por ello el fraccionamiento y épocas de aplicación de abonos deben estar relacionadas con estas épocas de mayor absorción de elementos esenciales (CASTAÑEDA, 1997).

## 2.7. Antecedentes referente a la macrofauna en suelos

BROWN *et al.* (2001) realizaron el estudio sobre la diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Muestrearon 9 tipos principales de ecosistemas, predominando los pastizales,

los bosques y/o selvas, los cultivos anuales, los cítricos y los cafetales. Los resultados revelaron un predominio de las lombrices de tierra en cuanto a la biomasa en la mayor parte de los ecosistemas, mientras las hormigas predominaron en cuanto a la densidad. Las milpas y el cocotal presentaron la menor biomasa total de todos los ecosistemas ( $< 15 \text{ g m}^{-2}$ ), los bosques tuvieron más de  $25 \text{ g m}^{-2}$ , mientras que los demás ecosistemas se caracterizaron por biomásas mayores de  $35 \text{ g m}^{-2}$ . En la caña de azúcar se encontró un promedio de casi 3000 individuos  $\text{m}^{-2}$ , mientras que en los demás ecosistemas las densidades no fueron mayores de 1600 individuos  $\text{m}^{-2}$ .

Finalmente se discutió el efecto negativo de la destrucción de los ambientes naturales sobre estos organismos (desaparición de numerosas especies), se resalta la necesidad de taxónomos especializados en estos grupos de invertebrados y, debido a su importancia en la agricultura, de mayor cantidad de estudios a nivel de poblaciones y comunidades.

Feijoo *et al.* (1999), citados por BENZING (2001), en un trabajo realizado en el Valle del Río Cabuyal (Colombia), observaron una reducción drástica tanto de la abundancia como de la diversidad de la macrofauna con la creciente intervención humana y degradación de los ecosistemas, siendo el cafetal tradicional el sistema que obtuvo el segundo mayor número de individuos y el mayor en cuanto a biomasa. En este trabajo, la densidad de la vegetación y la presencia de un mantillo orgánico fueron los factores más importantes para la macrofauna del suelo.

Cuadro 2. Densidad y biomasa de la macrofauna en distintos sistemas de uso del suelo.

Sistemas	Individuos total/m <sup>2</sup>	Biomasa total g/m <sup>2</sup>	Grupos predominantes (biomasa)
Bosque más de 40 años	3932	91	Lombrices, escarabajos
Bosque de 40 años	2056	27	Lombrices, escarabajos
Cafetal tradicional	3352	116	Lombrices, escarabajos
Plantación de pino	870	3	Escarabajos
Cultivo yuca/maíz/frijol	1187	79	Lombrices, escarabajos
Pasto <i>Brachiaria</i>	1965	73	Lombrices, escarabajos

Fuente: Feijoo *et al.* (1999), citados por BENZING (2001).

MORALES y SARMIENTO (2002) caracterizaron la densidad, diversidad y estructura de la comunidad de macroinvertebrados edáficos en una sucesión secundaria en los Andes venezolanos, así como su relación con la diversidad de especies vegetales. Se trabajó en parcelas de 0 años (recién cosechadas), 1 y 6 años de descanso y en parcelas de páramo nunca cultivado (PV), con 4 repeticiones por categoría, para un total de 16 parcelas analizadas.

En cada parcela la macrofauna se colectó manualmente en 6 monolitos de suelo de 25 x 25 x 30 cm. La vegetación se muestreó mediante el método del cuadrado puntual. En el páramo virgen, la comunidad de macroinvertebrados edáficos está formada por 18 taxa, pertenecientes a

Nematoda, Mollusca, Annelida y Arthropoda, con una densidad promedio de 407 ind m<sup>-2</sup>, una riqueza de 74 morfotipos y una diversidad de 12 morfotipos. Coleoptera fue el orden mejor representado, con 135 ind m<sup>-2</sup>, seguido de Diptera con 72 ind m<sup>-2</sup> y de Oligochaeta con 56 ind m<sup>-2</sup>.

La perturbación agrícola del páramo natural produjo un efecto negativo sobre la edafofauna, reduciendo drásticamente su densidad, riqueza y diversidad, de las cuales, solo la densidad se recupera totalmente después de 6 años de descanso. Se encontraron morfotipos característicos de cada etapa sucesional y del páramo natural, que pudieran ser indicadores de calidad ambiental y/o perturbación. Los resultados muestran una relación positiva entre la riqueza de morfotipos animales y la de especies vegetales ( $r^2 = 0.53$ ) y entre la diversidad de la macrofauna y de la vegetación ( $N_1: r^2 = 0.65$ ;  $N_2: r^2 = 0.75$ ).

CONTRERAS (2009) en la localidad de Cedropampa, distrito Villa Rica a 1240 msnm, evaluó el efecto de la pulpa de café y la fertilización química en el rendimiento y en la macrofauna edáfica del cultivo de café. Utilizó el diseño experimental de Bloques Completamente al Azar (BCA), los tratamientos y los momentos de aplicación fueron: T<sub>0</sub> (testigo), T<sub>1</sub> (fertilización química) en el período de floración, T<sub>2</sub> (pulpa de café fresca) en el período de floración y T<sub>3</sub> (pulpa de café descompuesta) en el período de floración.

El tratamiento T<sub>1</sub> produjo alto rendimiento de café pergamino seco con 3207.06 kg ha<sup>-1</sup> no diferenciándose estadísticamente del T<sub>2</sub> que ostentó el menor rendimiento con 2382.53 kg ha<sup>-1</sup>. La característica que influenció en el

rendimiento de café pergamino seco fue el peso de los granos. El T<sub>2</sub> determinó mayor densidad de macrofauna y el T<sub>1</sub> la menor densidad durante las cinco evaluaciones. El T<sub>3</sub> determinó la mayor biomasa promedio de macrofauna y el T<sub>0</sub> la menor biomasa promedio durante las cinco evaluaciones.

La macrofauna puede además subdividirse en organismos epigeos, endogeos y anécicos (LAVELLE, 1997), presentando cada categoría un papel diferente en el funcionamiento del ecosistema edáfico, aunque miembros de una misma categoría (e.g. los endogeos) pueden también tener efectos distintos sobre el suelo (e.g. compactantes y descompactantes). Los epigeos viven y comen en la superficie del suelo; la mayor parte se alimentan de la hojarasca (macroartrópodos detritívoros, pequeñas lombrices de tierra pigmentadas), otros comen plantas vivas (larvas de mariposas, caracoles) y otros (arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos) son predadores del resto de la fauna. La función primordial de los epigeos es fragmentar la hojarasca y promover su descomposición.

Los endógeos, representados principalmente por las lombrices de tierra geófagas y los termes, viven en el suelo y se alimentan de materia orgánica o de raíces (vivas o muertas). Debido a la baja cantidad y calidad de los recursos nutritivos del suelo, suelen seleccionar partículas más ricas en C y tienen que ingerir grandes cantidades de suelo para alimentarse, produciendo consecuentemente amplias galerías y abundantes excretas de diferentes tamaños y composiciones físico-químicas y biológicas. Las galerías pueden llegar a ser profundas y representar una parte importante de la macroporosidad

del suelo. Las excretas pueden estar depositadas dentro del suelo o en la superficie y a veces son concentradas en forma de nidos (termes).

Los anécicos, representados por las lombrices de tierra, los termes y las hormigas, se alimentan principalmente de la hojarasca de la superficie (también pueden ingerir estiércol de ganado o excretas de otros invertebrados), pero viven en el suelo formando redes semipermanentes de galerías y a veces nidos como vivienda y lugar para acumular recursos. Para construirlos, ingieren o transportan grandes cantidades de suelo que alteran la agregación del suelo y producen galerías abiertas hacia la superficie del suelo que promueven la oxigenación e infiltración del agua. Sin embargo, el papel principal de los anécicos está en la reubicación de la hojarasca, cambiando la dinámica de su descomposición y su distribución espacial.

Algunos individuos o grupos de la macrofauna (e.g. lombrices de tierra, termes u hormigas) pueden actuar como ingenieros del ecosistema (JONES *et al.*, 1994), al realizar cambios físicos en el suelo que controlan la disponibilidad de los recursos para otros organismos edáficos, incluyendo las plantas y sus raíces. Con su actividad los ingenieros crean estructuras físicas biogénicas que ejercen un efecto regulador sobre los organismos menores a través de: la competencia por los recursos, principalmente materia orgánica; la activación de la microflora edáfica, vía mutualismos y el "priming effect"; su influencia en el ciclo del carbono y la disponibilidad de nutrientes y (4) cambios en la actividad rizosférica, como el crecimiento de raíces y de poblaciones de organismos rizosféricos (LAVELLE *et al.*, 1997, BROWN *et al.*, 2000).

Finalmente, la actividad de la macrofauna edáfica también puede aumentar o disminuir la productividad del ecosistema. Efectos positivos han sido documentados para las lombrices y los termites (LAVELLE, 1997; WOOD, 1996; BROWN *et al.*, 1999), mientras que la abundancia al nivel de plaga de algunos organismos como las larvas de los escarabajos rizófagos (especialmente Melolonthidae), hormigas, larvas de lepidópteros herbívoros y caracoles fitófagos, puede causar una considerable disminución de la biomasa aérea o de raíces, complicando el crecimiento y la absorción de agua y nutrientes de las plantas (VILLALOBOS, 1994). Esta relación se muestra como las actividades de la macrofauna, al provocar alteraciones directas a la productividad vegetal (fitofagia) y/o cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectan el crecimiento de las raíces y modifican por lo tanto, el crecimiento vegetal y la cantidad de materia orgánica (base de los recursos utilizados por la flora y fauna edáficas).

Estudiar la composición de la macrofauna en distintos ecosistemas es, por lo tanto, un importante punto de partida para entender sus efectos potenciales en el medio edáfico y en la productividad vegetal. Debido a que cada organismo puede tener una influencia distinta sobre los procesos edáficos y la productividad vegetal, su abundancia o biomasa puede alcanzar umbrales importantes, tanto positivos como negativos (BROWN *et al.*, 2001).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política

La investigación se ha realizado de Febrero hasta Abril del año 2014 en predios donde predominaba el cultivo de café (etapa de descanso), ubicados en el caserío Santa Rosa Tealera, que políticamente pertenece al distrito Hermilio Valdizán, provincia Leoncio Prado y región Huánuco.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

Los transectos para la determinación de la macrofauna edáfica y estos datos correlacionar con el tiempo desde el establecimiento, se ubicaron en los siguientes predios:

- Plantación de dos hectáreas, con café de la variedad caturra roja de un año de establecido, ubicado a una altitud de 1767 msnm, en las coordenadas 0410426 m Este y 8982400 m Norte, como sombra presentaban especies establecidas como el maíz (*Zea mays*) sembradas a distancias grandes – 2 m en promedio, guaba (*Inga* sp.) y shaina (*Colubrina glandulosa* Perkins), además, presentaba algunos árboles nativos que se dejaron para proporcionar sombra.

- Plantación de una hectárea, con café de la variedad caturra roja con dos años de establecido, ubicado a una altitud de 1638 msnm, en las coordenadas 0411953 m Este y 8985506 m Norte, presentaba algunos árboles nativos que se dejó antes del establecimiento para que presente la función de proporcionar sombra a los cafetos.
- Parcela de una hectárea y media, de la variedad caturra roja con cuatro años de establecido, ubicado a una altitud de 1600 msnm, en las coordenadas 0411773 m Este y 8985703 m Norte, presentaba árboles nativos distanciados (30 m) y frutales como el palto (*Persea americana*).
- Parcela de tres hectáreas, de la variedad catimor con ocho años de establecido, ubicado a una altitud de 1450 msnm, en las coordenadas 0411748 m Este y 8984476 m Norte, como sombra presentaba árboles nativos distanciados a 28 m aproximadamente y algunos cítricos.
- Parcela de una hectárea, de la variedad catimor roja con 10 años de establecido, ubicado a una altitud de 1498 msnm, en las coordenadas 0411516 m Este y 8985749 m Norte, no presentaba árboles para proporcionarle sombra a los cafetos, en algunas áreas se había renovado los cafetos empleando la poda y aprovechando los rebrotes.

### **3.1.3. Clima**

La precipitación en el año 2011 fue 3184 mm y en el año 2012 de 2974.9 mm, temperatura media mensual es de 18 °C a 21 °C (SENAMHI, 2012) y la humedad relativa media es superior a 70%.

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. Material biológico**

Diversidad de especies de macrofauna existente en los cafetales con diferentes periodos de tiempo (1, 2, 4, 8 y 10 años) desde su establecimiento.

### **3.2.2. Materiales y equipos de campo**

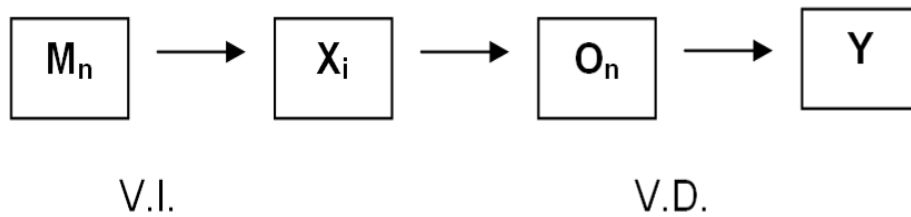
Para las áreas de muestreo, se utilizó wincha de 50 m, palana reta, cuadrante de madera con dimensiones de 0.25 m x 0.25 m, costales blancos, frascos pequeños, alcohol al 70%, cámara fotográfica y sistema de posicionamiento global (GPS).

### **3.2.3. Materiales y equipos de gabinete**

Materiales biológicos colectados, alfileres, jeringas, alcohol al 70%, formol al 10%, estereoscopio, lupa y naftalina utilizados para la conservación de las muestras colectados.

## **3.3. Diseño estadístico**

La investigación es de carácter descriptivo, ya que no se ha manipulado las variables en estudio. El diseño estadístico de la presente investigación ha tenido como objetivo indagar la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población (FERNANDEZ *et al.*, 2007).



Donde:

- $M_1$  : Muestras n (varios grupo de estudio)  
 $X_i$  : Variable(s) independiente(s) de estudio  
 $O_1$  : Observaciones n: Resultados  
 $Y$  : Variable dependiente.

### 3.3.1. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo compuesta por un monolito con dimensiones de 25 cm x 25 cm y 30 cm de profundidad, a la cual se le determinó sus variables y fueron tabuladas para fines de la investigación.

### 3.3.2. Tamaño de la muestra

Cada tratamiento estuvo compuesto por cinco repeticiones lo que determinó los valores siguientes:

3 capas de suelo = 1 unidad experimental

5 monolitos/plantación = 25 monolitos en la investigación.

Longitud del transecto = 40 metros

Distancia entre monolitos = 10 metros

### **3.4. Trabajo de campo**

#### **3.4.1. Muestreo de macrofauna**

Los monolitos fueron distribuidos a lo largo de un transecto corto de 40 m, en donde se ha distribuido cinco monolitos ubicado a cada 10 metros dentro del transecto de la parcela en estudio, luego se colocó un marco de 25 cm x 25 cm para delimitar la posición del monolito y se removió la hojarasca o madera que se encontraba dentro de él y se puso en un costal de color blanco (ANDERSON e INGRAM, 1993). Esta labor se realizó en horario entre las 10:00 am hasta las 02:00 pm.

Se aisló el monolito utilizando una pala recta a unos pocos centímetros fuera del marco y luego se ha cavado una zanja a su alrededor de 25 cm de ancho y 30 cm de profundidad, aislando el monolito como un pilar no perturbado. En una variante del método, todos los invertebrados mayores de 10 cm de largo, excavados de la zanja y la hojarasca fueron colectados; éstos, en su mayor parte, fueron milpiés y lombrices de tierra con bajas densidades de población, pero que representaron en la evaluación.

Se diseccionaron los pedacitos de madera en diferentes piezas para ver si hay termitas, hormigas o escarabajos; las pequeñas ramas se rompieron para que se desprendiera cualquier insecto que contengan; luego e

utilizó frascos de vidrio con alcohol al 70% en donde se ponía la macrofauna encontrada por cada parte del monolito extraído (0 – 10, 10 – 20 y 20 – 30 cm), etiquetándoles a cada una de ellas donde se anotó los datos siguientes:

- Clave de identificación de la parcela.
- El número de la sección en el transecto en donde se encontró el espécimen (1, 2, 3, 4 ó 5).
- El número de profundidad de donde se colocó la muestra (1, 2 ó 3).

Todos los microorganismos fueron llevados al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Agronomía para su respectiva identificación con un especialista.

### **3.5. Variables en estudio**

#### **3.5.1. Variable dependiente**

Se consideraron a las siguientes:

- Densidad de macrofauna en el suelo
- Diversidad de macrofauna en el suelo

#### **3.5.2. Variable independiente**

Se la consideró a las siguientes variables:

- Plantaciones de cafeto con diferentes edades.
- Variedad Caturra y Catimor del cafeto.

### 3.6. Trabajo de gabinete

Los datos obtenidos en el campo (nombres y cantidades de macrofauna) fueron sometidos al análisis cuantitativo de las variables en estudio, y a las medidas estadísticas que determinaron la distribución y dispersión en base a las pruebas estadísticas respectivas.

#### 3.6.1. Análisis sobre densidad y diversidad

Para la determinación de la densidad e índices de diversidad se utilizaron las siguientes fórmulas:

##### 3.6.1.1. Índice de Shannon-Wiener (H')

Se utilizó la fórmula empleada por SMITH y SMITH (2001):

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i)(\ln P_i) \quad (1)$$

Donde:

H' = Diversidad de especies

S = Número de especies

P<sub>i</sub> = Proporción de individuos en el total de la muestra que pertenecen la especie

ln = Logaritmo natural

### 3.6.1.2. Índice de Simpson (D)

La ha considerado la fórmula empleada por RODRÍGUEZ (2004), la cual es:

$$D = \sum (p_i)^2 \quad (2)$$

Donde:

D = Dominancia de especies

$p_i$  = Proporción de individuos en el total de la muestra que pertenecen la especie

### 3.6.1.3. Equidad de Pielou (E)

Se utilizó la fórmula empleada por MAGURRAN (1987) determinada por:

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

Donde:

J = Es el índice de equidad de Pielou

Ln = logaritmo natural

S = Riqueza de especies

#### **3.6.1.4. Densidad**

Se utilizó la fórmula empleada por CORREIRA y OLIVEIRA (2000), siendo:

$$D = N/A \quad (4)$$

Donde:

N = Es el número de individuos y

A = Área.

#### **3.6.2. Análisis de correlación**

Se realizó los análisis de correlación entre las variables evaluadas de macrofauna con la edad de las plantaciones de café: densidad de macrofauna – edad de la plantación y la cantidad – edad de la plantación.

#### **3.6.3. Prueba de significancia**

Para el análisis de los datos registrados, se ha asumido los datos como una distribución completo al azar con arreglo factorial, éste análisis se realizó a un nivel de confianza del 95%, con el fin de determinar las diferencias entre las plantaciones de café con diferentes edades.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Macrofauna encontrada en suelos cafetaleros en diferentes edades establecidas

Se ha encontrado mayor número de grupos taxonómicos (18) en la plantación de café con 10 años de establecimiento, mientras el solo nueve grupos taxonómicos se encontraron en los suelos de cafetales con dos años de establecimiento.

El Japigider (Campodeida), las hormigas (Formicidae) y la lombriz de tierra (Lumbricidae) son los especímenes más frecuentes en los cinco terrenos evaluados cuyo cultivo principal fue el cafeto.

La familia arañas (Arachnidae), cucarachas (Blatteridae), Elateridae, tijereta (Laviduridae), Elateridae y proturos se encontraron en plantaciones de café con cuatro diferentes edades desde el establecimiento de las cinco consideradas en las evaluaciones registradas.

En el terreno con mayor edad de establecimiento se encontró escorpiones (Scorpionidae) de pequeño tamaño, coleópteros consumidores de ramas muertas (Cerambycidae), larvas de mariposa (Pyralidae) e inclusive larvas de mosca de la familia Nagonidae.

Cuadro 3. Macrofauna encontrada en suelos cafetaleros con diferentes edades.

Orden	Familia	Nombre común	Plantación (años)				
			1	2	4	8	10
Arabidae	Arachnidae	Araña	X	X	X	X	
Arabidae	Scorpionidae	Escorpión					X
Blattaria	Blatteridae	Cucaracha		X	X	X	X
Coleóptera	Scarabeidae	Escarabajo	X	X	X		
Coleóptera	Staphilinidae		X	X			X
Coleóptera	Elateridae		X	X	X	X	
Coleóptera	Crysolmelidae		X	X			
Coleóptera	Tenebrionidae		X				
Coleóptera		Torito	X				
Coleóptera		Larva naiade		X			
Coleóptera	Cerambicidae						X
Coleóptera	Curculionidae						X
Coleóptera	Coccinelidae						X
Collémbola		Colémbolo		X	X	X	
Dermáptera	Laviduridae	Tijereta	X	X	X		X
Diplura	Campodeida	Japigider	X	X	X	X	X
Díptera	Nogonidae						X

Hemíptera	Reduvidae	Chinche	X	X				
Hymenóptera	Formicidae	Hormiga	X	X	X	X	X	
Hymenóptera	Vespidae	Avispa	X					
Hymenóptera	Aolychopodidae							X
Isópoda	Crustáceo	Chanchito						X
Lepidóptera	Larva eruciforme	Larva mariposa	X		X	X		
Lepidóptera	Pyralidae	Larva mariposa						X
Miliópoda	Diplopoda	Milpiés	X					
Odonato		Larva de odonato	X					
Oligochaeta	Lumbricidae	Lombriz de tierra	X	X	X	X	X	
Orthóptera	Gryllidae	Grillo		X			X	
Protura		Proturo	X	X	X	X		
Scolopendromorpha	Chilópoda	Ciempiés	X				X	
NN	<i>Eicenia</i> sp.	Tenia		X				

Con los datos de los grupos taxonómicos registrados se ha encontrado mayor número en las plantaciones recién establecidas y las que presentan mayor edad desde el establecimiento. En el primer caso puede ser debido a que los suelos aun no sufrieron efectos desfavorables o favorables a causa de las labores agronómicas como parte del manejo de los cafetales (fumigación, aplicación de herbicidas, aplicación de abonos, exceso de iluminación entre otras), mientras que para el segundo caso, las condiciones

ambientales favorables o desfavorables para la macrofauna ya se mantuvo uniforme, donde no hay mucha alteración de la humedad del suelo, ya hay un ciclaje de nutrientes característico en cada año y hay aporte de materia orgánica al suelo de la cual muchos especímenes dependen para su expansión.

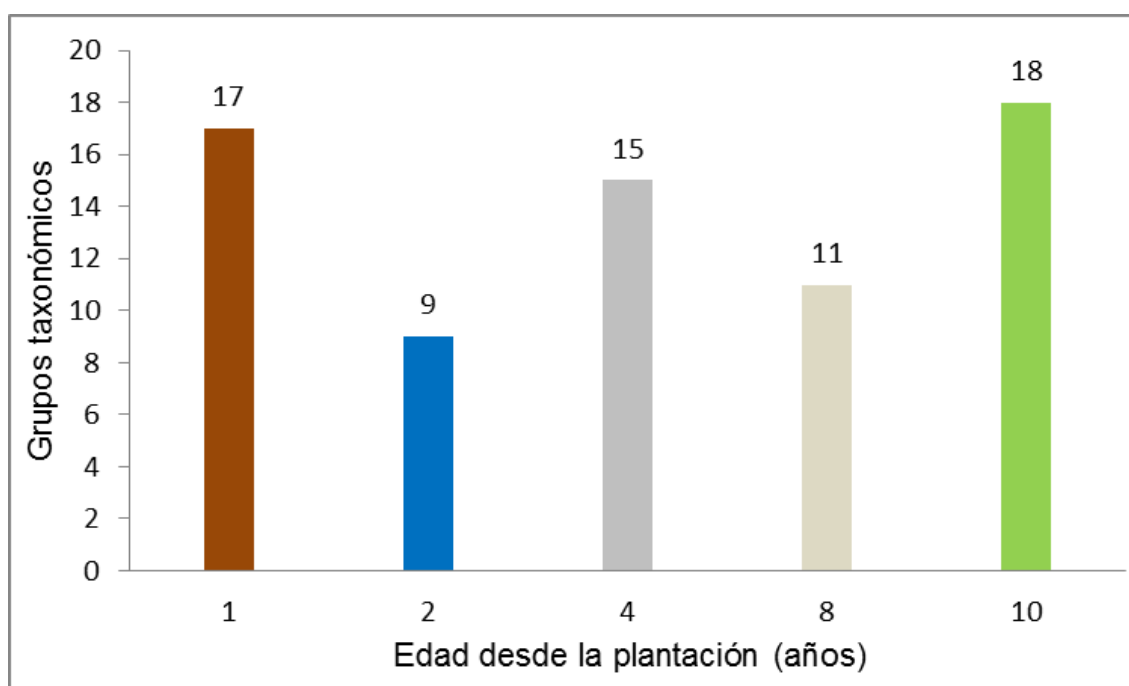


Figura 2. Grupos taxonómicos encontrados en plantaciones de café.

El análisis de varianza (ANVA) realizado para la cantidad de grupos taxonómicos registrados de macrofauna, muestra que existen diferencias estadísticas entre las edades de establecimiento de los cafetales resultando diferentes o al menos uno de los suelos presentó mayor o menor número promedio de grupos taxonómicos; al realizar los muestreos a diferentes profundidades (0 – 10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm) no hubo similares grupos taxonómicos. Además, no se ha encontrado interacción entre los niveles de los

factores, por lo cual en el análisis no necesita realizarse la prueba de los efectos simples para cada nivel asumido.

Cuadro 4. ANVA para la cantidad de grupos taxonómicos de macrofauna en suelos de cafetales con diferentes edades.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Combinaciones	14	86.08	6.149	3.044	0.001*
Edad de establecimiento	4	21.15	5.287	2.617	0.044*
Profundidad de muestreo	2	43.28	21.640	10.713	<0.001*
Edad * Profundidad	8	21.65	2.707	1.340	0.242ns
Error	60	121.20	2.020		
Total	74	207.28			

\*: Significancia estadística ( $p < 0.05$ ); ns: No existe significancia estadística ( $p > 0.05$ ).

Las plantaciones con mayor número promedio de grupos taxonómicos se registró en las plantaciones con 1, 4 y 10 años de establecido los cafetos, mientras que menores valores se encontró en los 8 y 2 años de establecido (Cuadro 5).

Al considerar las profundidades de muestreo, el mayor valor promedio de grupos taxonómicos se encontró entre los 0 – 10 cm del suelo, motivo por la cual radica la importancia de su conservación, mientras que a mayor profundidad del suelo muestreado (10 – 20 cm y 20 – 30 cm) los grupos taxonómicos fueron estadísticamente similares (Cuadro 6).

Cuadro 5. Comparación de promedios (Duncan) del efecto principal de la edad de establecimiento en suelos de cafetales sobre los grupos taxonómicos de macrofauna.

OM	Edad de establecimiento	Promedio	Significancia
1	1	3.13	a
2	10	3.07	a
3	4	2.80	a
4	8	2.53	ab
5	2	1.67	b

Letras diferentes muestran significancia estadística ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 6. Comparación de promedios (Duncan) del efecto principal de la profundidad de muestreo en suelos de cafetales sobre los grupos taxonómicos de macrofauna.

OM	Profundidad de muestreo	Promedio	Significancia
1	0 - 10 cm	3.64	a
2	10 - 20 cm	2.48	b
3	20 - 30 cm	1.80	b

Letras diferentes muestran significancia estadística ( $p < 0.05$ ).

En la interacción de los dos factores considerados como parte de la investigación, hubo mayor promedio de grupos taxonómicos entre los 10 primeros centímetros del suelo para las plantaciones a excepción de la

plantación con ocho años de establecido, debido a que en estos suelos los grupos taxonómicos fueron mayores en la profundidad de 10 – 20 cm. El comportamiento de los suelos con ocho años de establecido de los cafetales, solo muestra interacción entre las edades 4, 8 y 10 años a profundidades de 0 – 10 cm y de 10 – 20 cm.

En general el número de grupos taxonómicos registradas indica que los niveles del primer factor (edad) no interactúan con los niveles del segundo factor (profundidad).

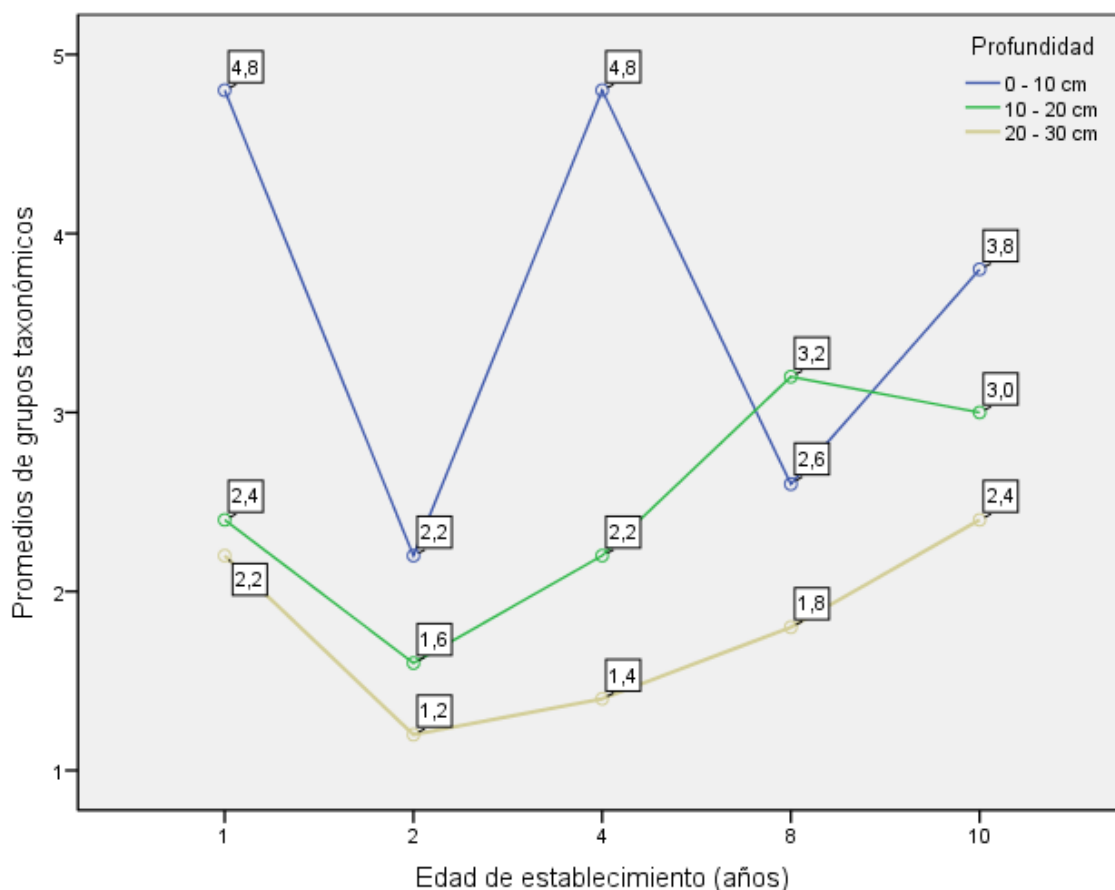


Figura 3. Interacción de los factores edad de establecimiento y profundidad de muestreo sobre la cantidad de grupos taxonómicos de macrofauna.

#### 4.2. Densidad de macrofauna encontrada en suelos cafetaleros con diferentes años de plantación

En el análisis de varianza sobre la densidad de la macrofauna, se encontró que el factor edad de establecimiento ha presentado diferencias estadísticas, el factor profundidad de muestreo de los suelos no presentó diferencias estadísticas, además, no se ha encontrado interacción entre los niveles de cada factor.

Cuadro 7. ANVA para la densidad de macrofauna en suelos de cafetales con diferentes edades.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Combinaciones	14	1505177.60	107512.686	2.067	0.027*
Edad de establecimiento	4	913203.20	228300.800	4.389	0.004*
Profundidad de muestreo	2	311889.92	155944.960	2.998	0.057 <sup>ns</sup>
Edad * Profundidad	8	280084.48	35010.560	0.673	0.713 <sup>ns</sup>
Error	60	3120742.40	52012.373		
Total	74	4625920.00			

\*: Significancia estadística ( $p < 0.05$ ); ns: No existe significancia estadística ( $p > 0.05$ ).

Se ha encontrado mayor densidad promedio de macrofauna en suelos donde se ha establecido el cafeto en un tiempo de 10 años, siendo 391.5 individuos por cada metro cuadrado, este valor fue superior estadísticamente a los registrados en los cafetales con menor edad.

Cuadro 8. Comparación de promedios (Duncan) del efecto principal de la edad de establecimiento en suelos de cafetales sobre la densidad de macrofauna.

OM	Edad de establecimiento	Promedio (ind/m <sup>2</sup> )	Significancia
1	10	391.5	a
2	8	167.5	b
3	1	135.5	b
4	4	128.0	b
5	2	73.6	b

Letras diferentes muestran significancia estadística ( $p < 0.05$ ).

Se registró mayor número de individuos por cada metro cuadrado en las muestras de suelo extraído en una profundidad comprendida entre 0 – 10 cm, superando a los demás densidades ubicados a mayor profundidad.

Cuadro 9. Comparación de promedios (Duncan) del efecto principal de la profundidad de muestreo en suelos de cafetales sobre la densidad de macrofauna.

OM	Profundidad de muestreo	Promedio (ind./m <sup>2</sup> )	Significancia
1	0 - 10 cm	238.7	a
2	10 - 20 cm	209.3	ab
3	20 - 30 cm	89.6	b

Letras diferentes muestran significancia estadística ( $p < 0.05$ ).

El comportamiento de la densidad de macrofauna es mayor cuando se acerca a la superficie del suelo y disminuye la densidad mientras más profundo sea el muestreo. Solo se ha encontrado interacción entre las densidades de macrofauna encontrada en plantaciones de 8 y 10 años desde el establecimiento con las profundidades de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm, mientras que en los demás niveles de cada factor no se ha encontrado interacción alguna, dicho de otra manera la densidad de la macrofauna se comporta de manera similar o tiene la misma relación a diferentes niveles de profundidad y entre las plantaciones de diferentes edades.

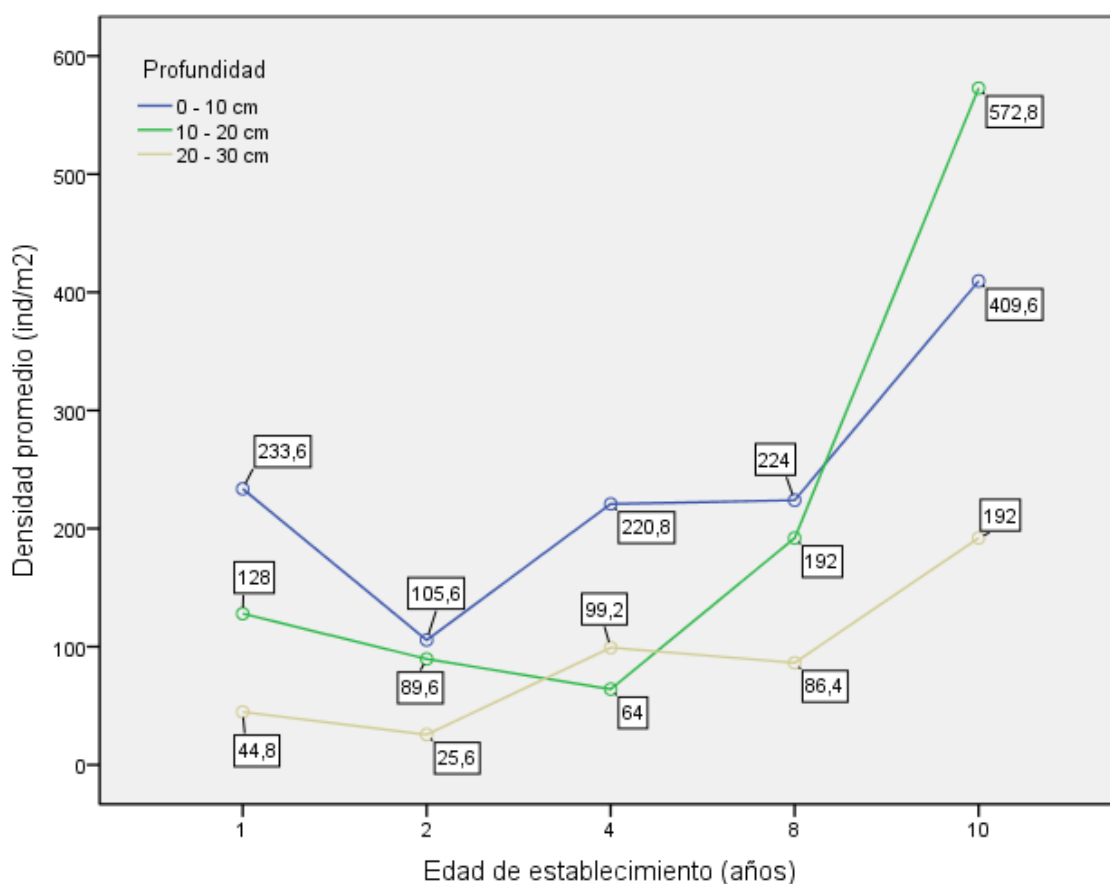


Figura 4. Interacción de los factores edad de establecimiento y profundidad de muestreo sobre la densidad de macrofauna en suelos de cafetales.

#### **4.3. Diversidad de la macrofauna encontrada en suelos de cafetales con diferentes edades desde el establecimiento**

Hubo mayor índice de Shannon - Wiener ( $H'$ ) en plantaciones con un año de edad, ratificando una diversidad adecuada para este sitio; mientras que hubo mayor homogeneidad con plantaciones de café superiores o iguales a los dos años desde el establecimiento, indicando menor diversidad de la macrofauna en este ambiente a causa de las labores agrícolas que se somete consecuentemente como parte del manejo en el cafetal.

El mayor valor de equidad se ha encontrado en las plantaciones de café con dos años de edad, que indica mayor cantidad de individuos se reparten homogéneamente en los distintos grupos taxonómicos encontrados, mientras que el menor valor de equidad se registró en plantaciones de 10 años, considerando que la mayoría de los individuos encontrados pertenecen al mismo grupo.

El índice de Simpson fue mayor en plantaciones de cuatro años de establecido, representando mayor dominancia y menor diversidad por que la relación es inversamente proporcional; el menor valor se ha encontrado en plantaciones con edad de dos años desde el establecimiento, indicando mayor diversidad, una dominancia del 0.3577 que indica la probabilidad de que dos individuos, extraídos independientemente y al azar de este cafetal pertenezcan a la misma especie y, una distribución equitativa de la macrofauna en la plantación de café.

Cuadro 10. Índices de diversidad en suelos de cafetales con diferentes edades.

Edad del cafetal (años)	Shannon - Wiener (H')	Equidad (E)	Simpson (D)
1	1.56 nats/individuo	0.55	0.4049
2	1.37 nats/individuo	0.62	0.3577
4	1.21 nats/individuo	0.45	0.5567
8	1.42 nats/individuo	0.59	0.3682
10	1.21 nats/individuo	0.42	0.4117

D: Índice de dominancia

#### **4.4. Correlación de la densidad y grupos taxonómicos de macrofauna con la edad de los cafetales desde el establecimiento**

Se encontró correlación positiva y significativa entre la densidad de macrofauna con el tiempo desde establecido de los cafetales, una correlación negativa y estadísticamente significativa entre la densidad de macrofauna con la profundidad de muestreo de los suelos, teniendo en consideración que el 24.51% de esta relación se cumple.

No hubo correlación estadística significativa entre la cantidad de grupos taxonómicos con la edad de los cafetales desde el establecimiento, esto debido a que pudo influenciar factores como la pendiente o las labores agrícolas aplicadas al suelo que afectaron dicha relación, mientras que se registró correlación negativa y significativa entre la cantidad de grupos

taxonómicos con la profundidad de muestreo y la densidad de macrofauna, disminuyendo la macrofauna mientras se incrementa la profundidad del suelo.

Cuadro 11. Correlación entre las variables evaluadas.

		Tiempo de establecimiento	Profundidad de muestreo	Densidad (ind/m <sup>2</sup> )
Densidad (ind/m <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	0.3648	-0.2451	
	Sig. (bilateral)	0.0013*	0.0340*	
Grupos taxonómicos	Correlación de Pearson	0.0903	-0.4518	0.3552
	Sig. (bilateral)	0.4411 <sup>ns</sup>	<0.0001**	0.0018*

\*: Significancia estadística ( $p < 0.05$ ); ns: No existe significancia estadística ( $p > 0.05$ ).

## **V. DISCUSIÓN**

### **5.1. Grupos taxonómicos de macrofauna encontrada en suelos de cafetales con diferentes edades de establecimiento**

Se encontró disminución de los grupos taxonómicos en los cafetales con edades entre dos a ocho años, mientras que después de esa fecha se incrementa los grupos taxonómicos debido a la hojarasca aportada por el sistema del cafetal. Antecedentes de la densidad, diversidad y estructura lo replican MORALES y SARMIENTO (2002) en una sucesión secundaria en los Andes venezolanos, concluyendo que la perturbación agrícola del páramo natural produjo un efecto negativo sobre la edafofauna, reduciendo drásticamente su densidad, riqueza y diversidad, de las cuales, solo la densidad se recupera totalmente después de 6 años de descanso.

La variación de los grupos taxonómicos es debido al efecto que recibe el área por el establecimiento de las nuevas plantas y las labores que se les aplica, para RUÍZ (2008) el suelo presenta una dinámica tal que podríamos afirmar que es el ecosistema más estable y sustentable para el grupo microbiano, los aportes de materia orgánica e inorgánica mantienen una inmensa cantidad de microbios los cuales apenas estamos comenzando a descubrir.

Se encontró mayor número de coleópteros en las áreas evaluadas, resultado corroborado por LAVELLE *et al.* (1994), indicaron que los escarabajos suelen ser los más diversos (con mayor número de especies), aunque en abundancia predominan generalmente los termites y las hormigas y en biomasa las lombrices de tierra.

La predominancia de cada grupo varía de acuerdo al ecosistema, edad de las plantaciones de los cafetales. SYERS y SPRINGETT (1983) mencionaron que las lombrices de tierra tuvieron mayor presencia en ecosistemas más húmedos y en pastizales, mientras que los artrópodos epigeos, dependientes de la presencia de hojarasca para su supervivencia, se concentran en bosques y pastizales.

BROWN *et al.* (2001) corroboró efecto negativo de la destrucción de los ambientes naturales sobre estos organismos (desaparición de numerosas especies), se resalta la necesidad de taxónomos especializados en estos grupos de invertebrados y, debido a su importancia en la agricultura, de mayor cantidad de estudios a nivel de poblaciones y comunidades.

## **5.2. Densidad de macrofauna encontrada en suelos de cafetales con diferentes edades de establecimiento**

Hubo mayor densidad de macrofauna en suelos de cafetales con mayor edad debido al aporte de hojarasca por la poda de renovación que se le asigna a las plantas de café. LAVELLE *et al.* (1994) menciona que los invertebrados terrestres juegan un papel importante en la productividad de los

agroecosistemas, no sólo como plagas o vectores de patógenos, sino también como benefactores por su capacidad de alterar el ambiente superficial y edáfico en el cual se desarrollan las plantas.

BROWN *et al.* (2001) realizaron el estudio sobre la diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Muestrearon 9 tipos principales de ecosistemas, predominando los pastizales, los bosques y/o selvas, los cultivos anuales, los cítricos y los cafetales. Revelaron un predominio de las lombrices de tierra en cuanto a la biomasa en la mayor parte de los ecosistemas, mientras las hormigas predominaron en cuanto a la densidad.

### **5.3. Diversidad de macrofauna encontrada en suelos de cafetales con diferentes edades de establecimiento**

Se ha encontrado disminución de la diversidad en suelos donde hay mayor actividad de limpieza (plantaciones iniciales), al respecto MILIARIUM (2004) cita que la degradación biológica del suelo consiste en la pérdida de materia orgánica por disminución de aportes vegetales, y por el aumento de la tasa de mineralización. Esto es consecuencia principalmente de la erosión hídrica, los malos manejos del suelo en agricultura, el sobrepastoreo y la deforestación.

Según WILD (1992), un suelo naturalmente fértil es aquél en el que los organismos edáficos van liberando nutriente inorgánicos, a partir de las

reservas orgánicas, con velocidad suficiente para mantener un crecimiento rápido de las plantas.

La abundancia de toda la macrofauna puede alcanzar varios millones de individuos por hectárea y su biomasa varias toneladas por hectárea. Su diversidad podría llegar a superar el millar de especies en ecosistemas complejos (como la selva tropical), aunque todavía se carece de datos exactos sobre la diversidad específica de la macrofauna tropical edáfica en un ecosistema (BROWN *et al.*, 2001).

#### **5.4. Correlación de la densidad y grupos taxonómicos de macrofauna con la edad de los cafetales desde el establecimiento**

Hubo relación positiva entre el tiempo de establecimiento de los cafetales con la densidad de macrofauna, motivo por el cual MILIARIUM (2004), indica que las consecuencias de la degradación biológica implican una pérdida de las propiedades del suelo, disminuyendo su fertilidad y su capacidad para producir bienes y servicios.

Un factor que haya influenciado en las relaciones es la hojarasca aportada por los cafetos grandes, al respecto QUASER (2002) indica que la materia orgánica procede de la actividad de los distintos organismos vivos del suelo y su composición y cantidad es variable, principalmente en función del tipo de cubierta vegetal. El suelo es un medio muy complejo, donde se dan innumerables interacciones que afectan las poblaciones de los organismos que la habitan (WILD, 1992).

La gran variabilidad de los microorganismos depende de las composiciones del suelo, referida a la cantidad y tipo de sustancias nutritivas, la humedad, la aireación, la temperatura, el pH, las interacciones, la presencia de raíces y las prácticas agrícolas, entre otras, producen grandes diferencias en la densidad y diversidad de la población microbiana. Además, todos estos factores ocasionan una compleja red trófica o trama alimentaria en el suelo, que permite la sobrevivencia de unos y la inhibición de otros (RUÍZ, 2008).

Cuando son monitoreados los cambios ambientales, las especies que abarcan un amplio rango de hábitats, con valores intermedios de especificidad (detectoras), pueden ser más útiles que las especies “características” para indicar la dirección de los mismos, dado que éstas últimas, por su alta especificidad, están restringidas a un solo hábitat (MCGEOCH *et al.*, 2002).

El café es una planta que tiene altos requerimientos de nutrientes minerales para producir cosechas rentables, por lo que la fertilización constituye una de las labores efectivas para mejorar su productividad (FIGUEROA, 1984).

Según Feijoo *et al.* (1999), citados por BENZING (2001), en un trabajo realizado en el Valle del Río Cabuyal (Colombia), observaron una reducción drástica tanto de la abundancia como de la diversidad de la macrofauna con la creciente intervención humana y degradación de los

ecosistemas, siendo el cafetal tradicional el sistema que obtuvo el segundo mayor número de individuos y el mayor en cuanto a biomasa

## VI. CONCLUSIONES

1. El Japigider (Campodeida), hormigas (Formicidae) y la lombriz de tierra (Lumbricidae) son los especímenes que se encontraron en todos los suelos cuyo cultivo principal fue el cafeto. Las plantaciones con mayor número promedio de grupos taxonómicos se registró en las plantaciones con 1, 4 y 10 años de establecido los cafetos, superando a los cafetales establecidos con 8 y 2 años de edad; al considerar la profundidad de muestreo, el mayor valor promedio de grupos taxonómicos se encontró entre los 0 – 10 cm del suelo.
2. Se encontró mayor densidad promedio de macrofauna en suelos donde se ha establecido el cafeto en un tiempo de 10 años (391.5 ind./m<sup>2</sup>), siendo superior a los suelos con cafetos de menor edad; al evaluar el suelo a una profundidad comprendida entre 0 – 10 cm se encontró mayor densidad (238.7 ind./m<sup>2</sup>) en comparación a las densidades de muestreo con mayor profundidad.
3. El índice de diversidad, las parcelas son diversos con valores menores de 1.56 nats/individuo para Shannon – Wiener ( $H'$ ), considerando que la mayoría de los individuos encontrados pertenecen al mismo grupo 0.62 (E) y la probabilidad de escoger dos individuos al azar pertenezcan al mismo especie (D) es menor a 0.5567.

4. Se ha encontrado correlación significativa de la densidad de macrofauna con el tiempo de establecido de los cafetales (0.3648) y profundidad de muestreo de los suelos (-0.2451); mientras que la cantidad de grupos taxonómicos no presentó correlación con el tiempo de establecimiento (0.0903), pero sí con la profundidad de muestreo (-0.4518) y la densidad de macrofauna (0.3552).

## VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar establecimiento y manejo del cafeto en ambientes con poca pendiente y tener prioridad en aplicar labores de conservación, evitando quemas agresivas y la aplicación excesiva de agroquímicos que afectan a la macrofauna del suelo.
2. En estudios similares, relacionar el contenido de humedad de los suelos, la iluminación y temperatura de los mismos con el número de especímenes y la densidad de las mismas, para determinar la influencia de las características de los suelos sobre la existencia de la macrofauna.
3. Tener en consideración que las labores agronómicas aplicadas a los terrenos afectan a la diversidad de los suelos, debido a que es una alteración del medio y algunos especímenes son muy frágiles a estos cambios.
4. En la metodología aplicada, se debe realizar la evaluación aparte de la macrofauna encontrada en la parte de la superficie del suelo, no considerándolo como incremento de los valores en la profundidad 0 a 10 cm ya que se ha encontrado mayor individuos en esta parte del suelo.
5. Otra manera de evaluar la macrofauna del suelo puede ser insertándole en la metodología de muestreo de suelos para determinar las propiedades físicas y químicas del suelo.

## VIII. ABSTRACT

The activities of the arthropod fauna through the effects on soil fertility greatly influence the growth of plants, it has been performed before the study aimed at determining the soil macrofauna of coffee (*Coffea arabica* L.) different ages from property, activity in coffee farms with Red Caturra variety of 1, 2, 4 and 10 years of the establishment, plus 8 years of planting the variety Catimor, located in the village of Santa Rosa tea is grown in the province Leoncio Prado and Huanuco región. The experimental unit was a monolith of 25 cm x 25 cm and 30 cm deep, distributed along a transect (40 m) coffee plantation in these volumes of soil macrofauna were collected and were taken to the Laboratory of Entomology of the College of Agriculture for identification. It was determined that Japigider (Campodeida), ants (Formicidae) and earthworm (Lumbricidae) specimens are representatives in soils whose crop is coffee, higher taxonomic group occurred between 0 - 10 cm of soil; highest density was found in the plantation 10 years (391.5 individuals/ m<sup>2</sup>) and between 0 - 10 cm of soil (238.7 individuals / m<sup>2</sup>); various plots were few with 1.56 (H'), 0.6217 (E) and 0.5567 (D); there was a relation between the density of macrofauna with the coffee set time (36.48 %) and soil depth (-24.51 %) also presented taxa with depth (-45.18 %) and macrofauna density (35.52 %).

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 19-31.
- ANDERSON, J.M., INGRAM, J.S.I. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods.* 2 ed. CAB International, Wallingford.
- BEER, J., MUSCHLER, R., KASS, D., SOMARRIBA, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38. pp. 139 – 164.
- BENZING, A. 2001. *Agricultura Orgánica.* Villingen – Schwenningen, Alemania, Neckar – Verlag. 682 p.
- BIGNELL, D.E., CONSTANTINO, R., CSUZDI, C., KARYANTO, A., KONATÉ, S., LOUZADA, J., SUSILO, F., TONDOH, J.E., ZANETTI, R. 2012. *Manual de biología de suelos tropicales; Macrofauna.* Capítulo 3. México. 360 p.
- BITTON, G. 1994. Movement and retention of *Klebssiella aerogenes* in soil columns. *Plant and Soil* 40: 373-380.

- BLAIR, J., BOHLEN, P., FRECKMAN, D. 1996. Soil Invertebrates as indicators of soil quality. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality Methods*. SSSA, Madison WI. Special Publication no. 49. 291 p.
- BROWN, G.G., PASHANASI, B., VILLENAVE, C., PATRÓN, J.C., SENAPATI, B.K., GIRI, S., BAROIS, I., LAVELLE, P., BLANCHART, E., BLAKEMORE, R.J., SPAIN, A.V., BOYER, J. 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. En: P. Lavelle, L. Brussaard & P.F. Hendrix (eds.). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CAB International, Wallingford. pp. 87-147.
- BROWN, G.G., BAROIS, I., LAVELLE, P. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol.* 36: 177-198.
- 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*. México. 31 p.
- BROWN, G., PASHANASI, B., VILLENAVE, C., PATRÓN, J., SENAPATI, B., GIRI, S., BAROIS, I., LAVELLE, P., BLANCHART, E., BLAKEMORE, R., SPAIN, A., BOYER, J. 1999. Effects of earthworms on plant

production in the tropics. Commonwealth Agricultural Bureau (CAB).  
147 p.

CARDONA – CALLE, D.A., SADEGHIAN, S. 2005. Beneficios del sombrero de guamo en suelo cafeteros. Avances Técnicos Cenicafé. pp. 1 – 5.

CASTAÑEDA, E. 1997. Manual técnico cafetalero. Perú, TECNATROP S.R.L.  
164 p.

CONTRERAS, E.E. 2009. 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.). Tesis Ing. Agrónomo. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 99 p.

CORREIRA, M.E.F., OLIVEIRA, L.C.M. 2000. De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapa agrobiología. 46 p.

DANIEL, O. 1998. Subsidios al uso del índice de diversidad de shannon. In: Congreso Latinoamericano IUFRO, 1, Valdivia, Chile, CD-ROM.

DEL RÍO, M., MONTES, F., CAÑELLAS, I., MONTERO, G. 2003. Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. 12(1): 159-176.

DIGHTON, J. 1997. The role of a biotic factors, cultivation practices and soil fauna in the dispersal of genetically modified microorganism in soils. Applied soil ecology 5. pp. 109 – 131.

- DORAN, J., SAFLEY, M. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In Pankhurst, C.E.; Doube, B.M.; Gupta, V.V.S.R. (Eds.). Biological indicators of soil health. Wallingford, CAB International. 28 p.
- DUFRÊNE, M., LEGENDRE, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. Ecological Monographs. 366 p.
- FAO. 2001. Soil Biodiversity: What is it? Soil Biodiversity: Portal. Land and Water (AGL). FAO, (<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/soilbtxt.htm>).
- FIGUEROA, R. 1984. La caficultura en el Perú. 1 ed. Servicio de copias S.A. Lima, Perú. 202 p.
- FIGUEROA, R., FISCHERSWORRING, B., ROSSKAMP, R. 1996. Guía para la caficultura ecológica. Novella Publigráf S.R.L. Lima, Perú. 171 p.
- FOTH, H. 1990. Fundamentos de la ciencia del suelo. Edición CECSA. México. Editorial continental. 433 p.
- FOURNIER, L.A. 1988. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: Un enfoque agronómico y ecofisiológico. Agronomía Costarricense. 146 p.

- FRAGOSO, C., BROWN, G. 2000. The Macrofauna database. The Iboy-Macrofauna project: Report of an international workshop held at Bondy. Francia. pp. 19 – 23.
- GONZALES, H. 2007. Ecofisiología del cultivo del café. En: Diplomado de cultivos industriales tropicales de café, cacao y palma aceitera; Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 191 p.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, P. 2006. Metodología de la investigación. 4 ed. México, McGRAW HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. 850 p.
- JONES, C.G., LAWTON, J.H., SHACHAK, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- LAVELLE, P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Adv. Ecol. Res.* 24: 93-132.
- LAVELLE, P., BIGNELL, D., LEPAGE, M., WOLTERS, V., ROGER, P., INESON, P., HEAL, O., GHILLION, S. 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33. 193 p.
- LAVELLE, P., DANGERFIELD, M., FRAGOSO, C., ESCHENBRENNER, V., LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., PASHANASI, B., BRUSSAARD, L. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. En:

P.L. Woomer & M.J. Swift (eds.). The biological management of tropical soil fertility. John Wiley & Sons, Chichester. pp. 137-169.

LAVELLE, P., SPAIN, A., B LANCHART, E., MARTIN, A., MARTIN, S. 1992. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. En: Myths and science of soils in the tropics. SSSA Special publication, Madison, Wisconsin, Estados Unidos. 185 p.

LINARES, D. 2007. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el Parque Nacional Tingo María. Huánuco, Perú. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. 86 p.

LINDEN, D., HENDRIX, P., COLEMAN, D., VAN VILET, P. 1994. Faunal indicators of soil quality. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable Environment. SSSA. Special Publication no. 35. 106 p.

MAGURRAN, A.E. 1987. Diversidad ecológica y su medición. Barcelona, España, Vedral. 200 p.

MAGURRAN, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. 200 p.

MCGEOCH, M., VAN RENSBURG, B., BOTES, A. 2002. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. Journal of Applied Ecology. 672 p.

- MILIARIUM. 2004. Degradación biológica del suelo. [En línea]: Miliarium (<http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Suelos/DegradacionBiologica.htm>, documento, 20 Abr. 2013).
- MOORE, J.C., BERLOW, E.L., COLEMAN, D.C., RUITER, P.C., DONG, Q., HASTINGS, A., JOHNSON, N.C., McCANN, K.S., MELVILLE, K., MORIN, P.J., NADELHOFFER, K., ROSEMOND, A.D., POST, D.M., SABO, J.L., SCOW, K.M., VANNI, M.J., WALL, D.H. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters* 7:584-600.
- MORALES, J., SARMIENTO, L. 2002. Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el Páramo Venezolano. *Sociedad Venezolana de Ecología. Ecotropicos* 15. pp. 99 – 110.
- ODUM, E.P. 1987. La Habana. *Ecología. Edición Revolucionaria.* 639 p.
- PELCZAR, L. 1993. *Microbiología.* México. Editorial McGraw Hill.
- PLASTER, J.E. 2000. *La ciencia del suelo y su manejo.* Edición Montytexto. Madrid, España. Editorial paraninfo. 419 p.
- PRICE, W.P. 1988. An overview of organismal interactions in ecosystems in evolutionary and ecological time. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2:269-377.

- PURVIS, G., CURRY, J. 1980. Successional changes in the arthropod fauna of a new lay pasture established on previously cultivated arable land. *Journal of Applied Ecology*. 321 p.
- QUAISER, A. 2002. First insight into the genome of an uncultivated chrenarchaeote from soil. *Environ. Microbiol.* pp. 603 – 611.
- RODRÍGUEZ, J. 2004. *Ecología. Colección Ciencia y Tecnología.* Universidad de Málaga. Madrid, España, Ediciones Pirámide (Grupo Anaya, S.A.). 411 p.
- ROSADO, L. 2005. *Caracterización de la producción de café orgánico en Perú.* Junta Nacional del Café. Lima, Perú. 210 p.
- RUIZ, S. 2008. *Cuantificación de microorganismos en cinco tipos de suelos del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva (BRUNAS) Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables.* Tingo María, Perú. 97 p.
- SAS Institute Inc. 1999. *SAS/STAT User's Guide, Version 8,* Cary NC: SAS Institute Inc.
- SENAMHI. 2012. *Boletín regional del SENAMHI. Ministerio del Ambiente.* Análisis estadístico. Año IX, número 12. Huánuco, Perú. 17 p.

- SMITH, R.L., SMITH, T.M. 2001. Ecología. West Virginia University, Emeritus.  
Trad. Francesc Mezquita y Eduardo Aparici. 4 ed. Madrid, España,  
Pearson Educación, S. A. 664 p.
- STINNER, B.R., STINNER, D.H. 1989. Plant-animal interactions in agricultural  
ecosystems, p.355-393. In W.G. Abrahamson (ed.), Plant-animal  
interactions. Mc. Graw-Hill Publishers, New York. 480 p.
- STORK, N., EGGLETON, P. 1992. Invertebrates as determinants and  
indicators of soil quality. 55 p.
- SYERS, J., SPRINGETT, J. 1983. Earthworm ecology in grassland soils. En:  
J.E. Satchell (ed.). Earthworm ecology: From Darwin to vermiculture.  
Chapman and Hall, New York. pp. 67 – 83.
- TEUBEN, A., ROELOFSMA, T.A. 1990. Dynamic interactions between  
functional groups of soil arthropods and microorganisms during  
decomposition of coniferous litter in microcosm experiments. 151 p.
- VENEGAS, V.R. 2004. Propuesta agroecológica del CLADES - CET - ITAS"  
Revista de Agroecología y Desarrollo: Revista de CLADES, nº 14.
- VILLALOBOS, F.J. 1994. The contribution of melolonthid larvae to soil fertility.  
En: Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Vol. 4a.  
ISSS, Acapulco. pp. 129-143.

- WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi - Prensa. Madrid, España. 1045 p.
- WOOD, T.G. 1996. The agricultural importance of termites in the tropics. *Agric. Zool. Rev.* 7: 117-155.

**ANEXO**

## Anexo 1. Datos registrados en la investigación

Cuadro 12. Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 1 año de establecido.

Orden	Familia	NC	1	2	3	4	5	piLNpi
Hymenóptera	Formicidae	Hormiga	128	656	240	160	80	-0.2953
Coleóptera	Scarabeidae	Escarabajo	16	16	32	64	0	-0.1742
Coleóptera	Staphilinidae		32	48	32	32	0	-0.1876
Dermáptera	Laviduridae	Tijereta	0	16	0	0	0	-0.0381
Oligochaeta	Lumbricidae	Lombriz	48	0	16	48	48	-0.2001
Miliópoda		Milpiés	0	0	0	0	16	-0.0381
Ciclópoda		Ciempíes	0	0	0	0	32	-0.0654
Lepydóptera		Larva	0	0	32	0	32	-0.1089
Diplura	Campodeida	Japigider	0	0	16	0	16	-0.0654
Odonato		Larva	0	0	0	0	16	-0.0381
Coleóptera	Elateridae		16	0	16	16	0	-0.0885
Coleóptera	Crysolmelidae		0	0	16	0	0	-0.0381
Coleóptera	Tenebrionidae		0	0	32	0	0	-0.0654
Coleóptera		Torito	0	0	16	0	0	-0.0381
Hymenóptera	Vespidae		0	0	16	0	0	-0.0381
Protura	Proturo		0	0	0	16	0	-0.0381
Arabidae	Arachnidae		0	0	0	16	0	-0.0381
<b>Total</b>								<b>1.5558</b>

piLNpi: índice de diversidad con unidades en nats/ind.

LN: Logaritmo natural

Cuadro 13. Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 2 años de establecido.

Orden	Familia	NC	1	2	3	4	5	$\pi\text{LN}\pi$
Hymenóptera	Formicidae		128	0	0	0	0	-0.2498
Oligochaeta	Lumbricidae	Lombriz	400	48	32	80	32	-0.3342
Blattaria	Blatteridae	Cucaracha	0	0	0	0	16	-0.0614
Orthóptera	Gryllidae	Grillo	0	0	0	0	16	-0.0614
Coleóptera	Scarabeidae	Escarabajo	0	0	0	0	16	-0.0614
Diplura	Campodeida	Japigider	0	16	16	0	16	-0.1363
Protura	Proturo		0	16	0	0	0	-0.0614
Dermáptera	Laviduridae	Tijereta	0	0	16	0	0	-0.0614
0	Eicenia sp.	Tenia	0	0	256	0	0	-0.3389
<b>Total</b>								<b>1.3660</b>

$\pi\text{LN}\pi$ : índice de diversidad con unidades en nats/ind.

LN: Logaritmo natural

Cuadro 14. Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 4 años de establecido.

Orden	Familia	NC	1	2	3	4	5	piLNpi
Coleóptera	Elateridae		0	16	32	0	0	-0.0922
Coleóptera	Staphilinidae		32	16	0	16	16	-0.1324
Hymenóptera	Formicidae	Hormiga	208	656	32	496	32	-0.2217
Oligochaeta	Lumbricidae	Lombriz	0	48	0	0	16	-0.1134
Lepydóptera	Larva eruciforme	Larva mariposa	0	16	0	0	32	-0.0922
Coleóptera	Scarabeidae	Escarabajo	0	16	0	0	0	-0.0399
Protura	Proturo		0	16	0	0	0	-0.0399
Dermáptera	Laviduridae	Tijereta	0	0	0	32	16	-0.0922
Blattaria	Blatteridae	Cucaracha	0	0	0	0	16	-0.0399
Arabidae	Arachnidae		0	0	0	0	16	-0.0399
Hemíptera	Reduvidae	Chinche	0	0	0	0	16	-0.0399
Coleóptera		Larva	0	0	0	0	32	-0.0682
Collémbola	Colémbolo		0	0	48	0	16	-0.1134
Coleóptera	Crysolmelidae		16	0	0	0	0	-0.0399
Diplura	Campodeida	Japigider	16	0	0	0	0	-0.0399
Total								1.2050

piLNpi: índice de diversidad con unidades en nats/ind.

LN: Logaritmo natural

Cuadro 15. Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 8 años de establecido.

Orden	Familia	NC	1	2	3	4	5	$\pi\text{LN}\pi$
Diplura	Campodeida	Japigider	16	32	0	16	0	-0.0935
Hymenóptera	Formicidae	Hormiga	112	0	96	256	48	-0.3242
Oligochaeta	Lumbricidae	Lombriz	160	400	176	416	256	-0.3245
Coleóptera	Elateridae		32	0	0	0	0	-0.0556
Arabidae	Arachnidae	Araña	16	16	16	16	0	-0.0935
Collémbola		Colémbolo	80	80	0	80	0	-0.2243
Protura	Proturo		0	16	0	48	32	-0.1248
Chilópoda		Ciempíes	0	0	0	16	16	-0.0556
Blattaria	Blatteridae	Cucaracha	0	0	0	0	16	-0.0322
Lepydóptera		Larva	0	16	16	0	0	-0.0556
Orthóptera	Gryllidae	Grillo	0	0	16	0	0	-0.0322
<b>Total</b>								<b>1.4159</b>

$\pi\text{LN}\pi$ : índice de diversidad con unidades en nats/ind.

LN: Logaritmo natural

Cuadro 16. Macrofauna encontrada en los suelos de cafetales con 10 años de establecido.

Orden	Familia	NC	1	2	3	4	5	piLNpi
Coleóptera	Cerambycidae		0	0	16	0	0	-0.0161
Arabidae	Arachnidae		0	0	16	0	16	-0.0284
Diplura	Campodeida	Japigider	0	16	64	0	16	-0.0673
Lepydóptera	Larva obtecta	Larva	0	0	64	0	0	-0.0493
Hymenóptera	Formicidae	Hormiga	1440	256	96	944	288	-0.3418
Collémbola	Colémbolo		1680	320	48	160	32	-0.3676
Oligochaeta	Lumbricidae	Lombriz	0	0	32	0	16	-0.0393
Blattaria	Blaberidae	Cucaracha	0	0	0	16	16	-0.0284
Coleóptera	Elateridae		16	0	0	32	16	-0.0493
Coleóptera	Staphilinidae		0	0	0	16	16	-0.0284
Isópoda	Crustáceo	Chanchito	16	16	0	0	16	-0.0393
Dermáptera	Laviduridae	Tijereta	64	0	0	0	0	-0.0493
Hemíptera	Reduvidae	Chinche	32	0	0	0	0	-0.0284
Hymenóptera	Aolychopodidae		16	0	0	0	0	-0.0161
Arabidae		Escorpión	0	16	0	0	0	-0.0161
Coleóptera	Curculionidae		0	16	0	0	0	-0.0161
Díptera	Nogonidae		0	16	0	0	0	-0.0161
Coleóptera	Coccinelidae		0	0	0	16	0	-0.0161
Total								1.2131

piLNpi: índice de diversidad con unidades en nats/ind.

LN: Logaritmo natural

## Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 5. Delimitación del transecto (café con 1 año de edad).



Figura 6. Limpieza y colocación del cuadrante.



Figura 7. Extracción de monolitos.



Figura 8. Colecta de macrofauna de los suelos (café con 8 años de edad).



Figura 9. Colecta de macrofauna edáfica.

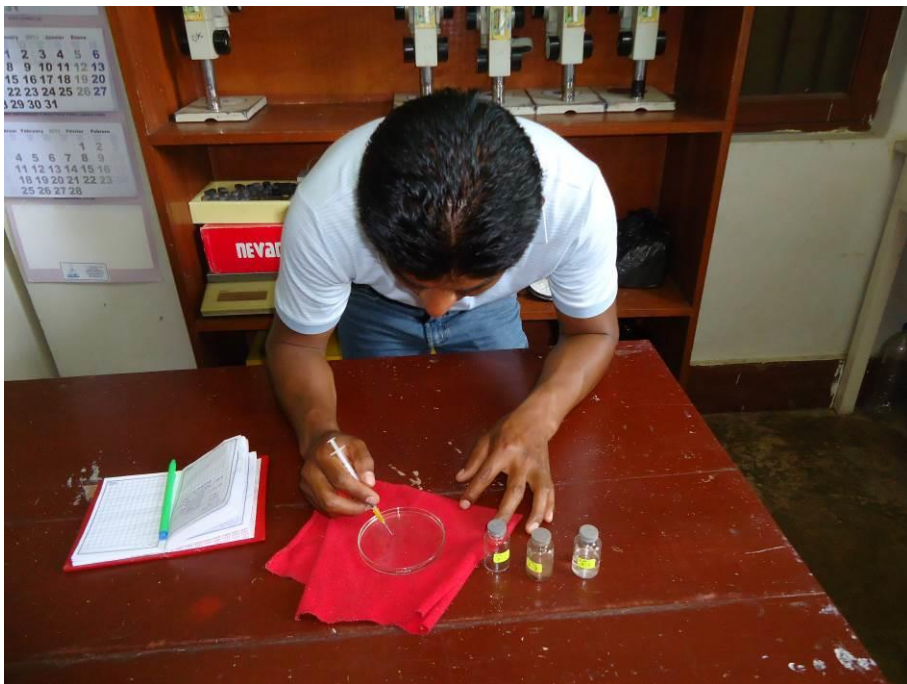


Figura 10. Identificación de macrofauna.



Figura 11. Lombriz de tierra (Lumbricidae).



Figura 12. Hormigas (Formicidae).

**Anexo 3. Mapas y/o planos**