

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN DIFERENTES  
SISTEMAS DE USO EN EL DISTRITO DE NUEVO PROGRESO**

**Tesis para optar el título profesional de:**

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

**Presentado por:**

**MAYRA KATHERIN TUESTA SINARAHUA**

**Tingo María – Perú**

**2015**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida, la sabiduría,  
por la familia y los amigos, por el apoyo  
incondicional en el transcurso de mi  
vida, y hoy espiritualmente me llena de  
fortaleza y esperanza.

Con mucho amor a mis queridos  
padres, Manuela y Pastor quienes  
siempre me brindaron su apoyo  
incondicional.

A mí querida hermana: Llyria Sharon  
por el amor y apoyo incondicional.

A mi querida prima Maria Gina por el  
apoyo brindado.

## **AGRADECIMIENTO**

Durante mi formación profesional, personal y elaboración de la presente investigación, diversas personas colaboraron directa e indirectamente, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento:

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables y mi alma mater, la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) por brindarme la oportunidad de forjarme como profesional.

Al Ing. Juan Pablo RENGIFO TRIGOZO, quien me ofreció su invaluable asesoramiento en la presente investigación. Gracias por su paciencia, empeño y confianza.

A los miembros de jurado de la presente investigación Ing. Msc. Roberto OBREGON PEÑA presidente, Ing. Jaime TORRES GARCÍA, Dr. Miguel Eduardo, ANTEPARRA PAREDES miembros de jurado, quienes con su paciencia y voluntad hicieron realidad la sustentación del informe de Tesis.

A mis amigos, colegas y familia: Ángela Fabiola, Andrea Mariana, Gisela, Jayro, Leticia y Jorge por la amistad y solidaridad que me brindaron durante todo el tiempo de mi formación profesional.

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Niveles de pH en el suelo. ....	9
2. Intervalos de materia orgánica en el suelo. ....	11
3. Niveles de contenido de nitrógeno. ....	12
4. Niveles de contenido de fósforo disponible. ....	13
5. Niveles de contenido de potasio disponible ( $K_2O$ ). ¡Error! Marcador no definido.	
6. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna .....	16
7. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio .....	40
8. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.....	46
9. Combinaciones entre niveles de cada factor en estudio. ....	53
10. Características físicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso. ¡Error! Marcador no definido.	
11. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso. ....	57
12. Densidad media y diversidad de la macrofauna del suelo. ¡Error! Marcador no definido.	
13. Biomasa media de la macrofauna en los sistemas de suelo . ¡Error! Marcador no definido.	
14. Densidad de los grupos funcionales de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso.....	63
15. Riqueza específica, Índice de diversidad y Equitatividad de los macro invertebrados del suelo en diferentes sistemas de uso .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Esquema del plan de muestreo.....	49
2. Densidad total y Diversidad de la macrofauna del suelo.....	57
3. Biomasa total de la macrofauna del suelo.....	60
4. Distribución vertical de la densidad de la macrofauna del suelo.....	<b>Error! Marcador no definido.</b>

## RESUMEN

La investigación evaluó la macrofauna en diferentes sistemas de uso del suelo (cultivo cócona (*Solanum sessiliflorum*), maíz (*Zea mayz L.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y bosque secundario) en el sector Palmeras, distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache. Se determinó las características físicas, químicas y la macrofauna. La metodología consistió en identificar y ubicar los 04 sistemas de uso, extrayendo 20 sub muestras por cada uso para su análisis físico químico; para la evaluación de la macrofauna, en un transecto en línea recta de 40m se obtuvo monolitos a intervalos de 10m en diferentes profundidades, (hojarasca, 0 -10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm) por el método Programa Tropical Soil Biology an Fertility – TSBF. La mayor densidad se presentó en el cultivo de cacao con  $899 \text{ g.m}^{-2}$ , seguidamente el cultivo de maíz con  $894 \text{ g.m}^{-2}$ , bosque secundario con  $881 \text{ g.m}^{-2}$ , y cocona con  $700 \text{ g.m}^{-2}$ ; la biomasa total para el cultivo de cacao es  $18.55 \text{ g.m}^{-2}$ , maíz  $15.45 \text{ g.m}^{-2}$ , bosque secundario  $9.64 \text{ g.m}^{-2}$  y cocona de  $8.03 \text{ g.m}^{-2}$ , respecto a la distribución vertical, la hojarasca fue de 7.83%, de 0-10 cm es de 54.46%, cocona 25.97% y 50.16%, maíz 3.66% y 41.21%, y cacao 58.76% y 29.71% respectivamente. Oligochaeta, Isoptera y Formicidae, fueron los más abundantes y similares en el bosque secundario y cultivo de maíz ( $694 \text{ ind.m}^{-2}$ ), seguido de cacao ( $534 \text{ ind.m}^{-2}$ ); la diversidad de macrofauna en el bosque secundario ( $H=2.25$  y  $J=0.85$ ), cocona ( $H=1.37$  y  $J=0.55$ ), cacao ( $H=1.36$  y  $H=0.52$ ) y maíz ( $H=1.34$  y  $J=0.52$ ). Demostrando que en los sistemas de uso, el bosque secundario fue el más diverso, con una distribución de especies de manera uniforme.

## I. INTRODUCCIÓN

La región amazónica, posee una gran riqueza forestal, florística y faunística, es una de las regiones en la que es posible seguir apreciando el incremento de la frontera agrícola con el empleo de diversas prácticas agrícolas y pecuarias. Las transformaciones que han experimentado grandes áreas boscosas como consecuencia del aprovechamiento agropecuario han afectado a grandes superficies en todo el planeta. Diversos factores bióticos y abióticos influyen en la actividad de la fauna (RODRÍGUEZ y CRESPO, 1999), pero la acción del hombre en los ecosistemas ejerce más influencia (GASSEN Y GASSEN 1996). Los pastizales en los países tropicales o templados, al igual que los bosques, son los ecosistemas con mayor número y diversidad de grupos de la macrofauna. (WARDLE et al., 1999).

La mayoría de las prácticas de manejo del suelo, independientemente de sus efectos sobre el pH, tienen un efecto negativo sobre la macrofauna. Esto se debe a que las comunidades de la macrofauna del suelo son muy sensibles a los cambios de la cobertura del suelo (LAVELLE, 2002). En la Amazonía peruana observaron que ocurre un cambio muy drástico en la biomasa y diversidad de los macroartrópodos después de la instalación de pastizales y cultivos anuales. La macrofauna del suelo desempeña un papel importante en los ecosistemas del suelo ya que participa activamente en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica del suelo, de la hojarasca y las excretas de los animales, además acelera de esta forma

el proceso de reciclaje de los nutrientes (LAVELLE y PASHANASI, 1989 y WARDLE *et al.*, 1999).

Estos organismos, habitantes de la hojarasca y de las capas superiores del suelo son, debido principalmente a sus interacciones con la microflora, de importancia crucial para las condiciones de crecimiento de las especies cultivadas y el desenvolvimiento y funcionamiento de los agroecosistemas, ya que cumplen un papel vital en la descomposición de la hojarasca y en la liberación de los nutrientes. Frente a una limitada información respecto a la influencia de los sistemas de uso (cultivos agrícolas) sobre la comunidad de macrofauna edáfica y al incremento de la deforestación, logrando contrarrestar la hipótesis: los sistemas de uso influyen de manera positiva en la comunidad de macrofauna edáfica (LAVELLE y PASHANASI, 1989)

La presente investigación determino la influencia de diferentes tipos de uso del suelo (cócona, maíz, cacao y bosque secundario) en la comunidad de macrofauna edáfica, lo que servirá para conocer la calidad de los suelos estudiados y fortalecer futuros proyectos agropecuarios y forestales, atenuar la degradación de los suelos y establecer mecanismos apropiados que eviten la incidencia negativa de los cultivos en la fauna edáfica del suelo.

Respecto a este contexto se planteó los siguientes objetivos:

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de suelo (suelos con cultivo de: cócona, maíz, cacao y bosque secundario) en el distrito de Nuevo Progreso.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas y químicas en los diferentes sistemas de uso de suelo.
- Evaluar la densidad, biomasa y grupo taxonómico de macrofauna de suelo.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Suelo**

Es un sistema dinámico y complejo en el que ocurren fenómenos físicos, químicos y biológicos de intensidad variable, se extiende como un manto continuo sobre la superficie de la corteza terrestre (BORNEMISZA, 1982 ; MINAG, 2011).

#### **2.1.1. Propiedades físicas del suelo**

Las propiedades físicas del suelo van a determinar los usos para los cuales éstos son adecuados. Las propiedades físicas del suelo son el color, la textura, la estructura, la densidad aparente, la profundidad, la tasa de infiltración, la capacidad de retención de agua, la porosidad, la conductividad eléctrica, la estabilidad de agregados, la resistencia, etc. Son las características responsables del crecimiento de las raíces, la aireación, movimiento del agua, el contenido de humedad y la capacidad de retención de nutrientes (SÀNCHEZ, 2007)

##### **2.1.1.1. Estructura**

Las partículas no se suelen presentar en el suelo de un modo totalmente independiente, sino que se encuentran más o menos ligadas unas a otras, constituyendo los agregados. Así, la estructura de un suelo se puede definir como “el modo de agregación o unión de los constituyentes del suelo

(partículas minerales, materia orgánica, etc.)” (BORNEMISZA, 1982). Entre los factores que influyen o determinan la morfología de la estructura están: La cantidad o porcentaje del material o matriz que une las partículas del suelo (carbonatos, arcilla, materia orgánica), la textura, la actividad biológica del suelo (lombrices) y la influencia humana (en el horizonte cultivado se forma una estructura con una morfología totalmente distinta a la natural que poseía el suelo) (SÁNCHEZ, 2007).

#### **2.1.1.2. Densidad aparente**

La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo secado en horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas (FASSBENDER, 1987). Las densidades de las partículas minerales se encuentran en los suelos arenosos, arcillosos entre  $<1.0$  a  $>1.7\text{g/cm}^3$ ; en suelos franco arcillosos de  $1.0$  a  $1.5\text{g/cm}^3$  y en suelos francos de  $1.5$  a  $1.7\text{g/cm}^3$  (USDA, 1999). Del mismo modo SÁNCHEZ (2007) hace referencia que la densidad aparente depende del grado de soltura o porosidad del suelo, es un valor más variable que depende además de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura. La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo. Esta condición puede ser alterada por cultivación; pisoteo de animales; maquinaria agrícola; y el clima, por ejemplo por impacto de las gotas de lluvia (USDA, 1999). Los estratos compactados del suelo tienen altas densidades aparentes y restringen el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo. La densidad aparente del

suelo puede servir como un indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces. Típicas densidades aparentes del suelo fluctúan entre 1.0 y 1.7 g/cm<sup>3</sup> y generalmente aumentan con la profundidad en el perfil (USDA, 1999). En suelos que contienen altas proporciones de arcillas expandibles las densidades aparentes varían con el contenido del agua, el cual debería ser medido al momento del muestreo (BORNEMISZA, 1982 y NAVARRO, 2003).

### **2.1.1.3. La textura del suelo**

Es la proporción relativa de los separadores del suelo (arena, limo y arcilla) en un suelo en particular. Esta característica es muy importante ya que determina la capacidad de absorción y de almacenamiento del agua, la facilidad de cultivarlo, la cantidad de aire (vital para el crecimiento radicular) e influenciará en la fertilidad (NAVARRO Y NAVARRO 2003 ; SANCHEZ, 2007).

DONAHUE *et al.* (1981) menciona que aquellos suelos que contienen alto porcentaje de arena se denominan arenosos; aquellos con alto contenido de arcillas son arcillosos y aquellos con alto porcentaje de limo son limosos; cuando las cantidades relativas del separado menos dominante varían, también varía la clase textural y el nombre refleja el cambio de composición.

#### **2.1.1.4. Resistencia a la penetración**

La resistencia a la penetración es una medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser empujado dentro del suelo (USDA, 1999). Ofrece información acerca de capas duras para raíces, y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo. También puede ser empleada para determinar horizontes o capa del suelo endurecidos por sílice, zonas de compactación. La compactación, produce una severa restricción del crecimiento de las raíces, es causada primordialmente por el pisoteo de los animales, uso de los equipos para granja, y tráfico vehicular. La resistencia del suelo se encuentra entre los rangos bajo  $> 2 \text{ g/cm}^3$ , medio  $2 \text{ g/cm}^3$  y alto o adecuado  $< 2 \text{ g/cm}^3$  (BORNEMISZA, 1982).

#### **2.1.1.5. Temperatura del suelo**

El calentamiento del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre resultado de considerar el balance energético de onda corta y de onda larga. La cantidad de radiación neta que llega a la superficie del suelo depende de factores externos al mismo. La presencia de una importante cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación global, no solo por efecto de la sombra que hace disminuir la radiación directa, también afecta al cambiar el albedo (BORNEMISZA, 1982). El bosque es más eficaz que el césped, así en verano un suelo de un bosque denso puede llegar a estar  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  más frío que un suelo sin cubierta vegetal (USDA, 1999).

### **2.1.2. Propiedades químicas del suelo**

Entre las características químicas importantes se encuentra el contenido de macro y micronutrientes, el pH y la capacidad de intercambio catiónico. Un equilibrio de estos tres factores permite tener un sustrato adecuado para el crecimiento del cultivo (CLAPPERTON, 2000).

BORNEMISZA (1982) hace referencia que la química de suelos es la ciencia que estudia las propiedades químicas del suelo y de sus componentes inorgánicos y orgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de esos componentes. Algunas propiedades químicas del suelo son:

#### **2.1.2.1. Reacción del suelo**

La reacción del suelo es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana; quizás la propiedad química más importante de un suelo, como medio destinado al cultivo de plantas, la cual se expresa en términos de pH. Así mismo la reacción del suelo condiciona de forma decisiva no solo la vida de los microorganismos y los importantes procesos en que ellos intervienen, sino también la mayor o menor asimilabilidad de muchos elementos químicos que para la planta son esenciales (BORNEMISZA, 1982 ; SANCHEZ, 2007).

### 2.1.2.1.1. Origen y causas de la reacción del suelo

La acidez es característica de suelos localizados en regiones de alta pluviometría, los cuales están sometidos a un continuo y amplio lavado. Debido a ello, el agua disuelve las bases solubles, que percolan y se pierden por lixiviación. Todas estas circunstancias dan lugar a que el complejo coloidal del suelo fije gran cantidad de  $H^+$ . Como el hidrógeno al producirse su disociación, tiende a estar en equilibrio dinámico con la disolución del suelo, esta se enriquece en  $H^+$  y el pH desciende (ZAVALETA, 1992 ; NAVARRO, 2003).

Cuadro 1. Niveles de pH en el suelo.

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	< 4.5
Fuertemente ácido	4.6 - 5.4
Moderadamente ácido	5.5 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

### **2.1.2.1.2. El pH y los organismos del suelo**

Las bacterias y actinomicetos actúan mejor en suelos minerales con valores de pH 5.0 a 6.5 y  $< 5.0$ . Su actividad se reduce notablemente cuando el pH es inferior a 5.5 (WOODING, 1967). La nitrificación y la fijación del nitrógeno atmosférico, por ejemplo, solo se producen cuando el pH es superior a 5; y la aminización y amonificación se reducen considerablemente a pH más bajos. Una excepción son las bacterias que oxidan azufre las cuales parecen indiferentes a la reacción que pueda presentar el suelo (MILLAR *et al.*, 1971). Los hongos son, también facultativos. En las plantas superiores, y debido a los muchos factores fisiológicos que intervienen, es muy difícil correlacionar con alguna exactitud su desarrollo óptimo con el pH del suelo. Por otra parte, las plantas crecen dentro de intervalos de pH muy amplios, lo cual dificulta el poder determinar la reacción más adecuada (NAVARRO, 2003).

### **2.1.2.2. Materia orgánica**

La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo, así mismo los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la materia orgánica del suelo. FASSBENDER (1987); ZAVALETA (1992); NAVARRO, (2003), manifiestan que de la materia orgánica depende la buena constitución de los suelos, un suelo de consistencia demasiada suelta (suelo arenoso) se puede mejorar haciendo aplicaciones de materia orgánica (compost), así mismo un suelo demasiado

pesado (suelo arcilloso) se mejora haciéndolo más suave y liviano mediante aplicación de materia orgánica.

#### **2.1.2.2.1. Contenido y distribución de materia orgánica**

El contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable y está condicionado en primera instancia por el clima y la vegetación y localmente se ve determinado por la fisiografía, la naturaleza, el material madre que genera el suelo y el sistema de manejo. Así visualizando en forma generalizada el contenido de materia orgánica en el Perú varía desde trazas como en las regiones hiperáridas de las pampas y tablazos, incrementando su contenido hasta llegar a ser dominante en turbas húmedas en cualquiera de las regiones geomórficas del Perú y en los países del grupo andino o de América latina (ZAVALETA, 1992).

Cuadro 2. Intervalos de materia orgánica en el suelo

Nivel	Rango (%)
Bajo	< 2
Medio	2 a 4
Alto	>4

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

#### **2.1.2.2.2. Factores que determinan el contenido de materia orgánica en los suelos**

FASSBENDER (1987) menciona que los contenidos de materia orgánica y nitrógeno de los suelos son determinados, en primera instancia, por

el clima y la vegetación y que los afectan otros factores locales como el relieve, el material parental, el tipo y la duración de la explotación de los suelos y algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas.

### 2.1.2.3. Nitrógeno

La cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica (abonos orgánicos (estiércol) y los residuos de cosecha) y a los procesos de fijación bacteriana a partir de la atmosfera (WOODING, 1967; MILLAR *et al.*, 1971 ;). Asimismo; las condiciones climáticas influyen notablemente sobre el contenido de nitrógeno en los suelos, al aumento de temperatura disminuye el nitrógeno; al aumentar la humedad el nitrógeno aumenta. La pérdida del nitrógeno más significativas son: la extracción por los cultivos, la lixiviación, volatilización, desnitrificación y fijación de amonio (NAVARRO Y NAVARRO 2003).

Cuadro 3. Niveles de contenido de nitrógeno

Nivel	Rango (%)
Bajo	Menor de 0.1
Medio	0.1 – 0.2
Alto	Mayor de 0.2

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

#### 2.1.2.4. Fósforo

Este elemento se clasifica en fósforo inorgánico como de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización y la forma fósforo orgánica, se encuentra en el humus y la materia orgánica. La cantidad de fósforo total en el suelo, expresada como  $P_2O_5$ , raramente sobrepasa el valor de 7ppm (BORNEMISZA, 1982).

La mayor parte del fósforo presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad; para que pueda ser asimilado, es necesario que se encuentre como  $H_2PO_4$  o  $H_2PO_4^-$ , en la disolución del suelo. Asimismo la asimilación del fósforo por las plantas sería normal a pH bajos, es decir, cuando la disolución del suelo presenta una acidez notable, ya que la forma  $H_2PO_4^-$  es la más asimilable (NAVARRO, 2003).

Cuadro 4. Niveles de contenido de fósforo disponible

Nivel	Fósforo (ppm)
Bajo	Menor de 7
Medio	7 – 14
Alto	Mayor de 14

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS

#### 2.1.2.5. Potasio

Este elemento procede de la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos, junto a estos hay que añadir aquellos provenientes de la descomposición de restos vegetales y animales. El

potasio en el suelo se halla en cantidades relativamente grandes. Su contenido como  $K_2O$ , depende de su textura. La fracción arcillosa es la que presenta un contenido mayor, por lo que los suelos arcillosos y limo-arcillosos son más ricos que los limo-arenosos y arenosos (BORNEMISZA, 1982).

El potasio (K) es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Los vegetales necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejantes al requerimiento de nitrógeno. El Potasio cumple un rol importante en la activación de un gran número de enzimas, también incidencia en el balance del agua y en el crecimiento meristemático (FASSBENDER, 1987).

El potasio participa en los procesos metabólicos, actúa favoreciendo el crecimiento vegetativo, fructificación, la maduración y la calidad de los frutos. Hay que significar, no obstante, que esta variación en el contenido de potasio está influenciada por la intensidad de las pérdidas: extracción de cultivos, lixiviación y erosión (NAVARRO Y NAVARRO 2003).

Cuadro 5. Niveles de contenido de potasio disponible ( $K_2O$ )

Nivel	Rango (Kg/ha)
Bajo	Menor de 300
Medio	300 – 600
Alto	Mayor de 600

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS

### **2.1.3. Propiedades biológicas del suelo**

El contenido de microorganismos está ligado a la cantidad, tipos y actividad microbiana, de modo que el mantenimiento de la "Fertilidad Biológica" sugiere una inalterabilidad del ambiente sobretodo microbiológico del suelo. Son variadas las ventajas y actividades de los microorganismos del suelo, así participan en: Los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica (M.O.), los procesos de fijación biológica de nitrógeno (N) (simbiótica y libre), solubilizarían de componentes minerales del suelo (casos por acción micorrítica), reducción de nitratos y sulfatos y la hidrólisis de la urea (SÁNCHEZ, 2007).

### **2.1.4. Fertilidad del suelo**

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (FASSBENDER, 1987). En tal sentido, la definición involucra a las características físicas del suelo tales como la textura, estructura, composición, profundidad y otras dependientes de estas como densidad, capacidad retentiva de humedad, aireación, porosidad, color, grado de erosión (LUIZÃO *et al.*, 2002 ; MINAG, 2011).

## 2.2. Macrofauna del suelo

Este grupo está integrado por los animales que tienen un ancho de cuerpo mayor a 2 mm (LINDEN *et al.*, 1994) y que pertenecen a distintos filos, clases y órdenes (Cuadro 6).

Cuadro 6. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna

Filo	Clase	Sub-Clase	Orden
Annelida	Clitellata	-	Oligochaeta
	Arachnida	-	Araneae
Arthropoda	Insecta	-	Coleóptera
			Díptera
			Hemíptera
			Hymenóptera
			Homóptera
	Crustacea	-	Isóptera
			Orthoptera
			Isópoda
	Myriapoda	-	Chilopoda
			Diplopoda
Nematoda	Adenophorea	-	Mermithida
Mollusca	Gasteropoda	-	

Operan en escalas de tiempo y espacio más amplias que los individuos más pequeños. La mayoría se caracteriza por tener ciclo biológico

largo (un año o más), baja tasa reproductiva, movimientos lentos y poca capacidad de dispersión (GASSEN, 1996 ; MORRIS, 2000). Desde el punto de vista de la alimentación incluye individuos que son herbívoros, detritívoros y depredadores (FEIJOO *et al.*, 2001 ; BROWN *et al.*, 2001).

A través de sus actividades físicas (mezcla del mantillo con el suelo, construcción de estructuras y galerías, agregación del suelo) y metabólicas (utilización de fuentes orgánicas disponibles, desarrollo de relaciones mutualistas y antagonistas) participan en muchos procesos. Al fragmentar las partículas, producir pelotas fecales, estimular la actividad microbiana, intervienen en el ciclo de la materia orgánica y de los nutrientes (LEE, 1985 y NAVARRO, 2003). Con la redistribución de la materia orgánica y de los microorganismos, la mezcla de suelo con partículas orgánicas y la producción de pelotas fecales causan mejoras en la agregación. También modifican la aeración e infiltración y la textura, a través de la construcción de galerías y traer a la superficie y mezclar suelo de las capas inferiores del perfil (LINDEN *et al.*, 1994).

Como resultado de la diversidad de estos organismos e intensidad de su actividad son participan de la distribución del agua en el perfil, el nivel de erosión, el crecimiento de las plantas y la emisión de gases a la atmósfera (CURRY y GOOD, 1992).

### 2.2.1. Grupos funcionales de la macrofauna

Para reducir la innata complejidad de la trama trófica del suelo han sido propuestas distintas clasificaciones de grupos funcionales (FAO, 2001). Una de ellas, quizás la más útil, es la que divide a la macrofauna del suelo de acuerdo al comportamiento alimenticio. Los herbívoros se alimentan de las partes vivas de las plantas, los depredadores de animales vivos y los detritívoros de la materia orgánica no viva de origen animal y vegetal, de los microorganismos asociados, de heces de vertebrados e invertebrados, así como también de compuestos producto del metabolismo de otros organismos (FAO, 2001; MOORE *et al.*, 2004).

Las interacciones bióticas entre estos grupos funcionales intervienen en la regulación de los procesos edáficos (TAPIA-CORAL, 1999). Cuando la complejidad de las mismas es grande, es muy probable que los efectos indirectos en la regulación de las funciones de los ecosistemas sean muy importantes (RODRÍGUEZ y CRESPO, 1999).

Como consecuencia de la herbivoría realizada por invertebrados se afecta la cantidad y calidad de recursos que ingresan al suelo y por lo tanto a los individuos detritívoros y depredadores (ZERBINO y MORÓN, 2003). A su vez la calidad y cantidad de los detritos que ingresan al sistema tienen gran importancia en la evolución y mantenimiento de la diversidad de los detritívoros, lo que afecta los ciclos de nutrientes y en consecuencia a los productores primarios y a los consumidores (herbívoros y depredadores)

(WARDLE *et al.*, 1999). Por otra parte, los depredadores pueden ejercer importantes efectos en la producción primaria neta y en la descomposición lo cual a su vez tienen implicancias a nivel de las comunidades y de los ecosistemas (DUBS *et al.*, 2004).

#### **2.2.1.1. Herbívoros**

Entre el 40% y 90% de la producción primaria neta corresponde a las partes subterráneas de las plantas y una alta proporción de la misma es consumida por los invertebrados herbívoros que habitan el suelo, los cuales en su mayoría son insectos (DUBS *et al.*, 2004). Los órdenes más importantes son: Coleoptera, Hymenóptera, Orthoptera.

Las especies fitófagas del orden coleóptera pertenecen a las familias Elateridae, Melolonthidae (Scarabaeoidea), Curculionidae y Chrysomelidae. Adultos y larvas son consistentes componentes de las comunidades. Una cantidad de individuos viven en la superficie y con vegetación baja, mientras que otros son verdaderos cavadores durante toda o parte de su ciclo de vida. La abundancia de estos insectos es muy variable de un ambiente a otro y de un ciclo anual al siguiente, lo cual dificulta su análisis cualitativo (CURRY y GOOD, 1992).

El orden Hymenóptera tiene una amplia distribución latitudinal y ocurre en los ecosistemas más extremos. Los integrantes de la Familia Formicidae son insectos sociales, los cuales tienden a ser más abundantes en bosques abiertos y secos y en pasturas no cultivadas (Stradling, 1978, citado

por CURRY, 1987). El tamaño de las colonias es variable, desde unas pocas docenas en las especies más primitivas a varios millones. Las hormigas cortadoras son consideradas los herbívoros más importantes de América del Sur (HILL, 2002).

La familia Gryllidae del orden Orthoptera se caracteriza porque sus integrantes tienen alimentación omnívora. Son habitantes de áreas con vegetación rastrera. Son eficientes cavadores, las ninfas y los adultos abren galerías en el suelo, formando montículos de tierra en la superficie. En las galerías almacenan material verde y permanecen durante el día, a la noche salen a la superficie a cortar hojas. Están presentes en gramíneas y leguminosas forrajeras y en cultivos en sistemas de siembra directa (ARAGÓN, 2003).

Los moluscos están en altas poblaciones en suelos húmedos. Las especies herbívoras pertenecen a los géneros *Milax*, *Limax*, *Deroceras* y *Arion*, pueden afectar seriamente el establecimiento de las leguminosas y pueden retrasar el comienzo del desarrollo de una pastura permanente en primavera (CURRY, 1987).

#### **2.2.1.2. Detritívoros**

A este grupo pertenecen un amplio rango de grupos taxonómicos, los más importantes son: Oligochaeta, Diplopoda, Isópoda, e insectos pertenecientes a los órdenes Coleóptera, Dictyóptera, Díptera e Isóptera. Los

individuos que ingieren detritos probablemente sean omnívoros no selectivos (WARDLE *et al.*, 1999 ; MORRIS, 2000).

En general los organismos que se alimentan de residuos, con excepción de Isóptera, tienen poca capacidad para producir cambios químicos en los residuos; el mayor efecto es el cambio físico a través de la disminución del tamaño de la partícula. Los individuos del orden Dictyóptera si bien ocurren en un amplio rango de hábitat y que abarcan desde desiertos a bosques, seleccionan los microambientes en base a preferencias ambientales muy particulares. Son poco abundantes, sedentarios y de movimientos lentos (BORROR y WHITE, 1970).

La mayoría de las larvas de Díptera que habitan en el suelo son saprófagas y están asociadas con acumulaciones de materia orgánica y de excrementos. Son escasas en suelos con bajo contenido orgánico. Los individuos que pertenecen al orden Isóptera son insectos sociales, que predominan en las zonas tropicales y subtropicales y son escasos o están ausentes en altas latitudes (CURRY y GOOD, 1992). Las colonias varían desde unos pocos cientos a varios millones de individuos. Los nidos son construidos con suelo, material vegetal, excreciones y saliva; pueden ser enteramente subterráneos o construir montículos. Requieren un alimento rico en polímeros como la lignina, celulosa y hemicelulosa (LAVELLE y SPAIN, 2001). Tienen relaciones de mutualismo sofisticadas con la microflora que permiten la descomposición de la celulosa. Construyen galerías en el suelo y transportan grandes cantidades de material orgánico desde la superficie a sus cámaras;

ambas actividades contribuyen significativamente en el ciclo de nutrientes. Durante la descomposición de sus alimentos producen metano (LAVELLE y PASHANASI, 1989).

Los crustáceos pertenecientes al orden Isópoda son integrantes consistentes en ambientes donde hay residuos en la superficie. Pueden vivir varios años. La diversidad de este grupo es limitada y no se encuentran más de 4 o 5 especies. La mayoría de ellos son altamente susceptibles a la pérdida de agua por lo que están restringidas a hábitats húmedos. Las densidades son particularmente bajas en suelos ácidos, con humus tipo mor o en sitios donde ocurren heladas y sequías (CURRY y GOOD, 1992). Se alimentan de material vegetal muerto y en algunas situaciones pueden ingerir excrementos, restos animales y material vegetal vivo. Los individuos que pertenecen a la clase Myriapoda Sub-clase Diplopoda son saprófagos que tienen una función importante en la fragmentación y descomposición de los residuos. Algunas especies pueden causar daño en plántulas de cultivos (LAVELLE y PASHANASI, 1989; LUIZÃO *et al.*, 2002).

Los integrantes del orden Oligochaeta transforman el material orgánico en humus y consumen por día una cantidad de alimento equivalente al peso de su cuerpo. La digestión es mediada por una mezcla de enzimas producidas en la pared del tracto digestivo y por la microflora del suelo que ingirieren. Son poco móviles, en condiciones de exceso de agua salen a la superficie y colonizan ambientes más favorables. Las actividades antrópicas han sido una de las principales responsables de su dispersión (LINDEN *et al.*,

1994, LAVELLE y SPAIN, 2001). En base a su tamaño, tipo de alimentación y habilidad de cavado se clasifican en tres grupos eco fisiológicos: epigeas, anécicas y endógeas.

Las especies epigeas viven y se alimentan de materiales orgánicos frescos y son importantes en la fragmentación de los residuos, no son cavadoras. Presentan pigmentación en todo el cuerpo. Son eficientes composteras pero no impactan en la estructura del suelo. Son estrategias típicos y predominan en las zonas frías (McGEOCH y CHOWN, 1998).

Las anelidas viven en galerías verticales semipermanentes. Se alimentan de los residuos superficiales que los mezclan con suelo. Salen por la noche para obtener el alimento. Depositán coprolitos en la superficie. Presentan pigmentación anterodorsal. Son consideradas estrategias. Modifican los regímenes de agua y gases del suelo. Pueden ser la biomasa dominante en pasturas fértiles de zonas templadas. Ejemplo de ellas son *Lumbricus terrestris* y *Aporrectodea longa* (LAVELLE y SPAIN, 2001).

El tercer grupo lo componen las endógeas. Están concentradas en los 10 cm superiores del suelo y viven en túneles horizontales no permanentes alrededor de las raíces. Se alimentan de material vegetal en descomposición y de materia orgánica del suelo. Son responsables de grandes cambios en la estructura física del suelo, su actividad tiene importantes efectos en la agregación y estabilización de la materia orgánica (LAVELLE y SPAIN, 2001). Se encuentran entre 10 y 15 cm de la superficie del suelo. Especies que

pertenecen a este grupo son *Aporrectodea caliginosa*, *Allobophora clorotica* y *Allobophora rosea*. Finalmente, las oligohúmicas viven en profundidad en sitios pobres de recursos, son muy grandes y tienen movimientos muy lentos. Están restringidas a suelos calientes de las sabanas húmedas (McGEOCH y CHOWN, 1998).

El predominio de un grupo ecológico está determinado por un conjunto de factores ambientales, la temperatura es el principal, seguido de la disponibilidad de recursos (riqueza de nutrientes) y de la variación estacional de la humedad. A escala mundial hay un claro gradiente termo-latitudinal, es decir que en ambientes naturales la densidad media de la población tiende a incrementarse desde las áreas templadas frías a los trópicos. Por su parte, la biomasa se incrementa desde ambientes fríos a templados y disminuye nuevamente hacia latitudes tropicales (LUIZÃO *et al.*, 2002). En las zonas templadas, en otoño y primavera se registran picos de abundancia y actividad, lo que refleja las condiciones favorables de temperatura, humedad y suministro de alimento (CURRY y GOOD, 1992).

### **2.2.1.3. Depredadores**

Este grupo funcional está integrado por individuos pertenecientes a las clases Arachnida, Chilopoda y Nematoda Mermithidae e insectos de los órdenes Coleóptera, Hemíptera e Hymenóptera. Los integrantes del Orden Araneae pueden representar la mitad de los depredadores de un

agroecosistema. Son tan eficientes, que los cambios en la densidad afectan a las poblaciones de organismos considerados plaga (SÁNCHEZ, 2007).

Los individuos que pertenecen a Nematoda Mermithidae, después de la emergencia buscan al huésped en el cual penetran a efectos de nutrirse y lo abandonan antes de la última muda o después de esta y en su vida libre no se alimentan. Su presencia está registrada en insectos que pertenecen a los órdenes Orthoptera, Coleóptera, Lepidóptera y Díptera (BENTANCOURT y SCATONI, 2001).

### **2.2.2. Relaciones macrofauna hábitat**

Los procesos del suelo están sometidos a una jerarquía de determinantes que operan en escalas anidadas de tiempo y espacio. El clima, seguido por las propiedades del suelo opera en las grandes escalas, los cuales fuerzan a las comunidades de plantas, que determinan la calidad y cantidad de los ingresos orgánicos del suelo, a los macroinvertebrados y a los microorganismos que operan en escalas locales. Por otra parte, a nivel local la composición y distribución de las comunidades son afectadas por factores tales como la disponibilidad de recursos, las condiciones micro climáticas, la fertilidad y estructura del suelo (CORREIA y OLIVEIRA, 2000). Sin embargo, las retroacciones (“feed back” o “botton up”) existen y los determinantes de los niveles bajos de la jerarquía pueden afectar a los de los niveles altos. Esta jerarquía no tiene por qué ser totalmente operacional en escalas locales (LAVELLE, 2002).

### **2.2.2.1. Clima**

El clima ha sido el factor que ha tenido mayor efecto en los procesos de evolución de largo plazo, determinando la estructura y características de las comunidades vegetales y la distribución y abundancia de los invertebrados (CURRY y GOOD, 1992). La diversidad y la actividad de muchos grupos están severamente restringidas a determinados climas. Mientras que las termitas tienen una distribución tropical-subtropical, las lombrices son características de regiones templadas (LAVELLE, 2002).

Las variaciones micro climáticas asociadas a la estructura y densidad de la vegetación y a la presencia de residuos, afectan considerablemente la distribución de los invertebrados dentro de la pastura y su persistencia durante adversidades climáticas (CURRY y GOOD, 1992). Las variaciones estacionales inducen a movimientos verticales (LAVELLE y SPAIN, 2001).

### **2.2.2.2. Características del suelo**

Las propiedades físicas y químicas del suelo afectan a la fauna que lo habita de manera directa por el contenido de materia orgánica y de humedad, el pH, la estructura del suelo y la aireación y de forma indirecta, a través del efecto que tienen sobre la vegetación (CURRY y GOOD, 1992). La densidad de Coleóptera y Oligochaeta tiene una relación positiva con el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total (CLAPPERTON, 2000; ZERBINO y MORÓN, 2003). Suelos ricos en bases, con buen drenaje, donde

la materia orgánica está distribuida en el perfil (“mull”) soportan altas densidades de lombrices, mientras que en aquellos que tienen contenidos discretos de materia orgánica (“mor”) la fauna está representada por pequeños artrópodos y enquitreidos que habitan la superficie (LAVELLE y SPAIN, 2001).

DECÄENS *et al.* (2001) en Colombia, encontraron que suelos con contenidos altos de limo (63%), Mg (0.2 mEq/100 g) y K (0.1 mEq/100g) tenían altas poblaciones y riqueza taxonómica de macrofauna; mientras que Myriapoda, Cicadidae, Dictyóptera, Isópoda tuvieron grandes biomásas; Oligochaeta, Formicidae, Isóptera y Myriapoda estuvieron presentes en altas densidades. ZERBINO y MORÓN (2003) registraron que la riqueza taxonómica total y la abundancia de Coleoptera y Oligochaeta aumentaron positiva y significativamente con el incremento del contenido de Potasio en el suelo.

La estructura del suelo determina la distribución de la fauna. Existe una clara y positiva relación entre el número y tamaño de los poros y el tipo de animales que lo habitan. Los grandes invertebrados ocupan los poros del suelo llenos de aire. Si bien las preferencias en cuanto a pH son variadas, la mayoría de los organismos evitan los suelos ácidos. Esta propiedad tiene una fuerte dependencia con el material parental, pero el tipo de vegetación y los procesos de descomposición ejercen efectos sobre ella. (HENDRICKS, 1985).

En general los organismos edáficos prefieren los ambientes húmedos. En condiciones de déficit de agua se trasladan a partes más profundas del perfil y se distribuyen en forma más agregada. El contenido de

humedad es tan importante que en suelos con contenidos de nutrientes muy bajos pero con adecuados tenores de humedad, las densidades poblaciones de la macrofauna son considerablemente superiores que en suelos ricos en nutrientes pero más secos (LUIZÃO *et al.*, 2002).

### **2.2.2.3. Prácticas de manejo**

Desde el momento que un sistema natural es modificado para desarrollar actividades agrícolas, los mayores cambios ocurren en las propiedades del suelo y en la abundancia, biomasa y diversidad de la biota del suelo. Las comunidades presentes van a estar determinadas por la intensidad del cambio inducido respecto al ecosistema natural y por la habilidad de los organismos para adaptarse a esos cambios (BROWN *et al.*, 2001).

La macrofauna responde al manejo (secuencia de cultivos, manera de preparación del suelo, ingreso de materia orgánica fresca, etc.) como resultado de las perturbaciones físicas que se producen, de la manera de distribución de los residuos y de la comunidad de plantas presentes (WARDLE *et al.*, 1999; LAVELLE y SPAIN, 2001).

El método de preparación del suelo, comparado con otras prácticas de manejo (rotación, fertilización, uso de agroquímicos, etc.) es el que tiene los mayores efectos en la distribución y abundancia de artrópodos (BROWN *et al.*, 2001 y FEIJOO *et al.*, 2001).

La siembra directa, como resultado de la falta de movimiento y la presencia de rastrojo en superficie, modifica fundamentalmente el ambiente de la parte más superficial del perfil. El contenido de materia orgánica aumenta, la estructura mejora, la capacidad de almacenar agua es mayor y las variaciones de la temperatura del suelo disminuyen (AQUINO *et al.*, 2000). Los residuos en superficie benefician a los invertebrados de varios modos: son fuente de alimento, brindan hábitat y contribuyen a estabilizar el microclima del suelo (FAO, 2002). El ambiente que se crea favorece a los organismos cavadores, en particular a las lombrices, a los depredadores y a los individuos saprófagos (BROWN *et al.*, 2001). Con respecto a los herbívoros el comportamiento es variable, algunos encuentran un ambiente más favorable que permite que se desarrollen poblaciones importantes y otros son indiferentes a esta tecnología. Son suelos biológicamente más activos y diversos que los que se encuentran en laboreo convencional y que tienen mayor capacidad de proporcionar nutrientes (CLAPPERTON, 2000).

El efecto de la vegetación debe ser analizado de dos maneras, en función de la variación espacial y temporal. El tipo, la riqueza de especies vegetales y su manejo tienen efecto sobre la macrofauna del suelo (DUBS *et al.*, 2004), porque determina los recursos disponibles y afecta las interacciones entre los herbívoros, sus controladores y los detritívoros (MOORE *et al.*, 2004). Cuando la cobertura vegetal es diversa, como es el caso de las pasturas o del campo natural, el mantillo es más heterogéneo y como consecuencia hay un incremento de los recursos a ser colonizados, lo que determina un aumento de la diversidad de la fauna del suelo (FAO, 2002).

En pasturas mejoradas, donde coexisten varias especies vegetales, las comunidades de macroinvertebrados se caracterizan por su alta biomasa y riqueza taxonómica (ACEVEDO *et al.*, 2000; DECÄENS *et al.*, 1994). Se pueden desarrollar agrupaciones más diversas que en el ecosistema original como consecuencia de que se suma el restablecimiento de la fauna nativa a las especies exóticas (WARDLE, *et al.*, 1999). Sin embargo, las termitas tienden a disminuir la densidad poblacional desde la pastura natural a la mejorada (DĚCAENS *et al.*, 2001). Esto es debido a que son sensibles a las perturbaciones y la estructura de la comunidad vegetal afecta la riqueza (LAVELLE y SPAIN, 2001).

En sistemas de cultivos anuales intensivos se puede producir un progresivo deterioro de la materia orgánica y de la estructura del suelo con un aumento de la compactación; como resultado hay una reducción marcada en la complejidad y estabilidad de la comunidad biológica del suelo (CURRY y GOOD, 1992). La fauna original desaparece, las comunidades son menos abundantes y diversas, las poblaciones de depredadores disminuyen y aumenta la probabilidad del desarrollo de poblaciones importantes de organismos plaga. Esto ha sido reportado para un amplio rango de ambientes templados y en una gran variedad de cultivos (arroz, maíz, soja) (LEE, 1985).

En relación a la variación temporal de las especies vegetales, ACEVEDO *et al.* (2000), estudiaron conjuntamente los efectos del laboreo y de las secuencias de cultivos y pasturas. Estos autores encontraron que el agrupamiento de los tratamientos se dio en dos niveles; el primero fue por la

preparación del suelo, en tanto que las rotaciones produjeron un agrupamiento secundario. La diversidad de la fauna fue más favorecida cuando había alternancia de cultivos y pasturas.

En Colombia, en sistemas agrícolas con alto ingreso de insumos se produjo una dramática disminución de la riqueza, densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo, lo cual se atribuye al uso de agroquímicos, a la reducción en la producción de raíces y a la modificación en el microclima del suelo luego de la desaparición de la vegetación natural (DECÄENS *et al.*, 2001).

Las lombrices son los organismos sobre los que más se ha evaluado el efecto de las rotaciones. Generalmente las poblaciones son más abundantes y tienen mayores biomásas en rotaciones de cultivos y pasturas que en agricultura continua (LAVELLE y SPAIN, 2001). La explicación estaría en que las pasturas cultivadas producen un mantillo de alta calidad y hay un mayor aporte de materia orgánica lo que favorece su actividad. TIAN *et al.* (1993) encontraron que el número de lombrices disminuye en forma lineal con la relación lignina/nitrógeno. Altas poblaciones de la lombriz de tierra *L. terrestris* están relacionadas a la presencia de residuos con alto contenido de nitrógeno y azúcares.

El pastoreo es otra práctica que afecta a los macroinvertebrados del suelo. Los efectos son causados a través del corte de la vegetación, del pisoteo y por la presencia de heces (MORRIS, 2000). Existen diferencias según

el tipo de ganado, en la manera y selectividad con que es cortada la vegetación y la presión que realizan en el suelo (SÀNCHEZ, 2007).

En general un incremento de la intensidad del pastoreo es acompañado por una disminución de la diversidad de la fauna que habita el suelo, como consecuencia de la simplificación de la vegetación y de la desaparición de la capa de residuos (CURRY y GOOD, 1992; MORRIS, 2000).

En vegetación de sabanas, el sobrepastoreo no afectó la densidad y biomasa totales de la macroinvertebrados del suelo, pero redujo la riqueza. Con el aumento de la carga animal los coleópteros fueron más abundantes, probablemente debido al incremento en la cantidad de excrementos (DECÄENS *et al.*, 1994).

CASTRO *et al.* (2007) determinó que una pradera de *L. multiflorum* y el bosque secundario presentaron los mayores valores de abundancia de lombrices (5.648 y 4.864 ind. m<sup>-2</sup>) y biomasa (141.3 y 670.7 g.p.f.m<sup>-2</sup>), mientras que en la pradera de *P. clandestinum* abundaron los ácaros (2.768 ind. m<sup>-2</sup>) con una biomasa de 0.22 g. p. f m<sup>-2</sup>. En todos los usos del suelo la mayor abundancia de organismos y biomasa se presentó en la profundidad de 0 – 10 cm.

### **2.3. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo**

La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza

holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos, Por ejemplo, el test de conductividad eléctrica (CE) para salinidad puede no ser útil en sectores, donde la salinidad no es un problema (DORAN y SAFLEY, 1997).

El mejoramiento de la calidad de un suelo se percibe, en general, por el aumento o disminución en el valor de algunas características. Por ejemplo, puede incrementarse la tasa de infiltración o de aireación, debido a un aumento de la cantidad de macro poros, a un mayor tamaño y estabilidad de los agregados y una mayor cantidad de materia orgánica. Pero pudiesen reducirse la densidad aparente, la resistencia a la labranza, el crecimiento radical, la tasa de erosión y la pérdida de nutrimentos (CARBAJAL y BALCAZAR, 1999).

### **2.3.1. Taxonomía de la cocona**

La cocona se desarrolla en climas tropicales y sub tropicales, al este de los andes entre los 600 m a 2100 m,s,n,m. Resiste altas temperaturas y se cultiva de preferencia en suelos sueltos. En nuestra selva amazónica, presenta grandes perspectivas para su cultivo comercial y su posible industrialización. En nuestra Amazonía, hay gran variedad de cocona, sin embargo, todas se desarrollan en estado semi-silvestre, porque en realidad ésta planta frutal, no es cultivada comercialmente en nuestro medio, sino que,

aparecen en las purmas o primero estados de las sucesiones secundarias (CARBAJAL y BALCAZAR, 1999).

### 2.3.1.1. Clasificación botánica

Nombres científico	: <i>Solanum sessiliflorum</i> .
Reino	:Plantae
División	:Magnoliophyta
Clase	:Magnoliopsida
Orden	:Solanales
Familia	:Solanaceae
Subfamilia	:Solanoideae
Género	:Solanum
Especie	: <i>S. sessiliflorum</i>
Nombre común	: Cocona

### 2.3.2. Fisiología y fenología de maíz

El maíz se adapta a diferentes suelos prefiere pH comprendido entre 6 y 7 pero se adapta a condiciones más bajas y más elevadas e incluso se da en terrenos calizos, siempre que el exceso de cal no implique el bloqueo de micro elementos, es una planta dotada de una amplia respuesta a las oportunidades que ofrece el medio ambiente, lo que le convierte en el cereal más eficaz como productor de grano (SÁNCHEZ, 1983).

### 2.3.2.1. Clasificación botánica (SÁNCHEZ, 1983).

Nombres científico	: <i>Zea mays</i> L.
Reino	: Vegetal
Clase	: Monocotiledónea
Orden	: Columifloras
Familia	: Graminae
Subfamilia	: Panicoideae
Género	: <i>Zea</i>
Especie	: <i>Zea mays</i> L.
Nombre común	: Maíz

### 2.3.3. Taxonomía del cacao

La temperatura promedio mensual para el cultivo de cacao comprende una mínima de 15 °C y una máxima de 30 °C quedando el valor óptimo un promedio entre ambos. La temperatura promedio anual, representativa del cultivo de cacao en las diferentes zonas de producción del mundo, es de 24.5 °C a 25.5 °C (CUATRECASAS, 1964).

#### 2.3.3.1. Clasificación botánica (CUATRECASAS, 1964)

Nombres científico	: <i>Theobroma cacao</i> L.
Reino	: Vegetal
Sub-reino	: Embriophyta
Tipo	: Espematofitas

Sub tipo	: Angiospermas
Clase	: Dicotiledónea
Sub-clase	: Dialipetales
Orden	: Malvales
Familia	: Malvaceae
Género	: Theobroma
Especie	: <i>Theobroma cacao</i>
Nombre común	: Cacao

#### **2.4. Indicadores de la calidad del suelo**

La elección de un indicador debe ser realizada para situaciones locales específicas (ELLIOT, 1997) 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 eco sistémicos, 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 y ser sensibles a las variaciones de manejo y climáticas.

Cambios en la abundancia, diversidad o actividad de morfo especies 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 (HILL, 2002).

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 agro ecosistemas perturbados por el laboreo, la cosecha de pasto y el pastoreo (LINDEN *et al.*, 1994).

Las especies cuya presencia o abundancia reflejan alguna característica del hábitat dentro del cual se encuentran, pueden ser consideradas como bioindicadoras. 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).

## 2.5. Investigaciones realizadas

PASHANASI (2001), evaluó la comunidad de macro-invertebrados del suelo en 22 sistemas de uso del suelo en las zonas de Yurimaguas y Pucallpa. Se separaron, manualmente, 10 muestras por sistema de uso de 25 cm x 25 cm x 30 cm durante la estación lluviosa.

El bosque primario, no intervenido e intervenido, tiene una diversidad muy rica. Asimismo, su densidad (382 a 853 individuos/m<sup>2</sup>) y su biomasa, dominada por oligochaetas, isópteras y miriápodos (57.8 a 91.1 g de peso fresco/m<sup>2</sup>), son bastante altas. Los cultivos de esta comunidad, cuya densidad es de 362 a 574 individuos/m<sup>2</sup> y cuya biomasa es de 5.1 a 32.4 g de peso fresco/m<sup>2</sup>, se encuentran severamente agotados. Las pasturas tienen baja diversidad. La densidad de su población varía en un rango de 654 a 1,034 individuos/m<sup>2</sup>. Su biomasa es tan alta como de 38.4 a 165.9 g peso fresco/m<sup>2</sup>, debido a la colonización de la lombriz peregrina, *Pontoscolex corethrurus*. En las purmas, la densidad poblacional está en un rango de 334 a 838 individuos/m<sup>2</sup>; mientras que la biomasa varía entre 4.2 y 102 g de peso fresco/m<sup>2</sup>. Cabe destacar que, en algunos casos, la riqueza taxonómica es mayor que la del bosque primario (PASHANASI, 2001). Finalmente, los sistemas agroforestales con cobertura de leguminosas tienen la más alta diversidad. Lo contrario ocurre en los sistemas con cobertura de malezas que están por debajo del bosque secundario. Su densidad poblacional se encuentra en un rango que va desde 557 hasta 2,896 individuos/m<sup>2</sup>, mientras que su biomasa varía entre 18.5 y 170.5 g peso fresco/m<sup>2</sup>, debido a la conservación de

gran parte de la fauna del bosque primario que, además, es colonizada por especies oportunistas de terrenos disturbados (miriápodos, oligochaetas e isópteras).

ACEVEDO *et al.* (2000) evaluaron efecto de la labranza en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La intensificación de la agricultura con prácticas tradicionales de labranza, que incluyen inversión del suelo, tiene como efecto la disminución de la materia orgánica del suelo. La cero labranza, con residuos sobre la superficie del suelo, sube el contenido de materia orgánica de éste afectando positivamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas y por lo tanto, su productividad. La labranza tradicional con inversión de la capa superficial del suelo, ayuda al control de malezas y formación de una cama de semillas, sin embargo, expone el suelo a la erosión hídrica y eólica y a la oxidación acelerada (quema) de su materia orgánica. El balance de carbono del suelo en condiciones de labranza tradicional resulta negativo. La productividad del suelo aumenta o disminuye de acuerdo a su contenido de carbono orgánico.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción de la zona en estudio

##### 3.1.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación de la evaluación de macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso, se realizó en tres parcelas con diferentes tipos de cultivos agrícolas: cacao (*Theobroma cacao*), cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) y maíz (*Zea mays* L.), y una parcela de bosque secundario, y estas se encuentran ubicados en el sector Palmeras y Pacota, que políticamente pertenecen a la ciudad de Progreso, del distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache, región San Martín (Figura 15 del anexo).

Cuadro 7. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio

Zona de estudio	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
Parcela de cacao	363794	9073652	623
Parcela de cocona	361727	9072737	579
Parcela de maíz	362550	9072379	590
Bosque secundario	361599	9072602	576

Fuente: Elaboración propia

### **3.1.2. Zona de vida**

HOLDRIDGE (1986), establece en su diagrama bioclimático que ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida; el distrito de Nuevo Progreso presenta formaciones vegetales de bosque húmedo - Tropical (bh – T).

### **3.1.3. Clima**

La precipitación promedio en el año 2013 fue 1900 mm y en el año 2014 de 2000 mm, temperatura media mensual 28 °C con leves descensos en los meses de junio, julio y agosto con oscilación media de 5 °C con respecto a la media anual y humedad relativa 75%.

### **3.1.4. Vegetación**

Presenta una vegetación típica de bosque secundario, donde predominan las especies de cético *Cecropia sp.*, *Atadijo*, *Ocroma sp.* y bosques cubiertos de densa vegetación arbórea. Asimismo la influencia de régimen hídrico, la cantidad de nutrientes, la fauna, la vegetación favorece un microclima especial para el desarrollo de la cubierta vegetal, razón por la cual, dentro del bosque las temperaturas son más moderadas.

### **3.1.5. Suelos**

Presentan suelos de colina con aptitud para cultivos en sistemas agroforestales, así como suelos de las terrazas bajas son medianamente

profundos y de buena fertilidad para cultivos permanentes: cocona, arroz, pastos, plátanos, cacao y palmas y suelos hidromorficos o aguajales pobres en drenaje y aireación con espacios donde se puede realizar actividades piscícolas y turísticas, protegiendo estos humedales, aguajales y renacales.

### **3.1.6. Accesibilidad**

El acceso a la zona es a través de la vía terrestre (carretera Fernando Belaunde Terry), Tingo María - Nuevo Progreso con un recorrido de 120km, aproximadamente 2.0 horas en moto lineal, luego pasando el puente que cruza el rio Uchiza y por un desvío de la carretera con dirección hacia el norte hacemos un recorrido de 18 km de carretera afirmada, aproximadamente en 20 minutos, para llegar a la zona de trabajo.

### **3.1.7. Descripción de los sitios de muestreo**

#### **3.1.7.1. Parcela de cacao (*Theobroma cacao* L.)**

Parcela de 4 años de uso, con un área de 2.0 ha, y un distanciamiento de 3m x 3m, con pendiente de 5% y humedad relativa de 70%. Tiene un manejo orgánico y están asociados a especies de caoba (*Inga edulis*) y cedro (*Cedrela odorata*).

### **3.1.7.2. Parcela de maíz (*Zea mayz L.*)**

Cultivo de maíz de 3 meses de edad con un área de 0.5 ha y una humedad relativa de 70%. El terreno presenta una pendiente de 3%. No se realizó la quema para la instalación del cultivo de maíz.

### **3.1.7.3. Cocona (*Solanum sessiliflorum*)**

Cultivo de cocona en producción, con un área de 0.5 ha., con un distanciamiento de 0.8m x 1.0 m, presenta una pendiente de 4% y una humedad relativa de 70%.

### **3.1.7.4. Bosque secundario**

Bosque intervenido con 10 años de recuperación, con una pendiente de 4% y una humedad relativa de 62.7%. Presenta vegetación arbórea con porte bajo a medio como son: cético (*Cecropia sp.*), moena (*Aniba sp.*), moena amarilla (*Aniba amazonica* Meiz), moena alcanfor (*Aniba gigantiflora*), palta (*Persea sp.*), cumala (*Virola flexuosa*), tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), carrizo (*Phragmites australis*), entre otros.

## **3.2. Materiales, insumos y equipos**

### **3.2.1. Materiales y herramientas**

Wincha de 50 m y 5 m, libreta de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg., machete marca Gavilán, pala recta o cuchara, papel secante, placa petri, pinza, envase de plástico, cilindro y cuadrado muestreador.

### **3.2.2. Equipos de campo**

Geotermómetro de suelo, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS marca Garmin), eclímetro y penetrómetro.

### **3.2.3. Equipos de laboratorio**

Balanza analítica de precisión, balanza digital, estufa whirlpool, lupa y estereoscopio de espejos.

### **3.2.4. Reactivos**

Agua destilada, alcohol etanol con pureza de 96<sup>º</sup> y formol o formaldehído.

## **3.3. Tipo y nivel de investigación**

### **3.3.1. Tipo de la investigación**

Es descriptivo, correlacional - causal

### **3.3.2. Nivel de la investigación**

El nivel de la investigación fue probabilístico debido a que se realizó un muestreo al azar que permitió obtener datos representativos.

### **3.3.3. Método de la investigación**

El método de la investigación fue descriptivo – comparativo, explicativo, debido a que se realizó una descripción y se comparó los diferentes sistemas de uso del suelo, y explicativo por que se aplicó la relación causa – efecto entre la variable independiente y dependiente.

### **3.3.4. Diseño de la investigación**

El diseño que se empleó en la investigación es de tipo transversal, porque los datos fueron recolectados en un solo momento, mediante un muestreo y análisis de suelo, evaluación de la compactación, densidad aparente y la macrofauna existentes en estas parcelas, siguiendo la metodología propuesta por (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006), por un periodo de seis meses.

## **3.4. Variables en estudio**

Las variables en estudio a evaluar fueron los parámetros físicos, químicos y biológicos los cuales se detallan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo

<b>Parámetros físicos</b>	<b>Método de su determinación</b>
Textura del suelo	Método del hidrómetro de bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Temperatura del suelo	Método directo (geotermómetro)
Resistencia del suelo	Método directo (penetrómetro)
<b>Parámetros químicos</b>	
Materia orgánica	Método de Walkley y Blakc
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
<b>Parámetros biológicos</b>	
Densidad de la macrofauna	Método directo por conteo (ind./m <sup>2</sup> )
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo (g/m <sup>2</sup> )
Diversidad de especies	Indices de Shannon – Winner (H')

### **3.5. Metodología**

#### **3.5.1. Coordinación y ubicación de los sitios de muestreo**

Se realizó visitas directas a las parcelas de los propietarios: Rubén Rocino Huayta (parcela de cultivos de maíz), Marco Cueva Reaño (parcela de cultivos de cocona y de bosque secundario), y Juan Álvarez Jesús (parcela de cultivos de cacao), las visitas fueron con la finalidad de coordinar para el recorrido y reconocimiento preliminar de las parcelas y determinar la fecha de evaluación y los muestreos de suelo.

#### **3.5.2. Identificación de sitios de muestreo**

Se identificó cuatro parcelas, las mismas que se georreferenciaron en coordenadas (UTM). Las parcelas seleccionadas correspondieron a parcelas con cultivos de cacao, maíz, cocona y parcelas de bosque secundario. Las condiciones de los días de muestreo fueron los días soleados, a intervalos de las horas 9.00 am a 3.00 pm

#### **3.5.3. Muestreo de suelos**

Para el muestreo procedimos a tomar las submuestras. Para ello se realizó un recorrido en zig – zag, se tomó 20 submuestras por cada uso. En cada lugar de muestreo se limpió un área de 30x30 cm y luego con una pala realizamos un hueco en forma de “V”; de un lado del hueco tomamos una tajada. Luego de tener todas las submuestras mezclamos para homogenizar y

tomamos un kilogramo, luego fueron colocadas en bolsas plásticas y rotuladas con una hoja informativa, se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis físico y químico.

#### **3.5.4. Muestreo de la fauna edáfica del suelo**

La metodología empleada para la macrofauna del suelo fue similar a la usada por VARGAS y VALDIVIA (2005), en la cual los puntos de muestreo se determinaron a través de un plan de muestreo sistemático, para el cual se diseñó un transecto en línea recta de 40m y se obtuvo monolitos a intervalos de 10 m, haciendo un total de cinco monolitos por parcela (Figura 1).

De igual manera para la evaluación de la diversidad de fauna edáfica del suelo, se tomaron cinco (05) muestras por tratamiento a diferentes niveles de profundidad (hojarasca, 0 – 10 cm, de 10 – 20 cm y de 20 – 30 cm), empleando un cuadrado muestreador de 0.25mx0.25mx0.10m, método recomendado por el Programa Tropical Soil Biology And Fertility – TSBF (Anderson e Ingram, 1993, citado por PASHANASI, 2001). Los organismos fueron identificados por unidades taxonómicas (clases y órdenes) en el laboratorio de entomología. La densidad fue medida en individuos/m<sup>2</sup> y la biomasa en gramos de peso fresco/m<sup>2</sup>.

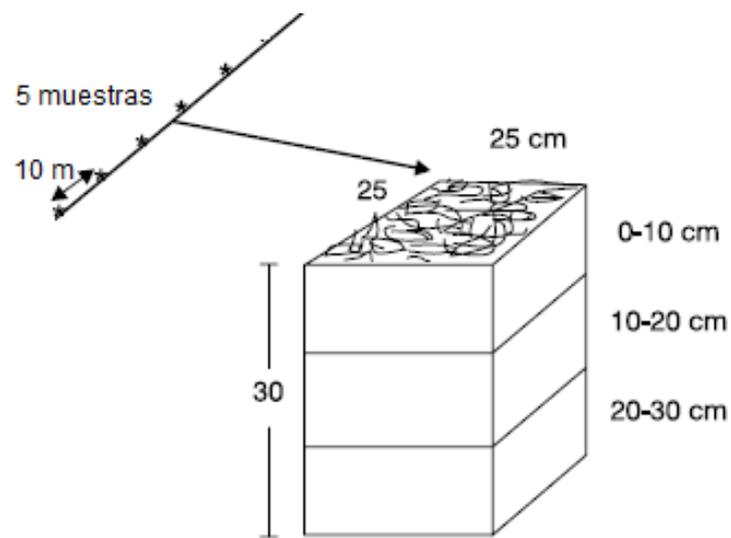


Figura 1. Esquema del plan de muestreo

### 3.5.5. Metodología de conteo y estructura de la comunidad del suelo

El conteo de la fauna edáfica se realizó in situ y se depositó en soluciones de alcohol al 80% para insectos de cuerpo endurecido y en formol del 4% hasta 10% las larvas e insectos de cuerpo no endurecido. Se cuantificó la biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) y densidad ( $\text{individuos/m}^2$ ) de todos los macro invertebrados por medio de estereoscopio y una balanza de precisión. Los valores de biomasa fueron multiplicados por un valor de corrección (19% para las lombrices, 9% hormigas, 11% escarabajos, 6% arañas y 13% para el resto de macro invertebrados) debido a la pérdida de peso durante la fijación en alcohol y formol (DECAENS *et al.*, 2001).

Mediante las claves de identificación, se determinó el grupo taxonómico, se contabilizó el número de individuos de cada unidad taxonómica por monolito, se sumó el total de individuos por taxón y calculó el porcentaje de

abundancia o densidad relativa promedio de cada unidad taxonómica en cada sistema de suelo.

$$\text{DRM} = \frac{\text{Sumatoria de monolitos}}{\text{Total de monolitos}}$$

Dónde: DRM= Densidad relativa por monolito

$$\% \text{ Frecuencia} = \frac{\text{Sumatoria de densidades}}{\text{Número de unidades taxonómicas}}$$

Número de unidades taxonómicas

### **3.5.6. Metodología para determinar las variables en estudio**

#### **3.5.6.1. Densidad aparente**

Ubicado los puntos de muestreo se realizó la limpieza de un área de 40 cm x 40 cm de lado, luego se introdujo el cilindro metálico con ayuda de un martillo y en dirección vertical al suelo, hasta cubrir su totalidad; posteriormente, se retiró el cilindro con la muestra de suelo, luego se enrazó con una navaja y se llevó al laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables. En este último, se registró las medidas y se pesó el cilindro, y el peso fresco de suelo; posteriormente, se colocó la muestra de suelo en estufa a 105 °C por un lapso de 72 horas y se registró el peso seco del suelo.

$$\text{Densidad aparente} \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen del suelo}}$$

### **3.5.6.2. Resistencia del suelo**

Se ubicó los puntos de muestreo y luego se introdujo el penetrómetro en dirección vertical al suelo y posteriormente se registró los datos.

### **3.5.6.3. Temperatura del suelo**

Se ubicó los puntos de muestreo y se colocó el termómetro sobre el ras del suelo y se registró los datos.

### **3.5.6.4. Textura y parámetros químicos del suelo**

La textura y parámetros químicos del suelo fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, teniendo en cuenta la metodología indicada en el Cuadro 8.

### **3.5.6.5. Densidad de macrofauna**

Dado que para cada muestreo se utilizó un cuadrado de 25 cm x 25 cm de lado, lo que representa  $0.0625 \text{ m}^2$  o  $1/16 \text{ m}^2$ , los datos de cada punto de muestreo fueron multiplicados por un factor de 16, esto es con la finalidad de obtener las unidades en número de individuos por  $\text{m}^2$  (ind/ $\text{m}^2$ ) (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

### 3.5.6.6. Biomasa de macrofauna

Al igual que en la densidad, los datos (pesos) de cada punto de muestreo fueron multiplicados por el factor de 16 para obtener las unidades de gramos por m<sup>2</sup> (g.m<sup>2</sup>) (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

### 3.5.6.7. Índice de diversidad de macrofauna

Para determinar el índice de diversidad de especies se utilizó las fórmulas de Simpson y de Shannon Wiener.

#### 3.5.6.7.1. Riqueza de la diversidad biológica alfa

Las variables de estudio que se evaluaron fue: el índice de diversidad alfa (Shannon - Wiener (H')):

#### Índice de diversidad de Shannon - Wiener (H')

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Dónde :  $p_i = \frac{n_i}{N}$

S = Número de especies o unidades taxonómicas

Ln= Logaritmo natural

n<sub>i</sub> = Abundancia de género i

N = Abundancia total de los géneros =  $\sum n_i$

### 3.6. Análisis de datos

Para la interpretación de los análisis de suelo, se tomó en cuenta los rangos de interpretación emitidos por el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Las variables evaluadas fueron: textura (arena, limo y arcilla), pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio.

Para el análisis estadístico se ha asumido un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial de la forma 4A\*3B (PATRÓN, 1996), para ello se hizo uso del SPSS V.19. Asimismo, para determinar la relación entre los diferentes sistemas de uso de suelo y sus profundidades, se utilizó la prueba Duncan a un 95% de confiabilidad.

Cuadro 9. Combinaciones entre niveles de cada factor en estudio

Profundidad de muestreo (cm)	Sistema de uso			
	Cacao (A <sub>1</sub> )	Maizal (A <sub>2</sub> )	Cocona (A <sub>3</sub> )	Bosque secundario (A <sub>4</sub> )
0 – 10 (B <sub>1</sub> )	(A <sub>1</sub> *B <sub>1</sub> )	(A <sub>2</sub> *B <sub>1</sub> )	(A <sub>3</sub> *B <sub>1</sub> )	(A <sub>4</sub> *B <sub>1</sub> )
10 – 20 (B <sub>2</sub> )	(A <sub>1</sub> *B <sub>2</sub> )	(A <sub>2</sub> *B <sub>2</sub> )	(A <sub>3</sub> *B <sub>2</sub> )	(A <sub>4</sub> *B <sub>2</sub> )
20 – 30 (B <sub>3</sub> )	(A <sub>1</sub> *B <sub>3</sub> )	(A <sub>2</sub> *B <sub>3</sub> )	(A <sub>3</sub> *B <sub>3</sub> )	(A <sub>4</sub> *B <sub>3</sub> )

Fuente: elaboración propia, del diseño completamente al azar

Para determinar grado de relación entre las características del suelo y el tiempo, se realizó el análisis de regresión y correlación simple, basado en los siguientes modelos matemáticos.

Ecuación de regresión

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i$$

Coefficiente de correlación

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Del mismo modo, para determinar la relación entre las propiedades físico químicas del suelo y la densidad y biomasa de macrofauna se utilizó la prueba estadística r (coeficiente de Pearson) (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006). El coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a + 1.00, donde: -1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante.) Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

- 0.90 = Correlación negativa muy fuerte.
- 0.75 = Correlación negativa considerable.
- 0.50 = Correlación negativa media.
- 0.25 = Correlación negativa débil.
- +0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.
- +0.10 = Correlación positiva muy débil
- +0.25 = Correlación positiva débil.
- +0.50 = Correlación positiva media.
- +0.75 = Correlación positiva considerable.
- +0.90 = Correlación positiva muy fuerte.
- +1.00 = Correlación positiva perfecta

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Características físicas y químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso

#### 4.1.1. Características físicas

La densidad aparente no muestra diferencias significativa entre sistemas de uso (1.2 – 1.5 g/cm<sup>3</sup>); mientras que la cocona mostró mayor resistencia (2.9 kg/cm<sup>2</sup>) y temperatura (26.5 °C) con respecto a los demás sistemas, como se observa en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Características físicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.

Sistema de uso	Densidad aparente	Resistencia	Temperatura	Textura
	g/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	°C	
Cacao	1.2	2.5	21.2	Franco arcilloso
Bosque secundario.	1.4	1.5	22.0	Franco
Cocona	1.3	2.9	26.5	Franco limoso
Maizal	1.5	1.7	21.0	Franco

Con respecto a la clase textural: bosque secundario y el maizal presentaron textura franco, mientras que el cacao presentó textura franco arcilloso y la cocona textura franco limoso, como indica el Cuadro 10.

#### 4.1.2. Características químicas

El Cuadro11 muestra el análisis químico del suelo de los diferentes sistemas de uso, el mismo que se detalla en los siguientes párrafos:

- Los suelos de cacao presentan un pH moderadamente ácido (6.34), bajo en materia orgánica (1.83%) y nitrógeno (0.08%), y un contenido bajo de fósforo (5.54 ppm) y potasio (135.16 kg/ha).
- Los suelos de bosque secundario presentan un pH neutro (6.93), con contenido medio de materia orgánica (2.81%) y nitrógeno (0.13%) y un contenido medio de fósforo (12.73 ppm) y bajo en potasio (201.41 Kg/ha).
- Los suelos de cocona presentan un pH moderadamente ácido (6.58), con un contenido medio de materia orgánica (2.20%) y nitrógeno (0.10%), y un contenido medio de fósforo (12.94 ppm) y potasio (302.11 Kg/ha).
- Los suelos de maizal presentan un pH neutro (6.70), con un contenido bajo de materia orgánica (1.22%) y nitrógeno (0.05%), y un contenido bajo de fósforo (6.89 ppm) y potasio (246.46).

Cuadro 11. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	pH	M.O	N	P	K <sub>2</sub> O
	1:1	%	%	Ppm	Kg/Ha
Cacao	6.34	1.83	0.08	5.54	135.16
Bosque secundario	6.93	2.81	0.13	12.73	201.41
Cocona	6.58	2.20	0.10	12.94	302.11
Maíz	6.70	1.22	0.05	6.89	246.46

#### 4.2. Relación entre los diferentes sistemas de uso con la densidad, biomasa y grupo taxonómico de macrofauna de suelo

##### 4.2.1. Densidad de la macrofauna (macroinvertebrados)

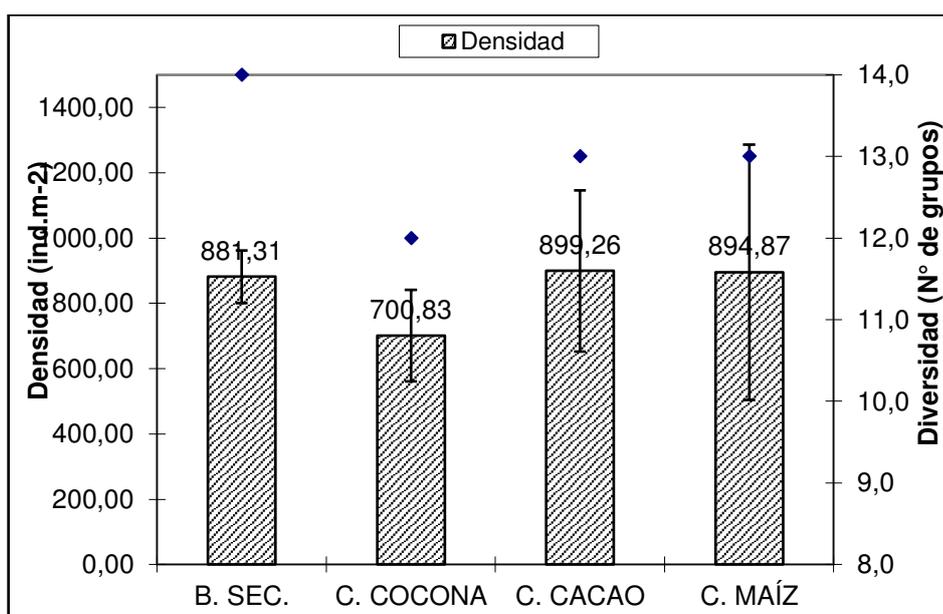


Figura 2. Densidad total (ind.m<sup>-2</sup>) y diversidad (N° de grupos) de la macrofauna del suelo.

La densidad total de los macro invertebrados del suelo no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de uso de la tierra ( $F_{cal}=2.48$ ,  $p=0.099$ ), y fue más altas tanto en cultivos de cacao seguido de cultivos de maíz con (899 y 894 ind.m<sup>-2</sup> respectivamente), ambos sistemas con 13 grupos taxonómicos, seguidos del bosque secundario (881 ind.m<sup>-2</sup>) con 14 grupos taxonómicos (Figura 2).

Los grupos Oligochaeta e Isoptera fueron los más predominantes en los cuatro sistemas de uso del suelo, los Isoptera dominaron el total de los invertebrados capturados en los cuatro sistemas de uso del suelo, con densidades más altas en las áreas de cultivos de cacao, en el Cultivo de maíz (544 ind.m<sup>-2</sup>). Sin embargo sus densidades no presentaron diferencia significativas entre sistemas de uso tanto para Oligochaeta ( $F_{cal}=1.60$ ,  $p=0.230$ ) e Isoptera ( $F_{cal}=1.47$ ,  $p=0.259$ ) (Cuadro 5).

La densidad del grupo Aranea no fue significativamente diferente entre los sistemas, pero fue abundante en el cultivo de cocona (54.4 ind.m<sup>-2</sup>). La densidad de Diplopoda si presentó diferencia estadísticamente significativa ( $F_{cal}=30.54$ ,  $p=0$ ) entre los sistemas de uso de la tierra siendo mayor en cultivo de cocona (105.60 ind.m<sup>-2</sup>) y en el cultivo de maíz (99.20 ind.m<sup>-2</sup>) (Cuadro 5). Las densidades de otros grupos que no presentaron diferencia estadísticamente significativa entre los sistemas son: Isopoda, Pseudoescorpionida, Enquitreido, Coleoptera, Gasteropoda, Hymenoptera y larvas; la densidad más alta de estos grupos fue de Isopoda y Enquitreido en el cultivo de maíz, Pseudoescorpionida y Coleoptera en el cultivo de cocona,

Gasteropoda en el cultivo de cacao e Hymenoptera y larva en el bosque secundario, sin embargo grupos como Blattaria ( $F_c=7.58$ ,  $p=0.002$ ), Chilopoda ( $F_c=8.91$ ,  $p=0.001$ ), Dermaptera ( $F_c=5.36$ ,  $p=0.010$ ), Orthoptera ( $F_c=3.20$ ,  $p=0.052$ ) y Hemiptera ( $F_c=7.15$ ,  $p=0.003$ ), si presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de uso de la tierra.

Cuadro 12. Densidad media y diversidad de la macrofauna del suelo.

Ordenes	Bosque secundario.	Cultivo de cocona	Cultivo de cacao	Cultivo de maíz
Oligochaeta	518.4 (119)a	187.8(71)a	149.6(95)a	248.47(61)a
Isoptera	176 (105)a	0(0)a	544(285)a	284.8(414)a
Aranea	22.4 (4)a	54.4(11)a	44.8(9)a	44(13)a
Diplopoda	16(5)b	105.6(38)b	3.2(0)ab	99.20(60)a
Isópoda	3.2(3)ab	25.6(18)b	38.40(3)ab	3.2(28)ab
Gasteropoda	12.8(6)b	16(9)b	3.2(16)b	28.8(3)ab
Coleoptera	19.2(9)a	60.8(19)a	25.6(8)a	19.2(8)a
Chilopoda	3.2(3)ab	32(13)b	0(0)ab	80(50)ab
Hemiptera	9.6(4)b	73.6(24)a	6.4(3)ab	6.4(6)ab
Blattaria	6.4(4)b	41.6(8)a	5.42(9)ab	3.20(3)ab
Dermaptera	0(0)ab	12.8(9)b	0(0)ab	22.40(3)ab
Pseudoescorpionidae	9.6(6)a	19.2(12)a	0(0)a	0(0)a
Hymenoptera	6.4(4)a	0(0)a	3.2(3)a	3.2(3)a
Orthoptera	2.31(2)ab	0(0)a	3.2(3)a	0(0)b
Enquitreidos	0(0)a	0(0)a	6.40(2)a	0(0)a
Larva	76.8 (27)a	73.6(23)a	64(16)a	44(25)a
Total	881	700	899	894
N° Grupos	14	12	13	13

Por otro lado, este estudio según datos de densidad identificó grupos más frecuentes oligochaeta, isoptera, aranea y diplopoda.

#### 4.2.2. Biomasa de macrofauna

La biomasa total de los macroinvertebrados del suelo fue más alta en el cultivo de cacao ( $18.55 \text{ g.m}^{-2}$ ), seguido por el cultivo de maíz ( $15.45 \text{ g.m}^{-2}$ ) (Cuadro 6), por ello, las diferencias no fueron significativas entre los sistemas de uso ( $F_c=1.52$ ,  $p=0.247$ ) (Figura 3).

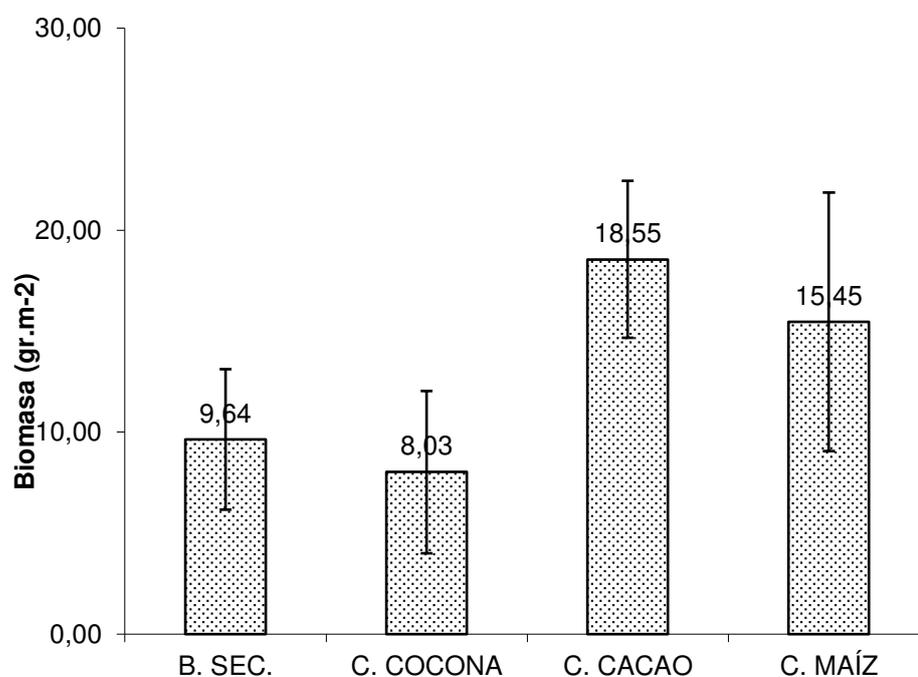


Figura 3. Bioma total ( $\text{g.m}^{-2}$ ) de la macrofauna del suelo.

El cultivo de cacao fue dominado por los grupos Oligochaeta y Diplopoda (Cuadro 13). La biomasa en cultivo de maíz de los Oligochaeta fue el grupo dominante, siendo mayor en el cultivo de maíz y cultivo de cacao que en el bosque secundario. La bioma en cultivo de maíz de Diplopoda si presentó

diferencia significativa entre los sistemas ( $F_c=10.86$ ;  $p=0$ ), siendo mayor la biomasa en el cultivo de cacao ( $18.55 \text{ g.m}^{-2}$ ), que en los demás sistemas.

Cuadro 13. Biomasa Media de la macrofauna ( $\text{g.m}^{-2}$ ) en los sistemas de uso del suelo.

Ordenes	B. SEC.	C.COCONA	C.CACAO	C. MAÍZ
Oligochaeta	5.19(3.24)ab	0.51(0.24)ab	6.22(1.39)b	11.58(6.66)b
Diplopoda	0.29(0.21)ab	0.73(0.63)ab	8.29(2.68)a	0(0)ab
Isópoda	0.04(0.04)b	0.02(0.02)b	0.28(0.22)b	0.01(0.01)b
Coleóptera	0.10(0.05)a	1.48(0.59)a	0.46(0.22)a	0.34(0.30)a
Blattaria	0.01(0.01)a	3.21(2.96)a	0.02(0.01)a	0(0)a
Gasteropoda	0.12(0.08)ab	0.21(0.11)ab	0.21(0.11)b	0.03(0.03)a
Aranea	0.69(0.41)a	0.05(0.02)a	0.27(0.21)a	1.60(1.53)a
Isoptera	0.75(0.70)a	0(0)a	0.22(0.22)a	0.32(0.25)a
Hymenoptera	0.55(0.36)a	0(0)a	0.32(0.32)a	0(0)a
Hemiptera	0.08(0.04)a	0.44(0.19)a	0(0)a	0.03(0.03)a
Chilopoda	0(0)ab	0.10(0.05)b	0.21(0.10)b	0(0)ab
Orthoptera	0(0)a	0.44(0.43)a	0(0)a	0(0)a
Dermaptera	0(0)ab	0.06(0.06)b	0.15(0.06)a	0(0)ab
Enquitreidos	0(0)a	0(0)a	0(0)a	0.04(0.02)a
Pseudoescorpionidae	0(0)a	0(0)a	0(0)a	0(0)a
Larva	1.81(0.87)a	0.78(0.48)a	2.18(2.02)a	1.50(0.87)a
Total	9.64	8.03	18.55	15.45

Los grupos Aranea, Blattaria, Isopoda, Pseudoescorpionida, Isoptera, Enquitreidos, Coleoptera, Orthoptera, Hymenoptera y diferentes estados inmaduros no presentaron diferencias significativas entre los sistemas.

Sin embargo, los grupos Dermaptera y Oligochaeta ( $F_{cal}=3.44$ ,  $p=0.042$ ;  $F_{cal}=5.13$ ,  $p=0.011$ , respectivamente) si presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.

#### 4.2.3. Distribución vertical

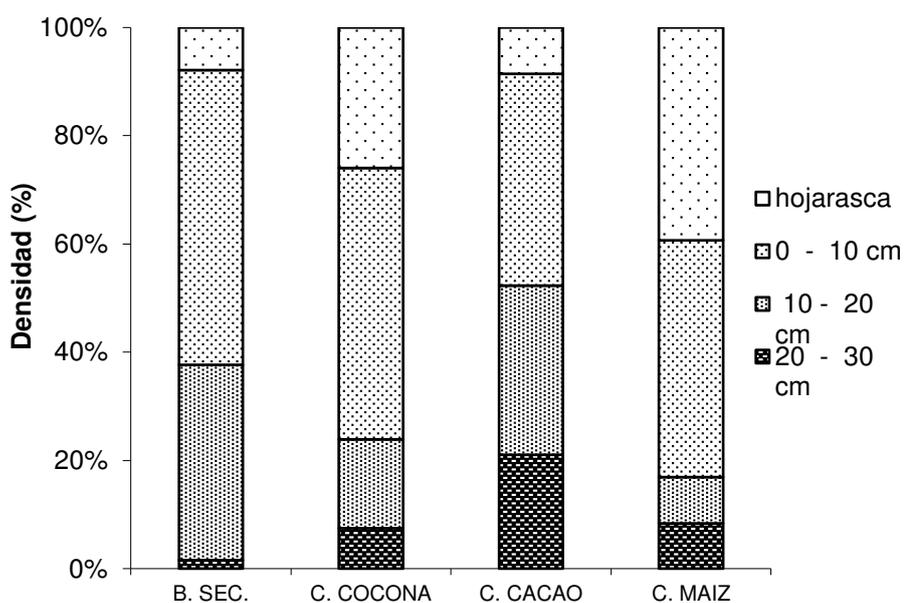


Figura 4. Distribución vertical de la densidad de la macrofauna del suelo (%).

La distribución vertical de los macro invertebrados del suelo muestra patrones diferentes en las diferentes profundidades muestreadas, en donde la mayoría de los macro invertebrados se encontraron en el estrato de 0 - 10 cm de profundidad del suelo en los cuatro sistemas. En el bosque secundario., se registró en la hojarasca (7.83 %) y 0-10 cm (54.46 %); en el cultivo de cocona 25.97 % y 50.16 %; el cultivo de maiz con 58.76 % y 29.71 %; el cultivo de cacao 3.66 % y 41.21 % con respectivamente (Figura 4).

#### 4.2.4. Distribución según grupo funcional

Los ingenieros del suelo (Oligochaeta, Isoptera e Formicidae) fueron los más abundantes y similares en el bosque secundario. y cultivo de maíz (694 ind.m<sup>-2</sup>), seguido del cultivo cacao (534 ind.m<sup>-2</sup>). Los Saprófagos fueron predominantes en el cultivo de cocona, seguidos por el cultivo de cacao (115 ind.m<sup>-2</sup>). Los predadores (Aranea, Quilopoda, Dermaptera) presentaron mayor densidad en el cultivo de cacao. Los herbívoros (Hemiptera, Hymenoptera y Orthoptera) fueron los menos representativos en los cuatro sistemas de uso de la tierra muestreados.

Cuadro 14. Densidad de los grupos funcionales de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso.

Sistemas	B.SEC. ind/m <sup>2</sup>	C. COC Ind/m <sup>2</sup>	C. CAC. ind/m <sup>2</sup>	C. MAIZ. ind/m <sup>2</sup>	TOTAL ind/m <sup>2</sup>	%
Oligochaetas Isoptera	694	189	534	694	2111	62.58
Saprófagos	26	173	115	38	352	10.43
Predadores	26	99	147	48	320	9.48
Herbívoros	16	83	6	13	118	3.49
Otros	42	82	51	37	212	6.28
Larva	77	74	45	64	260	7.70
<b>Total</b>	<b>881</b>	<b>700</b>	<b>898</b>	<b>894</b>	<b>3373</b>	<b>100</b>

#### 4.2.5. Diversidad de especies

Según el Índice de Shannon-Weaver (H) de macroinvertebrados del Bosque Secundario ( $H = 2.25$ ), fue el más diverso que los otros sistemas de uso de suelos estudiado y el menos diverso fue en cultivos de cacao ( $H = 1.34$ ) (Cuadro 15). En el Bosque Secundario se observó que la diversidad se distribuyó de una manera más uniforme que en los otros sistemas ( $J = 0.85$ ). El Cultivo cacao, presenta una riqueza específica igual que el cultivo maíz donde ambos presentaron el mismo número de especies y su distribución no fue equitativa.

Cuadro 15. Riqueza específica, Índice de diversidad y Equitatividad de los macro invertebrados del suelo en diferentes sistemas de uso.

SISTEMAS	S	H	J
B. SECUN	14	2.25	0.85
C. COCONA	12	1.37	0.55
C. CACAO	13	1.36	0.53
C. MAÍZ	13	1.34	0.52

Donde: S: Número de especies; H: índice de Shannon – Wiener; J: Índice de Pielou

## V. DISCUSIÓN

La fauna del suelo cumple un papel modificador de la fertilidad del suelo ya que las propiedades físicas y químicas del mismo son mejoradas con la adición de materia orgánica, que estos mismos también transportan (CORREIA y OLIVEIRA, 2000). La participación de la fauna del suelo en el ciclo de nutrientes del ecosistema es fundamental para el crecimiento vegetal y ocurre principalmente por la actividad alimenticia de la fauna del suelo.

En el presente estudio las mayores densidades de macrofauna del suelo ocurrieron en el cultivo de cacao y cultivo de maíz seguidas por el bosque secundario y cultivos de cocona. Las altas densidades en estos sistemas posiblemente se debe a la disponibilidad de alimentos diversos que presentan estos sistemas al componerse de asociaciones de plantas lo cual diversifica los restos vegetales en la superficie del suelo.

Las densidades de macroinvertebrados en el bosque secundario del distrito Nuevo Progreso fueron relativamente bajas, comparándose con otros bosques primarios y secundarios de las localidades de Yurimaguas, y en la Amazonia peruana (LAVELLE y PASHANASI, 1989) y relativamente alto respecto al bosque primario y secundario en la región de Pucallpa de la Amazonía peruana (853 y 523 ind.m<sup>-2</sup> respectivamente) (PASHANASI, 2001).

Dentro de los pocos trabajos sobre macroinvertebrados del suelo realizados en la Amazonía, se encuentra dos trabajos hechos con la misma

metodología en Pucallpa (PASHANASI, 2001) y en Jenaro Herrera, el primero al igual que el presente estudio encontró alta densidad de oligochaeta.

En el presente estudio la densidad del grupo oligochaeta, fue el más abundante en todos los sistemas de este estudio, siendo predominantes en el bosque secundario (518.40 ind.m<sup>-2</sup>) que presentó el 58.9% del total de la densidad de este sistema, seguido por el cultivo de maíz (248.47 ind.m<sup>-2</sup>), según PASHANASI (2001) la presencia de oligochaeta puede estar relacionada a la abundancia de materia orgánica presente en estos sistemas de uso del suelo.

Las lombrices son los más importantes invertebrados del suelo considerados como ingenieros del suelo y son vitales por la transformación de la materia orgánica en el suelo además de permitir la estabilidad de los agregados del suelo (LAVELLE y SPAIN, 2001).

Por otro lado las isópteras fueron el segundo grupo más abundante entre los macroinvertebrados principalmente en cultivos de cacao y cultivos de maíz seguido por el bosque secundario que también concuerda con trabajos hecho en Pucallpa (PASHANASI, 2001) (Cuadro 7), los isópteras son más abundantes en suelos muy protegidos por la vegetación por la presencia de alimento en abundancia (LAVALLE, 2000 y FEIJOO *et al.*, 2001); el presente estudio lo verifica, ya que estos sistemas al momento del muestreo el suelo estaba protegido por la vegetación. Los isópteras son los más importantes invertebrados descomponedores en los trópicos húmedos (CORREIA, 2002) y

son vitales para la manutención de los ciclos de carbono y nitrógeno (TIAN *et al.*, 1993).

Los diplópodos estuvieron presentes en los cuatro sistemas de uso con las mayores densidades en el cultivo de cocona similar al estudio de TAPIA-CORAL *et al.* (1999), donde los diplópodos se tornan muy abundantes en sistemas de policultivo en la Amazonia (USDA, 1999; FAO, 2001 y HENDRICKS, 1985), asumiendo un papel importante en el reciclaje de la materia orgánica y nutrientes particularmente en los agro ecosistemas, a través de sus interacciones con los microorganismos del suelo, considerándose su acción detritívora como muy intensa según un experimento en México, Brasil y Argentina (TIAN *et al.* 1993; AQUINO *et al.*, 2000 y LAVELLE, 2002).

En cuanto a biomasa el presente estudio presenta un total de 51.68 g.m<sup>-2</sup> de macroinvertebrados, este valor es menor que los valores reportados por BROWN *et al.* (2001) con 75 g.m<sup>-2</sup>, por FEIJOO *et al.* (2001) con 217.06 g.m<sup>-2</sup>, por TAPIA-CORAL *et al.* (1999) con 234.7 g.m<sup>-2</sup> y PASHANASI (2001) con 107.37 g.m<sup>-2</sup> en Yurimaguas y en Pucallpa

La mayor biomasa fue en el cultivo de cacao (18.55 g.m<sup>-2</sup>) y cultivos de maíz (15.45 g.m<sup>-2</sup>) por la presencia del grupo oligochaeta lo cual se relaciona con respecto a lo que menciona TAPIA-CORAL (1999), debido a que comen hojas y suelo. Estas lombrices descomponen, hacen humus, cavan, mejoran infiltración y aireación y reducen la acidez del suelo.

Por otro lado BROWN *et al.* (2001) reporta una biomasa de 30 g.m<sup>-2</sup> a más, de lombrices de tierra pueden tener importantes consecuencias sobre

el suelo y la productividad vegetal, ello indicaría que los sistemas en estudio presentan una biomasa por debajo de tener importantes consecuencias; sin embargo tienen muchas posibilidades de incrementarse ya que los suelos presentan textura franca (DUBS *et al.*, 2004).

La mayoría de los estudios en bosques tropicales de la Amazonia mostró una abundancia principalmente concentrada en los primeros estratos del suelo (BORROR y WHITE, 1970; BORNEMISZA, 1982; HENDRICKS, 1985; ALTIERI, 1999 Y TAPIA-CORAL *et al.*, 1999;), lo cual se confirma con este estudio.

Según grupos funcionales los ingenieros del suelo fueron muy abundantes pero principalmente en el bosque secundario y cultivos de maíz, al igual que menciona TAPIA-CORAL (1999) sobre los bosques secundarios; pero también se relaciona con lo registrado por PASHANASI (2001) ya que además de la abundancia de coleópteros, también predominaron los ingenieros del suelo en su estudio; el mismo autor menciona que el componente principal en los cultivo son los ingenieros del suelo. El segundo grupo funcional más abundante son los saprofagos principalmente en el cultivos de cocona (diplopoda, isópoda, blattaria). También LINDEN *et al.* (1994) y TAPIA-CORAL (1999) hallaron abundancia de diplopoda e isopoda en bosque secundarios. Los predadores fueron el tercer grupo dominante representados por aranea, chilopoda y dermaptera principalmente en cultivos de cacao, esto quizá se deba a la presencia de macrofauna pues este sistema presentó una abundancia regular comparando con los demás sistemas de uso. El último

grupo funcional son los herbívoros y fueron más abundantes en el cultivos de cocona, esto mismo es registrado por TAPIA-CORAL (1999) y LUIZÃO (2002) ya que su estudio registró mayor densidad de herbívoros en el cultivos (95 ind.m<sup>-2</sup>) esto debido principalmente a la mayor riqueza nutricional de la hojarasca proveniente de la vegetación de este sistema de uso del suelo.

La diversidad biológica más alta contribuye a guardar el equilibrio biológico, esencial en el agroecosistema ya que trae mayor estabilidad y por lo tanto pocos problemas con enfermedades y parásitos (BENTANCOURT y SCATONI, 2001 ; FAO, 2002).

Según el índice de Shannon-Weaver (H) el bosque secundario, fue el más diverso que los otros sistemas de uso de la tierra estudiada y el menos diverso fue el cultivo de maíz (Cuadro 8). En el bosque secundario se observó que la diversidad se distribuyó de una manera más uniforme que en los otros sistemas. MOORE *et al.* (2004) y MORRIS (2000) mencionan que a medida que haya más especies y que estén más cerca de la equidad en su distribución mayor es la diversidad biológica en el sistema.

## VI. CONCLUSIONES

1. La densidad total de la macrofauna del suelo fue en el cultivo de cacao (899 ind.m<sup>-2</sup>), seguido por el cultivo de maíz (894 ind.m<sup>-2</sup>), bosque secundario (881 ind.m<sup>-2</sup>) y por último el cultivo de cocona (700 ind.m<sup>-2</sup>)
2. La biomasa total de la macrofauna del suelo fue en el cultivo de cacao (18.55 g.m<sup>-2</sup>), seguido por el cultivo de maíz (15.45 g.m<sup>-2</sup>), bosque secundario (9.64 g.m<sup>-2</sup>) y por último el cultivo de cocona (8.03 g.m<sup>-2</sup>)
3. La distribución vertical de la macrofauna del suelo, se registró en la hojarasca (7.83 %) y 0-10 cm (54.46 %); en el cultivo de cocona (25.97 % y 50.16 %); en el cultivo de maíz con (3.66 % y 41.21 %); y el cultivo de cacao) 58.76 % y 29.71 % respectivamente)
4. Las (oligochaeta, isoptera y formicidae) fueron los más abundantes y similares en el bosque secundario y cultivo de maíz (694 ind.m<sup>-2</sup>), seguido del cultivo de cacao (534 ind.m<sup>-2</sup>).
5. La diversidad de la macrofauna del suelo fue en el bosque secundario (H=2.25 y J= 0.85), seguido por el cultivo de cocona (H=1.37 y J=0.55), cultivo de cacao (H=1.36 y H= 0.52) y por último el cultivo de maíz (H=1.34 y J= 0.52)

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda identificar a nivel de especies de la macrofauna, mesofauna y microfauna que se halla en cada monolito. Lo cual permitirá tener mejores aproximaciones en la biodiversidad de especies de macrofauna, mesofauna y microfauna.
2. Determinar los modelos de comportamientos entre las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo con las poblaciones de los grupos principales como son las lombrices de tierra, hormigas, isópteras y coleópteros, etc.
3. Como la biodiversidad de macrofauna es baja en los cultivos de maíz, cocona y cacao, se debe posiblemente por el uso excesivo de los agroquímicos; por lo que se recomienda generar políticas que permitan conservar los organismos en el distrito de Nuevo Progreso.
4. Estudiar el comportamiento de la macrofauna, mesofauna y microfauna en función de los niveles altitudinales, fisiográficos y tipos de bosque, para tomar decisiones políticas de protección de estas especies.

## VIII. ABSTRACT

The research evaluated the macrofauna in different land use systems (cocona crop (*Solanum sessiliflorum*), corn (*Zea mays* L.), cocoa (*Theobroma cacao* L.) and secondary forest) in the Palmeras sector Nuevo Progreso district, province Tocache. The physical, chemical and macrofauna characteristics were determined. The methodology agreed to identify and locate the 04-use systems, extracting 20 sub samples for each use for physical and chemical analysis; Tropical Soil by the Program method for evaluating the macrofauna in a straight line transect 40m monoliths obtained at intervals of 10m at different depths (stubble, 0 -10 cm, 10 - 20 cm and 20 - 30 cm) Biology an Fertility - TSBF. The highest density maize cultivation with 894 gm<sup>-2</sup>, secondary forest with 881 gm<sup>-2</sup> was made in the cultivation of cocoa with 899 gm<sup>-2</sup>, then, and cocona with 700 gm<sup>-2</sup>; total biomass for growing cocoa 18.55 gm<sup>-2</sup>, corn 15.45 gm<sup>-2</sup>, secondary forest 9.64 gm<sup>-2</sup> and cocona 8.03 gm<sup>-2</sup> to the vertical distribution, the litter was 7.83%, 0 - 10 cm is 54.46%, 25.97% and 50.16 cocona%, 3.66% and corn 41.21% and 58.76% cocoa and 29.71% respectively. Oligochaeta, Isoptera and Formicidae were more abundant and similar in secondary forest and maize (694 ind.m<sup>-2</sup>), followed by cocoa (534 ind.m<sup>-2</sup>); macrofauna diversity in secondary forest (H = J = 2.25 and 0.85), cocona (H = J = 1.37 and 0.55), cacao (M = 1.36 and M = 0.52) and maize (H = J = 1.34 and 0.52). Proving systems in use, the secondary forest was the most diverse, with a distribution of species evenly

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M. 1999. El agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. In Altieri, M. 1999 (Ed.). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Nordan Comunidad. p. 47-70.
- AQUINO, M. A.; MERLIM, A. DE OLIVEIRA.; CORREIA, M.; MERCANTE, F. 2000. Diversidad de macrofauna do solo como indicadora de sistemas de plantio directo para a região oeste do Brasil. In Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (24), Reunião Brasileira sobre Micorrizas (8), Simposio Brasileiro de Microbiología do Solo (6), Reunião Brasileira de Biología do Solo (3., 2000, Santa María, Rio Grande do Sul, BR). Fertbio 2000. Biodinámica do solo. 1 disco compacto.
- ARAGÓN, J. 2003. Guía de reconocimiento y manejo de plagas tempranas relacionadas a la siembra directa. Moliner, G. (Ed.). Buenos Aires, Agro ediciones. 60 p.
- ACEVEDO, V.; LIMA, D.; CORREIA, M., AQUINO, A.; PEREIRA DOS SANTOS, H. 2000. Fauna del suelo en diferentes sistemas de plantio e manejo no planalto medio do Rio Grande do Sul. In Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (24), Reunião Brasileira sobre Micorrizas (8), Simposio Brasileiro de Microbiología do Solo (6), Reunião Brasileira de Biología do Solo (3., 2000, Santa María, Rio

- Grande do Sul, BR). Fertbio 2000. Biodinámica do solo. 1 disco compacto.
- BENTANCOURT, C.; SCATONI, I., 2001. Enemigos Naturales: Manual ilustrado para la agricultura y forestación. Montevideo, Uruguay. 169 p.
- BORNEMISZA, E. 1982. Introducción a la Química de Suelos, Universidad de Costa Rica, San José , Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía N°. 25 p. 21-47.
- BORROR, D.; WHITE, R. 1970. A field guide to insects of America north of Mexico. Peterson Field Guides. New York, Estados Unidos. 404 p.
- BROMHAM et al., 2001 Effects of stock grazing on the ground invertebrate fauna of woodlands remnants. Australian Journal of Ecology 24:199-207.
- BROWN, G.; PASINI, A.; BENITO, N.; DE AQUINO, A.; CORREIA, M. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Report presented in the "International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems". Montreal, Canadá. 20 p.
- CARBAJAL, T. ; BALCAZAR, R. 1999. Cultivo de Cocona, ed. I.d.I.d.I.A. Peruana. Tingo María - Perú. 54.
- CASTRO, J.; BURBANO, H.; BONILLA, C. 2007. Abundancia y biomasa de organismos edáficos en tres usos del terreno en el altiplano de Pasto, Colombia. Nariño, Colombia. 8 p.
- CLAPPERTON, J. 2000. Creating healthy productive soil. In Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata, Argentina. 35-40 p.

- CORREIA, M. E. 2002. Relaciones entre a diversidad de la fauna en los procesos de descomposición y sus reflejos sobre a estabilidad de los ecosistemas. Rio de Janeiro, Embrapa Seropédica. Documentos N°.156. 33 p.
- CORREIA, M.; OLIVEIRA, L. 2000. De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapaagrobiología. 46 p.
- CUATRECASAS, J. 1964. A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contr. U. S. Natl. Herb.* 35(6): 379-607.
- CURRY, J.; GOOD, J. 1992. Soil faunal degradation and restoration. *Advances in Soil Science* 17: 171-215.
- DECAËNS, T; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J. J.; ESCOBAR, G. ; RIPPSTEIN, G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal of Soil Biology*, (30): pp. 157–168.
- DONAHUE, R.; MILLER, R.; SCHICKLUNA, J. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas Traducido por Jorge Peña. Prentice-Hall international, Cali, Colombia. 624 p.
- 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. 1-28 p.
- DUBS, F.; LAVELLE, P.; BRENNAN, A; EGGLETON, P.; HAIMI, J.; IVITS, E.; JONES, D.; KEATING, A.; MORENO, A. G.; SCHEIDEGGER, C.; SOUSA, P.; SZEL, G.; WATT, A. 2004. Soil macrofauna response to

- soil, habitat and landscape features of land use intensification: an European gradient study. In International Colloquium on Soil Zoology and Ecology. Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. 252 p.
- ELLIOT, L. 1997. Soil biodiversity and grass cropping systems. In International Grassland Congress (18, 1997, Canada). Session 12- *Biodiversity*. 241-248 p
- FAO. 2001. Soil Biodiversity: What is it? Soil Biodiversity: Portal. Land and Water. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/soilbtxt.htm>. Documento del 15 jul. 2014).
- FAO. 2002. Soil biodiversity and sustainable agriculture. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja. N°.182. 1-68 p.
- FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. 404 p.
- FEIJOO, A.; KNAPP, E.; LAVELLE, P.; MORENO, A. 2001. Quantifying soil macro fauna in Colombian watershed. In Jiménez, J.J.; Thomas, R. J. U (Eds.). Nature's Plow: Soil macro invertebrate communities in the neo tropical savannas of Colombia. Cali, Colombia. Publicación CIAT N°. 324. 42-48 p.
- GASSEN, D.; GASSEN, F. 1996. Plantio direto o caminho do futuro. Passo Fundo, Aldeia Sul. 207 p.

- HENDRICKS, D. M. 1985. Animals and Soil in Arizona. In Hendricks, D.M. (Ed.) Arizona Soils. Tucson, University of Arizona. Editor Haney, R.A. Jr. 55-62 p.
- HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C.; BAPTISTA, P. 2006. Metodología de investigación. 4<sup>ta</sup> Ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 736 p.
- HILL, S. 2002. Soil fauna and agriculture: past findings and future priorities. EAP Publicación 25.8 p.
- HOLDRIDGE, L. 1986. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- LAVELLE, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research* 17:441-450.
- LAVELLE, P. 2000. Ecological challenges for soil science. *Soil Sci.* 165:73.
- LAVELLE, P.; PASHANASI, B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). En: *Pedobiologia* 33:283-291.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A. 2001. Soil Ecology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.
- LEE, K. 1985. Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use. New York, Academic Press. 411 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 N°. 35. 91-106p.
- LUIZÃO, R.; BARROS, E.; LUIZÃO, F.; ALFAIA, S. 2002. Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry system in Rondônia,

- Amazônia, Brasil. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystem for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja. N°.182. 93-97 p.
- McGEOCH, M.; CHOWN, S. 1998. Scaling up the value of bioindicators. *Trends in Ecology and Evolution* 13(2): 46-47.
- 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* 39:661-672.
- MILLAR, C. E.; TURK, L. M.; FOTH, H. D. 1971. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. 562 P.
- MINAG. 2011. Cadena agropecuaria de papa. Manejo y fertilidad de suelos. Guía técnica de orientación al productor. 50 p.
- 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.
- MORRIS, M. 2000. The effects of structure and its dynamics on the ecology and conservation of arthropods in British grasslands. *Biological Conservation* 95:129-142.
- NAVARRO, S.; NAVARRO, G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 ed. Mundi Prensa, España 250 p.

- PASHANASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica*. 12(1-2): 75-797.
- PATRÓN, E. 1996. Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería. Edit. Trillas. México. 215 p.
- RODRÍGUEZ, I. ; CRESPO, G. 1999. Vías para incrementar la diversidad y la biomasa de la fauna del suelo. *Rev.Cubana Cienc. Agríc.* 33:235.
- RODRÍGUEZ, C. 2000. Comunidades de lombrices de tierra ecosistemas con diferente grado de perturbación. *Rev. Biología*. 14:147
- SÁNCHEZ, P. 2007. Suelos del trópico. Características y manejo. IICA. Costa Rica. 650 p.
- SÁNCHEZ, P. 1983. Estudio de estabilidad de caracteres y razas de maíz de México. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 73 p.
- TAPIA-CORAL, S.; LUIZAO, F. ; WANDELLI, E. V. 1999. Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais sobre pastagens abandonadas na Amazonia Central. *Acta Amazonica* 29,477-495.
- TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B. 1993. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. *SoilBiology and Biochemistry* 25:731-737.
- USDA.1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 88 p.

- VARGAS, Y.; VALDIVIA, L. 2005. Recuperación, mediante leguminosas rastreras, de suelos degradados (ex cicales) en la Selva Alta del Perú. Mosaico Científico 2(2). 6 p.
- WARDLE, D. A.; GILLER, K. E.; BARKER, G. M. 1999. The regulation and functional significance of soil biodiversity in agro ecosystems. En: Agrobiodiversity: Characterization, Utilization y Management. Wallingford: CAB International. Ed. Wood, D. and Lenn, J.M. p.87.
- WOODING, G. 1967. Los Suelos, Su Origen, Constitución y Clasificación, Ediciones Omega S.A. Barcelona. McGraw-Hill Interamericana quinta edición 2005 impreso en México. 731-739 p.
- ZAVALETA, A. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Editado por A&B S.A. lima, Perú, Consejo nacional de ciencia y tecnología – CONCYTEC 100-115 p.
- ZERBINO, M.; MORÓN, A. 2003. Macrofauna del suelo y su relación con propiedades físicas y químicas en rotaciones cultivo-pastura. In Morón, A.; Díaz, R. (Eds. técnicos). Simposio “40 años de rotaciones agrícolas – ganaderas”. Montevideo, Uruguay. Serie Técnica no. 134. 45-53 p.

## **X. ANEXO**

## Anexo 1. Evaluación de parámetros físicos y biológicos



Figura 1. Evaluando la resistencia del suelo con el penetrómetro



Figura 2. Realizando la extracción del monolito del suelo



Figura 3. Realizando el conteo de la macrofauna del suelo



Figura 4. Visualizando a una Hymenoptera mediante el estereoscopio

## Anexo 2. Información para el análisis estadístico

## Datos digitalizados para el análisis de correlación

Sistema de uso	variables evaluados												Densidad de macrofauna	Biomasa de macrofauna
	Da	Resis tencia	Tº	Hº	Ao (%)	Ar (%)	Li (%)	pH	M.O	N	P	K <sub>2</sub> O		
Cacao	1.2	2.5	21.2	80.0	43.68	27.04	29.28	6.34	1.83	0.08	5.54	135.16		
Maíz	1.5	1.7	21.0	82.3	47.68	11.04	41.28	6.70	1.22	0.05	6.89	246.46		
Bosque secun.	1.4	1.5	22.0	62.7	31.68	19.014	49.28	6.93	2.81	0.13	12.73	201.41		
Cocona	1.3	2.9	26.5	64.7	25.68	19.04	55.28	6.58	2.20	0.10	12.94	302.11		

Fuente: Elaboración propia (2014).



## UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

F.R.N.R - Ing. en Conservación de Suelos y Agua

Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Aguas



### ANALISIS DE SUELOS

TESISTA:

TUESTA SINARAHUA, Mayra

PROCEDENCIA: PACOTA

COD	DESCRIP.	ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K <sub>2</sub> O	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
		Arena	Arcilla	Limo	Textura							Ca	Mg	K	Na	Al	H				
		%	%	%																	
S1	COCONA	25.68	19.04	55.28	Franco Limoso	6.58	2.20	0.10	12.94	302.11	<b>11.82</b>	9.80	1.55	0.29	0.18	0.00	0.00	----	100.00	0.00	0.00
S2	B.SECUND	31.68	19.04	49.28	Franco	6.93	2.81	0.13	12.73	201.41	<b>8.40</b>	6.75	1.17	0.31	0.17	0.00	0.00	----	100.00	0.00	0.00
S3	MAIZ	47.68	11.04	41.28	Franco	6.70	1.22	0.05	6.89	246.46	<b>7.23</b>	5.84	0.95	0.26	0.19	0.00	0.00	----	100.00	0.00	0.00
S4	CACAO 0-30cm	43.68	27.04	29.28	Franco Arcilloso	6.34	1.83	0.08	5.54	135.16	<b>7.34</b>	6.02	0.92	0.24	0.17	0.00	0.00	----	100.00	0.00	0.00

Fecha: Martes, 09 de diciembre de 2014

# INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1.	Suelo .....	4
2.1.1.	Propiedades físicas del suelo .....	4
2.1.2.	Propiedades químicas del suelo .....	8
2.1.3.	Propiedades biológicas del suelo .....	15
2.1.4.	Fertilidad del suelo .....	15
2.2.	Macrofauna del suelo.....	16
2.2.1.	Grupos funcionales de la macrofauna .....	18
2.2.2.	Relaciones macrofauna hábitat .....	25
2.3.	Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo .....	32
2.4.	Indicadores de la calidad del suelo .....	36
2.5.	Investigaciones realizadas .....	38
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1.	Descripción de la zona en estudio .....	40
3.1.1.	Lugar de ejecución .....	40
3.1.2.	Zona de vida.....	41
3.1.3.	Clima.....	41
3.1.4.	Vegetación .....	41

3.1.5.	Suelos .....	41
3.1.6.	Accesibilidad .....	42
3.1.7.	Descripción de los sitios de muestreo .....	42
3.2.	Materiales, insumos y equipos .....	44
3.2.1.	Materiales y herramientas .....	44
3.2.2.	Equipos de campo.....	44
3.2.3.	Equipos de laboratorio.....	44
3.2.4.	Reactivos .....	44
3.3.	Tipo y nivel de investigación .....	44
3.3.1.	Tipo de la investigación .....	44
3.3.2.	Nivel de la investigación .....	45
3.3.3.	Método de la investigación .....	45
3.3.4.	Diseño de la investigación .....	45
3.4.	Variables en estudio .....	45
3.5.	Metodología .....	47
3.5.1.	Coordinación y ubicación de los sitios de muestreo .....	47
3.5.2.	Identificación de sitios de muestreo .....	47
3.5.3.	Muestreo de suelos .....	47
3.5.4.	Muestreo de la fauna edáfica del suelo .....	48
3.5.5.	Metodología de conteo y estructura de la comunidad del suelo .....	49

3.5.6.	Metodología para determinar las variables en estudio.....	50
3.6.	Análisis de datos.....	53
IV.	RESULTADOS .....	55
4.1.	Características físicas y químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	55
4.1.1.	Características físicas .....	55
4.1.2.	Características químicas .....	56
4.2.	Relación entre los diferentes sistemas de uso con la densidad, biomasa y grupo taxonómico de macrofauna de suelo .....	57
4.2.1.	Densidad de la macrofauna (macroinvertebrados) .....	57
4.2.2.	Biomasa de macrofauna.....	60
4.2.3.	Distribución vertical .....	62
4.2.4.	Distribución según grupo funcional.....	63
4.2.5.	Diversidad de especies .....	64
V.	DISCUSIÓN.....	65
VI.	CONCLUSIONES .....	70
VII.	RECOMENDACIONES.....	71
VIII.	ABSTRACT .....	72
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
X.	ANEXO.....	81