

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS EN CUATRO
SISTEMAS DE USO DE SUELO EN LA LOCALIDAD DE CAYENA,
DEPARTAMENTO SAN MARTIN**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

LLONTOP FASANANDO VANESSA

Tingo María – Perú

2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María - Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 30 de noviembre del 2015, a horas 11:00 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua, para calificar la Tesis titulada:

“PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS EN CUATRO SISTEMAS DE USO DE SUELO EN LA LOCALIDAD DE CAYENA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”

Presentado por la Bachiller: **VANESSA LLONTOP FASANANDO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, la sustentante queda apta para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 14 de diciembre del 2015.


Ing. JAIME TORRES GARCÍA
PRESIDENTE


Ing. M.Sc. RONALD HUGO PUERTA TUESTA
VOCAL


Ing. M.Sc. SANDRO J. RUÍZ CASTRE
VOCAL




Ing. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Nosotros

Asesor : Ing. M.Sc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO

Bachiller : VANESSA LLONTOP FASANANDO

Autor(es) del trabajo de tesis, titulado:

PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS EN CUATRO
SISTEMAS DE USO DE SUELO EN LA LOCALIDAD DE CAYENA,
DEPARTAMENTO SAN MARTIN

DECLARAMOS BAJO JURAMENTO QUE, el trabajo de investigación es original, siendo resultado del esfuerzo y trabajo coordinado entre la bachiller y el asesor.

Nos ratificamos en lo expresado, en señal de lo cual firmamos el presente documento en la ciudad de Tingo Maria a los 25 días del mes de julio del 2023.

Ing. M.Sc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO

Asesor de tesis

DNI 23015258

Bach. VANESSA LLONTOP FASANANDO

Bachiller

DNI 70518775

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 Gilberto Llontop Chumioque y Betty Fasanando Bermudez, por darme una buena educación, por todas las enseñanzas, valores y amor inmenso que nunca me hicieron faltar, gracias por no dudar nunca de mí, es por eso que este trabajo lo dedico a ustedes quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional.

A mis queridos hermanos: Luz Elena Fasanando Bermudez y Ricardo Ramos Fasanando por el amor y apoyo incondicional.

A mi abuelito Roberto Fasanando Sangama quien me cuida desde el cielo, gracias por los valores que me enseñaste, quedarán guardados en mis recuerdos.

A mi querida abuela Natividad Bermudez por su ejemplo y superación de vida.

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 y Ing. M. Sc Hugo Alfredo HUAMANI YUPANQUI, quienes me ofrecieron su invaluable asesoramiento en la presente investigación. Gracias por su paciencia, empeño y confianza.

A los miembros de jurado de la presente investigación Ing. Jaime TORRES GARCÍA presidente de jurado, Ing. MS.c Sandro RUIZ CASTRE, Ing. MS.c Ronald Hugo PUERTA TUESTA miembros de jurado calificador, quienes con su paciencia y voluntad hicieron realidad la sustentación del informe de Tesis.

A la FUNDACION AMAZONIA VIVA (FUNDAVI) que me brindaron su apoyo en la presente ejecución de mi tesis, de manera especial al Gerente Ejecutivo Roldán

ROJAS PAREDES, a los Ing. Neisser BARTRA RAMIREZ, Ing. Tito BECERRA SOLANO y al grupo técnico de la Fundación Amazonía Viva.

A los señores socios de la Cooperativa Cacaotera ACOPAGRO que me brindaron sus parcelas para realizar mi tesis y además me apoyaron con las labores de campo; a las señoritas practicantes de la Fundación Amazonía Viva, Analy APONTE JARAMILLO y Cecilia SANCHEZ SALDAÑA.

Al Mtblgo. Btclgo. Dr. Sc. Cesar Samuel LOPEZ LOPEZ, por su colaboración en el préstamo del Laboratorio de Microbiología que facilitó la realización del presente trabajo.

Al Ing. Richard SIAS RODRIGUEZ, técnico del Laboratorio de Microbiología, por facilitarme y ayudarme para la evaluación de los parámetros biológicos del suelo de la presente investigación.

A mis amigos por ser parte de la ejecución de la presente tesis, en especial a Juan Vicente JIMENEZ SALINAS, Jaime HIPOLITO VASQUEZ, Gianyra REYNA SOTO.

A mis colegas y familiares: 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.....	8
2. Intervalos de materia orgánica en el suelo.	8
3. Niveles de contenido de nitrógeno.	9
4. Niveles de contenido de fósforo disponible.	10
5. Niveles de contenido de potasio disponible (K_2O).	11
6. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna.....	17
7. Actividades de la fauna del suelo en procesos de descomposicion.....	21
8. Ubicación en coodenadas UTM de la zona de estudio	33
9. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.....	43
10. Textura de los suelos encontrados en los cuatro sistemas de uso.	46
11. Densidad aparente de los cuatro sistemas evaluados.....	47
12. Resistencia a la penetracion de los cuatro sistemas evaluados.	47
13. Temperatura del suelo en los diferentes sistemas evaluados.....	48
14. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	49

15. Densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los sistemas de uso.	50
16. Densidad de macrofauna en los sistemas de uso y profundidades del suelo.	52
17. Biomasa de macrofauna en los sistemas de uso y profundidades del suelo...	53
18. Diversidad de especies de la macrofauna del suelo	54
19. Diversidad de especies de la macrofauna a diferentes profundidades	55
20. Biomasa bajo cuatro (04) sistemas de uso de suelo (t/ha ⁻¹)..	56
21. Numeración de microorganismos aerobios viables.....	57
22. Numeración de actinomicetos..	57
23. Numeración de mohos y levaduras..	58
24. Relación densidad macrofauna y la CIC del suelo.....	59
25. Relación microorganismos del suelo con el contenido de calcio.....	59
26. Relación densidad macrofauna, CIC y porcentaje de arena.....	60
27. Relación Shannon wiener, penetrabilidad y contenido de fósforo.....	60
28. Relación NMVA, profundidad del suelo y sodio.....	61
29. Relación actinomicetos, profundidad del suelo y sodio.....	61
30. Relación mohos y levaduras, profundidad y calcio del suelo.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Esquema del plan de muestreo.	41
2. Densidad total (ind.m ²)	51
3. Biomasa total (g.m ²)	51
4. Densidad de la macrofauna a diferentes profundidades de muestreo.	52
5. Biomasa de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades de muestro ..	53
6. Índice de Shannon - Wiener en las diferentes profundidades de muestreo. ...	55
7. Cuantificación de la biomasa de hojarasca en los sistemas de uso de suelo. ..	56

RESUMEN

La investigación se realizó en la localidad de Cayena, distrito de Juanjui, provincia Mariscal Cáceres, departamento San Martín; el objetivo fue evaluar en cuatro sistemas de uso del suelo las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se seleccionaron cuatro parcelas con diferentes sistemas de uso (agroforestal, bosque secundario, pastizal y forestal). Los sistemas evaluados mostraron suelos con una densidad aparente que varían desde los 1.26 g/cm³ hasta los 2.02 g/cm³, resistencia a la penetración desde 1.5 Kg/cm² hasta los 2.1 Kg/cm², las temperaturas dentro del suelo oscilan desde los 23.2 °C hasta los 25.8 °C, suelos ligeramente ácidos, con predominancia de texturas francas arcillosas, contenidos medios de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y CIC, y bajo contenido de K₂O. Se encontró mayor densidad total de macroinvertebrados del suelo en el sistema bosque secundario con (1163 Ind/m²), pastizal (437 Ind/m²), el bosque secundario fue superior en biomasa de la macrofauna edáfica con (18.56 g.m⁻²) y el sistema agroforestal (6.41 g.m⁻²). En diversidad de especies por el índice de Shannon y Wiener el bosque secundario presentó un índice de diversidad de 1.48 H', el sistema agroforestal presentó un bajo índice de diversidad con 0.89 H', en la biomasa de hojarasca el bosque secundario tiene 46.70 t/ha⁻¹, el sistema agroforestal 17.37 t/ha⁻¹, el pastizal y forestal obtuvieron similares cantidades con 15.01 y 14.43 t/ha⁻¹. A un incremento en la macrofauna del suelo; la capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente y la resistencia a la penetración del suelo

tienden a disminuir; mientras que un incremento de calcio, hará que los actinomicetos aumenten y un aumento de sodio los actinomicetos disminuirán. Asimismo, la diversidad de especies a los 10 cm se incrementó cuando la resistencia a la penetración disminuye y el contenido de fósforo aumenta.

I. INTRODUCCIÓN

La región amazónica, con su gran riqueza forestal, florística y faunística, es una de las regiones en la que es posible al día de hoy seguir apreciando el incremento de la frontera agrícola con el empleo de diversas prácticas agrícolas y pecuarias.

La degradación de suelos es una amenaza silenciosa que está avanzando rápidamente en América Latina, pocos países tienen la esperanza de alcanzar una agricultura sostenible en un futuro próximo. Los procesos de deterioro del suelo son aquellos que rebajan la capacidad actual y potencial del suelo para producir cualitativa y/o cuantitativamente los bienes o servicios que van a ser de amplio beneficio para la sociedad; sin embargo, la calidad de los suelos está estrechamente relacionada con los procesos de sucesión ecológica; la degradación de los ecosistemas por regla general trae consigo, una disminución en la calidad de los suelos y una regresión en la sucesión vegetal; por ello, el estudio de la calidad de los suelos, referido a sus condiciones para producir cosechas está orientado a sus características físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, la naturaleza y los mecanismos de las interacciones entre los microorganismos del suelo y la dinámica de los procesos químicos en los suelos de la Amazonía son aún poco conocidos, posiblemente, dependientes

de las cantidades y calidades de la hojarasca depositada sobre el suelo. (VOLHLAND y SCHROTH, 1999), la tasa de descomposición de los residuos vegetales está influenciada por la calidad del recurso, por los organismos descompositores presentes y por las condiciones ambientales.

Los sistemas agroforestales con cacao se presenta como una alternativa para el equilibrio social, económico y ambiental en zonas rurales. Bajo esas premisas resulta importante conocer la diversidad de la macrofauna y microfauna existentes en cuatro sistemas: sistema forestal (3 años), bosque secundario (10 a más años), pastizal, sistema agroforestal (cacao – plantas forestales).

Ante esta realidad se plantea el siguiente problema de investigación: ¿Cómo interactúan las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en los sistemas de uso? Con respuesta a la interrogante planteamos la hipótesis: las propiedades físicas, químicas y biológicas varían en cantidad y actividad en los diferentes sistemas de uso de suelo.

Respecto a este contexto se plantean los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en cuatro sistemas de uso en la localidad de Cayena, distrito Mariscal Cáceres, provincia Juanjui, departamento San Martín.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físico-químicas del suelo en los cuatro sistemas de uso.
- Identificar y cuantificar la cantidad y actividad de organismos edáficos de los suelos.
- Cuantificar la cantidad de biomasa que producen los sistemas de uso de suelo.
- Evaluar la relación entre las características físicas-químicas de los suelos con las características biológicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Suelo

KRAMER (1989) manifiesta que el suelo constituye un sistema complejo que consiste en proporciones variables de cuatro componentes; son estos: el mineral o partículas de roca y la materia orgánica muerta que constituye la matriz sólida, y la disolución del suelo y el aire que ocupan el espacio poroso dentro de esa matriz.

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 (MINAG, 2011).

2.1.1. Propiedades físicas del suelo

Para mayor entendimiento vamos a señalar que las características son las particularidades que confieren identidad al suelo, como por ejemplo la textura, estructura, color, composición mineralógica, densidad aparente y real; en tanto que las propiedades se refieren al comportamiento que exhibe el suelo, derivado de sus características, por ejemplo, la capacidad retentiva de humedad, los coeficientes hídricos, la aireación, porosidad, permeabilidad, etc. (SANCHEZ, 2007).

2.1.1.1. Textura

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. Asimismo, 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 (DONAHUE *et al.*, 1981).

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 entre las partículas. 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 1.5g/cm^3 y en suelos francos de 1.5 a 1.7g/cm^3 (USDA, 1999).

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 gotas de lluvia (Arskead *et al.*, 1996; citado por 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/cm³ y generalmente aumentan con la profundidad en el perfil (ALVAREZ, 2008). 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.

2.1.1.3. 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. El bosque es más eficaz que el césped, así en verano un suelo de un bosque denso puede llegar a estar 10°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

catatónico. Un equilibrio de estos tres factores permite tener un sustrato adecuado para el crecimiento del cultivo (BURGÉS y RAW, 1971).

2.1.2.1. Reacción del suelo (pH)

La reacción del suelo es 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 (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

Las bacterias y actinomicetos actúan mejor en suelos minerales con valores de pH 5.0 a 6.5. Su actividad se reduce notablemente cuando el pH es inferior a 5.5. 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. 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 y NAVARRO, 2003).

Cuadro 1. Niveles de pH en el suelo.

Interpretación	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.

2.1.2.2. 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; NAVARRO y NAVARRO, 2003) asimismo (ZVALETA, 1992), manifiesta 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), asimismo un suelo demasiado pesado (suelo arcilloso) se mejora haciéndolo más suave y liviano mediante aplicación de materia orgánica.

Cuadro 2. Intervalos de materia orgánica en el suelo.

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

2.1.2.3. Nitrógeno del suelo

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 atmósfera (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

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 significativa 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 disponible del suelo

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.

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 bajo, es decir, cuando la disolución del suelo presenta una acidez notable, ya que la forma $H_2PO_4^-$ es la más asimilable (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

DORAN y LICOLN (1999) mencionan que el contenido de este elemento está ligado al contenido de materia orgánica y a la textura del suelo, en promedio se pueden encontrar 180 mg/kg. Sin embargo este elemento sufre de fijación en los suelos.

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 disponible del suelo

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.

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 K 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.

El potasio participa en los procesos metabólicos, favoreciendo el crecimiento vegetativo, el 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

2.2. Biodiversidad biológica

La diversidad biológica, o biodiversidad, se refiere a la variabilidad

de todos los organismos vivos y los complejos ecológicos en los cuales estos ocurren. Los agrobosques tienen el mayor potencial de todos los sistemas agroforestales para conservar la biodiversidad. Tienen una alta diversidad florística, contienen estratos de vegetación múltiples, tienen una alta densidad de árboles, son estructuralmente muy similares a los bosques (PAGIOLA y OTA, 1997).

2.2.1. Biodiversidad 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.

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 (MINAG, 2011).

Es decir, el suelo presenta una dinámica tal que podríamos afirmar que es el ecosistema más estable y sustentable para el grupo microbiano, los aportes de materia orgánica e inorgánica mantienen una inmensa cantidad de microbios los cuales apenas estamos comenzando a descubrir. Directa o indirectamente los desechos humanos y animales, sus cuerpos y los tejidos de vegetales llegan a la tierra y allí “se desaparecen” al transformarse en tierra, todo este trabajo es realizado por los microorganismos; además, estos microorganismos liberan sustancias útiles para las plantas de tal manera que sin

la actividad microbiana del suelo la vida se extinguiría gradualmente (PELCZAR *et al.*, 1993).

Encontramos que fácilmente en un gramo de suelo podemos hallar más de ocho mil millones de bacterias (8×10^9), simplemente cultivándolos en agares adecuados (PELCZAR *et al.*, 1993).

2.2.2. Los microorganismos en el suelo

El suelo está poblado de innumerables seres vivos. Aunque, por número, casi todos ellos pertenecen al reino vegetal, no se debe menospreciar la importancia de los animales. El papel de las plantas y animales en la formación del suelo es fundamental ya que sin vida no se puede hablar de verdadero suelo.

Se acostumbra a dividir los organismos del suelo en dos grandes grupos basados en el tamaño: microorganismos y macroorganismos, dependiendo de que su tamaño sea menor o mayor de 2 mm respectivamente. Dependiendo del reino al que correspondan (animal o vegetal) se suelen considerar entonces cuatro grandes grupos de organismos en el suelo: macrofauna, microfauna. (ÁLVAREZ, 2008).

Las bacterias son organismos procariotas unicelulares; la mayor parte presenta forma esférica, cocos o de bastón bacilos y son importantes debido a que algunas realizan funciones específicas como la oxidación del amoníaco a nitratos, mientras que otras intervienen en el proceso general de descomposición de materia orgánica (THOMPSON y TROEH, 1998).

Los actinomicetos son organismos procariotas filamentosos; su hifa

son cenocíticas, tienen el diámetro de las bacterias y de la arcilla gruesa y están con frecuencia ramificadas y entrelazadas, por lo cual son difíciles de contar (THOMPSON y TROEH, 1998). Nutricionalmente, se trata de un grupo muy adaptable, sus miembros son heterótrofos sin excepción y pueden utilizar una amplia gama de compuestos carbonados y nitrogenados, como polisacáridos, lípidos, hidrocarburos saturados, fenoles, proteínas y quitina. Son organismos típicamente aeróbicos, por lo que no suelen encontrarse en suelos encharcados, son más frecuentes en los suelos calientes que en los fríos y resultan muy poco tolerantes a la acidez (WILD, 1992).

Los hongos, según WILD (1992), pueden representar el 70% de la población microbiana y constituyen el segundo de los dos grandes grupos de microorganismos del suelo. Todos son eucariotas heterótrofos y se incluyen entre las especies que necesitan nitrógeno, ya sea en forma de sales minerales o de compuestos orgánicos nitrogenados, pues están desprovistos de capacidad fijadora. Los saprófitos comunes en el suelo pueden ser eficaces transformadores de sustratos edáficos en tejidos microbianos. Algunos de ellos pueden asimilar entre el 30 y 50% del carbono presente en la materia orgánica que descomponen, lo que representa una tasa de conversión muy superior a la de las bacterias, que es del 5 al 20%. Esto significa que el crecimiento muy rápido de los hongos puede originar una elevada demanda del nitrógeno disponible en el suelo, aunque ésta puede quedar mitigada por su relación C/N, que es superior a la que presentan las bacterias (WILD, 1992).

La población fungosa predomina en suelos ricos en restos vegetales,

donde la competencia por alimentos y energía no es demasiado aguda, pero declinan rápidamente cuando desaparecen los materiales fácilmente degradables; en cambio, las bacterias persisten más tiempo y consumen a los hongos (THOMPSON y TROEH, 1998). La posibilidad de que predominen los hongos o el grupo bacterias actinomicetos depende de las condiciones locales, especialmente del pH y del contenido de humedad (WILD, 1992).

La abundancia y actividad de los microorganismos del suelo pueden estar influenciadas por la actividad de la fauna del suelo, como ocurre en las praderas (WARDLE y BARDGETT, 2004). De las interacciones que ocurren en el suelo, la que existe entre la microbiota y los invertebrados es una de las más relevantes. Además de los diferentes grupos que constituyen la fauna del suelo, los nematodos son los más abundantes, calculándose que existen entre 1.8 y 120 millones/m² (KEVAN, 1990). Estos microorganismos presentan una gran plasticidad y, por tanto, una gran adaptabilidad que les ha llevado a desarrollar diferentes funciones dentro del suelo, basadas fundamentalmente en su hábito alimentario y, por consiguiente, en el lugar que ocupan a lo largo de la cadena trófica. Generalmente se clasifican en especies bacteriófagas, micófagas, depredadores y fitófagas (SANCHEZ, 2007).

2.2.2.1. Factores que afectan a los microorganismos en el suelo

El suelo es un medio muy complejo, donde se dan innumerables interacciones que afectan las poblaciones de los organismos que la habitan. Asimismo, los factores medioambientales pueden afectar directa o

indirectamente las poblaciones microbianas. Así tenemos que el contenido de humedad del suelo influye en la actividad de la población microbiana de diferentes maneras, ya que a medida que se va secando el agua, las películas se hacen más finas y afectan la disponibilidad del agua y las relaciones osmóticas de las células. Las bacterias (aunque muchas midan menos de 1 μ m de diámetro) parecen tener fácil motilidad en películas sensiblemente más gruesas a 1 μ m, independientemente de que puedan desarrollarse con una humedad más baja (WILD, 1992).

Los actinomicetos son menos numerosos que las bacterias y uno de los factores favorables para su presencia es la abundancia de calcio, que proporciona una condición neutra o ligeramente alcalina (THOMPSON y TROEH, 1998). Otro factor importante a tener en cuenta es la humedad; aunque los actinomicetos necesitan humedad para su crecimiento, sus esporas pueden soportar prolongadas sequías durante más tiempo que otros microorganismos, hasta el punto que puedan llegar a dominar la población edáfica (WILD, 1992).

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

El pH puede tener importancia en la retención de las bacterias en el suelo, según lo observado experimentalmente por BITTON (BITTON, 1994). La mayor parte de bacterias y actinomicetos se desarrollan a un pH más amplio

(FASSBENDER, 1994). También existe la posibilidad que la materia orgánica por su capa negativa, absorba y retenga a estos microorganismos de manera significativa (PELCZAR, 1993).

2.3. Macrofauna de suelo

Este grupo está integrado por los animales que tienen un ancho de cuerpo mayor a 2 mm (PAGIOLA y OTA., 1997) y que pertenecen a distintos Filos, Clases y Órdenes (Cuadro 1).

El tamaño promedio de los macroinvertebrados va desde 2 a 20 mm abarca anélidos (lombrices), coleópteros (escarabajos), himenópteras-formícidas (hormigas), isópteras (termitas) y estados adultos e inmaduros de otros artrópodos edafícolas (LAVELLE *et al.*, 1994; LAVELLE, 1997; SEVILLA *et al.*, 2002).

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
			Himenóptera
	Homóptera		
	Isóptera		
	Orthoptera		
Crustacea	-	-	Isópoda
			Myriapoda
		Chilopoda	
		Diplopoda	
Nematoda	Adenophorea	-	Mermithida
Mollusca	Gasteropoda	-	

Fuente: CORREIA (2000).

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 (BROWN *et al.*, 2001). Desde el punto de vista de la alimentación incluye individuos que son herbívoros, detritívoros y depredadores (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. 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 al traer a la superficie y mezclar suelo de las capas inferiores del perfil (BLAIR *et al.*, 1996).

Como resultado de la diversidad de estos organismos e intensidad de su actividad son partícipes 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 (BURGES y RAW, 2001).

2.3.1. Importancia de la macrofauna del suelo

La biota del suelo tiene una marcada influencia en la dinámica de los nutrientes ya que sus niveles tróficos son los encargados de descomponer

paulatinamente los residuos orgánicos con los que posibilitan el proceso de reciclaje de nutrientes (BLAIR *et al.*, 1996).

Estos organismos también accionan sobre las características físicas del suelo a través de la formación de túneles y galerías que aumentan la porosidad y la infiltración del agua y modifican y crean agregados (MINAG, 2011).

En un estudio realizado de la Amazonía Peruana se evaluaron 127 comunidades de macrofauna proveniente de 37 localidades y 9 tipos de ecosistemas, encontrando que la macrofauna incluye más 14,500 especies de 18 grupos. Los resultados de su análisis mostraron, independientemente del tipo de ecosistema, un dominio de lombrices de tierra en la biomasa y de las hormigas en la abundancia, ocupando las termitas el tercer lugar de abundancia, y que la perturbación afecta fuertemente a casi todos los grupos. Un grupo importante de la macrofauna edáfica señalado por BROWM *et al.* (2001), es el de las larvas de coleóptero.

2.3.2. Macrofauna y sus efectos sobre el 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 aeración y de forma indirecta a través del efecto que tienen sobre la vegetación (DUBS *et al.*, 2004; Swift *et al.*, 1976, citado por CURRY, 1987).

La densidad de Coleóptera y Oligochaeta tiene una relación positiva

con el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total (CLAPPERTON, 2000). 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 (Satchell, 1967, citado por PAGIOLA y ORA (1997).

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. (BLAIR *et al.*, 1996).registraron que la riqueza taxonómica total y la abundancia de Coleóptera y Oligochaeta aumentó positiva y significativamente con el incremento del contenido de K 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 (HENDRICKS, 1985). 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 (HENDRICKS, 1985). Esta propiedad tiene una fuerte dependencia con el material parental, pero el tipo de vegetación y los procesos de descomposición ejercen efectos sobre ella.

En general los organismos edáficos prefieren ambientes húmedos.

En condiciones de déficit de agua se trasladan a partes más profundas del perfil y se distribuyen en forma más agregada (VERHOEF Y VAN SELM, 1983). 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 (LAVELLE, 1997). La macrofauna más numerosa son los artrópodos, sobre todo los colémbolos, que viven en los primeros 5 cm de suelo. Los colémbolos son las responsables de trocear la materia orgánica, aumentando su área superficial. Las lombrices de tierra desempeñan un papel importante en el suelo, mezclando la materia orgánica con los componentes minerales.

Cuadro 7. Actividades de la fauna del suelo en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.

Categoría	Ciclaje de nutrientes	Estructura del suelo
Microfauna (4 μm – 100 μm)	<ul style="list-style-type: none"> - Regulan las poblaciones de bacterias y hongos. - Alteran el ciclaje de nutrientes 	Pueden afectar la estructura del suelo a través de interacciones con la microflora.
Mesofauna (100 μm – 2 mm)	<ul style="list-style-type: none"> - Regulan las poblaciones de hongos y de la microfauna. - Alteran el ciclaje de nutrientes. - Fragmentan detritos vegetales. 	<ul style="list-style-type: none"> Producen pelotas fecales. Crean bioporos. Promueven la humificación.
Macrofauna (2 mm – 20 mm)	<ul style="list-style-type: none"> - Regulan los hongos y la microfauna. - Estimulan la actividad microbiana 	<ul style="list-style-type: none"> - Descomponen partículas orgánicas y minerales. - Redistribuyen la materia orgánica y microorganismos. - Promueven la humificación.

Fuente: CORREIA (2000).

2.4. 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 (LAVELLE, 1997).

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).

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 (LAVELLE, 1997). 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 (BROWN *et al.*, 2001). 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 (TAPIA, 2002), porque determina los recursos disponibles y afecta las interacciones entre los herbívoros, sus controladores y los detritívoros (SEVILLA *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.

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 (TAPIA, 2002). 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).

En relación a la variación temporal de las especies vegetales, ALVAREZ (2008), estudiaron conjuntamente los efectos del laboreo y de la 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.

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 (ICRAF. 1982. Citado por: SOMARRIBA). 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 (SOMARRIBA., 1994). 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 (TAPIA, 2002).

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 (USDA, 1998). 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 (WILD, 1992).

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).

2.5. Sistemas agroforestales (Saf): concepto, características y clasificación

La agroforestería es un sistema complejo de uso de la tierra antiguo y ampliamente practicado, en el que los árboles se combinan espacial, y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas (FARRIEL y ALTIERI, 1999).

Para lograr los beneficios de la diversificación, se requiere que los cultivos asociados respondan diferencialmente a las condiciones que determinan la producción agrícola o económica (SOMARRIBA, 1994).

Según el Centro Mundial de Agroforestería ICRAF (1982), “La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local.

El objetivo de los SAF es optimizar los efectos benéficos de las interacciones del componente maderable con el componente animal o cultivo, según las condiciones económicas, ecológicas y sociales predominantes (ICRAF, 1982).

Estos sistemas representan una alternativa para los productores porque reducen la dependencia de un solo cultivo, permiten desarrollar actividades productivas económica y ambientalmente más sostenibles y representan una práctica con gran potencial para la captura de carbono (FASSBENDER, 1987).

2.6. 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 CE para salinidad puede no ser útil en algunos sectores del país, donde la salinidad no es un problema (DORAN y LINCOLN, 1999).

El mejoramiento de la calidad de un suelo se percibe, en general, por 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 (ICRAF, 1982).

2.7. Investigaciones realizadas

LAVELLE y PASHANASHI (1994), evaluó la comunidad de macroinvertebrados 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/m²) y su biomasa, dominada por oligochaetas, isópteras y miriápodos (57.8 a 91.1 g peso fresco/m²), son bastante altas. Los cultivos de esta comunidad, cuya densidad es de 362 a 574 individuos/m² y cuya biomasa es de 5.1 a 32.4 g peso fresco/m², se encuentran severamente agotados (PASHANASHI, 2001).

Las pasturas tienen baja diversidad. La densidad de su población varía en un rango de 654 a 1 034 individuos/m². Su biomasa es tan alta como de 38.4 a 165.9 g peso fresco/m², 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/m²; mientras que la biomasa varía entre 4.2 y 102 g peso fresco/m². Cabe destacar que, en algunos casos, la riqueza taxonómica es mayor que la del bosque primario (PASHANASHI, 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/m², mientras que su biomasa varía entre 18.5 y 170.5 g peso fresco/m², 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) (PASHANASHI, 2001).

ZVALETA, 1992 evaluó el 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.

WARDLE y BARDGETT, (2004) al determinar la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María con el propósito de conocer la dinámica de la mesofauna edáfica, cuantificarla y cualificarla, así como identificar a nivel de ordenes predominantes en el suelo, la relación con la materia orgánica, en diferentes estratos; con 5 repeticiones por cada suelo a lo largo de un

transecto. Los resultados obtenidos muestran el suelo con cobertura forestal, tiene la mayor cantidad de individuos representantes de la mesofauna con 16 304 individuos estimados en un m², el suelo degradado con 448 individuos estimados en un m² con la menor cantidad entre los cuatro suelos evaluados; por lo tanto el mejor indicador de materia orgánica es el de un suelo forestal ya que existe una relación directa uso (maizal, cafetal, bosque secundario y pastizal), con un muestreo y análisis del suelo y un transecto con cinco monolitos de 25x25x30 cm de profundidad por sistema en el distrito Hermilio Valdizan; los resultados obtenidos en los diferentes sistemas del suelo fueron: El cafetal presentó una textura franco arcillo limosa, una densidad aparente (0.9 g/cm³), resistencia (2.5 kg/cm²), pH moderadamente ácido (5.58), contenido medio de materia orgánica (2.75%) y nitrógeno (0.12%), bajo contenido de fósforo (2.21 ppm) y potasio (283.56 kg/ha). Los suelos del bosque secundario tiene una densidad aparente (1.1 g/cm³), textura franco arcillosa, resistencia (1.5 kg/cm²), pH moderadamente ácido (6.23), bajo contenido de materia orgánica (1.19%) y nitrógeno (0.07%), contenido medio de fósforo (7.85 ppm) y potasio (351.14 kg/ha). Los suelos del pastizal presentaron una textura de franco arcillosa, baja densidad aparente de 1.0 g/cm³, alta resistencia a la compactación (2.9 Kg/cm²), pH fuertemente ácido (5.36), bajo contenido de materia orgánica (1.97%) y nitrógeno (0.09%), contenido medio de fósforo (7.94 ppm) y potasio (339.22 Kg/Ha). Los suelos de maizal presentaron: textura franco arcillo limosa, baja densidad aparente (1.0 g/cm³), resistencia de (1.7 kg/cm²), pH fuertemente ácido (5.01), contenido medio de materia orgánica (2.15%) y nitrógeno (0.10%), bajo contenido de fósforo (0.98 ppm) y potasio (209.36).

Los indicadores biológicos estudiados en los diferentes sistemas de uso de suelo; se encontró 11 grupos taxonómicos de especies; con mayor diversidad en el bosque secundario (10), seguido por el maizal con 10, el cafetal 8 y el pastizal con 6. La mayor densidad (1030 ind.m^{-2}) y biomasa de macrofauna (194.70 g.m^{-2}) se encontró en el pastizal de 0 – 10 cm de profundidad. La correlación entre las propiedades físicas, químicas del suelo y la macrofauna, el incremento y la disminución de la temperatura del suelo indica una fuerte relación positiva con respecto a la abundancia, distribución y la actividad de la macrofauna en el suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona en estudio

3.1.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en tres (04) parcelas con diferentes sistemas de uso del suelo (forestal, bosque secundario, pastizal y sistema agroforestal) ubicados en la localidad de Cayena, a 1.5 km de la carretera Fernando Belaunde Terry, con dirección Juanjui - Tocache, políticamente pertenecen al departamento San Martín, provincia Mariscal Cáceres, distrito Juanjui.

Cuadro 8. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio

Zona de estudio	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
Sistema forestal	308839	9194581	455
Sistema agroforestal	309029	9195308	396
Bosque secundario	309053	9196036	312
Pastizal	309380	9195115	394

3.1.2. Zonas de vida

HOLDRIDGE (1966) establece según el diagrama bioclimático, que ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida; la localidad de Cayena presenta formaciones vegetales de bosque húmedo tropical (Bh – T).

3.1.3. Clima

El clima de la zona de trabajo según los registros meteorológicos del SENAMHI presenta una temperatura promedio 23°C a 36°C, muy caliente habitual en el año, temperatura mínima de 18 – 20 °C, temperatura máxima de 33 – 36 °C. La precipitación media del distrito de Mariscal Cáceres es de 2000 mm por año. Presentándose una estación seca (de junio para septiembre) y una estación con precipitaciones bien marcadas (de octubre para mayo).

3.1.4. Vegetación

Presenta una vegetación típica de bosque secundario, donde predominan las especies de capirona (*Calycophyllum spruceanum*), bolaina (*Guazuma crinita*), teca (*Tectona grandis*) y bosques cubiertos de densa vegetación arbórea. Asimismo la influencia de régimen hídrico, la cantidad de nutrientes y la vegetación favorece un microclima especial para el desarrollo de la cubierta vegetal donde las temperaturas son más moderadas.

3.1.5. Hidrología

El río Huallaga tiene subafuentes: río Huayabamba, río Saposoa y el río Biabo donde llevan productos de erosión (sedimentos).

3.1.6. Tipos de suelo

Según el estudio ejecutado por el gobierno regional de San Martín, ZEE 2004, identificaron 5 tipos del suelo, y 25 series diferentes en todo el área de estudio, por lo que en esta zona existen suelos cuyas características edafológicas indican que son aluviales, aptas para cultivos temporales como; arroz (bajo riego), plátano(variedad Isla), frutales, pastos y perennes como el cacao así como especies forestales y nativas, dado que tienen un alto contenido de materia orgánica llegando hasta un 25%, un intercambio catiónico de 11.5% con una distribución promedio N-P-K de 8-10-12, en la zona Oeste se encuentran suelos con un pH de 6.0 e intercambio catiónico aceptables, propicios para el buen desarrollo de cultivos perennes.

3.1.7. Actividades socioeconómicas

La principal actividad en la zona es la agricultura, casi el 100% de la población se dedica a la producción de cacao, arroz, naranja, papaya, plantaciones con métodos de cultivo de sistemas agroforestales, tomando conciencia con el ambiente.

3.2. Descripción de los sitios de muestreo

3.2.1. Sistema bosque secundario

Bosque intervenido con 15 a más años de recuperación, con una pendiente de 0.5% y una humedad relativa de 62.7%. Presenta vegetación arbórea con porte alto como bolaina (*Guazuma crinita*), palmera de coco (*Cocos*

nucifera), cedro (*Cedrela odorata*), cetico (*Cecropia sp.*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*), caoba (*Swietenia macrophylla*), entre otros.

3.2.2. Sistema forestal

Parcela de capirona (*Calycophyllum spruceanum*) de 3 años de uso, con un área de 0.6944 ha, con pendiente de 20% y humedad relativa de 60%. Tiene un distanciamiento de 3 m x 3 m.

3.2.3. Sistema agroforestal

Parcela con 3 años de uso, con un área de 0.5005 ha, y un distanciamiento de 3 m x 3 m, con pendiente de 22% y humedad relativa de 70%. Tiene un manejo orgánico y están asociados a especies de teca (*Tectona grandis*), paliperro (*Vitex sp.*) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y cacao (1.5 años)

3.2.4. Pastizal

Pastizal con 20 años aproximadamente de uso, especies de braquiaria, con un área de 0.5 ha, con pendiente de 30% y humedad relativa 5%.

3.3. Materiales, insumos y equipos

3.3.1. Materiales de campo

Wincha de 50 m, libreta de campo, stickers para codificar, balde plástico de 5 L, bolsas plásticas de 1 kg y 10 x 12, rafia, cuadro de madera de 1 x 1m, botellas inyectables, cuadrado muestreador (monolito) de 25 x 25cm y 10

cm de profundidad, pinceles, envases de plástico, guantes, plumón indeleble, varilla de hierro, martillo, machete, pala recta, muestreador de suelo.

3.3.2. Equipos de campo

Termómetro de suelo, penetrómetro, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS).

3.3.3. Materiales de laboratorio

Tubos de ensayo, placas Petri, pinza, maso para moler la tierra, tamiz de 2 mm de diámetro.

3.3.4. Equipos de laboratorio

Balanza digital, estereoscopio, estufa, peachímetro.

3.3.5. Reactivos

Los reactivos utilizados fueron, alcohol de 70° y formol para la conservación de las muestras biológicas.

3.4. Tipo y nivel de investigación

3.4.1. Tipo de la investigación

Para la ejecución del trabajo de investigación se adoptó un diseño Descriptivo, correlacional - causal, considerando los cuatro sistemas de uso del suelo (sistema forestal, sistema agroforestal, bosque secundario y pastizal).

3.4.2. Nivel de la investigación

El nivel es probabilístico debido a que se aplicó un muestreo para obtener datos representativos.

3.5. Método y diseño de la investigación

3.5.1. Método de la investigación

Descriptivo – comparativo y explicativo

Es de alcance descriptivo - comparativo, explicativo, debido a que se describió y realizó una comparación los diferentes sistemas de usos de los suelos, y es explicativo por que se explicará la relación de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

3.5.2. Componentes en estudio

Los componentes en estudio de la investigación fueron:

- Sistemas de uso del suelo (sistema forestal, sistema agroforestal, bosque secundario y pastizal).
- Muestras de suelos (campo y analizados en el laboratorio).
- Macrofauna y microfauna del suelo.

3.5.3. Diseño de la investigación

El diseño que se empleará para la presente investigación, será transversal.

Es de carácter transversal, porque los datos se recolectaran en un solo momento, mediante el muestreo y análisis de suelos, evaluación de la compactación, densidad aparente y la macrofauna, actividades a realizar entre un periodo de seis meses.

3.6. Metodología

3.6.1. Coordinación con los propietarios de los terrenos a evaluar

Las coordinaciones se realizaron con visitas directas a los propietarios de los predios: del sistema forestal con el Sr. Leider Guamuro Gonzales, del sistema agroforestal con el Sr. Luis Shapiama, del bosque secundario con el Sr. Víctor Coral Chuquizuta y del pastizal con el Sr. Gildelbrando Chuquizuta.

3.6.2. Identificación de sitios de muestreo

Se identificó cuatro parcelas, las mismas que se georreferenciaron en coordenadas (UTM). Las parcelas seleccionadas correspondieron sistema forestal, sistema agroforestal, bosque secundario y pastizal. Las condiciones de los días de muestreo se realizó los días soleados, a intervalos de las horas de 7.00 am a 5.00 pm.

3.6.2.1. 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 de suelo.

En cada lugar de muestreo se usó el tubo muestreador de 30 cm de profundidad. Luego de tener todas las submuestras mezclamos para homogenizar y tomamos 1 kilogramo, luego fueron colocadas en bolsas plásticas y rotuladas con stickers, luego se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis físico - químico.

3.6.3. Muestreo de la fauna edáfica del suelo

La metodología empleada para la macrofauna del suelo fue similar a la empleada por PASHANASI (2002), 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 50 m y se obtuvo monolitos a intervalos de 10 m, haciendo un total de (6 monolitos por parcela) (Figura 1).

De igual manera para la evaluación de la diversidad de microfauna edáfica del suelo, se tomaron seis (06) 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 denominado monolito de 25 x 25 x 10 cm, método recomendado por el 0 Programa Tropical Soil Biology And Fertility – TSBF. Los organismos fueron identificados por unidades taxonómicas (familia y órdenes) en el laboratorio de entomología. La densidad fue medida en individuos/m² y la biomasa en gramos de peso fresco/m².

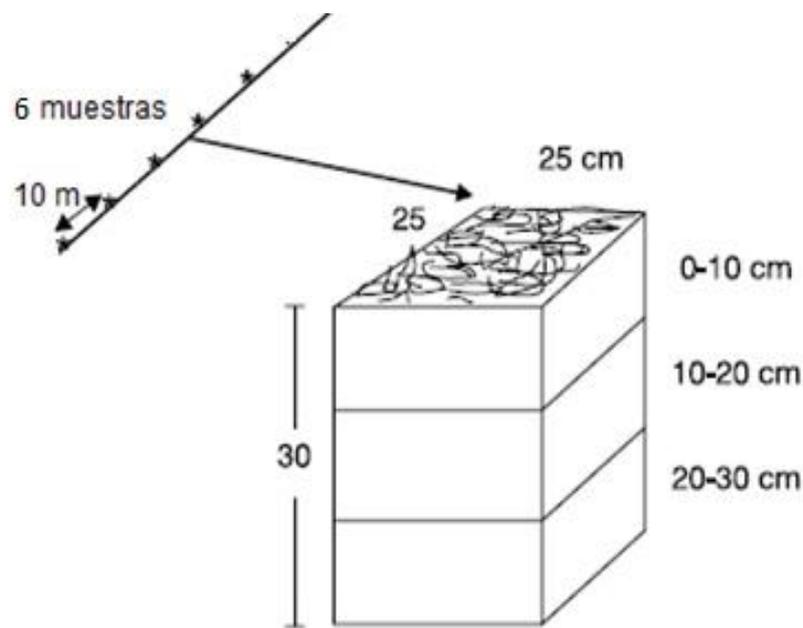


Figura 1. Esquema del plan de muestreo.

3.6.4. 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 (g/m^2) y densidad (individuos/m^2) de todos los macroinvertebrados por medio de estereoscopio y una balanza de precisión. Los valores de biomasa son multiplicados por un valor de corrección (19% para las lombrices, 9% hormigas, 11% escarabajos, 6% arañas y 13% para el resto de macroinvertebrados) debido a la pérdida de peso durante la fijación en alcohol y formol (DECAENS *et al.*, 1994).

En el laboratorio de Entomología de la Universidad Agraria de la Selva, se usaron las claves de identificación, donde 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 se calculó el porcentaje de abundancia o densidad relativa promedio de cada unidad taxonómica en cada sistema de suelo.

Se pesará para determinar la biomasa de la macrofauna en los diferentes sistemas de suelo.

$$\text{DRM} = \text{Densidad relativa por monolito} = \frac{\text{Sumatoria de los monolitos}}{\text{Total de monolitos}}$$

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

3.6.5. Diversidad de especies

Para determinar el índice de diversidad de especies se utilizó la fórmula de Shannon Wiener.

3.6.5.1. Riqueza de la diversidad biológica alfa

Las variables de estudio e índices de diversidad alfa son:

Índice de Diversidad de Shannon - Wiener (H')

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

Dónde: n_i = Abundancia de género

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

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

3.7. Variables a evaluar

Para poder evaluar la macrofauna como indicador biológico en los diferentes tipos de uso de tierra, se evaluó los siguientes componentes físicos, químicos y biológicos del suelo.

Cuadro 9. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (variables).

Parámetros físicos	Método de su determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Temperatura del suelo	Método directo (termómetro)
Resistencia a la penetración	Método directo (penetrómetro)
Parámetros químicos	Método de su determinación
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
Parámetros biológicos	Método de su determinación
Densidad de la macrofauna	Método directo por conteo
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo
Diversidad de especies	Método de Shannon – Wiener

3.8. Análisis de datos

Se determinó el 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

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

Asimismo; Se utilizará la prueba estadística r para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón (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 del suelo bajo diferentes sistemas de uso

4.1.1. Textura del suelo

La textura del suelo de los cuatro sistemas de uso en la localidad de cayena, están dominados por la fracción arcilla, todos estos sistemas presentaron una misma variación textural, presentándose la clase textural franco arcilloso para todos los sistemas, como se observa en el cuadro 10.

Cuadro 10. Textura de los suelos encontrados en los cuatro sistemas de uso.

Textura	Agroforestal	Bosque s.	Pastizal	Forestal
Arena (%)	37.68	35.68	35.68	33.68
Arcilla (%)	35.04	35.04	33.04	37.04
Limo (%)	27.28	29.28	31.28	29.28
Textura	FrAr	FrAr	FrAr	FrAr

FrAr: franco arcilloso

4.1.2. Densidad aparente

El cuadro 11. Muestra que la mayor densidad aparente lo presentó el sistema pastizal con 2.02 g/cm^3 , mientras el sistema bosque secundario

presentó una densidad aparente 1.26 g/cm^3 , siendo la densidad más baja presentado en los cuatro sistemas de uso evaluados.

Cuadro 11. Densidad aparente de los cuatro sistemas evaluados

Sistema de uso	Densidad aparente g/cm^3
Agroforestal	1.35 g/cm^3
Bosque S.	1.26 g/cm^3
Pastizal	2.02 g/cm^3
Forestal	1.46 g/cm^3

4.1.3. Resistencia a la penetración

El cuadro 12. Muestra que el sistema pastizal obtuvo mayor resistencia con 2.1 Kg/cm^2 , seguidos de los sistemas agroforestal y forestal ambos con una resistencia de 1.7 Kg/cm^2 , finalmente bosque secundario fue inferior con 1.5 Kg/cm^2 .

Cuadro 12. Resistencia a la penetración de los cuatro sistemas evaluados

Sistema de uso	Resistencia a la penetración Kg/cm^2
Agroforestal	1.7 Kg/cm^2
Bosque S.	1.5 Kg/cm^2
Pastizal	2.1 Kg/cm^2
Forestal	1.7 Kg/cm^2

4.1.4. Temperatura del suelo

El cuadro 13. Muestra que la temperatura del suelo para los diferentes sistemas mostraron una misma variación, encontrándose entre los 23.3 °C hasta los 25.8 °C, presentando superioridad el sistema pastizal.

Cuadro 13. Temperatura del suelo en los diferentes sistemas evaluados

Sistema de uso	Temperatura °C
Agroforestal	23.2 °C
Bosque S.	23.5 °C
Pastizal	25.8 °C
Forestal	24.3 °C

4.2. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso

El Cuadro 14 muestra el análisis químico del suelo de los diferentes sistemas de uso, el mismo que se detalla en los siguientes párrafos:

- El suelo del sistema agroforestal presenta un pH ligeramente ácido (6.68), con contenidos medios en materia orgánica (2.63%), nitrógeno (0.12%), fósforo (9.53 ppm) y CIC (16.17) cmol/g suelo, asimismo presentado contenidos bajos en K₂O (99.97 kg/Ha), altos en calcio (11.00 meq/100gr) y magnesio (5.30 meq/100gr).
- El suelo del sistema bosque secundario presenta un pH neutro con (7.12), con contenidos medios en materia orgánica (3.21%), nitrógeno (0.14%),

fósforo (11.76 ppm) y CIC con 15.24 cmol/g suelo, un contenido bajo en K₂O (167.98 Kg/Ha), altos en calcio (10.24 meq/100gr) y magnesio (4.80 meq/100gr).

- El suelo del sistema pastizal presenta un pH ligeramente ácido (6.63), con contenidos altos en materia orgánica (4.96%) y nitrógeno (0.22%), asimismo presentan contenidos medios en fósforo (9.21 ppm) y CIC (17.19 cmol/g suelo), bajo en K₂O (247.09 kg/ha), alto en calcio (12.04 meq/100gr) y magnesio (4.70 meq/100gr).
- El suelo del sistema forestal presenta un pH ligeramente ácido (6.25), con contenidos medios en materia orgánica (3.21%), nitrógeno (0.14%) y CIC (16.50 cmol/g suelo) y alto en fósforo (20.15 ppm), bajo en K₂O (291.67 kg/ha), alto en calcio (11.03 meq/100gr) y magnesio (4.53 meq/100gr).

Cuadro 14. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.

Sistema de uso	pH	M.O	N	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg
	1:1	%	%	ppm	kg/ha	Cmol/g suelo	Meq/100g	Meq/100g
Agroforestal	6.68	2.63	0.12	9.53	99.97	16.17	11.00	5.30
Bosque S.	7.12	3.21	0.14	11.76	167.98	15.24	10.24	4.80
Pastizal	6.63	4.96	0.22	9.21	247.09	17.19	12.04	4.70
Forestal	6.25	3.21	0.14	20.15	291.67	16.50	11.03	4.53

4.3. Identificación y cuantificación de macrofauna del suelo

4.3.1. Identificación de macrofauna

Se identificaron 45 órdenes en total de macrofauna, 21 en el sistema agroforestal, 38 en bosque secundario, 23 en pastizal y 21 en forestal; himenóptera fue el más predominante seguido por isóptera y haplotaxida, himenóptera fue mayor en el sistema agroforestal encontrándose 796 individuos m^2 , mientras bosque secundario fue menor con 177 individuos m^2 , en tanto la orden isóptera predominó en bosque secundario con 498 individuos m^2 , finalmente en el sistema forestal el orden haplotaxida fue mayor con 167 individuos m^2 , (ver anexo).

4.3.2. Densidad y biomasa de la macrofauna edáfica

Los suelos de bosque secundario presentaron mayor cantidad de individuos con una densidad de 1163 ind. m^{-2} , seguidos por el sistema agroforestal con 997 ind. m^{-2} , y forestal con 781 ind. m^{-2} , y con menor densidad el sistema pastizal con 437 ind. m^{-2} . De la misma manera, el sistema bosque secundario presentó mayor biomasa (18.56 g. m^{-2}), mientras el sistema agroforestal fue menor con 6.41 g. m^{-2} .

Cuadro 15. Densidad y biomasa de macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	Densidad (ind. m^{-2})	Biomasa (g. m^{-2})
Agroforestal	997	6.41
Bosque S	1163	18.56
Pastizal	437	12.07
Forestal	781	14.3

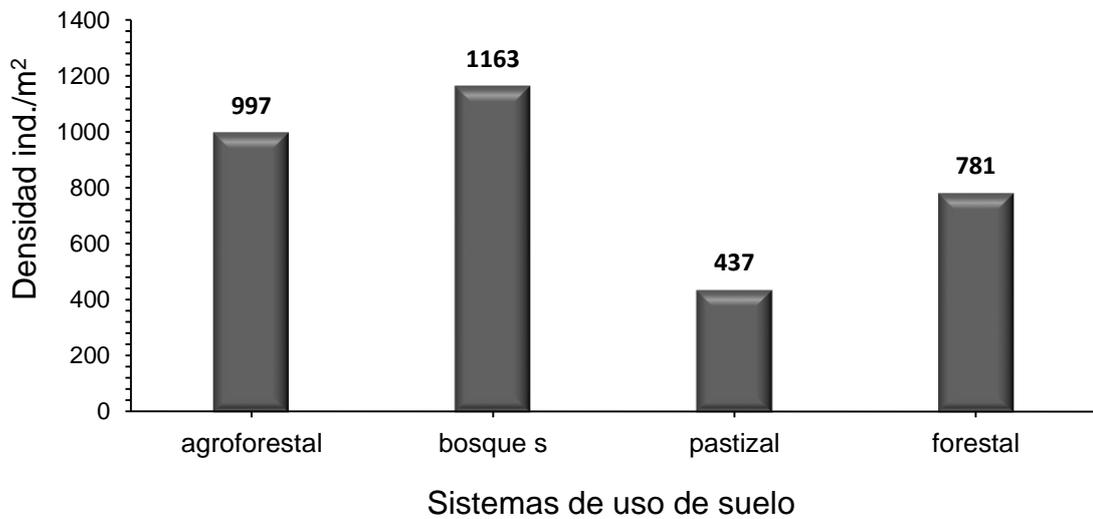


Figura 2. Densidad de la macrofauna del suelo en 04 sistemas de uso de suelo de la localidad de Cayena.

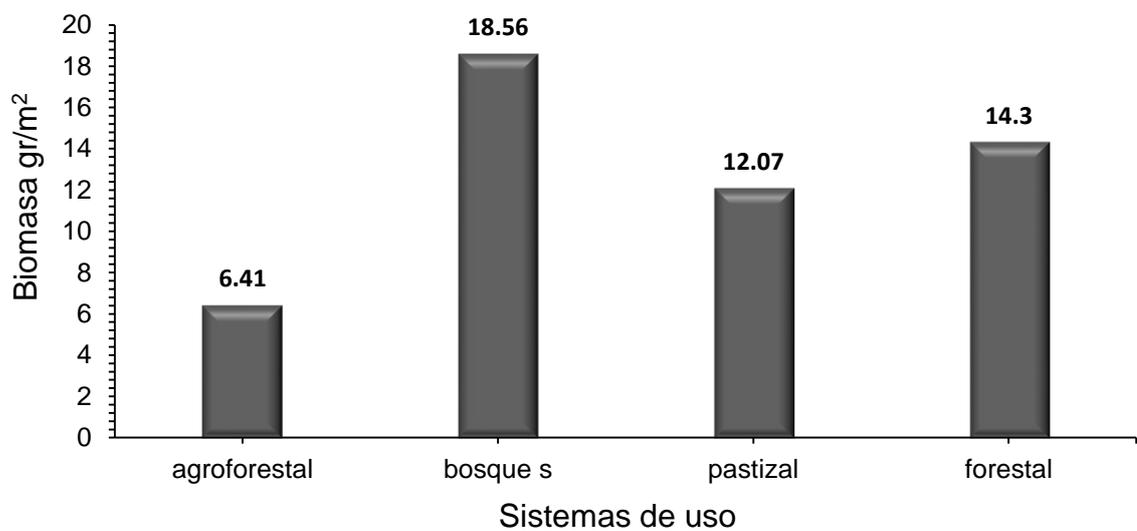


Figura 3. Distribución de la biomasa de la macrofauna del suelo en 04 sistemas de uso de suelo de la localidad de Cayena.

4.3.3. Densidad y biomasa de macrofauna a diferentes profundidades del suelo.

El bosque secundario presentó mayor densidad de macrofauna a las

profundidades de 0-10 cm y 20-30 cm respecto a los demás sistemas de uso con 1040 y 99 ind.m⁻² respectivamente, asimismo el sistema agroforestal a la profundidad de 10-20 cm con 152 ind.m⁻² fue superior a los demás sistemas, mientras el sistema pastizal reportó bajas densidades en las tres profundidades de muestreo, como muestra el Cuadro 16.

Cuadro 16. Densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso y profundidades del suelo.

Profundidad	Sistema de uso			
	Agroforestal (ind.m ⁻²)	Bosque (ind.m ⁻²)	Pastizal (ind.m ⁻²)	Forestal (ind.m ⁻²)
0 – 10	811	1040	396	539
10 – 20	152	91	30	143
20 – 30	32	99	11	34

La Figura 4. Muestra la densidad de la macrofauna del suelo en 4 sistemas de uso, mostrando un descenso a medida que aumenta la profundidad, bosque secundario fue superior de los demás sistemas de uso.

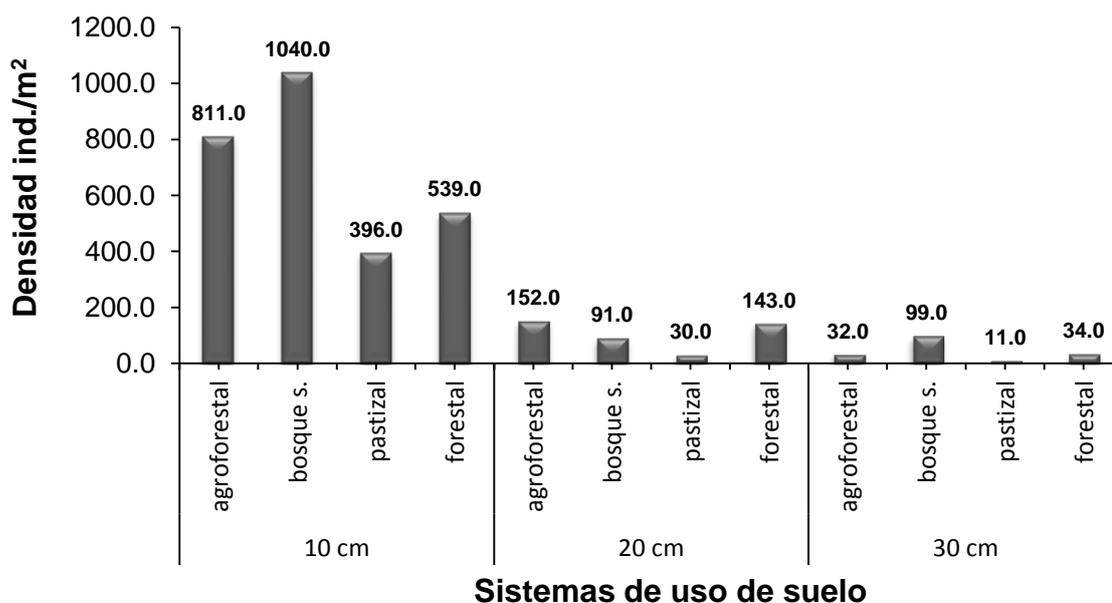


Figura 4. Densidad de la macrofauna a diferentes profundidades de muestreo.

El bosque secundario presentó mayor biomasa en los estratos de 0-10 cm y 20-30 cm con 10.15 g.m^{-2} y 6.14 g.m^{-2} respectivamente, mientras el sistema agroforestal presentó mayor biomasa a comparación con los demás sistemas en las tres profundidades de muestreo como muestra el cuadro 17.

Cuadro 17. Biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades del suelo.

Profundidad de muestreo	Sistemas de uso			
	Agroforestal (g.m^{-2})	Bosque s. (g.m^{-2})	Pastizal (g.m^{-2})	Forestal (g.m^{-2})
0-10 cm	5.31	10.15	7.20	6.25
10-20 cm	0.98	2.27	4.35	4.87
20-30 cm	0.12	6.14	0.51	3.17

La Figura 5, muestra que la biomasa de la macrofauna es mayor en suelos de bosque secundario a 10 cm de profundidad.

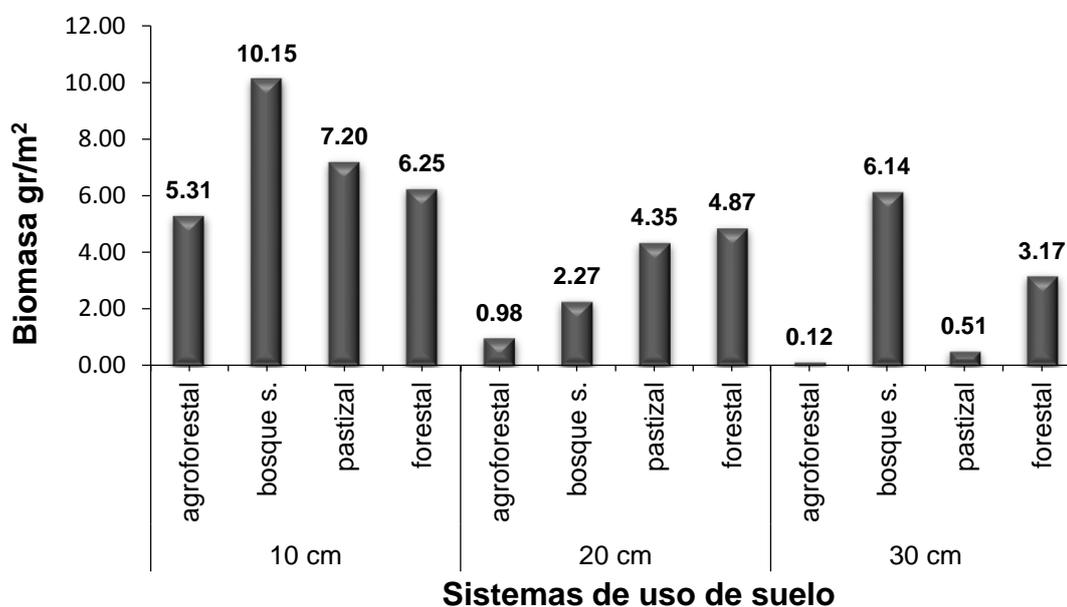


Figura 5. Distribución de la biomasa a diferentes profundidades de muestreo en cuatro sistemas de uso de la localidad de Cayena.

4.3.4. Diversidad de la macrofauna en los sistemas de uso de suelo.

La diversidad de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso en la localidad de Cayena (Cuadro 18), nos muestra los resultados obtenidos de la macrofauna por el índice de diversidad de Shannon – Wiener (H'), donde un alto número de taxones en las muestras nos presenta una elevada diversidad en los sistemas bosque secundario, pastizal y forestal pero siendo el sistema bosque secundario más elevado con un índice de 1.89 (H'), mientras el sistema agroforestal presentó un índice inferior a los demás sistemas con 0.92 (H').

Cuadro 18. Diversidad de especies de la macrofauna del suelo índice Shannon – Wiener

Sistema de uso	Shannon-Wiener
	H'
Agroforestal	0.92
Bosque S.	1.89
Pastizal	1.21
Forestal	1.48

H' : Índice Shannon y Wiener.

4.3.5. Diversidad de la macrofauna a profundidades del suelo

La diversidad de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso en la localidad de Cayena (Cuadro 19), nos muestra los resultados obtenidos de la macrofauna por el índice de diversidad de Shannon – Wiener (H') en diferentes profundidades, donde un alto número de taxones en las muestras nos presenta una elevada diversidad, todos los sistemas fueron diversos a la profundidad de 00-10 cm, el sistema bosque secundario más elevado en diversidad en las tres

profundidades de muestreo, el mayor fue el sistema agroforestal con 0.65 (H') y 0.44 (H') en comparación con los demás sistemas a las profundidades de 10-20 cm y 20-30 cm respectivamente .

Cuadro 19. Diversidad de especies de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades índice Shannon – Wiener

Profundidad	Sistemas de uso			
	Agroforestal	Bosque s	Pastizal	Forestal
10 cm	1.69 H'	1.91 H'	1.28 H'	1.84 H'
20 cm	0.65 H'	2.04 H'	1.26 H'	1.72 H'
30 cm	0.44 H'	1.72 H'	1.11 H'	0.89 H'

H' : índice de Shannon y Wiener

La Figura 6. Muestra que el sistema bosque secundario fue mayor en diversidad, en las tres profundidades de muestreo, mientras el sistema agroforestal fue el menor a diferencia de los demás sistemas.

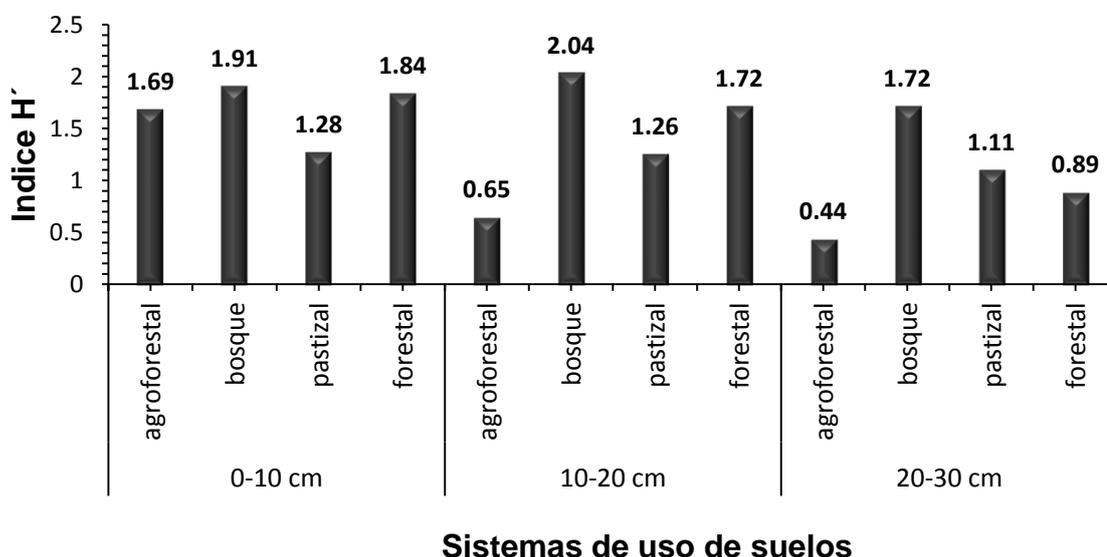


Figura 6. Índice de Shannon-Wiener de la macrofauna del suelo a diferentes profundidades en los sistemas de uso de suelo de la localidad de Cayena.

4.3.6. Cuantificación de biomasa que producen los sistemas.

El cuadro 20, muestra la biomasa que producen los diferentes sistemas de uso evaluados en la localidad de Cayena, el sistema de uso bosque secundario fue superior en biomasa que el resto de los sistemas presentando 46.70 t/ha^{-1} , mientras el sistema forestal fue menor con 14.43 t/ha^{-1} de biomasa de hojarasca.

Cuadro 20. Biomasa bajo cuatro (04) sistemas de uso de suelo (t/ha^{-1}).

Biomasa hojarasca t/ha^{-1}	Sistemas de uso de suelo			
	Agroforestal	Bosque S.	Pastizal	Forestal
	17.37	46.70	15.01	14.43

La Figura 7, muestra la producción de biomasa en los diferentes sistemas de uso de suelo, bosque secundario presentó la mayor producción de biomasa superando a los demás sistemas de uso.

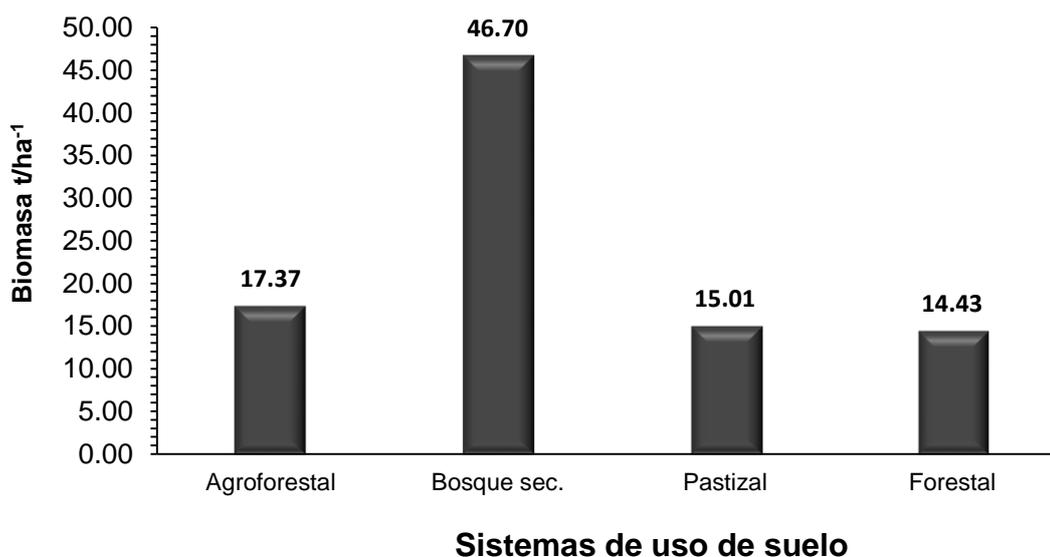


Figura 7. Biomasa almacenada de hojarasca en diferentes sistemas de uso de suelo.

4.3.7. Cuantificación de microorganismos del suelo

El cuadro 21. Muestra la cuantificación de microorganismos aeróbicos viales col/g de suelo en los diferentes sistemas evaluados, los mayores números se obtuvieron a los 10 cm de profundidad descendiendo así hasta los 30 cm, el sistema forestal fue superior con 3014×10^4 col/g de suelo a los 0-10 cm, seguido el sistema agroforestal con 241×10^4 col/g de suelo a los 10-20 cm, finalmente pastizal la obtuvo a los 20-30 cm con 134×10^4 col/g de suelo.

Cuadro 21. Numeración de microorganismos aeróbicos viales

N.M.A.V	Microorganismos col/g de suelo			
Profundidad	Agroforestal	Bosque s.	Pastizal	Forestal
00-10 cm	2602×10^4	2299×10^4	1621×10^4	3014×10^4
10-20 cm	241×10^4	36×10^4	193×10^4	44×10^4
20-30 cm	61×10^4	55×10^4	134×10^4	65×10^4

El cuadro 22. Muestra la cuantificación de microorganismos actinomicetos col/g de suelo en los diferentes sistemas evaluados, los mayores números se obtuvieron a los 10 cm de profundidad, el sistema forestal fue superior con 2038×10^4 col/g de suelo a los 0-10 cm, el sistema pastizal con 2463×10^4 col/g y 972×10^4 col/g siendo menor en los estratos 10-20 cm y 20-30 cm.

Cuadro 22. Numeración de actinomicetos

Actinomicetos	Microorganismos col/g de suelo			
Profundidad	Agroforestal	Bosque s.	Pastizal	Forestal
00-10 cm	1648×10^4	268×10^4	1636×10^4	2038×10^4
10-20 cm	188×10^4	48×10^4	2463×10^4	136×10^4
20-30 cm	656×10^4	25×10^4	972×10^4	113×10^4

El cuadro 23. Muestra la cuantificación de microorganismos mohos y levaduras col/g de suelo en los diferentes sistemas evaluados, los mayores números se obtuvieron a los 10 cm de profundidad, el sistema forestal fue superior con 3014×10^4 col/g de suelo, seguido el sistema bosque secundario siendo mayor en los estratos 00-10 cm y 10-20 cm con 9×10^4 col/g y 8×10^4 col/g de suelo respectivamente, mientras a los 20-30 cm todos los sistemas presentaron una variación similar de 1×10^4 col/g hasta los 3×10^4 col/g.

Cuadro 23. Numeración de mohos y levaduras

N.M.L	Microorganismos col/g de suelo				
	Profundidad	Agroforestal	Bosque S.	Pastizal	Forestal
	00-10 cm	4×10^4	9×10^4	7×10^4	6×10^4
	10-20 cm	4×10^4	8×10^4	2×10^4	2×10^4
	20-30 cm	2×10^4	1×10^4	3×10^4	2×10^4

4.4. Relación entre las propiedades físico- químicos del suelo con la propiedades biológicas.

En el Cuadro 24, muestra la ecuación, Densidad Total = $7590186 - 414481CIC$, donde se determina que a una variación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, la densidad total de la macrofauna edáfica tiende a disminuir.

Cuadro 24. ANVA de la relación de la densidad total de la macrofauna y la CIC del suelo.

	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	338453.157	1	338453.157	44.024	0.022b
	Residuo	15375.843	2	7687.921		
	Total	353829.000	3			

En el Cuadro 25, se observa la relación de los actinomicetos con el contenido de calcio en el suelo, obteniendo la ecuación, Actinomicetos = $265641393732+26280198035Ca$, donde se determina que a un incremento del contenido de calcio en el suelo (cmol/100g), la población microbiana (actinomicetos) se incrementara.

Cuadro 25. ANVA de la relación de microorganismos del suelo (actinomicetos) con el contenido de calcio en el suelo.

	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1129953.249	1	112995324978	2789232	00b
	Residuo	810225.215	2	405112607918		
	Total	1130763.475	3			

En el Cuadro 26, se observa la relación de la densidad a los 10cm de profundidad del suelo con la CIC y el porcentaje de arena en el suelo, obteniendo la ecuación, Densidad 10 cm= $-4621382-330467CIC+40736Ar$, donde se determina que a un incremento del porcentaje del contenido de arena

en el suelo, la CIC tiende a disminuir y a la vez la densidad de los macroorganismos del suelo.

Cuadro 26. ANVA de la relación de la densidad a los 10cm de profundidad del suelo con la CIC y el porcentaje de arena del suelo.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2 Regresión	246,197,734	2	123,098,867	10,926,208	,007c
Residuo	11,266	1	11,266		
Total	246,209,000	3			

Datos trabajados SSPS V11.

En el Cuadro 27, se observa la relación de Shannon y Wiener a los 10cm con la penetrabilidad y el contenido de fósforo en el suelo, obteniendo la ecuación, Shannon y Wiener 10 cm = $3231-992Pen+0.015P$, a un incremento del contenido de fosforo en el suelo y una disminución de la penetrabilidad la diversidad de especies se incrementará.

Cuadro 27. ANVA de la relación de Shannon y Wiener a los 10cm con la penetrabilidad y el contenido de fósforo en el suelo.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2 Regresión	0.239	2	0.119	1,760,003	0.017c
Residuo	0	1	0		
Total	0.239	3			

En el Cuadro 28, se observa la relación N.M.A.V a los 30 cm de profundidad del suelo con el contenido de sodio en el suelo (cmol/100g), obteniendo la ecuación, $NMVA\ 30\ cm = -9710000000 + 73666666667Na$, a un incremento del contenido sodio, la cantidad de microorganismos viables aeróbicos del suelo tiende a disminuir.

Cuadro 28. ANVA de la relación de N.M.A.V a los 30cm de la profundidad del suelo con el contenido de sodio en el suelo.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	407,008,333	1	407008333	160661	0.006 b
Residuo	5,066,666	2	2533333		
Total	412,075,00	3			

SSPS V11. N.M.A.V (Numeración de microorganismos aeróbicos viables)

En el Cuadro 29, se observa la relación de los actinomicetos a los 20 cm de profundidad con el contenido de sodio en el suelo, obteniendo la ecuación, $Actinomicetos\ 20cm: -326220000000 + 2339000000000Na$, donde se determina que a un incremento del contenido de sodio en el suelo (cmol/100g), la cantidad de actinomicetos a los 20cm tiende a disminuir.

Cuadro 29. Relación de los actinomicetos a 20cm de profundidad con el contenido de sodio en el suelo.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	410,319,074	1	410,319	819,327	0.001b
Residuo	1,001,600	2	500,800		
Total	411,320,675	3			

Datos trabajados SSPS V11.

En el Cuadro 30, se observa la relación de mohos y levaduras a los 30 cm de profundidad con el contenido de sodio en el suelo, obteniendo la ecuación, Mohos 30 cm: $101873997+11001941Ca$, a un incremento de la cantidad de calcio en el suelo, se produce un aumento de mohos y de las levaduras a los 30cm de profundidad del suelo.

Cuadro 30. Relación de Mohos y levaduras a 30cm de profundidad con el contenido de calcio en el suelo.

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	198034931161	1	198034931161	201555	0.005b
	Residuo	1965068839	2	982534419		
	Total	200000000000	3			

V. DISCUSIÓN

5.1. Propiedades físicas el suelo

El primer indicador físico que se determinó en los cuatro sistemas de uso fue, la textura del suelo mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos, Donde se le clasificó de acuerdo al porcentaje de partículas mediante el triángulo de textura de suelos. Obteniendo para todos los sistemas la clase textural franco arcillosa. Según ZAVALETA (1992) los suelos arcillosos son muy activos desde el punto de vista químico, adsorben iones y moléculas, floculan (la fracción arcilla permanece inmóvil) y dispersan (migran), muy ricos en nutrientes, retienen mucha agua, bien estructurados, pero son impermeables y asfixiantes.

La densidad aparente en los cuatro sistemas de uso de la localidad de Cayena (Cuadro 11), se puede apreciar los valores de la densidad aparente determinadas en g/cm^3 . Observándose mayor densidad aparente en el sistema pastizal (2.02 g/cm^3), lo que nos indica que el suelo presenta resistencia mecánica mayor que el resto de los sistemas, afectando así el crecimiento de las raíces, mientras los demás sistemas, bosque secundario, agroforestal y forestal presentaron densidades de 1.26 g/cm^3 , 1.35 g/cm^3 y 1.46 g/cm^3 . Que según USDA (1999) afirma que 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/cm³ y valores mayores a 1.7 g/cm³ pueden afectar el crecimiento radicular.

Según USDA (1999) con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate.

La temperatura del suelo hallado en los cuatro sistemas de uso (Cuadro 13), nos muestra que en el sistema pasto presentó una temperatura elevada en comparación con los otros tres sistemas de uso (25.8°C), esto se debe que en este sistema la radiación solar llega directamente a la superficie del suelo debido a que existe poca cobertura vegetal. Tal como lo menciona FASSBENDER (1987) la temperatura 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. Asimismo, influye la pendiente y la orientación, al variar el ángulo de incidencia de los rayos solares y el número de horas de sol recibidas. 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. El bosque es más eficaz que el césped, así en verano un suelo de un bosque denso puede llegar a estar 10 °C más frío que un suelo sin cubierta vegetal.

La resistencia a la penetración de los cuatro sistemas de uso (Cuadro 12) se observa que el sistema pastizal obtuvo la mayor resistencia con 2.1 Kg/cm^2 esto puede ser debido primordialmente al sobrepastoreo por ganado, lo cual puede causar una severa compactación. Mientras los sistemas bosque secundario, agroforestal y forestal presentaron una resistencia de 1.5 Kg/cm^2 , 1.7 Kg/cm^2 y 1.7 Kg/cm^2 respectivamente, USDA (1999) menciona que la compactación, que produce una severa restricción del crecimiento de las raíces, es causada por el pisoteo de los animales, uso de los equipos para granja y para laboreo, y tráfico vehicular. El tipo de sistema radicular es la otra condicionante del grado de penetración de las raíces. La resistencia a la penetración depende marcadamente del contenido de agua del suelo: cuanto más seco está el suelo mayor es su resistencia a la penetración.

5.2. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 14), se observa que el suelo del sistema pastizal presentó un alto contenido de materia orgánica (4.96%), mientras los sistemas agroforestal, bosque secundario y forestal obtuvieron contenidos medios 2.63%, 3.21% y 3.21% de materia orgánica respectivamente.

La reacción del suelo (pH), entre los diferentes sistemas de uso (Cuadro 14), se observa que el suelo del bosque secundario presentó una reacción neutra pH 7.12, mientras el resto de los sistemas presentaron una reacción ligeramente ácida con una variación similar desde los 6.25 y 6.68 de pH, presentando estos sistemas rangos óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Valores fuera de estos rangos pueden afectar la

disponibilidad de nutrientes en las plantas, esto se debe a que la mayor parte de los minerales son más solubles. De acuerdo a USDA (1999) el pH del suelo afecta la disponibilidad de los nutrientes vegetales. La disponibilidad de los nutrientes se ve afectada por cambios en la solubilidad de los minerales del suelo. La mayor parte de los minerales son más solubles en suelos ácidos que en suelos neutros o ligeramente básicos. La mayor disponibilidad, para el caso de la mayor parte de los nutrientes, se halla entre pH 6.0 y 7.0.

El nitrógeno total del suelo, en los diferentes sistemas de uso presentaron en su mayoría contenidos medios encontrándose por debajo de 0.20% de este elemento, a diferencia del sistema pastizal que obtuvo un alto contenido con (0.22%).

El fósforo disponible en los cuatro sistemas de uso, podemos observar los contenidos en partes por millón (ppm). Para los sistemas de uso agroforestal, bosque secundario y pastizal presentaron en sus suelos contenidos medios de fosforo 9.53 ppm, 11.76 ppm y 9.21 ppm respectivamente, mientras el sistema forestal obtuvo un alto contenido 20.15 ppm, a este elemento se le puede atribuir de la procedencia de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización y la cantidad de fosforo total en el suelo, del mismo modo se puede atribuir a las pérdidas por lixiviación (NAVARRO y NAVARRO 2003).

El potasio disponible Kg/ha en los cuatro sistemas de uso presentaron contenidos bajos agroforestal (99.97 Kg/ha), bosque secundario (11.76 Kg/ha), pastizal (247.09 Kg/ha) y finalmente el sistema forestal con 291.67

Kg/ha. Según VASQUEZ (2005) la variación de este elemento está influenciado por la intensidad de las pérdidas: extracción de cultivos, lixiviación y erosión.

La capacidad de intercambio catiónico del suelo, para los diferentes sistemas de uso evaluados presentaron un potencial medio de capacidad de intercambio catiónico, agroforestal obtuvo 16.17 cmol/g suelo, bosque secundario 15.24 cmol/g suelo, pastizal 17.19 cmol/g suelo y finalmente forestal 16.50 cmol/g suelo, mostrando que estos suelos presentan un potencial de nutrientes medios que pueden estar disponibles para los cultivos.

5.3. Propiedades biológicas del suelo

En el presente estudio, se encontraron 45 órdenes de macrofauna edáfica, bosque secundario presentó 38 ordenes, sistema agroforestal 21, 23 en pastizal y 21 órdenes en forestal, en estos cuatro sistemas de uso de suelo predominaron más las ordenes hemíptera, haplotaxida, isóptera y coleóptera. En un estudio realizado en la Amazonía Peruana se evaluaron 127 comunidades de macrofauna proveniente de 37 localidades y 9 tipos de ecosistemas, encontrando que la macrofauna incluye más 14,500 especies de 18 grupos. Los resultados de su análisis mostraron, independientemente del tipo de ecosistema, un dominio de lombrices de tierra en la biomasa y de las hormigas en la abundancia, ocupando las termitas el tercer lugar de abundancia, y que la perturbación afecta fuertemente a casi todos los grupos. Un grupo importante de la macrofauna edáfica señalado por BROWM *et al.* (2001), es el de las larvas de coleóptero.

Asimismo, las mayores densidades de macrofauna total del suelo

se encontraron en el sistema bosque secundario (1163 Ind/m²), seguido por el sistema agroforestal (997 Ind/m²) y forestal (781 Ind/m²), mientras pastizal fue el menor con (437 Ind/m²), MORRIS, (2000) menciona que el pastoreo es otra práctica que afecta a los macro invertebrados del suelo. Los efectos son causados a través del corte de la vegetación, del pisoteo y por la presencia de heces.

Para las profundidades evaluadas, a los 0-10 cm se presentaron altas densidades en todos los sistemas siendo el sistema bosque secundario la más elevada con 1040 ind/m², seguidos por agroforestal con 811 ind.m², forestal 539 ind.m² y por último el sistema pastizal con 396 ind.m², a los 10-20 cm agroforestal y forestal obtuvieron resultados similares, mientras a los 20-30 cm bosque secundario mostro superioridad, 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 (VERHOEF Y VAN SELM, 1983), las altas densidades en estos sistemas posiblemente se deban a la disponibilidad de alimento diverso que presentan estos sistemas en la superficie del suelo.

La biomasa total de la macrofauna del suelo fue mayor en bosque secundario (18.56 g.m⁻²), seguido por los sistemas pastizal y forestal con resultados similares (12.07 y 14.03 g.m⁻²), y por último el sistema agroforestal con 6.41 g.m⁻², mientras para las profundidades evaluadas bosque secundario fue mayor a los 0-10 cm y 20-30 cm de profundidad con 10.15 g.m⁻² y 6.14 g.m⁻² respectivamente, mientras a los 10-20 cm forestal y pastizal obtuvieron una

variación similar con 4.87g.m^{-2} y 4.35g.m^{-2} , finalmente agroforestal mostró bajas densidades en las tres profundidades que el resto de los sistemas. DECÄENS *et al* (2001) atribuye la disminución de la riqueza, densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo, al uso de agroquímicos, a la reducción en la producción de raíces y a la modificación en el microclima del suelo; del mismo modo, sistemas de cultivos anuales intensivos se puede producir un aumento de la compactación; como resultado hay una reducción marcada en la complejidad y estabilidad de la comunidad biológica del suelo.

La diversidad de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso de la localidad de Cayena (Cuadro 18) nos muestra los resultados obtenidos de la macrofauna por el método de Shannon – Wiener que el sistema bosque secundario obtuvo un índice elevado de $1.89\text{ H}'$, seguido por el sistema forestal $1.48\text{ H}'$ y pastizal $1.21\text{ H}'$, mientras el sistema agroforestal fue el menor con $0.89\text{ H}'$. Según (VOLHAND y SCHORTH, 1999) el índice de Shannon – Winner mide el grado de incertidumbre que existe para predecir la especie a la cual pertenece un individuo extraído aleatoriamente de la comunidad para un número dado de especies e individuos, la función tendrá valor mínimo cuando todos los individuos pertenecen a una especie y un valor máximo cuando todas las especies tengan la misma cantidad de individuos. Una característica de SHANNON – WINNER es su sensibilidad a los cambios en la abundancia de las especies raras. Es explicable en los estudios de la conservación de la naturaleza debido a su sensibilidad.

Asimismo, Shannon– Wiener nos muestra los resultados obtenidos

de la macrofauna a diferentes profundidades de muestreo, donde el sistema bosque secundario presentó un mejor índice de diversidad en los tres estratos estudiados pero más elevado en el estrato de 10-20 cm con 2.04 H', mientras el sistema agroforestal presento inferioridad con respecto a los demás sistemas en los estratos 10-20 y 20-30 cm con 0.65 H' y 0.44 H' respectivamente. Mientras a los 0-10 cm todos los sistemas presentaron una buena diversidad lo cual indica un mayor número de organismos abundantes.

Para la cuantificación de los microorganismos del suelo a diferentes profundidades de muestreo, la numeración de microorganismos aeróbicos viales (NMAV) a los 10 cm de profundidad fue mayor en el sistema forestal con 3014×10^4 col/g de suelo, a los 10-20 cm agroforestal superó a los demás sistemas con 241×10^4 col/g de suelo, finalmente en el estrato 20-30 cm pastizal obtuvo un alto contenido de microorganismos con 134×10^4 col/g de suelo, THOMPSON y TROEH, (1998) mencionan que estas bacterias son organismos procariotas unicelulares; la mayor parte presenta forma esférica, cocos o de bastón bacilos y son importantes debido a que algunas realizan funciones específicas como la oxidación del amoniaco a nitratos, mientras que otras intervienen en el proceso general de descomposición de materia orgánica.

Mientras para la enumeración de actinomicetos forestal volvió a superar a los 00-10 cm con 2038×10^4 col/g de suelo a los demás sistemas, mientras pastizal fue mayor a las profundidades de 10-20 y 20-30 cm con 2463×10^4 y 972×10^4 col/g de suelo respectivamente, WILD (1992), menciona que son organismos típicamente aeróbicos, por lo que no suelen encontrarse en

suelos encharcados, son más frecuentes en los suelos calientes que en los fríos y resultan muy poco tolerantes a la acidez .

Para la numeración de mohos y levaduras el sistema bosque secundario obtuvo un mayor número de col/gr de suelo con 9×10^4 y 8×10^4 a los 00-10 y 10-20 cm de profundidad, mientras a los 20-30 cm todos los sistemas obtuvieron una variación similar desde 1×10^4 hasta los 3×10^4 col/gr de suelo. WILD (1992), menciona que la posibilidad de que predominen los hongos o el grupo bacterias, actinomicetos depende de las condiciones locales, especialmente del pH y del contenido de humedad, a la vez BURGESS y RAW, (1971), resalta que la abundancia y actividad de los microorganismos del suelo pueden estar influenciadas por la actividad de la fauna del suelo, como ocurre en las praderas.

5.4. Cuantificación de la biomasa de hojarasca que producen los sistemas

La producción de biomasa de hojarasca que producen los diferentes sistemas de uso de suelo se observa en el cuadro 20, donde el sistema bosque secundario obtuvo la mayor producción con 46.70 t/ha^{-1} , seguido del sistema agroforestal con 17.37 t/ha^{-1} , mientras pastizal y forestal obtuvieron similares cantidades con 15.01 y 14.43 t/ha^{-1} , lo cual su cuantificación fue determinada a nivel de los componentes de cada sistema como hierbas, arbustos, plantas cultivadas, ramas, etc. Tal como menciona IPARRAGUIRRE (2000) que en suelos forestales existen cantidades medias de biomasa debido, a la homogeneidad de especies; en pastizales presentan especies con biotipos homogéneos y conformados principalmente por especies herbáceas. En

sistemas agroforestales hay una cantidad de biomasa media debido a que existen una mayor cantidad de plantas homogéneas con un determinado tamaño y volumen por unidad de área por las actividades de podas y caída de hojas en forma natural. Por otro lado IPCC (2004) indica que la biomasa en bosques secundarios tiende a incrementarse en bosques de mayor edad, debido a que existe un aporte constante y de mayor cantidad de restos vegetales muertos, que juegan un papel importante preponderante, puesto que, se depositan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, cantidad de agua y de otros nutrientes se ira convirtiendo en materia orgánica estable.

5.5. Relación entre las características del suelo de los diferentes sistemas de uso

Se encontró que la densidad a los 10 cm de profundidad va a disminuir conforme al incremento de la arena y a la disminución de la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Cuadro 24 y 26), esto es debido a que la disminución de arcilla en el suelo afecta a la CIC y por tanto la disponibilidad de alimento para la macrofauna se ve afectado, CLAPPERTON, (2000) menciona que la CIC es una propiedad importante del suelo, los cationes cambiabiles influyen en la estructura en la actividad biológica, en el régimen hídrico y gaseoso y en los procesos genéticos del suelo y su formación.

La relación del incremento del calcio en el suelo produce un aumento de los actinomicetos, de mohos y levaduras (Cuadro 25 y 29), por lo que THOMPSON y TROEH (1998), indica que los actinomicetos nutricionalmente, se

tratan de un grupo muy adaptable, por lo que uno de los factores favorables para la presencia de actinomicetos es la abundancia de calcio, que proporciona una condición neutra o ligeramente alcalina, mientras NAVARRO y NAVARRO (2003), menciona que los mohos y levaduras requieren cantidades altas de calcio para el desarrollo de su actividad.

A una menor penetrabilidad del suelo y un incremento del contenido de fósforo la diversidad de organismos del suelo a los 10cm de profundidad (Cuadro 27) se ve favorecida, por lo que estos controlan la cantidad de descomposición de la materia orgánica, por lo tanto, esta es fuente principal de fósforo, tendiendo a incrementarse en el suelo; mientras WESTIN y DE BRITO (1969) indican que la mayor parte del fósforo presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad; y que el elemento, para que pueda ser asimilado, es necesario que se encuentre como H_2PO_4 O H_2PO_4^- en la disolución del suelo, por lo que el contenido de este elemento está ligado al contenido de materia orgánica y a la textura del suelo.

Según la relación los N.M.A.V y los actinomicetos reducen su actividad con el incremento de sodio en el suelo (Cuadro 28 y 29), FASSBENDER (1987), manifiesta que altos niveles de sodio causan una dispersión de los agregados del suelo dañando así su estructura y como resultado, la aireación y la conducción del agua empeoran, teniendo consecuencia una perturbación para los microorganismos, tal como manifiesta BURGESS y RAW (1971), que los suelos húmedos son desfavorables ya que llenan los espacios porosos con agua disminuyendo la aireación del suelo, por lo que hay una disminución de oxígeno, que no los deja vivir.

VI. CONCLUSIONES

1. Se acepta la hipótesis debido a que las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en los diferentes sistemas de uso (Forestal, Bosque secundario, Sistema agroforestal y pastizal), interactúan entre ellos.
2. Los suelos del sistema bosque secundario, presentaron 38 órdenes de macrofauna edáfica, seguido de pastizal con 23 órdenes y los sistemas agroforestal y forestal con 21 órdenes; y los himenópteros, haplotaxida e isópteras los más predominantes en todos los sistemas.
3. El bosque secundario presentó mayor densidad de macrofauna con 1163 Ind/m², y biomasa (18.56 g.m⁻²), pastizal menor densidad con 437 Ind/m², y biomasa edáfica con (12.07 g.m⁻²).
4. En la diversidad de especies por el índice de Shannon y Wiener el sistema bosque secundario presento una mejor diversidad, mientras el sistema agroforestal presentó un bajo índice de diversidad que el resto de los sistemas.
5. La biomasa de hojarasca, en el bosque secundario de barbecho fue mayor con 46.70 t/ha-1, mientras los demás sistemas obtuvieron menores cantidades

6. Se estableció que un incremento de arena y una disminución de la CIC, la densidad tiende a disminuir. Un incremento de Ca, los actinomicetos, mohos y levaduras aumentan. Un incremento de Na, la N.M.A.V y los actinomicetos disminuirán. Mientras un incremento de P y una disminución de la penetrabilidad la diversidad de especies incrementará.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de macroinvertebrados teniendo en cuenta su interacción con la vegetación, flujo de exudados, humedad del suelo, biomasa de raíces, relaciones con circulación de nutrientes, meso y microfauna del suelo en la localidad de Cayena.
2. Continuar con las investigaciones en otras especies agrícolas y forestales, a fin de generar mayor información sobre la sostenibilidad de los sistemas estudiados.
3. Concientizar a la población de Cayena con mejores prácticas agrícolas para mantener la capacidad potencial de sus suelos y así evitar procesos de deterioro.

**PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES IN FOUR
SYSTEMS OF SOIL USE IN THE TOWN OF CAYENNE DEPARTMENT SAN
MARTIN**

VIII. ABSTRACT

This research has been made in the town of Cayenne, district of Juanjuí, province of Mariscal Cáceres, departament of San Martin; with the objective of assessing at four use systems (agroforestry, secondary forest, pasture and forestry) their physical properties, chemical and biological soil.

The evaluated systems showed soils with apparent density that vary from 1.26 g / cm³ to 2.02 g / cm³, and a penetration resistance from 1.5 Kg/cm² to 2.1 Kg/cm², while temperatures range from 23.2 °C to 25.8 °C, with slightly acidic soils, with predominance of clay loam textures, with average contents of organic matter, nitrogen, phosphorus and CIC, also with low content of K₂O.

At the studied biological indicators for different systems of use; it was found higher total density of macro invertebrates of the soil in the secondary forest (1163 Ind/m²), while pasture showed inferiority with (437 Ind/m²), also in secondary forest was higher in biomass of soil macro fauna with (18.56 g.m⁻²), while agroforestry showed 6.41 g.m⁻² being this system that presented inferiority of biomass.

In the diversity of species by the index of Shannon and Wiener the secondary forest system had better diversity with an index of 1.48 H', while agroforestry system had a low rate of diversity than other systems with 0.89 H'.

For biomass of trash secondary forest system obtained a superiority of 46.70 kg/Ha⁻¹, while pasture and forest had similar amounts with 15.01 and 14.43 kg/Ha⁻¹, Finally it is stated that an increase in the macro fauna of soil; the capacity of cation exchange, apparent density and resistance to soil penetration tend to decrease, while an increased calcium, will cause actinomycetes increase and by an increased sodium the actinomycetes decrease. While the species of diversity will increase when penetration resistance decreases and the phosphorus content increases.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ÁLVAREZ, R. 2008. Edafología y CLimatología Forestal. Tema 8 – Factores formadores del suelo. [EN LINEA]: Uhu, (www.uhu.es/03010/Tema8.PDF, 16 Nov. 2008).
- BITTON, G. 1994. Movement and retention of klebssiella aerogenes in soil columns. *Plant and Soil* 40: 373 – 380.
- BLAIR, JM; BOHLEN, PJ; FRECKMAN, DW. 1996. Soil invertebrates as indicators of soil quality. *In: Methods for assessing soil quality*. Madison, WI. USA. Soil Science Society of America.
- BROWN, G.G., FRAGOSO, I., BAROIS, P., ROJAS, J., PATRÓN, J., BUENO, A., MORENO, P. 2001. Diversidad y Rol Funcional de la Macrofauna Edáfica en los Ecosistemas Tropicales Mexicanos. México. 100 p.
- BURGES, A. y RAW, F. 1971. Biología del suelo. Edit. Paraninfo. Edic. Omega. S.A. Barcelona, España, 470 p.
- CLAPPERTON, J. 2000. Creating heal thy productive soil. In Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata, Argentina. 35-40 p.
- DECÄENS, T., LAVELLE, P., JIMÉNEZ, J., ESCOBAR, G., RIPPSTEIN, G.

SCHNEIDMADL, J., SANZ, J., HOYOS, P., THOMAS, R. J. 2001. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. In Jiménez, J.J.; Thomas, R. J. U. (Eds.). Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the Neotropical savannas of Colombia. Cali, CIAT. Publicación CIAT no. 324.19-41 p.

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.

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. (14, 2004, France). Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. 252 p.

DORAN, J., LINCOLN, N. 1999. Guía para la evaluación de la calidad del suelo. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>, Documento, 22 Nov. 2005).

FARREL, J. y ALTIERI, M. 1999. Sistemas agroforestales. En: ALTIERI, Miguel. Agroecología. Bases Científicas para una agricultura sustentable. Montevideo: Nordan, Comunidad. 243 p.

- FASSBENDER H.W. 1987. QUIMICA DE SUELOS. Con énfasis de suelos en América latina. Segunda edición. Editorial San José - Costa Rica. Pág. 187.
- FASSBENDER, H. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 3era reimpresión. IICA. San José, Costa Rica. 422 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.
- ICRAF. 1982. Citado por: ALTIERI, Miguel. Agroecología. Bases Científicas para una agricultura sustentable. Montevideo: Nordan, Comunidad. 243 p.
- IPARRAGUIRRE, L. 2000. Ecología. Universidad Nacional Federico Villareal. Lima. Perú. 39 – 42 p.
- IPCC. 1996. Intergovernmental panel on climate change. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC. 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. México city. 75 p.
- LAVELLE, P. & PASHANASI, B. 1994. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia*.
- LAVELLE, P. 1997. Efectos causados por las lombrices en la materia orgánica (MO) del suelo a diferentes niveles de una escala temporal y una espacial. 65 p.

- NAVARRO, S.P. y NAVARRO, G.G. 2003. Química Agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Editorial Mundi – Prensa Libros, S.A. Madrid, España. Pág. 153.
- MINAG. 2011. Cadena agropecuaria de papa. Manejo y fertilidad de suelos. Guía técnica de orientación al productor. 50 p.
- PASHANASI B. 2002. Estudio Cuantitativo de la Macrofauna del Suelo en Diferentes Sistemas de uso de la Tierra en la Amazonía Peruana, Folia Amazonica, Perú, volumen 12, número 1-2.
- PAGIOLA, L., OTA, M. 1997. La diversidad biológica o biodiversidad. Citado por ALTIERI. 33 p.
- PELCZAR *et al.* 1993. Microbiología. México. Editorial McGraw Hill.
- KEVAN, D. K.; MCE., 1990. The soil fauna its nature and biology. In: Ecology of soil borne plant pathogens, K. F. Baker and W.C. Snyder (Eds.) University of California press. Berkeley. USA. Pp. 187 – 209.
- KRAMER, P. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. Industria editorial Mexicana, Reg. N° 723.México. Pág. 533.
- SÁNCHEZ, J. 2007. Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A. 19 p.
- SEVILLA, F., OBERTHUR, T., USMA, H., ESCOBAR, G., NARVÁEZ, C. 2002. Exploración de la presencia y abundancia de coleóptero fauna edáfica en diferentes usos de la tierra en una microcuenca del departamento del

Cauca. En: Congreso Nacional de Ciencias Biológicas, 37. Ponencias. San Juan de Pasto. Universidad de Nariño. 274 p.

SOMARRIBA, E. 1994. Sistemas agroforestales con cacao-plátano-laurel. En: Agroforestería en las Américas. Mo. 4, 1994; 22 – 24.

TAPIA-CORAL S. C. 2002. Estudio preliminar de la Macrofauna del Suelo en áreas de Varillales y Chamizales de la Amazonia Peruana. Folia Amazónica Vol. 13 (1-2).

THOMPSON, L.M.; TROEH, F.R. 1998. Los suelos y su fertilidad. Revert S.A. Barcelona España, pp. 135 – 169

USDA.1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. Pág. 88.

VERHOEF, H., VAN SELM, A. 1983. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. Holartic Ecology 6:387:394.

VOLHAND, K., SCHROTH, G. 1999. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in Central Amazonia as affected by plant species and management. En: Applied soil Ecology. Pág. 68.

WARDLE, D., BARDGETT, R. 2004. Indirect effects of invertebrate herbivory on the decomposer subsystem. Ecological Studies 173: 53:69

WESTIN, F.G., DE BRITO, J.C. 1969. Phosphorus fractions of some Venezuela soils as related to their stages of weathering. Soil Sc 107 (3): 194 – 202.

- WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Ed. Mundi – Prensa. Madrid, España. 1045
- ZANCADA, M. C.; SÁNCHEZ, A. 1994. Papel de los nematodos en la biología del suelo. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Biología). 91, 49 – 56.
- 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.

X. ANEXO

Anexo 1. Peso de hojarasca muestreados en los diferentes sistemas de uso

Cuadro 31. Peso de hojarasca en gramos de los diferentes sistemas evaluados

Muestra	S. Agroforestal	Bosque Sec.	Pastizal	Forestal
M1	1026.5	3157.2	1015.3	899.6
M2	985.6	1922.5	899.6	997.5
M3	1024.52	3990.1	987.5	985.3
M4	1241.2	3502.2	1014.2	1020.5
M5	1356	3131.3	1033.2	796.6
M6	998.48	1791.4	998.9	896.5

Anexo 2. Taxonomía de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso de suelo.

Taxonomía		
N°	Clase - Orden - familia	S. Agroforestal
1	Insecta -Hymenóptera-formicidae	796
2	Insecta-blattodea-blaberidae	27
3	Arachnida-araneae-araneidae	9
4	Lepidóptera-eruciorme-pailonidae	1
5	Insecta-isoptera-termitidae	23
6	Insecta-coleoptera-elateriforme	16
7	Myriapoda-chilopoda	11
8	Protura-protura	2
9	Clitellata-haplotaxida-lumbricidae	30
10	Arachnida-pseudoescorpiones	1
11	Myriapoda-diplopoda	42
12	Insecta-coleoptera-scarabidae	8
13	Entognatha-diplura-campodeidae	2
14	insecta-coleoptera-staphylinidae	26
15	Insecta-coleoptera-scarabeiforme	14
16	Entognatha-collembola-nn	2
17	Oligochaeta-lombricus	4
18	Insecta-hemiptera-scutelleridae	1
19	Insecta-orthoptera-tettigoniidae	1
20	Insecta-coleoptera-tenebrionidae	4
21	Insecta-orthoptera-acrididae	1

Taxonomía		
Nº	Clase - Orden - familia	Bosque S.
1	Insecta -Hymenóptera-formicidae	177
2	Insecta-blattodea-blaberidae	35
3	Arachnida-araneae-araneidae	50
4	Hirudenea-rhynchobdellae-glossiphonidae	2
5	Lepidóptera-eruciorme-pilionidae	4
6	Insecta-isoptera-termitidae	498
7	Insecta-coleoptera-elateriforme	5
8	Myriapoda-chilopoda	30
9	Protura-protura	99
10	Insecta-coleoptera-chrysomelidae	4
11	Clitellata-haplotaxida-lumbricidae	120
12	Arachnida-pseudoescorpiones	3
13	Malacostraca-isopoda-crustacea	47
14	Myriapoda-diplopoda	48
15	Insecta-coleoptera-tenebrionidae	1
16	Orthoptera-tettigonidae	1
17	Insecta-coleoptera-scarabidae	4
18	Entognatha-diplura-campodeidae	4
19	insecta-coleoptera-staphylinidae	16
20	Coleóptera-campodiforme	6
21	Mantodea-mantideae	1
22	Coleóptera-curculionidae	1
23	Diplura-diplura-campodeidae	19
24	Insecta-coleoptera-scarabeiforme	17
25	Insecta-hemiptera-pentatomidae	3
26	Insecta-coleoptera-scarabidae	5
27	Insecta-mantodea-mantidae	1
28	Entognatha-collembola-nn	9
29	Diplura-campodeiforme-nn	1
30	Insecta-hemiptera-cixiidae	1
31	Pupa-exarata	2
32	Insecta-coleoptera-cerambycidae	1
33	Oligochaeta-lombricus	28
34	Diplura-campodeidos	9
35	Crustacea -isópoda	1
36	Insecta-diptera-vermiforme	1
37	Pupa-octeta	1
38	Insecta-hemiptera-reduvidae	1

Taxonomía		
N°	Clase - Orden - familia	Forestal
1	Insecta -Hymenóptera-formicidae	341
2	Insecta-blattodea-blaberidae	11
3	Arachnida-araneae-araneidae	28
4	Lepidóptera-eruciorme-pailonidae	1
5	Insecta-isoptera-termitidae	30
6	Insecta-coleoptera-elateriforme	4
7	Myriapoda-chilopoda	10
8	Protura-protura	20
9	Clitellata-haplotaxida-lumbricidae	167
10	Arachnida-pseudoescorpiones	19
11	Malacostraca-isopoda-crustacea	4
12	Myriapoda-diplopoda	57
13	Insecta-coleoptera-scarabidae	4
14	Entognatha-diplura-campodeidae	13
15	Insecta-coleoptera-staphylinidae	27
16	Diplura-diplura-campodeidae	1
17	Insecta-coleoptera-scarabeiforme	3
18	Entognatha-collembola-nn	6
19	Gastropoda-gastropoda	1
20	Insecta-orthoptera-gryllidae	1
21	Insecta-coleoptera-curculionidae	2

Taxonomía		
N°	Clase - Orden - familia	Pastizal
1	Insecta -Hymenóptera-formicidae	245
2	Insecta-blattodea-blaberidae	1
3	Arachnida-araneae-araneidae	4
4	Insecta-isoptera-termitidae	16
5	Insecta-coleoptera-elateriforme	38
6	Myriapoda-chilopoda	1
7	Clitellata-haplotaxida-lumbricidae	45
8	Malacostraca-isopoda-crustacea	2
9	Myriapoda-diplopoda	1
10	Insecta-coleoptera-scarabidae	3
11	Insecta-coleoptera-staphylinidae	71
12	Diplura-diplura-campodeidae	2
13	Insecta-coleoptera-scarabeiforme	1
14	Entognatha-collembola-nn	1
15	Pupa-exarata	1
16	Insecta-coleoptera-cerambycidae	1
17	Insecta-hemiptera-reduvidae	1

18	Insecta-coleoptera-tenebrionidae	1
19	Orthoptera-tettigonidae	1
20	Diplura-campodeiforme-nn	1
21	Insecta-hemiptera-cixiidae	1
22	Oligochaeta-lombricus	1
23	Diplura-campodeidos	2

Anexo 3. Análisis físico-químico de suelos de los diferentes sistemas de uso de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
TINGO MARIA
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos
analisisdesuelosunas@hotmail.com




ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: LLONTOP FASANANDO VANEESA

COD. LAEL	DATOS Muestra	ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
		Arena	Arcilla	Limo	Textura							Ca	Mg	K	Na	Al	H				
		%	%	%																	
M1070	Suelo Pastizal	35.68	33.04	31.28	Franco Arcilloso	6.63	4.96	0.22	9.21	247.09	17.19	12.04	4.70	0.30	0.15	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00
M1071	Agro Forestal	37.68	35.04	27.28	Franco Arcilloso	6.68	2.63	0.12	9.53	99.97	16.17	11.03	4.53	0.47	0.14	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00
M1072	Ecogaje Secundario	35.68	35.04	29.28	Franco Arcilloso	7.12	3.21	0.14	11.75	167.98	16.24	10.24	4.80	0.06	0.14	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00
M1073	Macho Forestal	33.68	37.04	29.28	Franco Arcilloso	6.25	3.21	0.14	20.15	291.67	16.50	11.00	5.30	0.06	0.14	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO N°420843
FECHA: 17/06/2015

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LAB. ANALISIS DE SUELOS
M.Sc. Blgo. Miguel Huaya Rojas
JEFE

Anexo 4. Análisis microbiológico del suelo en los diferentes sistemas de uso



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
 Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO
TESIS "PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS EN CUATRO SISTEMAS DE USO DE SUELO"

Ejecutor : Br. Vanessa Llontop Fasanando
Muestra : Suelo de sistema agroforestal, bosque secundario, forestal y pastizal.
Tipo de suelo : Suelos franco arcillosos.
Procedencia : Cayena – Juanjuí.
Análisis solicitados :
 - Numeración Microorganismos Aerobios Viables
 - Número de actinomicetos
 - Numeración de Mohos y Levaduras

RESULTADOS:

Muestras	Análisis	PARAMETROS EVALUADOS		
		N.M.A.V.	N.M.L.	N. Actino.
M1	PASTIZAL 0 -10	432X10 ⁴	10X10 ⁴	784X10 ⁴
	PASTIZAL 0 -10	560X10 ⁴	4X10 ⁴	389X10 ⁴
	PASTIZAL 0 -10	4144X10 ⁴	12X10 ⁴	6240X10 ⁴
	PASTIZAL 0 -10	448X10 ⁴	1X10 ⁴	27X10 ⁴
	PASTIZAL 0 -10	2192X10 ⁴	3X10 ⁴	2320X10 ⁴
	PASTIZAL 0 -10	1952X10 ⁴	13X10 ⁴	53X10 ⁴
	PASTIZAL 10 - 20	21X10 ⁴	1X10 ⁴	75X10 ⁴
	PASTIZAL 10 - 20	96X10 ⁴	2X10 ⁴	2256X10 ⁴
	PASTIZAL 10 - 20	90X10 ⁴	4X10 ⁴	4016X10 ⁴
	PASTIZAL 10 - 20	270X10 ⁴	4X10 ⁴	2560X10 ⁴
	PASTIZAL 10 - 20	373X10 ⁴	1X10 ⁴	3280X10 ⁴
	PASTIZAL 10 - 20	309X10 ⁴	2X10 ⁴	2592X10 ⁴
	PASTIZAL 20 - 30	124X10 ⁴	1X10 ⁴	280X10 ⁴
	PASTIZAL 20 - 30	43X10 ⁴	1X10 ⁴	1384X10 ⁴
	PASTIZAL 20 - 30	23X10 ⁴	3X10 ⁴	171X10 ⁴

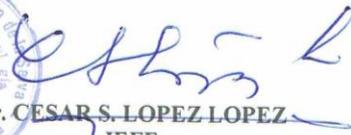
	PASTIZAL 20 - 30	362X10 ⁴	2X10 ⁴	3072X10 ⁴
	PASTIZAL 20 - 30	54X10 ⁴	4X10 ⁴	144X10 ⁴
	PASTIZAL 20 - 30	195X10 ⁴	5X10 ⁴	784X10 ⁴
M2	BOSQUE S. 0 - 10	464X10 ⁴	1X10 ⁴	336X10 ⁴
	BOSQUE S. 0 - 10	1072X10 ⁴	2X10 ⁴	800X10 ⁴
	BOSQUE S. 0 - 10	3440X10 ⁴	17X10 ⁴	84X10 ⁴
	BOSQUE S. 0 - 10	1600X10 ⁴	14X10 ⁴	296X10 ⁴
	BOSQUE S. 0 - 10	1472X10 ⁴	11X10 ⁴	88X10 ⁴
	BOSQUE S. 0 - 10	5744X10 ⁴	7X10 ⁴	5X10 ⁴
	BOSQUE S. 10 - 20	42X10 ⁴	1X10 ⁴	44X10 ⁴
	BOSQUE S. 10 - 20	7X10 ⁴	1X10 ⁴	18X10 ⁴
	BOSQUE S. 10 - 20	70X10 ⁴	38X10 ⁴	142X10 ⁴
	BOSQUE S. 10 - 20	11X10 ⁴	1X10 ⁴	10X10 ⁴
	BOSQUE S. 10 - 20	48X10 ⁴	4X10 ⁴	74X10 ⁴
	BOSQUE S. 10 - 20	29X10 ⁴	1X10 ⁴	2X10 ⁴
	BOSQUE S. 20 - 30	54X10 ⁴	1X10 ⁴	11X10 ⁴
	BOSQUE S. 20 - 30	154X10 ⁴	1X10 ⁴	7X10 ⁴
	BOSQUE S. 20 - 30	9X10 ⁴	AUSENCIA	72X10 ⁴
	BOSQUE S. 20 - 30	14X10 ⁴	2X10 ⁴	5X10 ⁴
	BOSQUE S. 20 - 30	14X10 ⁴	1X10 ⁴	19X10 ⁴
	BOSQUE S. 20 - 30	84X10 ⁴	1X10 ⁴	33X10 ⁴
M3	S. FORESTAL 0 -10	1600X10 ⁴	1X10 ⁴	2144X10 ⁴
	S. FORESTAL 0 -10	7632X10 ⁴	1X10 ⁴	1888X10 ⁴
	S. FORESTAL 0 -10	1254X10 ⁴	3X10 ⁴	89X10 ⁴
	S. FORESTAL 0 -10	5888X10 ⁴	1X10 ⁴	7936X10 ⁴
	S. FORESTAL 0 -10	560X10 ⁴	2X10 ⁴	152X10 ⁴
	S. FORESTAL 0 -10	1152X10 ⁴	1X10 ⁴	19X10 ⁴
	S. FORESTAL 10 - 20	128X10 ⁴	10X10 ⁴	640X10 ⁴
	S. FORESTAL 10 - 20	44X10 ⁴	10X10 ⁴	10X10 ⁴
	S. FORESTAL 10 - 20	23X10	8X10	11X10
	S. FORESTAL 10 - 20	60X10 ⁴	14X10 ⁴	145X10 ⁴
	S. FORESTAL 10 - 20	5X10 ⁴	9X10	4X10
	S. FORESTAL 10 - 20	6X10	12X10	6X10
	S. FORESTAL 20 - 30	21X10 ⁴	1X10 ⁴	438X10 ⁴
	S. FORESTAL 20 - 30	14X10	6X10	16X10
	S. FORESTAL 20 - 30	72X10	1X10	52X10
S. FORESTAL 20 - 30	15X10	2X10	7X10	

	S. FORESTAL 20 - 30	6X10 ⁴	1X10 ⁴	157X10 ⁴
	S. FORESTAL 20 - 30	259X10 ⁴	3X10 ⁴	6X10 ⁴
M4	S. AGROFORESTAL 0 -10	7376X10 ⁴	4X10 ⁴	3328X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 0 -10	4848X10 ⁴	5X10 ⁴	3984X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 0 -10	176X10 ⁴	8X10 ⁴	896X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 0 -10	592X10 ⁴	1X10 ⁴	59X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 0 -10	1344X10 ⁴	5X10 ⁴	1270X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 0 -10	1280X10 ⁴	3X10 ⁴	352X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 10 -20	1102X10 ⁴	2X10 ⁴	320X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 10 -20	197X10 ⁴	8X10 ⁴	560X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 10 -20	107X10 ⁴	3X10	328X10
	S. AGROFORESTAL 10 -20	16X10 ⁴	3X10 ⁴	426X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 10 -20	16X10 ⁴	1X10	197X10
	S. AGROFORESTAL 10 -20	6X10 ⁴	5X10	410X10
	S. AGROFORESTAL 20 -30	19X10 ⁴	1X10 ⁴	3824X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 20 -30	33X10	2X10	19X10
	S. AGROFORESTAL 20 -30	11X10	1X10	28X10
	S. AGROFORESTAL 20 -30	150X10	1X10	10X10
	S. AGROFORESTAL 20 -30	35X10 ⁴	2X10 ⁴	15X10 ⁴
	S. AGROFORESTAL 20 -30	120X10 ⁴	2X10 ⁴	205X10 ⁴

CONCLUSION:

Las muestras de suelos procesadas presentan alta carga de microorganismos, están dentro del rango permisible.





Dr. CESAR S. LOPEZ LOPEZ
JEFE
Laboratorio microbiología general

Anexo 5. Panel fotográfico



Figura 8. Muestreo de suelo en el sistema forestal.



Figura 9. Recolección de hojarasca para la determinación de biomasa.



Figura 10. Colocación del monolito para el muestreo de macrofauna del suelo.



Figura 11. Recolección de la macrofauna del suelo en el sistema agroforestal.



Figura 12. Cuantificación de la macrofauna edáfica.



Figura 13. Identificación de la macrofauna edáfica.



Figura 14. Peso de la macrofauna encontrada en los diferentes sistemas.



Figura 15. Conteo de colonias de microorganismos del suelo.



Figura 16. Sistema agroforestal.



Figura 17. Sistema forestal.

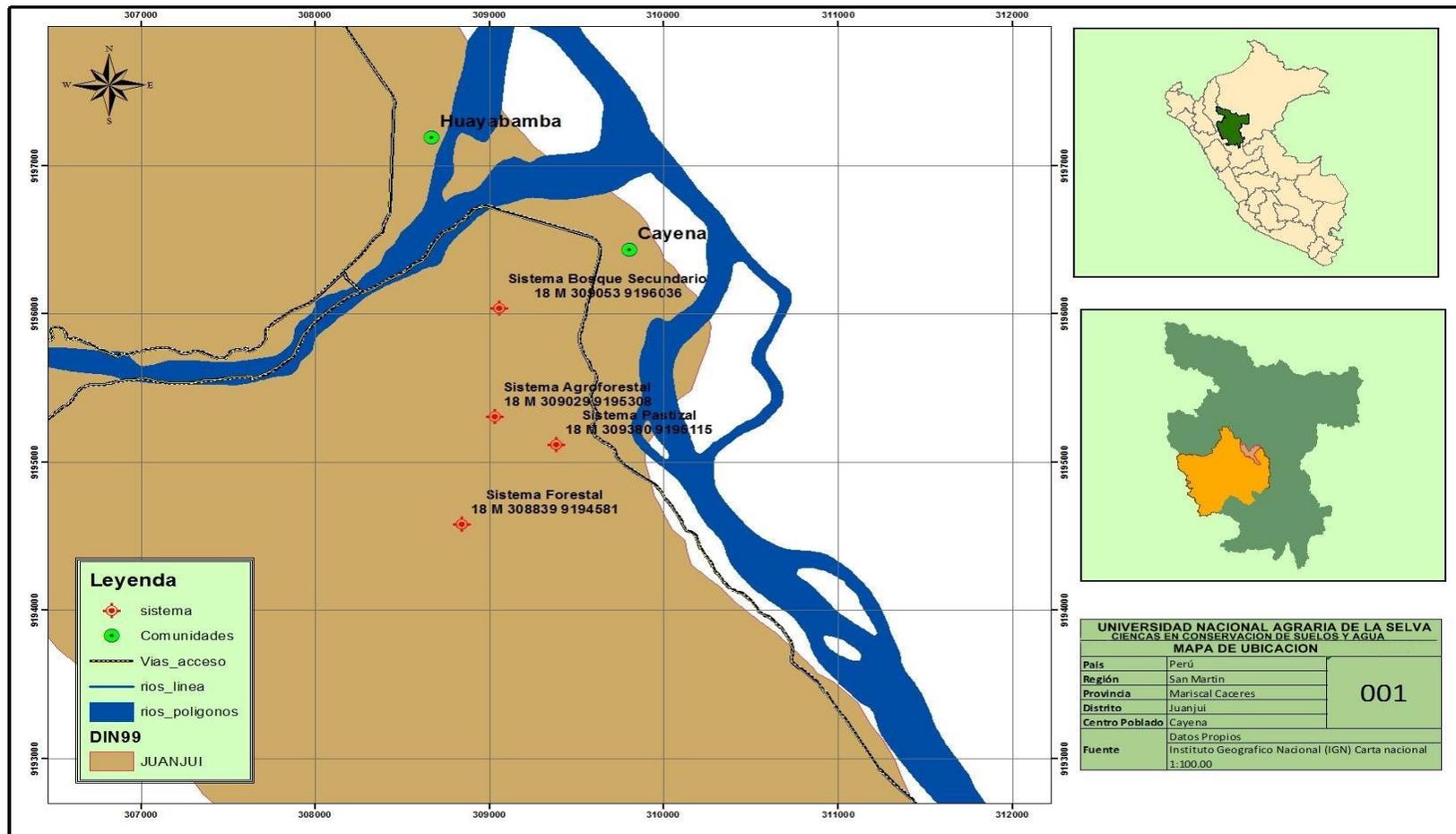


Figura 18. Pastizal.



Figura 19. Bosque secundario.

Anexo 6. Mapa de ubicación



ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Suelo.....	4
2.1.1. Propiedades físicas del suelo.....	4
2.1.1.1. Textura	5
2.1.1.2. Densidad aparente	5
2.1.1.3. Temperatura del suelo	6
2.1.2. Propiedades químicas del suelo.....	6
2.1.2.1. Reacción del suelo (pH)	7
2.1.2.2. Materia orgánica.....	8
2.1.2.3. Nitrógeno del suelo	9
2.1.2.4. Fósforo disponible del suelo.....	9
2.1.2.5. Potasio disponible del suelo	10
2.2. Biodiversidad biológica.....	11
2.2.1. Biodiversidad del suelo	12
2.2.2. Los microorganismos en el suelo	13
2.3. Macrofauna de suelo.....	17

2.3.1. Importancia de la macrofauna del suelo.....	18
2.3.2. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo.....	19
2.4. Prácticas de manejo.....	22
2.5. Sistemas agroforestales (Saf).....	25
2.6. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo	26
2.7. Investigaciones realizadas	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. Descripción de la zona en estudio.....	33
3.1.1. Lugar de ejecución	33
3.1.2. Zonas de vida.....	34
3.1.3. Clima	34
3.1.4. Vegetación	34
3.1.5. Hidrología	34
3.1.6. Tiposde suelo.....	35
3.1.7. Actividades socioeconómicas.....	35
3.2. Descripción de los sitios de muestreo	35
3.2.1. Sistema Bosque secundario.....	35
3.2.2. Sistema forestal.....	36
3.2.3. Sistema agroforestal	36

3.2.4.	Pastizal.....	36
3.3.	Materiales, insumos y equipos	36
3.3.1.	Materiales de campo	36
3.3.2.	Equipos de campo.....	37
3.3.3.	Materiales de laboratorio	37
3.3.4.	Equipos de laboratorio.....	37
3.3.5.	Reactivos.....	37
3.4.	Tipo y nivel de investigación	37
3.4.1.	Tipo de la investigación.....	37
3.4.2.	Nivel de la investigación.....	38
3.5.	Método y diseño de la investigación.....	38
3.5.1.	Método de la investigación	38
3.5.2.	Componentes en estudio.....	38
3.5.3.	Diseño de la investigación	38
3.6.	Metodología	39
3.6.1.	Coordinación con los propietarios de los terrenos.....	39
3.6.2.	Identificación de sitios de muestreo.....	39
3.6.3.	Muestreo de la fauna edáfica del suelo	40
3.6.4.	Metodología de conteo y estructura del suelo	41

3.6.5. Diversidad de especies.....	42
3.7. Variables a evaluar.....	43
3.8. Análisis de datos	43
IV. RESULTADOS	45
4.1. Características físicas de suelo en diferentes sistemas de uso	45
4.1.1. Textura del suelo	45
4.1.2. Densidad aparente	45
4.1.3. Resistencia a la penetración.....	46
4.1.4. Temperatura del suelo.....	47
4.2. Características químicas en diferentes sistemas de uso.....	47
4.3. Identificación y cuantificación de macrofauna del suelo.....	49
4.3.1. Identificación de macrofauna.....	49
4.3.2. Densidad y biomasa de la macrofauna edáfica	49
4.3.3. Densidad, biomasa de macrofauna a diferentes profundidades	50
4.3.4. Diversidad de la macrofauna en los sistemas de uso.....	53
4.3.5. Diversidad de la macrofauna a profundidades del suelo	53
4.3.6. Cuantificación de biomasa que producen los sistemas.	55
4.3.7. Cuantificación de microorganismos del suelo.....	56

4.4. Relación propiedades físico-químico con propiedades biológicas.....	57
V. DISCUSIÓN.....	62
5.1. Propiedades físicas del suelo	62
5.2. Propiedades químicas del suelo.....	64
5.3. Propiedades biológicas del suelo	66
5.4. Cuantificación biomasa de hojarasca que producen los sistemas.....	70
5.5. Relación entre las características del suelo.....	71
VI. CONCLUSIONES	73
VII. RECOMENDACIONES.....	75
VIII. ABSTRACT.....	76
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	78
X. ANEXO	84