

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE USO ACTUAL EN LAS
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS DEL
CASERÍO EL MILAGRO, DISTRITO JOSÉ CRESPO Y CASTILLO**

Tesis

Para optar el título de:

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

RENGIFO RUIZ GEY JUNNER

Tingo María – Perú

2014

DEDICATORIA

A DIOS por guiar siempre mis pasos, darme la vida, la fuerza y el valor necesario para seguir adelante y cumplir con una de mis metas más deseadas en la vida.

A mi madre Gilma RUIZ, por su apoyo incondicional en el proceso de mi formación académica y por ser mi estímulo permanente.

A mis hermanas Jessica, Margot y Rocío por el apoyo económico y haber brindado sus consejos en los momentos que necesitaba.

A mis hermanos Wilfredo, Elvis (desde el cielo), por todo las cosas buenas que hicieron por mí.

AGRADECIMIENTO

- A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron a mi formación profesional.
- A mi asesor Ing. Juan Pablo RENGIFO TRIGOZO, por sus incontables orientaciones durante la ejecución y redacción de la investigación.
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. M,Sc. José LEVANO CRISOSTOMO, Ing. M,Sc. Sandro RUIZ CASTRE y al Ing. Jaime TORRES GARCIA.
- A mis amigos (as) Juan VARGAS ROJAS, Ulises RIVAS TORRES, Cintia TRELLES FERNÁNDEZ, Joe GARCÍA ROSALES, Randy GONZALES VÁSQUEZ, y Yoseli POMA ARRIETA, por el apoyo para que esta tesis sea posible y por compartir conmigo invaluables momentos durante mi etapa universitaria, que me disculpen si no mencione a algunos más.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Suelos	3
2.1.1. Propiedades físicas del suelo.....	3
2.1.2. Propiedades químicas del suelo.....	7
2.1.3. Propiedades biológicas de los suelos	18
2.2. Usos del suelo.....	24
2.2.1. Sistemas de uso.....	25
2.2.2. Influencia de los sistemas de producción en las propiedades químicas y físicas de los suelos.....	29
2.3. Calidad de suelo	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. Descripción de la zona en estudio.....	36
3.1.1. Lugar de ejecución	36
3.1.2. Zona de vida.....	37
3.1.3. Clima	37

3.1.4. Descripción de los sitios de muestreo	37
3.2. Materiales, insumos y equipos	39
3.2.1. Materiales y herramientas	39
3.2.2. Equipos de campo.....	39
3.2.3. Reactivos y equipos de laboratorio	39
3.3. Variables en estudio.....	39
3.4. Metodología	41
3.4.1. Coordinación y ubicación de los sitios de muestreo	41
3.4.2. Identificación de sitios de muestreo	41
3.4.3. Muestreo de suelos	41
3.4.4. Muestreo de la fauna biológica del suelo	42
3.4.5. Metodología de conteo y estructura de la comunidad del suelo.....	42
3.4.6. Metodología para determinar las variables en estudio	43
3.5. Análisis de datos	45
IV. RESULTADOS	47
4.1. Características físicas y químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	47
4.1.1. Parcela de naranja	47
4.1.2. Parcela de plátano	47

4.1.3. Bosque secundario.....	48
4.1.4. Parcela de cacao.....	48
4.2. Comparación de las características del suelo en diferentes sistemas de uso.....	50
4.2.1. Textura	50
4.2.2. Densidad aparente	50
4.2.3. Contenido de humedad	51
4.2.4. Resistencia a la penetración	52
4.2.5. Temperatura del suelo	52
4.2.6. pH.....	53
4.2.7. Materia orgánica.....	54
4.2.8. Nitrógeno.....	55
4.2.9. Fósforo	56
4.2.10. Potasio	57
4.2.11. Densidad de macrofauna	58
4.2.12. Biomasa de macrofauna	60
4.3. Relación entre las características del suelo de los diferentes sistemas de uso.....	61
4.3.1. Relación de variables evaluadas en cultivos de naranja	61

4.3.2. Relación de variables evaluadas en el cultivos de plátano	62
4.3.3. Relación de variables evaluadas en el cultivo de cacao	63
V. DISCUSIÓN	65
VI. CONCLUSIONES	75
VII. RECOMENDACIONES	77
VIII. ABSTRACT	78
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
X. ANEXO	91

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Niveles de pH en el suelo.....	9
2. Intervalos de materia orgánica en el suelo.....	11
3. Niveles de contenido de nitrógeno.	12
4. Niveles de contenido de fósforo disponible.....	13
5. Niveles de contenido de potasio disponible (K ₂ O).	15
6. Niveles de capacidad de intercambio catiónico para un pH > de 5.5.....	16
7. Niveles de capacidad de intercambio catiónico para un pH ≤ de 5.5.	16
8. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna.....	18
9. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio	36
10. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo	40
11. Características físicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.....	49
12. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.	49
13. Determinación de la correlación r de Pearson entre dos variables en suelos del cultivo de naranja.....	62
14. Determinación de la correlación r de Pearson entre dos variables en suelos del cultivo de plátano.....	63
15. Determinación de la correlación r de Pearson entre dos variables en suelos del cultivo de cacao.....	64
16. Densidad de macrofauna en suelos del cultivo de cacao	95
17. Densidad de macrofauna en suelos del cultivo de plátano	95

18. Densidad de macrofauna en suelos de bosque secundario.....	96
19. Densidad de macrofauna en suelos del cultivo de naranja.	96
20. Información recolectada de las características físicas químicas y biológicas del suelo	97
21. Información recolectada de densidad, biomasa y grupo de macrofauna de suelo	98
22. Información recopilada para análisis de correlación de variables	99

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Densidad aparente del suelo en diferentes sistemas de uso.	50
2. Contenido de humedad en el suelo en diferentes sistemas de uso	51
3. Resistencia a la penetración del suelo en diferentes sistemas de uso.	52
4. Temperatura del suelo en diferentes sistemas de uso.	53
5. pH de suelo en diferentes sistemas de uso.	54
6. Materia orgánica del suelo en diferentes sistemas de uso.	55
7. Nitrógeno del suelo en diferentes sistemas de uso.	56
8. Prueba Duncan de fósforo del suelo en diferentes sistemas de uso.	57
9. Potasio del suelo en diferentes sistemas de uso.	58
10. Densidad de macrofauna del primer estrato del suelo (0-10 cm).	59
11. Densidad total de macrofauna del suelo en 30 cm de profundidad.	59
12. Biomasa de macrofauna del primer estrato del suelo (0-10 cm).	60
13. Biomasa total de macrofauna del suelo en 30 cm de profundidad.	61
14. Recolectando muestras de suelo.	92
15. Realizando el conteo de macrofauna del suelo.	92
16. Determinando el peso de la macrofauna del suelo	93
17. Realizando muestreo de suelo en el cultivo de cacao	93
18. Realizando muestreo de macrofauna en el cultivo de naranja	94
19. Realizando muestreo de macrofauna en el cultivo de plátano	94

RESUMEN

La investigación se realizó en el distrito de José Crespo y Castillo, provincia Leoncio Prado; entre los meses de junio a noviembre de 2013. El objetivo fue determinar la influencia de los sistemas de uso en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En la evaluación se seleccionaron cuatro parcelas con diferentes sistemas de uso (naranja, cacao, plátano y bosque secundario). Para la evaluación se realizó el muestreo y análisis de suelo y un transecto lineal con cinco monolitos de 25x25x30 cm de profundidad por sistema. Para determinar la relación entre uno y otro variable se utilizó la correlación r de Pearson.

Los sistemas de uso presentan suelos con una textura que varía de franco arcilloso a franco arcillo limoso, una densidad aparente entre 0.80 y 1.06 g/cm^3 , con un contenido de humedad de 24.5 a 50.25%, con una resistencia a la penetración de 1.58 a 2.03 kg/cm^2 , con una temperatura de 24.5 a 27.17°C, pH de neutro a ligeramente alcalino (6.9 a 7.4), con un contenido bajo a alto de MO (1.41 a 4.78%) y N (0.06 a 0.21%), contenido bajo a medio de P_2O_5 (2.13 a 6.50 ppm) y K_2O (243.81 a 517.66 kg/Ha).

Suelos de naranja registran una menor densidad aparente (0.80 g/cm^3) y un mayor contenido de humedad (50.25%) y una mayor resistencia la penetración,

asimismo; presentan junto a los suelos de cacao mayor MO y N. El contenido de P es similar en suelos de naranja, cacao y bosque secundario y deficientes en plátano. La mayor densidad de macrofauna entre 0-10 y 0-30 cm de profundidad se encontró en suelos de cacao con 3161.6 ind.m⁻² y 3561.60 ind.m⁻² respectivamente; asimismo, los suelos de naranja mostraron mayor biomasa de macrofauna con 31.53 g.m⁻² y 34.22 g.m⁻² respectivamente.

Se estableció que el incremento del contenido de materia orgánica del suelo conlleva a un incremento del contenido de nitrógeno, a la disminución del contenido de humedad y el grado de resistencia a la penetración; asimismo, el incremento del contenido de materia orgánica del suelo conlleva a la mayor biomasa de macrofauna.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda en la producción de alimentos ha impulsado el uso intensivo, y en algunas situaciones desmedido de los recursos naturales. Además de la intensificación agrícola, el empleo de prácticas de manejo inadecuadas ha provocado la degradación de los suelos y como consecuencia, el deterioro de la calidad edáfica en vastas zonas del planeta (LAL, 1998).

Uno de los impactos más visibles de la ocupación humana en la provincia de Leoncio Prado es el proceso acelerado de deforestación y transformación del paisaje. De las áreas intervenidas, algo más del 50% corresponden a tierras con conflictos de uso.

Frente a este contexto y a una limitada información sobre la influencia de los sistemas de uso en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, se plantea la siguiente interrogante ¿Los sistemas de uso influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo?

La presente tesis se justifica teniendo en cuenta la necesidad de identificar aquellas prácticas agrícolas o usos del suelo que están contribuyendo con la conservación de los suelos. La investigación se va orientar en analizar las

consecuencias de los conflictos de uso en la fertilidad del suelo. En tal sentido en busca de una agricultura sustentable, los indicadores de calidad física y química y biológica proporcionarán información valiosa que reforzará el entendimiento en la funcionalidad del suelo a corto plazo y la dirección del ecosistema, encaminando a su recuperación, preservación o degradación, como punto de partida en los planes y proyectos de manejo, para la preservación y medidas de mitigación de la degradación de los sistemas de uso de suelos.

En base a lo planteado se propone la siguiente hipótesis: Los sistemas de uso influyen positiva y negativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Para demostrar la hipótesis se plantean los siguientes objetivos:

- Determinar las características físicas, químicas del suelo en los diferentes sistemas de uso en el sector Los Milagros.
- Comparar las características físicas, químicas y biológicas del suelo en diferentes sistemas de uso en el sector Los Milagros.
- Establecer la relación entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo en los diferentes sistemas de uso.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Suelos

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.

2.1.1. Propiedades físicas del suelo

Son las características responsables del crecimiento de las raíces, la aireación y el drenaje del agua. Entre ellos tenemos:

2.1.1.1. Densidad aparente

La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo secado en horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas (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 clima, por ejemplo por impacto de las gotas de lluvia (Arskead *et al.*, 1996; citado por USDA, 1999). Estratos compactados del suelo tienen altas densidades aparentes, restringen el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo. Para AMÉZQUITA Y CHÁVEZ (1999), en suelos de texturas arcillosas, especialmente cuando los contenidos de limo y/o arena fina son abundantes, se obtienen densidades menores que en suelos de texturas gruesas.

2.1.1.2. La textura del suelo

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

2.1.1.3. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es una medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser empujado dentro del suelo (Bradford, 1986; citado por USDA, 1999).

La compactación es el proceso de aumento de la densidad aparente del suelo, como respuesta a la aplicación de una fuerza externa (BOWEN, 1981); asimismo, produce una severa restricción del crecimiento de las raíces, es causada primordialmente por el pisoteo de los animales, uso de los equipos para granja y para laboreo, y tráfico vehicular. El tipo de sistema radicular es la otra condicionante del grado de penetración de las raíces.

Otros factores que influyen en la compactación de los suelos son: bajos contenidos de materia orgánica, suelos desprotegidos, altas concentraciones de sodio y de otros agentes dispersantes, historia antecedente de la humedad del suelo, el manejo de los suelos, los sistemas de cultivo y las condiciones climáticas (LAL, 1998).

2.1.1.4. 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 (USDA, 1999).

2.1.1.5. Contenido de humedad

Es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas (UNI, 2006).

La humedad del suelo también ejerce una influencia importante en la acumulación de materia orgánica en los suelos. En condiciones comparables, el contenido materia orgánica de los suelos aumenta a medida que crece la humedad efectiva. Sin embargo, al establecer esta correlación con la precipitación, se debe recordar que el nivel de materia orgánica, en cualquier suelo, está influenciado tanto por la temperatura como por la humedad y también por otros factores (CORBELLA Y FERNÁNDEZ, 2009)

El contenido de humedad del suelo varía (además de la influencia del clima) con el tipo, la profundidad y la cantidad de materia orgánica del suelo. Los suelos con vegetación natural generalmente tienen gran porosidad debido a la alta actividad biológica y a la ausencia de interferencias con el hombre. Por consiguiente, tienen cualidades físicas superiores a la mayoría de los suelos usados para cultivos o pastos. La materia orgánica puede construir una estructura

superficial e interna más fuerte en el perfil del suelo para una condición que permita la fácil entrada del agua (agua de infiltración) y su almacenamiento (agua de retención) en forma disponible para la planta. Otra consecuencia del aumento del contenido de materia orgánica (y de la actividad microbiana) es un incremento de la población de las lombrices de tierra.

Los suelos con limitaciones químicas para el crecimiento de las plantas muchas veces reducen la capacidad de retención y la percolación del agua del suelo. Con una pequeña actividad biológica (raíces de plantas y vida del suelo) los macroporos que normalmente guían al agua a través del suelo son escasos. Las más importantes prácticas que producen la pérdida de la apreciada humedad del suelo son la quema de los residuos y la labranza del suelo, mientras que la compactación de las capas del suelo prohíbe la entrada y percolación del agua de lluvia (KOCHHANN, 1996).

2.1.2. Propiedades químicas del suelo

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

Entre ellos tenemos:

2.1.2.1. Reacción del suelo

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.

La acidez es característica de suelos localizados en regiones de alta pluviometría, los cuales están sometidos a un continuo y amplio lavado. Debido a ello, el agua disuelve las bases solubles, que percolan y se pierden por lixiviación en proporciones considerables. El continuo lavado va provocando acidez que vienen incrementando al mismo tiempo por la segregación de las raíces y por los compuestos ácidos que se originan en la descomposición de la materia orgánica. Todas estas circunstancias dan lugar a que el complejo coloidal del suelo fije gran cantidad de H^+ , y como este hidrógeno al producirse su disociación, tiende a estar en equilibrio dinámico con la disolución del suelo, esta se enriquece en H^+ y el pH desciende (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

Cuadro 1. Niveles de pH en el suelo.

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

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

Las bacterias y actinomicetos actúan mejor en suelos minerales con valores de pH intermedios y elevados. 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.

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. El edafón consiste en los organismos vivientes del suelo o sea su flora y fauna. En el horizonte A de suelos cultivados el edafón constituye el 10 - 15% de la materia orgánica (FASSBENDER, 1975; NAVARRO y NAVARRO, 2003).

FASSBENDER (1975) menciona que los contenidos de materia orgánica y nitrógeno de los suelos son determinados, en primera instancia, por el clima y la vegetación y que los afectan otros factores locales como el relieve, el material parental, el tipo y la duración de la explotación de los suelos y algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas.

La materia orgánica del suelo es un indicador de suma importancia de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como ambientales. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la biota del suelo están directamente relacionadas con la materia orgánica. La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (FAO, 2002). La agregación y la estabilidad estructural del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (FAO, 2002).

2.1.2.2.1. Contenido y distribución de materia orgánica

El contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable y está condicionado en primera instancia por el clima y la vegetación y localmente se ve determinado por la fisiografía, la naturaleza, el material madre que genera el suelo y el sistema de manejo (ZAVALETA, 1992). Además, la materia orgánica contiene grandes cantidades de nutrientes para las plantas, especialmente nitrógeno, y actúa como un depósito que los libera lentamente. Aún más, la materia orgánica proporciona la energía y los constituyentes celulares a la mayoría de los microorganismos.

CORBELLA Y FERNÁNDEZ (2009) afirman que en los constituyentes de la materia orgánica del suelo hay almacenados nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes, que son liberados lentamente por mineralización

Cuadro 2. Intervalos de materia orgánica en el suelo.

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

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

2.1.2.3. Nitrógeno

Bajo condiciones naturales, el nitrógeno del suelo no proviene de la degradación de la roca madre. Todo el que normalmente se encuentra en él deriva, en última instancia, del que existe en la atmosfera terrestre a través de los distintos procesos de fijación, fundamentalmente del tipo biológico. Del mismo modo; SÁNCHEZ (1976) menciona que el contenido total de este elemento en los suelos presenta valores de 0.2 – 0.7 % para la capa arable.

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 por efecto de las precipitaciones o riegos, con una temperatura constante, el nitrógeno aumenta (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

Procede de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización. La cantidad de fósforo total en el suelo, expresada como P_2O_5 , raramente sobrepasa el valor de 0.5 % (1500 ppm ó 3360 Kg/ha). 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. Asimismo la asimilación del fósforo por las plantas sería normal a pH bajos, es decir, cuando la disolución del suelo presentara una acidez notable, ya que la forma $H_2PO_4^-$ es la más asimilable (NAVARRO y NAVARRO, 2003). WESTIN y DE BRITO (1969) 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

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 la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes. Su contenido (como K_2O) varía de 0.5 a 3%, y 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 (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

SANZANO (1999) señala que la absorción de K es alta a temperaturas que oscilan los 25 °C, debido a su mejor difusión en el suelo, asimismo, durante la meteorización el K es liberado a la solución del suelo, de donde lo absorben las plantas, preferentemente en la forma de ion K^+ , En cambio en las regiones húmedas es mayor la remoción del K del perfil del suelo, siendo mayor su concentración en los horizontes subsuperficiales. No obstante, que esta variación en el contenido de potasio está influenciada por la intensidad de las pérdidas: extracción de cultivos, lixiviación y erosión (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

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

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

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

2.1.2.6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es la suma de todos los cationes de cambio (H^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , k^+ , Na^+ , etc.) constituye la capacidad total de cambio (CTC) de un suelo. Un suelo con mayor CIC tiene mayor capacidad de almacenamiento y de nutrientes para los cultivos (GUERRERO, 2000).

CEPEDA (1991) menciona que el CIC es una de la propiedad más 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. El calcio por lo general es el más abundante mientras que la cantidad de otros elementos varía de acuerdo a las condiciones del suelo.

El intercambio de catión en el suelo se afecta por:

- Los cationes en la solución del suelo y los de la superficie de los coloides minerales y orgánicos.

- Los cationes liberados por las raíces de las plantas y de las superficies de los minerales y materia orgánica.
- Los cationes de la superficie ya de los cristales cualesquiera de arcilla y de dos partículas de humus y de un cristal de arcilla y una partícula de humus.

Cuadro 6. Niveles de capacidad de intercambio catiónico para un pH > de 5.5.

Nivel	CIC (meq/ 100 gr de suelo)
Bajo	< 12
Medio	12 – 20
Alto	>20

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

Cuadro 7. Niveles de capacidad de intercambio catiónico para un pH ≤ de 5.5.

Nivel	CIC (meq/ 100 gr de suelo)
Bajo	< 4
Medio	4 - 30
Alto	>30

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

En los suelo ácidos predominan H^+ y Al^{+3} , en los suelos alcalinos predominan las bases, fundamentalmente el Na^+ y en los neutros el Ca^{+2} .

2.1.2.7. Porcentaje de saturación de bases (PSB)

Es la fracción de la CIC que está ocupada por calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables y es expresada en porcentaje:

$$PSB (\%) = \frac{Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+}{CIC}$$

También puede establecerse al porcentaje de saturación de aluminio y el porcentaje de acidez cambiante, dato muy importante para efectuar los cálculos en la aplicación de enmiendas calcáreas para corregir al pH y la acidez de los suelos.

$$\% \text{ Sat. Al} = \frac{Al^{+++}}{CIC} \times 100$$

$$\% \text{ AC} = \frac{Al^{+++} + H^+}{CIC} \times 100$$

Podemos establecer las siguientes relaciones:

- A mayor PSB, mayor es el pH, a mayor % Saturación Al, menor es el pH y a mayor PSB, mayor es la fertilidad del suelo.

2.1.3. Propiedades biológicas de los suelos

2.1.3.1. Macrofauna del suelo

Este grupo está integrado por los animales que tienen un ancho de cuerpo mayor a 2 mm (LINDEN *et al.*, 1994) y que pertenecen a distintos Filos, Clases y Órdenes (cuadro 6).

Cuadro 8. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna

Filo	Clase	Sub-Clase	Orden
Annelida	Clitellata	-	Oligochaeta
	Arachnida	-	Araneae
Arthropoda	Insecta	-	Coleoptera
			Diptera
			Hemiptera
			Hymenoptera
			Homoptera
			Isoptera
	Crustacea	-	Orthoptera
			isopoda
	Myriapoda	-	Chilopoda
			Diplopoda
Nematoda	Adenophorea	-	Mermithida
Mollusca	Gastropoda	-	

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

2.1.3.1.1. Grupos funcionales de la macrofauna

Las interacciones bióticas entre estos grupos funcionales intervienen en la regulación de los procesos edáficos. Cuando la complejidad de las mismas es grande, es muy probable que los efectos indirectos en la regulación de las funciones de los ecosistemas sean muy importantes (PRICE, 1988).

Como consecuencia de la herbivoría realizada por invertebrados se afecta la cantidad y calidad de recursos que ingresan al suelo y por lo tanto a los individuos detritívoros y depredadores (WARDLE y BARDGETT, 2004). A su vez la calidad y cantidad de los detritos que ingresan al sistema tienen gran importancia en la evolución y mantenimiento de la diversidad de los detritívoros, lo que afecta los ciclos de nutrientes y en consecuencia a los productores primarios y a los consumidores (herbívoros y depredadores) (MOORE *et al.*, 2004). Por otra parte, los depredadores pueden ejercer importantes efectos en la producción primaria neta y en la descomposición lo cual a su vez tienen implicancias a nivel de las comunidades y de los ecosistemas (MASTERS, 2004; WARDLE y BARDGETT, 2004).

2.1.3.1.2. Relaciones macrofauna hábitat

Los procesos del suelo están sometidos a una jerarquía de determinantes que operan en escalas anidadas de tiempo y espacio. El clima, seguido por las propiedades del suelo opera en las grandes escalas, los cuales fuerzan a las comunidades de plantas, que determinan la calidad y cantidad de los ingresos orgánicos del suelo, a los macroinvertebrados y a los microorganismos que operan en escalas locales (Lavelle *et al.*, 1993; citados por LAVELLE, 2002).

Por otra parte, a nivel local la composición y distribución de las comunidades son afectadas por factores tales como la disponibilidad de recursos, las condiciones microclimáticas, la fertilidad y estructura del suelo (Beare *et al.*, 1995; citados por CORREIA, 2002).

a) Clima

El clima ha sido el factor que ha tenido mayor efecto en los procesos de evolución de largo plazo, determinando la estructura y características de las comunidades vegetales y la distribución y abundancia de los invertebrados (CURRY, 1987). La diversidad y la actividad de muchos grupos están severamente restringidas a determinados climas. Mientras que las termitas tienen una distribución tropical-subtropical, las lombrices son características de regiones templadas.

b) Características del suelo

Las propiedades físicas y químicas del suelo afectan a la fauna que lo habita de manera directa por el contenido de materia orgánica y de humedad, el pH, la estructura del suelo y la 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 Coleoptera y Oligochaeta tiene una relación positiva con el contenido de Carbono orgánico y Nitrógeno total (CLAPPERTON, 2000; ZERBINO y MORÓN, 2003). Suelos ricos en bases, con buen drenaje, donde la materia orgánica está distribuida en el perfil (“mull”) soportan altas densidades de lombrices, mientras que en aquellos que tienen contenidos discretos de materia orgánica (“mor”) la fauna está representada por pequeños artrópodos y enquitraidos que habitan la superficie (Satchell, 1967, citado por CURRY, 1987).

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, Dictyoptera, Isopoda tuvieron grandes biomásas; Oligochaeta, Formicidae, Isoptera y Myriapoda estuvieron presentes en altas densidades. ZERBINO y MORÓN (2003) registraron que la riqueza taxonómica total y la abundancia de Coleoptera 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 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). El contenido de humedad es tan importante que en suelos con contenidos de nutrientes muy bajos pero con adecuados tenores de humedad, las densidades poblaciones de la macrofauna son considerablemente superiores que en suelos ricos en nutrientes pero más secos (LUIZÃO *et al.*, 2002).

c) 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 y SPAIN, 2001; WARDLE, 1995). 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; FEIJOO *et al.*, 2001; STINNER y HOUSE, 1990).

El efecto de la vegetación debe ser analizado de dos maneras, en función de la variación espacial y temporal. El tipo, la riqueza de especies vegetales y su manejo tienen efecto sobre la macrofauna del suelo (DUBS *et al.*, 2004), porque determina los recursos disponibles y afecta las interacciones entre los herbívoros, sus controladores y los detritívoros (MOORE *et al.*, 2004; SIEMANN, 1998). Cuando la cobertura vegetal es diversa, como es el caso de las pasturas o del campo natural, el mantillo es más heterogéneo y como consecuencia hay un incremento de los recursos a ser colonizados, lo que determina un aumento de la diversidad de la fauna del suelo (FAO, 2002).

En sistemas de cultivos anuales intensivos se puede producir un progresivo deterioro de la materia orgánica y de la estructura del suelo con un aumento de la compactación; como resultado hay una reducción marcada en la complejidad y estabilidad de la comunidad biológica del suelo (CURRY y GOOD,

1992). La fauna original desaparece, las comunidades son menos abundantes y diversas, las poblaciones de depredadores disminuyen y aumenta la probabilidad del desarrollo de poblaciones importantes de organismos plaga. Esto ha sido reportado para un amplio rango de ambientes templados y en una gran variedad de cultivos (arroz, maíz, soja) (LEE, 1985).

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

2.2. Usos del suelo

La cobertura de suelo se refiere al estado biofísico de la superficie del planeta. El uso del suelo corresponden a las coberturas vegetales, incluye vegetación natural como bosques y usos de los suelos rurales o suburbanos (agroecosistemas) que predominan en los municipios en cuanto a las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, de producción, entre otras (IGAC, 2004).

Los cambios en los usos del suelo tienen efectos importantes sobre procesos de ciclaje de materia orgánica, ya que según el tipo de uso de suelo se pueden presentar cambios en las tasas de descomposición así como cambios en la abundancia de grupos funcionales de microorganismos, en parte debido a las

modificaciones en el microambiente, a la variación de la tasa de evapotranspiración y a condiciones de solarización.

2.2.1. Sistemas de uso

2.2.1.1.1. Plantaciones de cítricos

Los cítricos se adaptan a una amplia variedad de suelos. Sin embargo, su sistema radicular es muy superficial y la capacidad de absorción de nutrientes es pobre debido a que poseen un limitado número de pelos radicales. Los cítricos prefieren los suelos ligeros, de textura franco arenosa, franca o franco arcillosa, con buen drenaje y aireación.

Los cítricos se desarrollan bien en un rango amplio de pH que va de 4 a 9, sin embargo, se considera que el rango óptimo de pH está entre 5.5 a 6.

Los cítricos absorben nutrientes durante todo el año, pero la absorción es más acentuada durante las etapas de floración y formación de fruta. El calcio (Ca) es el elemento más abundante en las partes vegetativas de la planta, seguido por el nitrógeno (N), potasio (K), magnesio (Mg), azufre (S) y fósforo (P). Sin embargo, el N y el K son los más abundantes en el fruto. Cerca del 30% del N total en la planta y el 70% del K se localizan en el fruto (MOLINA, 1998).

2.2.1.1.2. Plantaciones de cacao

Los suelos más apropiados para el cacao son los aluviales, los francos y los profundos con subsuelo permeable. Los suelos arenosos son poco recomendables porque no permite la retención de humedad mínima que satisfaga la necesidad de agua de la planta.

El cacao se desarrolla eficientemente cuando el pH se encuentra en el rango de 6.0 a 6.5; permitiendo obtener buenos rendimientos. Sin embargo, también se adapta a rangos extremos desde los muy ácidos hasta los muy alcalinos cuyos valores oscilan de pH 4.5 hasta el pH de 8.5, donde la producción es decadente o muy deficiente, en estos suelos se debe aplicar correctivos (PROAMAZONÍA, 2004).

URIBE *et al.* (1998) obtuvo una alta respuesta a la fertilización con N y K, el mejor tratamiento se aplicó al suelo 150-90-200 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Asimismo, en promedio, 1,000 kg de semilla de cacao extraen 40 Kg de K₂O, 30 Kg de N, 13 Kg de CaO, 10 Kg de MgO y 8 Kg de P₂O₅ (ICA, 2012).

2.2.1.1.3. Plantaciones de plátano

Se requieren suelos con profundidad no menor a 1.2 m, sin problemas internos de drenaje, de textura franco arenosa muy fina, franco limoso o franco

arcillo limoso y un pH de 5.5 a 7.0 (GUERRERO, 2010); Mientras que VÁSQUEZ (2005), indica que las condiciones de pH ideales para el plátano es de 6 a 7.5 (ligeramente ácido a ligeramente alcalino), sin embargo prosperan en suelos con pH de 5 a 8.

Como es de considerarse, para lograr un buen crecimiento, desarrollo y llenado de fruta, se requieren nutrientes, principalmente elementos mayores, como el nitrógeno y el potasio, aunque algunas cantidades de ellos se reciclan en los pseudotallos y hojas que quedan en la plantación, grandes cantidades son extraídas por la fruta y hay que reponerlas. EL potasio junto con el nitrógeno es el elemento más importante en el cultivo de plátano, interviene en el equilibrio hídrico de la planta y del fruto; cada fruto puede contener hasta 350 miligramos de potasio, así gran cantidad de este elemento es extraído en la cosecha, por lo cual es necesario adicionarlo a través del fertilizante. Cuando el potasio es deficiente, se reduce drásticamente el crecimiento de la planta, el número de sus hojas se reduce y su intervalo de emisión se alarga (VÁSQUEZ, 2005).

A partir del primer año, la planta tiene mayor requerimiento de potasio, seguido de nitrógeno y fosforo y conforme avanza los años los requerimientos en potasio y nitrógeno serán superiores (UNALM, 2011).

2.2.1.1.4. Bosque secundario

Se define como una vegetación leñosa de carácter sucesional que se desarrolla sobre tierras, originalmente destruida por actividades humanas. Su grado de recuperación dependerá mayormente de la duración e intensidad del uso anterior por cultivos agrícolas o pastos, así como de la proximidad a fuentes de semillas para recolonizar el área alterada. La gran variabilidad por edades, por la composición florística y por la distribución geográfica del bosque secundario, influye en su potencial y no permite establecer criterios generalizados sobre su manejo.

Debe tenerse en cuenta que el bosque secundario debe formar parte integral de una estrategia de manejo de los recursos naturales donde se inserta entre las tierras en actual uso agropecuario y las tierras degradadas. En este sentido, el manejo del bosque secundario forma parte de un conjunto de fases sucesionales para recuperar por una parte las tierras de baja fertilidad, y, por otra parte, ofrecer la oportunidad de reforestar tierras degradadas a bajos costos usando la capacidad de recuperación natural del bosque (PNUD, 1997).

En el variado contexto paisajístico, los bosques secundarios tropicales cumplen un papel importante. Entre los diferentes tipos de usos del suelo en el ámbito regional -bosques introducidos, árboles en pastizales, bosques maduros, plantaciones forestales, humedales-, los bosques secundarios sirven como

modelos de rehabilitación de zonas degradadas, como refugios de biodiversidad, como fuente de productos no maderables, como protección de fuentes de agua y contra la erosión (FEARNSIDE y GUIMARAES, 1996).

2.2.2. Influencia de los sistemas de producción en las propiedades químicas y físicas de los suelos

Las propiedades de los suelos se pueden ver afectada por el manejo que se le dé al mismo a través del uso de maquinaria, riego, utilización de fertilizantes, agroquímicos y enmiendas orgánicas, tipo de cultivo y variedad a cultivar. Por lo tanto las propiedades de un suelo son dinámicas y está asociadas al uso del suelo y su función, comúnmente la conservación ambiental y la producción agropecuaria y forestal.

El control de malezas es el de mayor potencial de degradación de las propiedades físicas del suelo, si es efectuado de manera inadecuada. Sin embargo, si es conducido adecuadamente puede revertir en varios beneficios al suelo y al cultivo. El uso agrícola continuo del suelo interfiere en sus características intrínsecas, en intensidad que varía de acuerdo con el uso y manejo practico. No obstante, es cierto que el empleo de prácticas menos intensivas, que movilizan poco el suelo, produciría mejores resultados, en función de la mayor acumulación de materia orgánica y menor degradación de la estructura, con ventajas económicas y ambientales (BORGES *et al.*, 2006).

Un trabajo desarrollado por SOARES *et al.* (2005), evaluó un Latosuelo Rojo en Bariri (Estado de Sao Paulo), cultivado con cítricos en un sistema tradicional de manejo, donde fueron estudiadas alteraciones pedológicas oriundas de un largo período de exploración agrícola. Los parámetros analizados muestran que los diferentes tipos de manejos practicados en cítricos promueven impactos negativos. La compactación mecánica fue evidenciada en los diversos parámetros analizados, reflejando los efectos negativos de la destrucción de la estructura, elevación de la densidad del suelo, disminución de la macro-porosidad y de la tasa de infiltración en el perfil.

Con el avance de la agricultura, los suelos han comenzado a degradarse a una tasa alarmante debido a la implementación de prácticas inapropiadas. La deforestación, el sobrepastoreo, el abuso en el uso y la conversión de tierras vírgenes a la agricultura han resultado en la disminución de la calidad física, química y biológica de los recursos del suelo en todo el mundo. Los incrementos en las últimas décadas de la superficie cultivada, las prácticas de monocultivo y de aplicación de fertilizantes y pesticidas químicos, han provocado pérdidas en los contenidos de materia orgánica, incrementos en la erosión, compactación y contaminación del agua superficial y subterránea (GIUFFRÉ *et al.*, 2008).

JAMIOY (2011) evaluó la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles de Colombia, los

resultados indicaron que los sistemas productivos influyen en la calidad de los suelos a través de sus prácticas de manejo principalmente. Para valorar esta influencia se construyó una matriz a partir de la cual se generaron índices químicos y físicos de la calidad de los suelos por sistema productivo, presentando los sistemas pasto mulato y cultivos transitorios una alta calidad química, pero la más baja calidad física, lo contrario sucede con la palma y la pastura degradada. Los índices indican que las prácticas de manejo implementadas para mejorar las propiedades químicas del suelo con el fin de adaptarlo a las necesidades nutricionales del cultivo probablemente están conllevando a la degradación física del suelo.

CHAVARRIAGA (2002) realizó la evaluación de la calidad del humus mediante su fraccionamiento y estableció criterios sobre la dinámica de la materia orgánica, su evolución e influencia en la fertilidad. Las variables pH, Materia Orgánica (MO), N, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn y S, presentaron diferencias altamente significativas entre cultivos sugiriendo correspondencia con las propiedades edafoclimáticas. La MO en suelos con bosques fue 32% superior a los suelos cultivados (8.76-6.60%), N, 33% superior (0.44 - 0.33), y P, 148% superior (27.71-11.13), esta circunstancia se explica por la mayor presencia y acumulación de residuos y ciclaje de nutrientes en bosques. En el primer horizonte las variables con excepción del pH presentaron valores mayores con respecto al horizonte subsuperficial. El carbono orgánico (C.O) en papa registró el mayor valor (5.86%), sin embargo el CSH fue mayor para hortalizas (73%), probablemente por el

abonamiento orgánico permanente; seguido por café (57.58), cacao (48.25) y papa (47.42).

CERDA (2008) comparó la calidad de suelos en sistemas agroforestales de cacao-laurel (*Cordia alliodora*) (CL) y banano-laurel (BL), cacao monocultivo (CM), plátano monocultivo convencional (PMC) y barbecho (BARB) que fue el control. Con base en el ICASA, el BARB tiene la mejor calidad de suelos; el PMC es igual a los sistemas agroforestales (CL y BL) gracias a la fertilización; y el CL es mejor que el CM. Con base en el ANOVA y MANOVA el CL fue el más parecido al BARB en los indicadores de calidad de suelos. En el PMC se registró mayor contenido de P, K, Ca y Mg y mejor pH que en los otros sistemas por la aplicación de fertilizantes sintéticos, pero su menor % de N indica pérdidas importantes de este nutriente. En el BARB, BL, CL y CM hubo deficiencia de P y K. En el BARB y CL se registró mayor % de materia orgánica, C en diferentes agregados y fracciones de materia orgánica, y % de N. Las condiciones de porosidad y aireación fueron mejores en el BARB y CL porque presentaron menor densidad aparente (DA) y mayor % de agregados de 8 – 2 mm que los otros sistemas. La biomasa microbiana, poblaciones de microorganismos en general y poblaciones de lombrices fueron mayores en el BARB y CL; en cuanto a poblaciones de nemátodos no hubo diferencias claras.

TORRES *et al* (2006) evaluaron el impacto de los tipos de uso de la tierra predominantes en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela, a partir

de la evaluación de variables químicas y determinaron el nivel actual de degradación producto de los sistemas de producción. Los resultados permitieron determinar que el suelo que presentó un mayor estado de degradación fue el tipo de uso convencional, donde se observó pérdida en el contenido de materia orgánica y menor fertilidad. El sistema alternativo con sábila fue menos degradado al presentar mayores contenidos de materia orgánica que los del sistema convencional, así como otras variables químicas con valores similares a los del bosque secundario. Este último simuló las condiciones naturales de la zona y por lo tanto presentó las mejores propiedades de suelo.

SAENZ (2011) evaluó las propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de cacao para determinar una tipología de referencia y para analizar sus correlaciones con la macrofauna, Según datos óptimos de concentraciones de elementos para el cultivo del cacao, se observó que estos suelos tiene bajos niveles de fósforo y sólo la categoría de –Bases presenta deficiencia de nutrientes. Entre sus cualidades para el cultivo de cacao están el pH neutro, la textura arcillosa, la baja densidad aparente y los altos contenidos de materia orgánica. Además, los cacaotales presentan una estructura similar a los bosques de la región. La fauna se clasificó en 26 grupos, donde las hormigas fueron las más abundantes (42%). Los grupos de macrofauna no mostraron diferencias significativas ($P > 0,05$) con las categorías del suelo. Pero en un Análisis de Correspondencias Canónicas entre la fauna y las variables indicadoras, los grupos funcionales se distribuyeron en dos comunidades, una relacionada a las

concentraciones de bases y relación N:P y la otra asociada a un gradiente de densidad aparente, porosidad y humedad, lo que sugiere que estos indicadores pueden ser importantes en la regulación de la fauna.

2.3. Calidad de suelo

Es la capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo. En general es evaluada midiendo un grupo mínimo de datos de propiedades del suelo para estimar la capacidad del suelo de realizar funciones básicas (por ej. mantener la productividad, regular y separar agua y flujo de solutos, filtrar y tamponar contra contaminantes, y almacenar y reciclar nutrientes). Al medir la calidad del suelo es importante evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (USDA, 1999).

Las propiedades físicas analizadas por este equipo incluyen densidad aparente, contenido de agua, velocidad de drenaje, desleimiento y estimaciones morfológicas. Entre las propiedades biológicas estudiadas se encuentran respiración del suelo y lombrices. Las propiedades químicas incluyen pH, conductividad eléctrica (CE) y niveles de nitratos.

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, o situaciones.

Existen dos formas básicas para evaluar la calidad del suelo:

- Hacer mediciones periódicamente, a lo largo del tiempo, para monitorear cambios o tendencias en la calidad del suelo;
- Comparar valores medidos con los de una condición del suelo estándar o de referencia.

Empleando las dos formas de evaluar la calidad del suelo, el equipo puede ser usado para:

- Realizar comparaciones entre distintos sistemas de manejo para determinar sus respectivos efectos sobre la calidad del suelo.
- Realizar mediciones en un mismo lote a lo largo del tiempo para monitorear las tendencias de la calidad del suelo, determinadas por el uso y manejo del suelo.
- Comparar áreas problema dentro de un predio, con áreas sin problemas.
- Comparar valores medidos con condiciones edáficas de referencia o con el ecosistema natural.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona en estudio

3.1.1. Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en el caserío El Milagro, distrito de José Crespo y Castillo, provincia Leoncio Prado, Región Huánuco

La zona de evaluación se encuentra en la margen derecho del río Huallaga, por la carretera Fernando Belaunde Terry (Vía Tingo María - Aucayacu). Es una zona de fisiografía plana y de suelos de tipo aluvial.

Cuadro 9. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio

Zona de estudio	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
parcela de cacao	390309	8988225	639
Parcela de plátano	390209	8987987	638
Bosque secundario	390367	8987721	637
Parcela de naranja	390309	8988529	639

3.1.2. Zona de vida

HOLDRIDGE (1986), establece en su diagrama bioclimático que ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida; Los Milagros corresponde a la formación de bosque húmedo premontano tropical (bh – PT), donde se desarrollan y cultivan especies de gran valor comercial.

3.1.3. Clima

La precipitación promedio por año varía entre 3500 a 3800 mm, temperatura media anual es de 24°C y la humedad relativa media es superior a 70%.

3.1.4. Descripción de los sitios de muestreo

3.1.4.1. Uso actual (cacao)

Parcela de propiedad del Sr. Tomas Pardo Vega, con individuos de cacao de 14 años de edad, y con un distanciamiento de 3x3 m entre matas. El tipo de manejo es de forma extensivo (no usa abono y utiliza machete para el desmalezado). La parcela presenta fisiografía plana, suelo suelto y sin pedregosidad, con una napa freática a 1.40 cm de profundidad del suelo y abundante hojarasca entre filas; asimismo, anteriormente presentó el cultivo de plátano y papaya en la parcela.

3.1.4.2. Uso actual (plátano)

Parcela de propiedad del Sr. Rogelio Pérez Tarazona, con individuos de 2 años de edad y con un distanciamiento de 2.5 x 2.5 m entre matas. Realiza el control de maleza con herbicida. La plantación presenta fisiografía plana, suelo suelto y sin pedregosidad, con una napa freática a 1.50 cm de profundidad del suelo y sin presencia de cobertura entre filas; asimismo, anteriormente presentó el cultivo de papaya y maíz en la parcela

3.1.4.3. Uso actual (naranja)

Parcela de propiedad del Sr. Fortunato Valdivia Acuña, con una edad de 12 años y con un distanciamiento de 4 x 6 m entre matas. El tipo de manejo es de forma extensivo (no usa abono y utiliza machete para el desmalezado) y se observa presencia de individuos de naranja enfermos. La plantación presenta fisiografía plana, suelo suelto y sin pedregosidad, con una napa freática a 1.22 cm de profundidad del suelo y con cobertura de maleza entre filas; asimismo, anteriormente presentó el cultivo de café y cacao.

3.1.4.4. Bosque secundario

Parcela de propiedad de la Sra. Marlene Pérez Vela. El terreno se encuentra en un proceso de recuperación de 10 años edad y presenta vegetación

arbustiva y arbórea (árboles jóvenes y cañaverales (*Gynerium sagittatum*)). Presenta fisiografía plana y ausencia de pedregosidad en el suelo.

3.2. Materiales, insumos y equipos

3.2.1. Materiales y herramientas

Wincha de 50 m y 5 m, libreta de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, machete, pala recta, papel secante, placa petri, pinza, tubos de ensayo, pipeta, gradilla, mechero, envase de plástico, cilindro y cuadrado muestreador.

3.2.2. Equipos de campo

Termómetro de suelo, cámara fotográfica, Sistema de posicionamiento global (GPS marca Garmin), luxímetro y penetrómetro.

3.2.3. Reactivos y equipos de laboratorio

Alcohol, plate count, manitol y formol., balanza de precisión, balanza digital, estufa, y estereoscopio.

3.3. Variables en estudio

Se realizó la evaluación de las siguientes variables.

Cuadro 10. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo

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 del suelo	Método directo (penetrómetro)
Contenido de humedad	Por peso húmedo y seco
Parámetros químicos	
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Parámetros biológicos	
Densidad de la Macrofauna	Método directo por conteo
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo

3.4. Metodología

3.4.1. Coordinación y ubicación de los sitios de muestreo

Se coordinó con los propietarios de las parcelas y se realizó un recorrido preliminar, verificando si estos están acorde a los objetivos de la investigación.

3.4.2. Identificación de sitios de muestreo

Se identificaron cuatro parcelas con su correspondiente georeferenciación. Las parcelas seleccionadas correspondieron a: cacao, plátano, naranja y bosque secundario.

3.4.3. Muestreo de suelos

El muestreo de los suelos se realizara mediante el método de zig-zag, el cual consistirá en dibujar líneas transversales imaginarios en el área a muestrear, se recolectara y se homogenizara con la finalidad de extraer de esta aproximadamente un kilogramo (por cada 20 submuestras que se colectaron de cada parcela).

Las muestras de suelo recolectadas de los diferentes sistemas de uso fueron enviadas Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis físico y químico.

3.4.4. Muestreo de la fauna biológica del suelo

Consistió en identificar las especies de macrofauna del suelo presente en los diferentes sistemas de uso, así como determinar su densidad y biomasa. Asimismo se determinó la biomasa microbiana por cada sistema de uso.

Para la evaluación de la macrofauna del suelo, se tomaron cinco (05) muestras por sistema de uso, a un nivel de profundidad de 0 – 10, 10 – 20 y 20 – 30 cm, empleando un cuadrado muestreador de 25 x 25 x 10 cm, método recomendado por el Programa Tropical Soil Biology And Fertility – TSBF (Anderson e Ingram, 1993, citado por PASHANASI, 2001). Los organismos fueron identificados por unidades taxonómicas (clases y órdenes) en el laboratorio de entomología y mediante claves de identificación. La densidad fue medida en individuos/m² y la biomasa en gramos de peso fresco/m².

3.4.5. Metodología de conteo y estructura de la comunidad del suelo

El conteo de la fauna edáfica se realizó in situ y se depositó en soluciones de alcohol al 80% para insectos de cuerpo endurecido y en formol del 4% hasta 10% las larvas e insectos de cuerpo no endurecido. Se cuantificó la biomasa (g/m²) y densidad (individuos/m²) de todos los macroinvertebrados por medio de estereoscopio y una balanza de precisión. Los valores de biomasa fueron multiplicados por un valor de corrección (19% para las lombrices, 9% hormigas, 11% escarabajos, 6% arañas y 13% para el resto de

macroinvertebrados) debido a la pérdida de peso durante la fijación en alcohol y formol (DECAENS *et al.*, 2001).

Mediante las claves de identificación, se determinó el grupo taxonómico, se contabilizó el número de individuos de cada unidad taxonómica por monolito, se sumó el total de individuos por taxón y calculó el porcentaje de abundancia o densidad relativa promedio de cada unidad taxonómica en cada sistema de suelo.

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

Dónde: DRM= Densidad relativa por monolito

3.4.6. Metodología para determinar las variables en estudio

3.4.6.1. Densidad aparente

Ubicar los puntos de muestreo y realizar la limpieza de un área de 40 x 40 cm de lado, luego se introduce el cilindro metálico con ayuda de un martillo y en dirección vertical al suelo, hasta cubrir su totalidad; posteriormente, se retira el cilindro con la muestra de suelo, se enraza con una navaja y se lleva al laboratorio. En este último, se registra las medidas y peso del cilindro y el peso fresco de suelo; posteriormente, se coloca la muestra de suelo en estufa a 105 °C por un lapso de 72 horas y se registró el peso seco del suelo.

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

3.4.6.2. Contenido de humedad

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}^*$. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso del suelo humedo} - \text{peso del suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}}$$

3.4.6.3. Resistencia del suelo

Ubicar los puntos de muestreo e introducir el penetrómetro en dirección vertical al suelo y registrar los datos.

3.4.6.4. Temperatura del suelo

Ubicar los puntos de muestreo y colocar el termómetro sobre el ras del suelo y registrar los datos.

3.4.6.5. Textura y parámetros químicos del suelo

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

3.4.6.6. Densidad de macrofauna

Dado que para cada muestreo se utiliza un cuadrado de 25 cm de lado, lo que representa $1/16 \text{ m}^2$, los datos de cada punto de muestreo son multiplicados por 16 para obtener las unidades de número de individuos por m^2 (ind. m^2) (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

3.4.6.7. Biomasa de macrofauna

Al igual que en la densidad, los datos (pesos) de cada punto de muestreo son multiplicados por 16 para obtener las unidades de gramos por m^2 (g. m^2) (CORREIA y OLIVEIRA, 2000).

3.5. Análisis de datos

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

Para comparar y determinar la relación entre los diferentes sistemas de uso de suelo se ha utilizado la hoja de cálculo Excel 2010. Del mismo modo, para determinar la relación entre las propiedades físico químicas del suelo y la densidad y biomasa de macrofauna se utilizó la prueba estadística r (coeficiente r de Pearson) (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

IV. RESULTADOS

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

4.1.1. Parcela de naranja

Presenta una densidad aparente de 0.8 g/cm^3 ; con un contenido de humedad de 50.25%, una resistencia a la penetración de 2.03 kg/cm^2 , una temperatura 25.7°C y con una textura de arcillo limoso a franco arcillo limoso (Cuadro 12). Asimismo; presenta un pH neutro (7.1), con un contenido alto de materia orgánica y nitrógeno (4.78% y 0.21%), un contenido bajo de fósforo (6.50 ppm) y un contenido medio de potasio (423.13 kg/Ha) (Cuadro 13).

4.1.2. Parcela de plátano

Presenta una densidad aparente de 1.03 g/cm^3 ; con un contenido de humedad de 38.32%, una resistencia a la penetración de 1.58 kg/cm^2 , una temperatura 27.17°C y una textura de franco limoso a franco arcillo limoso (Cuadro 12). Asimismo; presenta un pH moderadamente alcalino (7.4), con un contenido

medio de materia orgánica y nitrógeno (2.35% y 0.11%), un contenido bajo de fósforo (2.13 ppm) y un contenido medio de potasio (368.37 kg/Ha) (Cuadro 13).

4.1.3. Bosque secundario

Presenta una densidad aparente de 0.98 g/cm³; con un contenido de humedad de 24.5%, una resistencia a la penetración de 1.87 kg/cm², una temperatura 24.5°C y una textura de franco arcilloso (Cuadro 12). Asimismo; presenta un pH neutro (7.3), con un contenido bajo de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio (1.41%, 0.06%, 5.22 ppm y 243.81 kg/Ha respectivamente) (Cuadro 13).

4.1.4. Parcela de cacao

Presenta una densidad aparente de 1.06 g/cm³; con un contenido de humedad de 38.39%, una resistencia a la penetración de 1.83 kg/cm², una temperatura 25.97°C y una textura de arcillo limoso a franco arcillo limoso (Cuadro 12). Asimismo; presenta un pH neutro (6.9), con un contenido alto de materia orgánica (4.48%), un contenido medio de nitrógeno (0.20%), un contenido bajo de fósforo (4.45 ppm) y un contenido medio de potasio (517.66 kg/Ha) (Cuadro 13).

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

sistema de uso	Densidad aparente	Contenido de humedad	Resistencia a la penetración	Temperatura	Textura
	g/cm ³	%	kg/cm ²	°C	
Naranja	0.80	50.3	2.0	25.7	Arcillo limoso a franco arcillo limoso
Plátano	1.03	38.3	1.6	27.2	Franco limoso a Franco arcillo limoso
Bosque secundario	0.98	24.5	1.9	24.5	Franco arcilloso
Cacao	1.06	38.4	1.8	26.0	Arcillo limoso a franco arcillo limoso

Cuadro 12. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso.

Sistemas de Uso	pH	M.O	N	P (ppm)	K ₂ O (kg/ha)
		%	%	ppm	kg/ha
Naranja	7.1	4.78	0.21	6.50	423.13
Plátano	7.4	2.35	0.11	2.13	368.37
Bosque secundario	7.3	1.41	0.06	5.22	243.81
Cacao	6.9	4.48	0.20	4.45	517.66

4.2. Comparación de las características del suelo en diferentes sistemas de uso

4.2.1. Textura

Los sistemas de uso presentan textura fina, y varían de franco arcilloso (bosque secundario) a franco arcillo limoso (Cuadro 12).

4.2.2. Densidad aparente

Suelos de cultivo de naranja presentan menor densidad aparente (0.80 g/cm^3), mientras, suelos del cultivo de plátano muestran mayor densidad con 1.06 g/cm^3 (Figura 1).

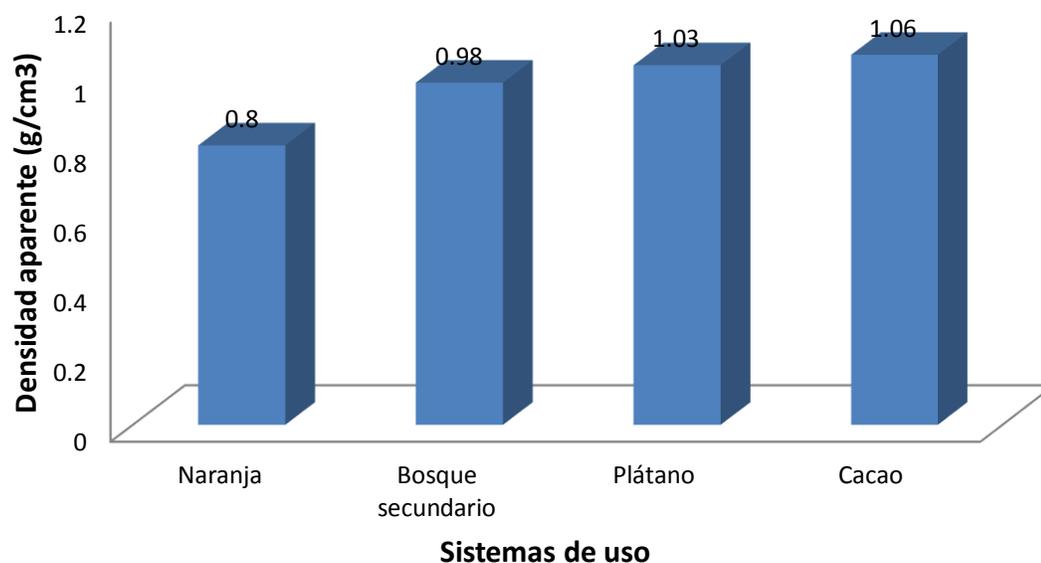


Figura 1. Densidad aparente del suelo en diferentes sistemas de uso.

4.2.3. Contenido de humedad

Los suelos en cultivos de naranja presentan el mayor contenido de humedad (50.25%), mientras que los de bosque secundario presentan el menor contenido (24.5%); siendo estos, diferentes a lo hallado en los demás sistemas. Asimismo, los suelos de plátano y cacao presentan contenido de humedad similar (Figura 2).

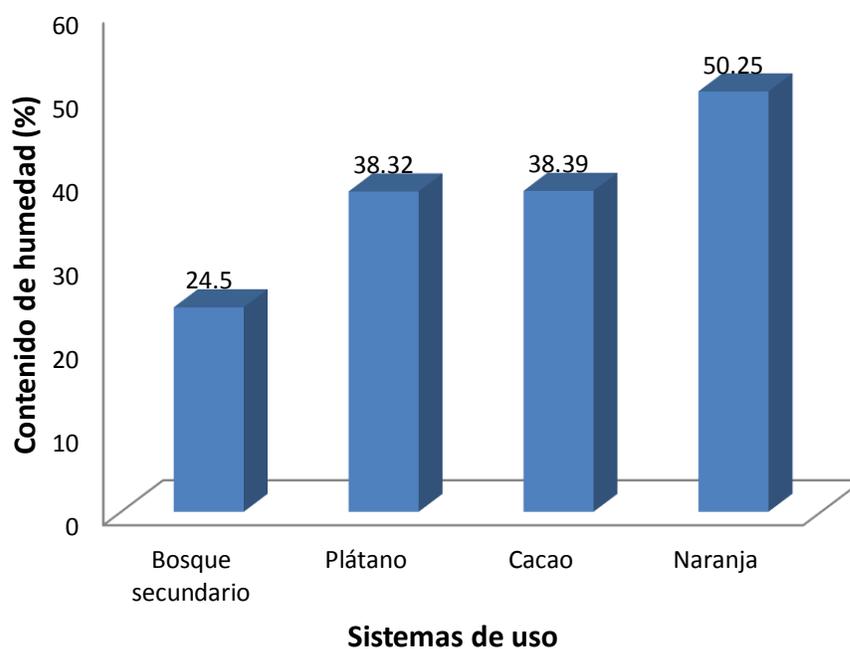


Figura 2. Contenido de humedad en el suelo en diferentes sistemas de uso

4.2.4. Resistencia a la penetración

Suelos del cultivo de naranja presentan mayor grado de penetración con 2.07 kg/cm^2 , seguido por bosque secundario, cacao y plátano (Figura 3).

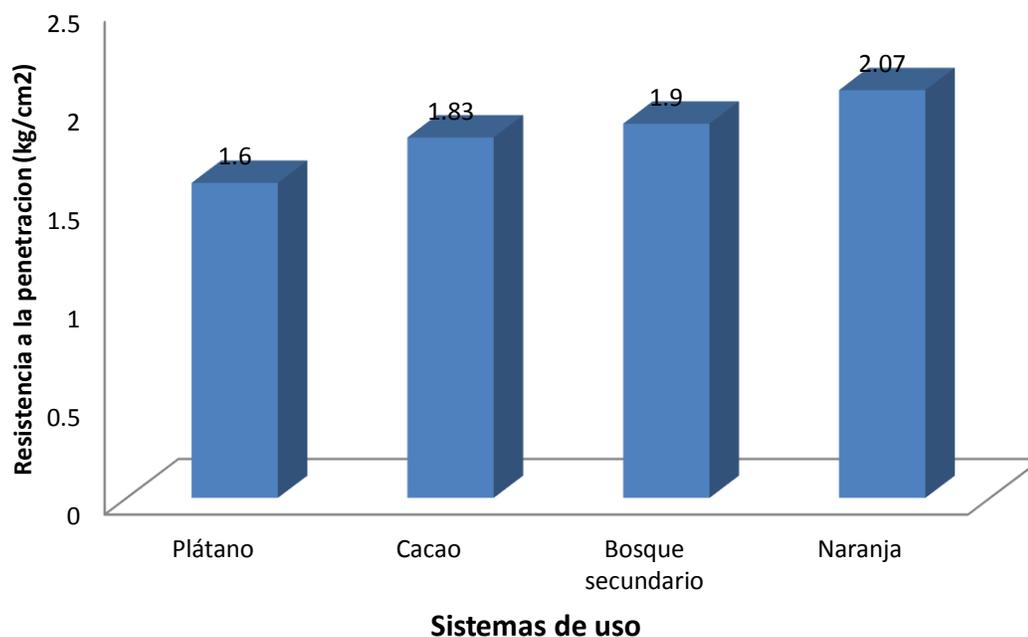


Figura 3. Resistencia a la penetración del suelo en diferentes sistemas de uso.

4.2.5. Temperatura del suelo

Los suelos con cultivos de plátano presentaron mayor temperatura del suelo con 27.17°C , siendo superior a los suelos con plantaciones de cacao, naranja y bosque secundario. Asimismo, las plantaciones de naranja y cacao presentan similar promedio (Figura 4)

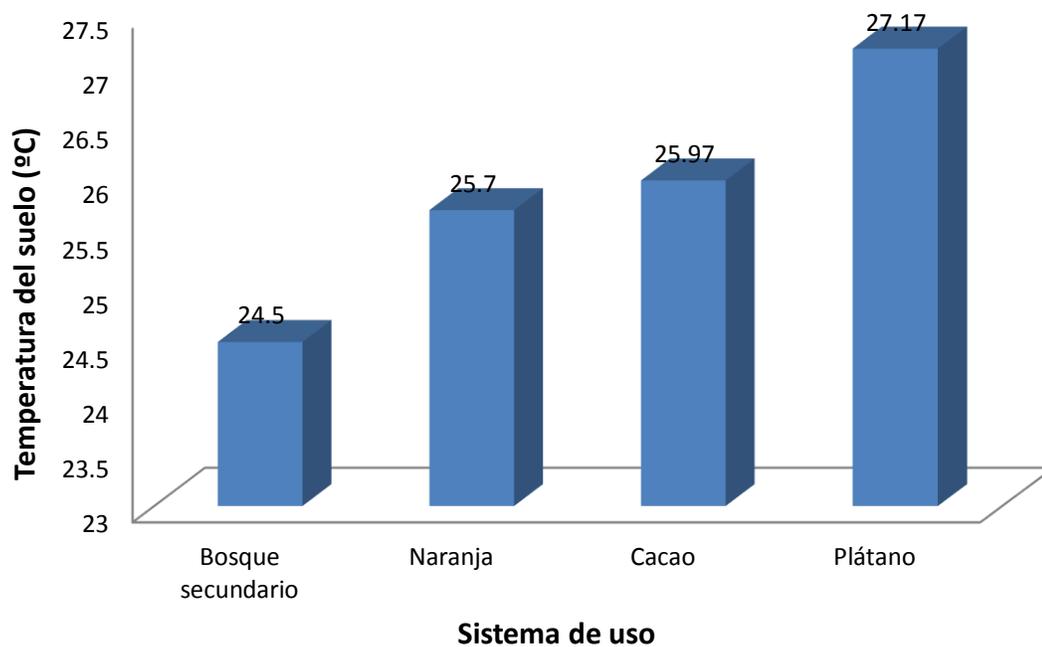


Figura 4. Temperatura del suelo en diferentes sistemas de uso.

4.2.6. pH

Los suelos del cultivo de cacao presentan menor pH del suelo (6.92) con respecto a los demás sistemas; asimismo, suelos con cultivo de plátano presenta mayor pH del suelo con 7.43 (Figura 5).

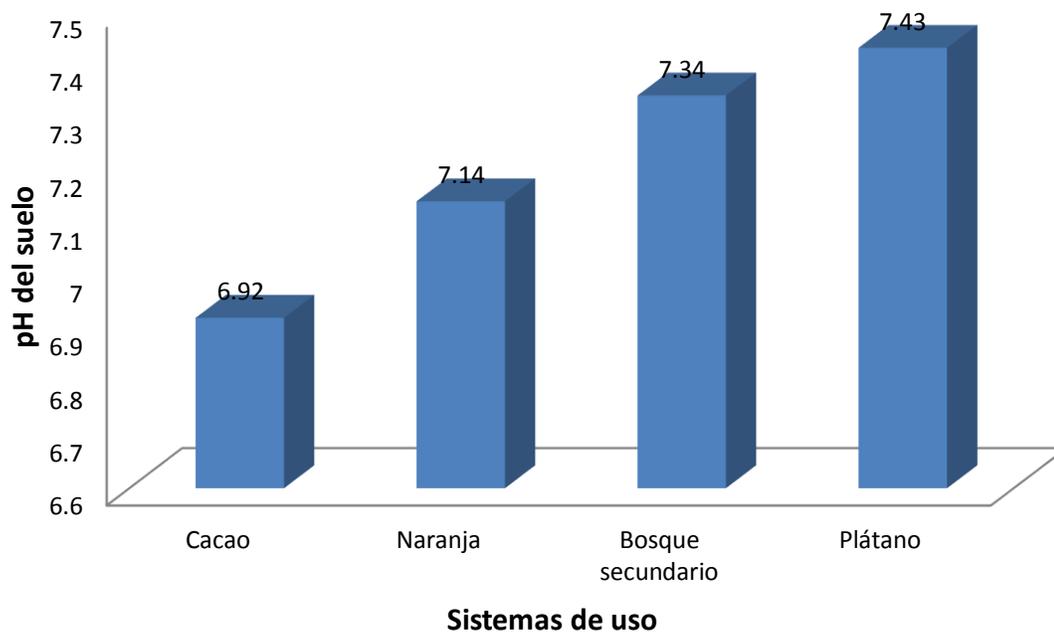


Figura 5. pH de suelo en diferentes sistemas de uso

4.2.7. Materia orgánica

Los suelos de bosque secundario presentan el menor contenido de materia orgánica con un promedio de 1.41% y difiere de los otros sistemas; del mismo modo, la materia orgánica presente en los suelos del cultivo de cacao y naranja presentan similar contenido, siendo superior a lo hallado en los demás sistemas de uso (4.48 y 4.78%), asimismo el cultivo de plátano presentó un contenido promedio de 2.35% de materia orgánica (Figura 6).

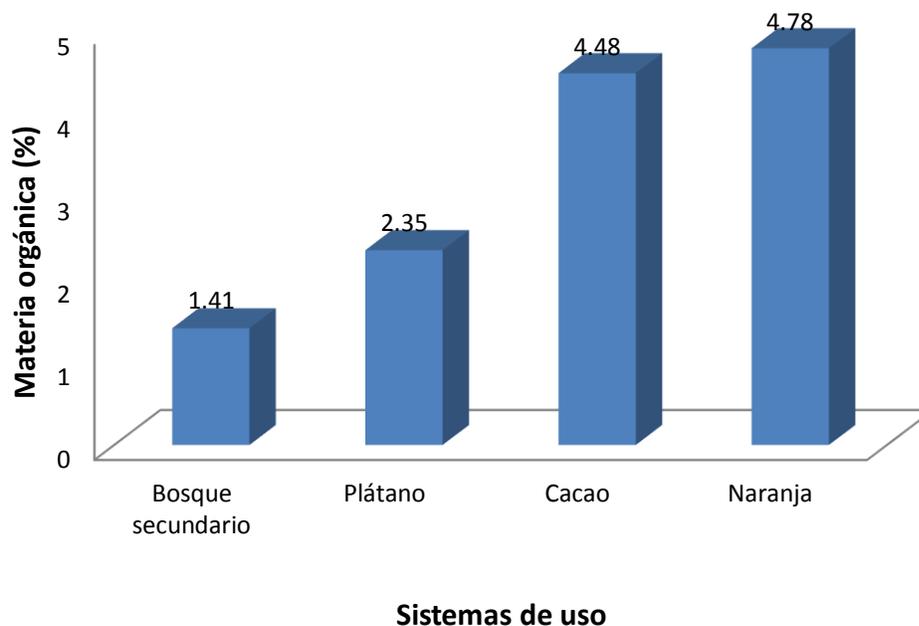


Figura 6. Materia orgánica del suelo en diferentes sistemas de uso.

4.2.8. Nitrógeno

Se ha determinado que existe diferencia en el contenido de nitrógeno del suelo en los diferentes sistemas de uso, siendo los cultivos de naranja y cacao quienes presentan similar contenido y superior a los demás sistemas (0.21 y 0.20%). Asimismo bosque secundario presentó el menor contenido respecto a los demás sistemas con 0.06 % de nitrógeno del suelo (Figura 7).

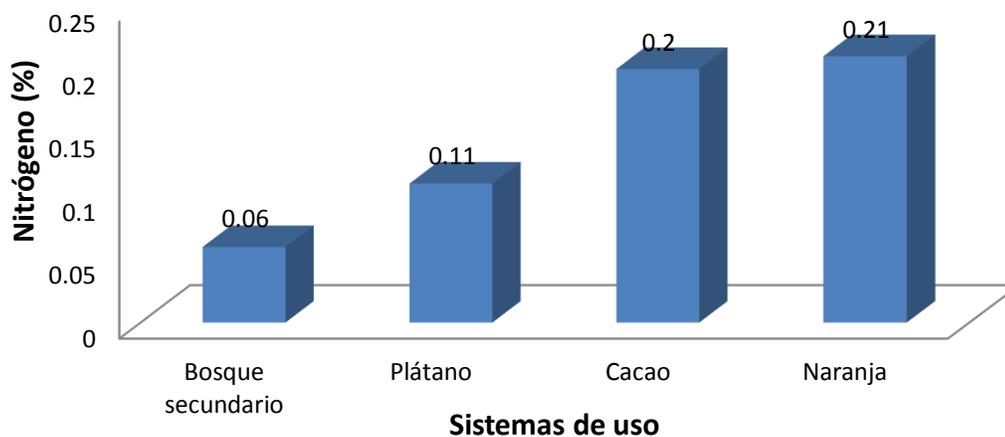


Figura 7. Nitrógeno del suelo en diferentes sistemas de uso.

4.2.9. Fósforo

Se ha encontrado similar contenido de fosforo del suelo en el cultivo de naranja, bosque secundario y en el cultivo de cacao (6.50, 5.22 y 4.45 ppm); asimismo, el cultivo de plátano presenta el menor contenido de fósforo en el suelo con un promedio de 2.13 ppm (Figura 8).

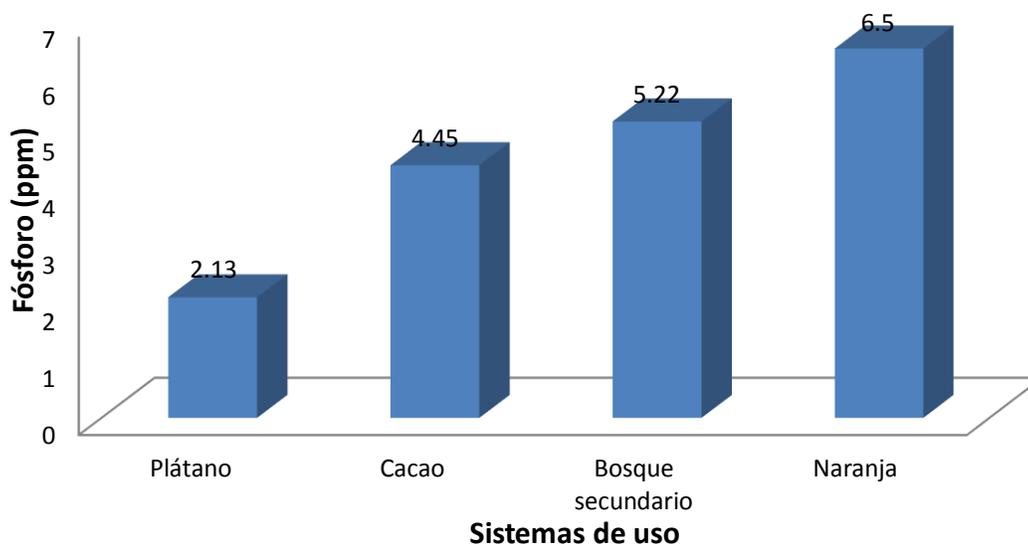


Figura 8. Prueba Duncan de fósforo del suelo en diferentes sistemas de uso.

4.2.10. Potasio

Se determinó que el cultivo de cacao presenta mayor contenido con 517.66 kg/Ha, seguido por naranja con 423.13 kg/Ha, teniendo este último, contenido similar en suelos del cultivo de cacao y plátano; asimismo el contenido de potasio del suelo en el cultivo de plátano y bosque secundario difiere a los demás sistemas con contenido menores de 368.7 y 243.81 kg/Ha respectivamente (Figura 9).

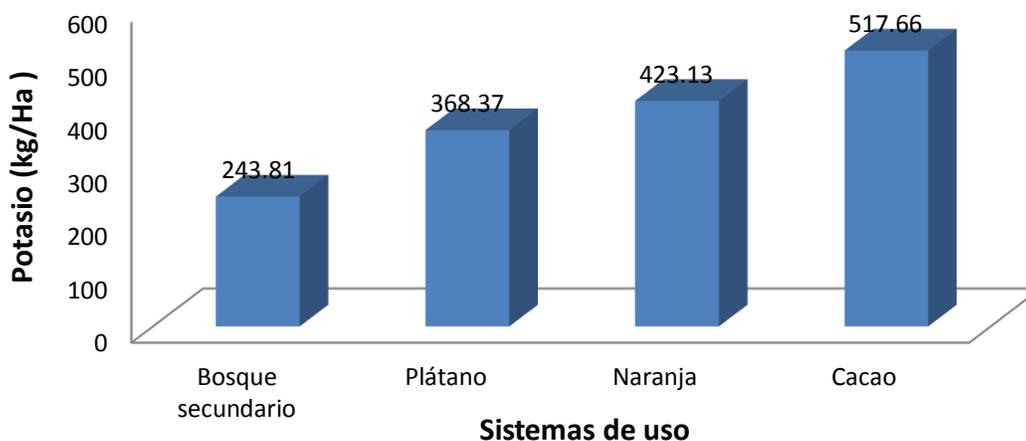


Figura 9. Potasio del suelo en diferentes sistemas de uso.

4.2.11. Densidad de macrofauna

Se determinó que los suelos del cultivo de cacao presentan mayor densidad de macrofauna en 10 cm de profundidad con 3161.6 ind.m⁻², seguido de bosque secundario, cultivo de plátano y cultivo de naranja. Asimismo, los suelos del cultivo de naranja y plátano presentan similitud y menor densidad de macrofauna; mientras que bosque secundario presenta una densidad de macrofauna con 1248 ind.m⁻² (Figura 10).

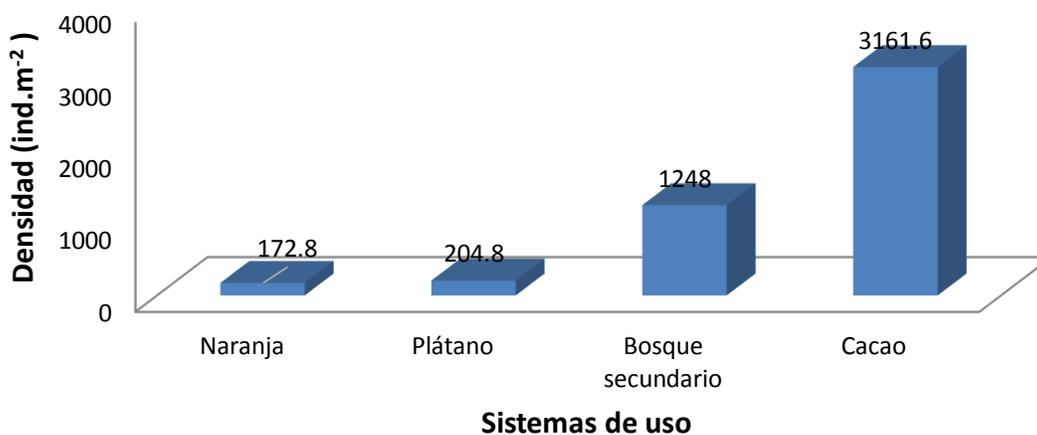


Figura 10 .Densidad de macrofauna del primer estrato del suelo (0-10 cm).

Del mismo modo; en una profundidad de 0-30 cm de suelo, se determinó que suelos con cultivo de cacao presentan la mayor densidad de macrofauna del suelo con 3561.60 ind.m⁻², seguido por bosque secundario, plátano y naranja (Figura 11).

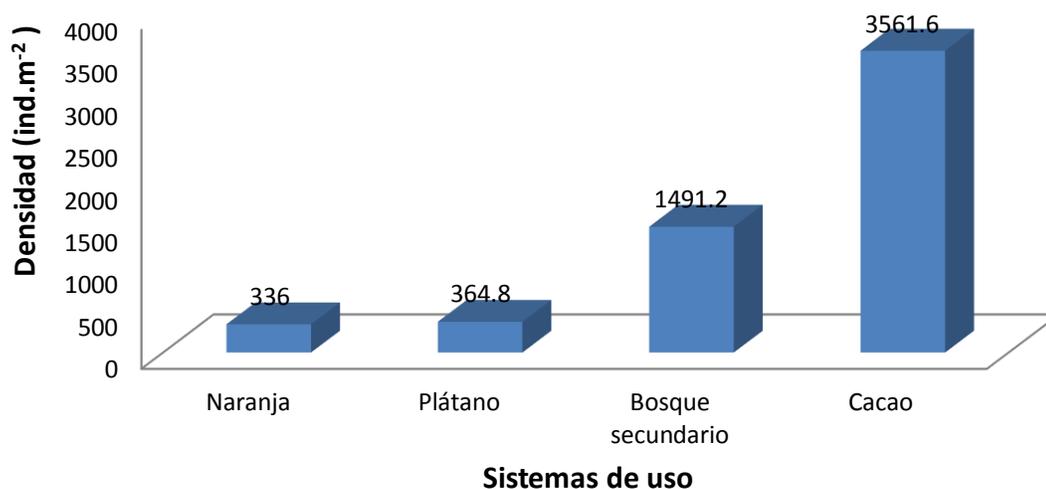


Figura 11. Densidad total de macrofauna del suelo en 30 cm de profundidad.

4.2.12. Biomasa de macrofauna

Los suelos del cultivo de naranja presentan mayor biomasa de macrofauna con 31.53 g.m^{-2} en 10 cm de profundidad de suelo, seguido de suelos de cacao, plátano y bosque secundario (Figura 12).

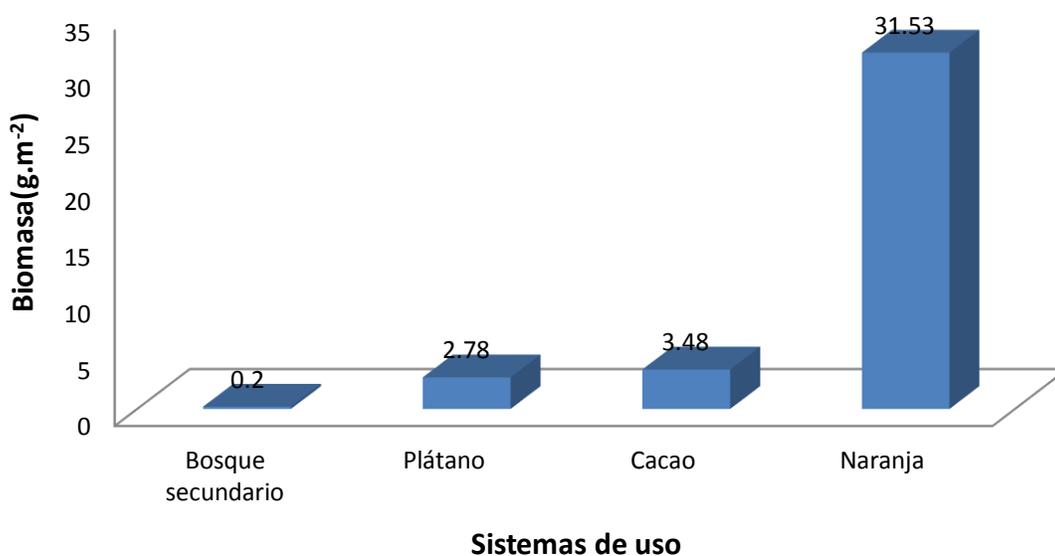


Figura 12. Biomasa de macrofauna del primer estrato del suelo (0-10 cm).

Asimismo; el cultivo de naranja presenta la mayor biomasa de macrofauna con un contenido de 34.22 g.m^{-2} en 30 cm de profundidad, siendo numéricamente superior a los demás sistemas (Figura 13).

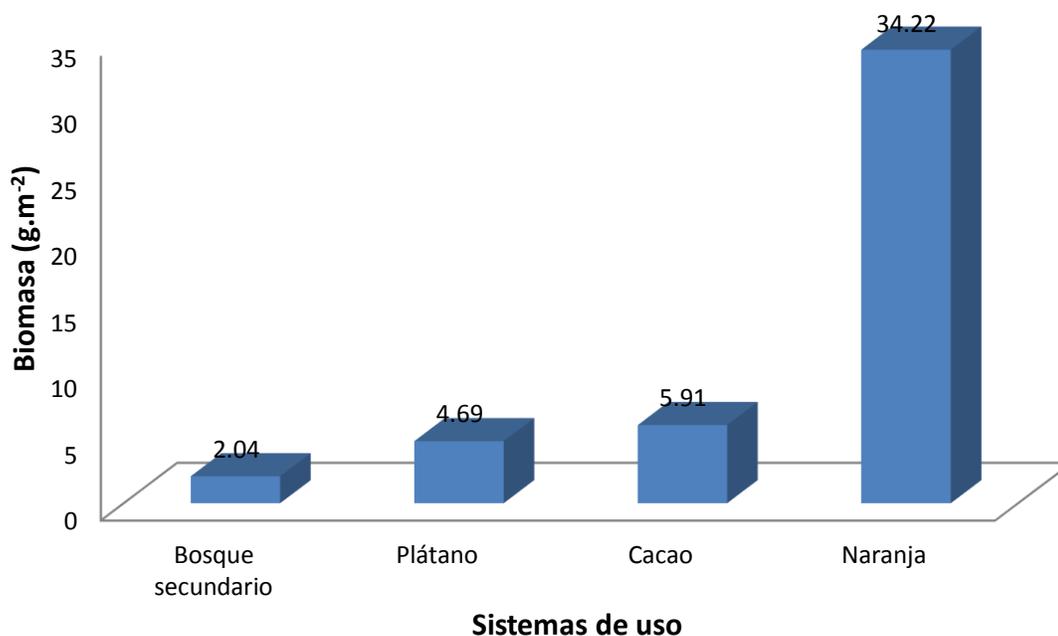


Figura 13. Biomasa total de macrofauna del suelo en 30 cm de profundidad.

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

4.3.1. Relación de variables evaluadas en cultivos de naranja

El análisis de correlación nos muestra que existe una fuerte relación negativa (- 0.999) entre el grupo taxonómico y el nivel de pH del suelo; es decir el grupo taxonómico se incrementa con la disminución del pH del suelo. Asimismo; existe una correlación positiva fuerte (0.9999) entre la biomasa de macrofauna y el nitrógeno; es decir, a mayor nitrógeno mayor biomasa de macrofauna de suelo (Cuadro 26).

Cuadro 13. Determinación de la correlación r de Pearson entre dos variables en suelos del cultivo de naranja.

Variabes del suelo	pH	Materia orgánica	Nitrógeno
Biomasa microbiana(Sig. 0.003)		0.9999	
Grupo taxonómico(Sig. 0.013)	-0.999		
Biomasa – macrofauna(Sig. 0.009)			0.9999

Sig. <0.05: Indica relación entre dos o más variables.

4.3.2. Relación de variables evaluadas en el cultivos de plátano

Existe una fuerte relación negativa entre el contenido de materia orgánica y el contenido de humedad y la resistencia a la penetración (- 0.99), es decir, el incremento de la materia orgánica tiende a disminuir el contenido de humedad y la resistencia a la penetración (compactación). Asimismo, existe una fuerte relación positiva (0.998) entre el contenido de nitrógeno y la densidad aparente, lo que nos indica, un incremento del contenido de nitrógeno tiende a incrementar la densidad aparente del suelo (Cuadro 27).

Cuadro 14. Determinación de la correlación r de Pearson entre dos variables en suelos del cultivo de plátano.

Variables del suelo		Densidad aparente	Contenido de humedad	Resistencia a la penetración
Materia orgánica	Coef correl.		-0.997	-0.999
	Sig.		0.049	0.026
Nitrógeno	Coef correl.	0.998		
	Sig.	0.038		

Sig. <0.05: Indica relación entre dos o más variables.

4.3.3. Relación de variables evaluadas en el cultivo de cacao

Se ha determinado que el incremento en la resistencia a la penetración (compactación) genera un incremento de pH en el suelo con una fuerte relación positiva (0.999), asimismo; el incremento de la materia orgánica conlleva al incremento del nitrógeno del suelo con una relación positiva perfecta (1.00). Del mismo modo; una disminución en la temperatura del suelo tiende a incrementar el contenido de potasio en el suelo, mientras que la disminución en el contenido de humedad en el suelo tiende a incrementar la biomasa microbiana; ambos casos generando una fuerte relación negativa (- 0.998) (Cuadro 28).

Cuadro 15. Determinación de la correlación r de Pearson entre dos variables en suelos del cultivo de cacao.

Variables del suelo	Resistencia a la penetración	Temperatura	Materia orgánica
pH(Sig. 0.023)	0.999		
Nitrógeno(Sig.0.0)			1
Potasio(Sig 0.045)		-0.997	

Sig. <0.05: Indica relación entre dos o más variables.

V. DISCUSIÓN

5.1. Características de los suelos en diferentes sistemas de uso

BORGES *et al* (2006) cita que el uso agrícola continuo del suelo interfiere en sus características intrínsecas, en intensidad que varía de acuerdo con el uso y manejo practicado. Mientras las de prácticas de monocultivo y de aplicación de fertilizantes y pesticidas químicos, han provocado pérdidas en los contenidos de materia orgánica, incrementos en la erosión, compactación y contaminación del agua superficial y subterránea (GIUFFRÉ *et al.*, 2008).

Los resultados nos mostraron que suelos con cultivos de naranja presentan una densidad aparente de 0.8 g/cm³; con un contenido de humedad de 50.25%, una resistencia a la penetración de 2.03 kg/cm², una temperatura 25.7°C y con una textura de arcillo limoso a franco arcillo limoso; asimismo, presenta un pH neutro (7.1), con un contenido alto de materia orgánica y nitrógeno (4.78% y 0.21%), un contenido bajo de fósforo (6.50 ppm) y un contenido medio de potasio (423.13 kg/Ha). En un trabajo desarrollado por SOARES *et al.* (2005), mostraron que los diferentes tipos de manejos practicados en cítricos promueven impactos negativos. La compactación mecánica fue evidenciada en los diversos parámetros

analizados, reflejando los efectos negativos de la destrucción de la estructura, elevación de la densidad del suelo, disminución de la macro-porosidad y de la tasa de infiltración en el perfil.

Suelos con cultivos de cacao presenta una densidad aparente de 1.06 g/cm³; con un contenido de humedad de 38.39%, una resistencia a la penetración de 1.83 kg/cm², una temperatura 25.97°C y una textura de arcillo limoso a franco arcillo limoso, un pH neutro (6.9), con un contenido alto de materia orgánica (4.48%), un contenido medio de nitrógeno (0.20%), un contenido bajo de fósforo (4.45 ppm) y un contenido medio de potasio (517.66 kg/Ha), resultados similares a los obtenidos por SÁENZ (2011) quien observó que los suelos de cacao tienen bajos niveles de fósforo y sólo la categoría de Bases presenta deficiencia de nutrientes. Entre sus cualidades para el cultivo de cacao están el pH neutro, la textura arcillosa, la baja densidad aparente y los altos contenidos de materia orgánica; del mismo modo, CERDA (2008) determinó que en un monocultivo de cacao hubo deficiencia de P y K.

Suelos con cultivos de plátano presenta una densidad aparente de 1.03 g/cm³; con un contenido de humedad de 38.32%, una resistencia a la penetración de 1.58 kg/cm², una temperatura 27.17°C y una textura de franco limoso a franco arcillo limoso, con un pH moderadamente alcalino (7.4), con un contenido medio de materia orgánica y nitrógeno (2.35% y 0.11%), un contenido bajo de fósforo (2.13 ppm) y un contenido medio de potasio (368.37

kg/Ha).CERDA (2008) determinó que el plátano monocultivo registró mayor contenido de P, K, Ca y Mg y mejor pH que otros sistemas de uso por la aplicación de fertilizantes sintéticos; mientras que en el sistema evaluado, no se aplicó fertilizantes químicos pero si herbicida para control de maleza.

Suelos de bosque secundario presentaron una densidad aparente de 0.98 g/cm³; con un contenido de humedad de 24.5%, una resistencia a la penetración de 1.87 kg/cm², una temperatura 24.5°C y una textura de franco arcilloso con un pH neutro (7.3), con un contenido bajo de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio (1.41%, 0.06%, 5.22 ppm y 243.81 kg/Ha), estos resultados discrepan de lo obtenido por CHAVARRIAGA (2002) quien determinó que la MO, N y P en suelos con bosques fue superior a suelos cultivados; la diferencia entre este último y los resultados obtenidos pudo haberse debido a la escasa vegetación y escasa hojarasca encontrada en bosque secundario y a procesos de lixiviación en suelos de selva alta.

5.2. Comparación entre características físicas, químicas y biológicas del suelo de diferentes sistemas de uso.

Los sistemas evaluados presentan textura fina y varían ligeramente de franco arcilloso a franco arcillo limoso, debido a que se encuentran en una mismo tipo de fisiografía, DONAHUE *et al* (1981), menciona que esta es la proporción relativa de los separadores del suelo de un suelo en particular, cuando las

cantidades relativas del separado menos dominante varían, también varía la clase textural y el nombre refleja el cambio de composición.

BOWEN (1981) menciona que la compactación es el proceso de aumento de la densidad aparente del suelo y es causada primordialmente por el pisoteo de los animales y personas; resultados discrepantes a los obtenidos en la evaluación de los suelos del cultivo de naranja que mostraron la menor densidad aparente (0.80 g/cm^3) y una mayor resistencia a la penetración (2.07 Kg/cm^3), esta menor densidad es atribuido a que en este tipo de suelo se encontraron una mayor materia orgánica y un alto contenido de humedad. Respecto a este último se determinó que suelos del cultivo de naranja presentan mayor humedad (50.28%). seguido de cacao, plátano y bosque secundario, estas diferencias se atribuyen a la presencia de hojarasca en el suelo y al tipo de raíces de los cultivos, para MOLINA, (1996) cuanto más grande sea el volumen explorado por las raíces, más altas son las reservas de humedad a las cuales las plantas tienen acceso y mayor es la acumulación de humedad, mientras que FAO (2002) afirma que el contenido de materia orgánica aumenta la agregación y la estabilidad estructural del suelo y estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo. Con respecto a la compactación en suelos de naranja, esta pudo haberse afectado por el pisoteo realizado durante épocas de cosecha y a la textura fina del suelo, tal como afirman AMÉZQUITA Y CHAVEZ (1999), en suelos de texturas arcillosas, especialmente cuando los contenidos de limo y/o arena fina son abundantes, se obtienen densidades menores que en suelos de

texturas gruesas. Respecto al grado de resistencia a la penetración entre sistemas de uso, estos no presentaron diferencia, ya que presentan similar compactación.

En la evaluación, la mayor temperatura del suelo se obtuvo en cultivos de plátano con 27.17°C, siendo superior a los suelos con plantaciones de cacao y naranja (similar temperatura) y bosque secundario. La variación de la temperatura en estos sistemas pudo deberse a la falta de cobertura por uso de herbicida en cultivos de plátano, según USDA (1999), La presencia de una importante cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación global. Asimismo la similar temperatura en cultivos de naranja y cacao fue por la presencia de hojarasca y maleza como cobertura, mientras que bosque secundario presentó escasa y dispersa vegetación arbórea.

No existió diferencia en el pH de los suelos evaluados, presentándose contenidos similares y con un menor contenido en suelos de cacao. La acidez es característica de suelos localizados en regiones de alta pluviometría, los cuales están sometidos a un continuo y amplio lavado (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

El contenido de materia orgánica y nitrógeno fue superior y similar en cultivos de naranja y cacao, seguidos por plátano y menor cantidad en bosque secundario; se puede asegurar que el incremento en el contenido de estos nutrientes, fue debido a la abundancia de la hojarasca que proporcionan estos cultivos, mientras que el aporte de hojarasca al suelo en bosque secundario fue menor. NAVARRO y NAVARRO (2003), menciona, 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, mientras PNUD (1997) menciona que bosque secundario forma parte de un conjunto de fases sucesionales para recuperar por una parte las tierras de baja fertilidad.

El contenido de fósforo del suelo es mayor en cultivos de naranja, cacao y bosque secundario y menor en plátano; se le atribuye a su mayor contenido debido a la extracción nutricional de los cultivos. MOLINA (1998); URIBE *et al* (1998); ICA (2012) indican que cultivos de cítricos, de cacao y plátano tienen requerimientos menores de fósforo en relación con otros nutrientes, esto corrobora la mayor cantidad de fosforo en cultivos de naranja y cacao; asimismo, discrepa a lo obtenido en cultivos de plátano, donde se encontró menor contenido de fosforo, esto se puede atribuir a que este elemento procede de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización y la cantidad de fosforo total en el suelo, raramente sobrepasa el valor de 0.5 % (NAVARRO y NAVARRO, 2003), del mismo modo se puede atribuir el menor contenido a las pérdidas por lixiviación.

El mayor contenido de potasio del suelo se presentó en el cultivo de cacao, seguido de naranja, plátano y en bosque secundario. Para NAVARRO y NAVARRO (2003), el potasio en el suelo se halla en la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes y su variación está influenciada por la intensidad

de las pérdidas: extracción de cultivos, lixiviación y erosión, corroborado por (VÁSQUEZ, 2005) quien indica que los cultivos de plátano tienen mayor requerimiento nutricional de potasio (K_2O); asimismo, se puede atribuir al menor contenido en bosque secundario por pérdidas de lixiviación.

La densidad de macrofauna del suelo entre 0 – 10 cm de profundidad fue mayor en el cultivo de cacao, seguido de bosque secundario y menor en el cultivo de plátano y naranja, estos últimos de densidades similares; asimismo, en la profundidad de 0-30 cm, se obtuvieron resultados similares al primer estrato (0 - 10 cm). La biomasa de macrofauna del suelo fue mayor en cultivos de naranja, seguido de cacao, plátano y bosque secundario entre 0 - 10 cm y 0 – 30 cm de profundidad. 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 en cultivo agrícolas, tal como sucedió en cultivos de plátano, donde se evidenció vestigios de herbicida; 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 (CURRY y GOOD, 1992). Asimismo la materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la biota del suelo están directamente relacionadas con la materia orgánica (NAVARRO Y NAVARRO, 2003).

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

El análisis de correlación de las distintas variables evaluadas en suelos del cultivo de naranja estableció que el grupo taxonómico se incrementa con la disminución del pH del suelo, este resultado contradice a HENDRICKS (1985) quien indica que la mayoría de los organismos evitan los suelos ácidos; se presume que el nivel de pH de 7.1 haya influido en el resultado, ya que algunos organismos no toleran suelos neutro o ligeramente alcalinos. Asimismo, el incremento del nitrógeno conlleva a la mayor biomasa de macrofauna edáfica; estos resultados corroboran con CLAPPERTON (2000); ZERBINO y MORÓN (2003) quienes en una investigación comprobaron que la densidad de Coleoptera y Oligochaeta tiene una relación positiva con el contenido de Carbono orgánico y Nitrógeno total, mientras, suelos con materia orgánica distribuida en el perfil soportan altas densidades de lombrices.

En el cultivo de plátano: el incremento de la materia orgánica del suelo conlleva a la disminución del contenido de humedad y a disminuir el grado de resistencia a la penetración. CORBELLA Y FERNÁNDEZ (2009) menciona que el contenido materia orgánica de los suelos aumenta a medida que crece la humedad efectiva, aseveración lógica y que no guarda relación con lo obtenido, quizá por la falta de cobertura en este tipo de cultivos, KOCHHANN (1996) menciona que las más importantes prácticas que producen la pérdida de la

apreciada humedad del suelo son la quema de los residuos y la labranza del suelo. Del mismo modo, la materia orgánica conlleva a mejorar la estructura del suelo reduciendo la compactación, corroborado por KOCHHANN (1996) quien indica que la materia orgánica puede construir una estructura superficial e interna más fuerte en el perfil del suelo para una condición que permita la fácil entrada del agua (agua de infiltración) y su almacenamiento (agua de retención) en forma disponible para la planta. Respecto a la relación entre la densidad aparente y el contenido de nitrógeno, estos no guardan coherencia, ya que puede ser que la densidad aparente influya en la disponibilidad de este nutriente y no en su contenido.

Se determinó que en suelos del cultivo de cacao existe correlación, ya que la resistencia a la penetración tiende a incrementar el pH del suelo, resultado discordante, ya que la disminución de la resistencia a la penetración está relacionada al incremento de materia orgánica y este a su vez reduce el pH por la liberación de H^+ . NAVARRO y NAVARRO (2003) señala que el continuo lavado va provocando acidez que se originan en la descomposición de la materia orgánica, mientras que para LAL (1998), el bajo contenido de materia orgánica trae consigo un incremento en la compactación. Los resultados nos entregan que la disminución de la temperatura del suelo incrementa el contenido de potasio; SANZANO (1999) afirma que durante la meteorización el K es liberado a la solución del suelo e indica que en regiones húmedas es mayor la remoción del K del perfil del suelo., esta aseveración nos demuestra que existe una relación entre

la influencia de la temperatura en el contenido de potasio en el suelo, pero no se puede asegurar que la disminución influye en su incremento.

También se puede asegurar que el incremento de la materia orgánica trae consigo un incremento del contenido de nitrógeno, en suelos de cacao, CORBELLA Y FERNÁNDEZ (2009) corroboran la relación entre estos dos variables y señalan que la materia orgánica contiene grandes cantidades de nutrientes para las plantas, especialmente nitrógeno.

VI. CONCLUSIONES

1. Los suelos de los sistemas de uso evaluados (naranja, cacao, plátano y bosque secundario) presentan una densidad aparente entre 0.80 y 1.06 g/cm³, con un contenido de humedad de 24.5 a 50.25%, con una resistencia a la penetración de 1.58 a 2.03 kg/cm², con una temperatura de 24.5 a 27.17°C, una textura que varía de franco arcilloso a franco arcillo limoso, un pH de neutro a ligeramente alcalino (6.9 a 7.4), con un contenido bajo a alto de MO (1.41 a 4.78%) y N (0.06 a 0.21%), contenido bajo a medio de P₂O₅ (2.13 a 6.50 ppm) y K₂O (243.81 a 517.66 kg/Ha).
2. Los suelos de los sistemas de uso presentaron textura franco arcilloso a franco arcillo limoso, siendo los suelos del cultivo de naranja quienes presentan mayor grado de resistencia a la penetración.
3. Los suelos de naranja registraron una menor densidad aparente (0.80 g/cm³) y un mayor contenido de humedad (50.25 %). Mientras que los demás sistemas presentaron contenidos similares en densidad aparente, similar contenido de humedad en plátano y cacao y menor en bosque secundario.

4. Los suelos de naranja y cacao presentaron mayor cantidad de MO y N, seguido de plátano y bosque secundario.
5. Se registraron similar contenido de P en suelos de naranja, cacao y bosque secundario, mientras que plátano presento el menor contenido.
6. Suelos de cacao mostraron mayor densidad de macrofauna de 0-10 y 0-30 cm de profundidad (3161.6 ind.m⁻² y 3561.60 ind.m⁻²), seguido de bosque secundario. Suelos de plátano y naranja presentaron la menor densidad y cantidades similares. Suelos de naranja mostraron mayor biomasa de macrofauna de 0-10 y 0-30 cm de profundidad (31.53 y 34.22 g.m⁻²), mientras que los demás sistemas presentaron cantidades similares.
7. Se estableció que el incremento del contenido de materia orgánica conlleva a un incremento del contenido de nitrógeno, a la disminución del contenido de humedad y el grado de resistencia a la penetración; del mismo modo, el incremento del contenido de materia organica conlleva a la mayor biomasa de macrofauna edáfica.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones en otras especies agrícolas y forestales, esto podría dar más argumentos sobre la sostenibilidad de los sistemas.
- Realizar investigaciones para determinar con precisión la influencia de los monocultivos en el grado de compactación y sus efectos en las propiedades físicas del suelo.
- Realizar investigaciones sobre el comportamiento de la densidad y biomasa de macrofauna en cultivos intensivos y en sistemas agroforestales en diferentes periodos.

VIII. ABSTRACT

The research was conducted in the district of José Crespo y Castillo, Leoncio Prado province; between June and November 2013. The objective was to determine the influence of the systems used in the physical, chemical and biological soil properties. In assessing four plots with different systems in use (orange, cacao, banana and secondary forest) were selected. For sampling evaluation, soil analysis and a linear transect with five monoliths of 25x25x30 cm deep by system was performed. To determine the relationship between the two variables r Pearson correlation was used.

The systems in use, have soils with a texture ranging from clay loam to silty clay, a bulk density between 0.80 and 1.06 g/cm³, with a moisture content of 24.5 to 50.25%, with a penetration resistance of 1.58 to 2.03 kg/cm², a temperature of 24.5 to 27.17 ° C, pH of neutral to slightly alkaline (6.9 to 7.4), with a low high content of MO (1.41 to 4.78%) and N (0.06 to 0.21%.) low to medium content of P₂O₅ (2.13 to 6.50 ppm) and K₂O (243.81 to 517.66 kg / ha).

Orange floors registered lower bulk density (0.80 g/cm³) and a higher moisture content (50.25%) and increased penetration resistance, also; presented with higher cacao soils and N. MO P content in soils is similar orange, cacao and banana-deficient secondary forest. The highest density of macrofauna between 0-

10 and 0-30 cm soil depth was found in cocoa ind.m 3161.6 and 3561.60 ind.m-2-2 respectively; also orange soils showed higher biomass of macrofauna with 31.53 gm-2 and 34.22 gm-2 respectively.

It was established that the increase of OM content leads to an increase of the content of N, to the reduced moisture content and the degree of penetration resistance; also increased soil OM content leads to higher biomass of macrofauna.

Key words: Soil Macrofauna, use systems, Variables, Endurance, Organic Matter, Biomass

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMÉZQUITA, E., CHÁVEZ, L. 1999. La compactación del suelo y sus efectos en la productividad de los suelos. Trabajo a ser presentado en el “Congreso Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 25 p.
- BORNEMISZA, E. 1982. Introducción a la Química de Suelos, Universidad de Costa Rica, San José , Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía no. 25 p. 21-47.
- BORGES, J., LEONE, C., DE OLIVEIRA, J. 2006. Manejo del suelo y coberturas vegetales en frutales – experiencia en cítricos y papaya en Brasil. 22 p.
- BOWEN, H. 1981. Alleviating mechanical impedance. In: Modifying the root environment to reduce crop stress (Arkin G.F. y Taylor, H.M., eds.). American Society of Agricultural Engineers-ASAE, USA. Monograph No.4.
- BROWN, G., PASINI, A., BENITO, N., De AQUINO, A., CORREIA, M. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Report presented in the

“International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems”. Montreal, Canadá. 20p.

CEPEDA, D. 1991. Química de suelos. 2 ed. México, Editorial Trillas S.A.

CERDA, R. 2008. Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de: Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Turrialba, Costa Rica. 66 p.

CHAVARRIAGA, M. 2002. Características y dinámica de la MO en Algunos suelos de agroecosistemas andinos en C.olumbia. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 9 p.

CLAPPERTON, J. 2000. Creating healthy productive soil. In Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata, Argentina. 35-40 p.

CORBELLA, R., FERNANDEZ, J. 2009. Materia orgánica del suelo. Universidad Nacional de Tucumán. Cátedra de edafología. Argentina. 10 p.

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

- CURRY, J. 1987. The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. III. Effects on soil fertility and plant growth. *Grass and Forage Science* 42 (4) 325-341.
- CURRY, J., GOOD, J. 1992. Soil faunal degradation and restoration. *Advances in Soil Science* 17: 171-215.
- 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.
- FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Robert, Michel. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Institut National de Recherche Agronomique. París, Francia. 65p.
- FAO. 2002. Soil biodiversity and sustainable agriculture. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja. no.182. 1-68 p.
- FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. 404 p.
- FEARNSIDE, P., GUIMARAES, W. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 80: 35-46.
- FEIJOO, A., KNAPP, E., LAVELLE, P., MORENO, A. 2001. Quantifying soil macrofauna in Colombian watershed. In Jiménez, J.J.; Thomas, R. J. U (Eds.). *Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia*. Cali, Colombia. Publicación CIAT no. 324. 42-48 p.

- GIUFFRÉ, L., RATTO, S., ROMINA, R. 2008. Indicadores ambientales. Extracto del capítulo “Indicadores ambientales”, publicado en el libro Agrosistemas: Impacto ambiental y sustentabilidad. EFA-Orientación Gráfica. Buenos Aires, Argentina. 493 p.
- GUERRERO, J. 2000. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Segunda reimpresión. Aedos. S.A., España.
- GUERRERO, M. 2010. Guía técnica del cultivo del plátano. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova. El Salvador. 24 p.
- HENDRICKS, D. 1985. Animals and Soil in Arizona. In Hendricks, D.M. (Ed.) Arizona Soils. Tucson, University of Arizona. Editor Haney, R.A. Jr. 55-62 p.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, P. 2006. Metodología de investigación. 4 ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 736 p.
- HOLDRIDGE, L. 1986. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- ICA. 2012. Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.). Medidas para la temporada invernal. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia. 43 p.

- IGAC. 2004. Línea de base de ordenamiento territorial en distritos mineros. Manual de acompañamiento. Bogotá, Colombia. 15 p.
- JAMIOY, D. 2011. Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del piedemonte llanero colombiano. Tesis de optar el título de Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos, Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 110 p.
- KRAMER, P. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. Industria editorial Mexicana, Reg. N° 723. México. 533 p.
- KOCHHANN, R.A. 1996. Alterações das Características Físicas, Químicas e Biológicas do Solo sob Sistema Plantio Direto. In: I Conferência Annual de Plantio Direto. Resumos de Palestras da I Conferência Annual de Plantio Direto. Passo Fundo - RS. Brasil.
- LAL, R. 1998. Methods for assessment of soil degradation. In: Advances in Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, 558p.
- LAVELLE, P. 2002. Functional domains in soils. Ecological Research 17:441-450.
- LAVELLE, P., SPAIN, A. 2001. Soil Ecology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.

- LEE, K. 1985. Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use. New York, Academic Press. 411 p.
- LINDEN, D., HENDRIX, P., COLEMAN, D., VAN VILET, P. 1994. Faunal indicators of soil quality. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable Environment. SSSA. Special Publication no. 35. 91-106 p.
- LOPEZ, C. 2013. Protocolos de prácticas en microbiología general. Enumeración de microorganismos del suelo. Universidad Nacional Agraria de la Selva .Tingo María, Peru.2p.
- LUIZÃO, R., BARROS, E., LUIZÃO, F., ALFAIA, S. 2002. Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry system in Rondônia, Amazônia, Brasil. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystem for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja. no.182. 93-97 p.
- MASTERS, G. 2004. Belowground herbivores and ecosystem processes. Ecological Studies 173:93-112.
- MOLINA, E. 1998. Nutrición y fertilización de la naranja. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Informaciones Agronómicas N° 40. 5–13 p.

- MOORE, J.C., BERLOW, E.L., COLEMAN, D.C., RUITER, P.C., DONG, Q., HASTINGS, A., JOHNSON, N.C., McCANN, K.S., MELVILLE, K., MORIN, P.J., NADELHOFFER, K., ROSEMOND, A.D., POST, D.M., SABO, J.L., SCOW, K.M., VANNI, M.J., WALL, D.H. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters* 7:584-600.
- NAVARRO, S., NAVARRO, G. 2003. *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal*. 2 ed. Mundi Prensa, España.
- PASHANASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica*. Lima, Perú. 12(1-2): 75-797.
- PATRÓN, E. 1996. *Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería*. Edit. Trillas. México. 215 p.
- PNUD. 1997. *Taller Internacional sobre el Estado Actual y Potencial de Manejo y Desarrollo del Bosque Secundario Tropical en América Latina*. Pucallpa. Perú.
- PRICE, W.P. 1988. An overview of organismal interactions in ecosystems in evolutionary and ecological time. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2:269-377.
- PROAMAZONÍA. 2004. *Manual del cultivo de cacao. Programa para el Desarrollo de la Amazonía*. Perú. 83 p.

- SANZANO, A. 1999. El potasio en el suelo. Cátedra de Edafología. 3 p.
- SÁENZ, L. 2011. Macrofauna y propiedades físico-químicas del suelo en sistemas agroforestales con cacao (*theobroma cacao* L.) y bosques secundarios en el sur occidente de Guatemala. Tesis para optar el título de bióloga. Universidad de San Carlos de Guatemala. 125 p.
- SÁNCHEZ, P. 1976. Suelos del trópico. Características y manejo. IICA. Costa Rica. 650 p.
- SIEMANN, E. 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology* 79:2057-2070.
- SOARES, J., ESPINDOLA, C., FOLONI, L. 2005. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. *Ciência Rural*, v.35, n.2, 353-359 p.
- STINNER, B., HOUSE, G. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology* 35:299-318.
- TORRES, D., RODRÍGUEZ, N., YENDIS, H., FLORENTINO, A., ZAMORA, F. 2006. Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcon, Venezuela. *Bioagro* v.18 n.2 Barquisimeto ago. 7 p.

- UNALM. 2011. Guía técnica curso – taller manejo integrado del cultivo de plátano. Chanchamayo, Perú. 33 p.
- UNI. 2006. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. Primer taller de mecánica de suelos. 6 p.
- URIBE, A., MÉNDEZ., H., MANTILLA, J. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del departamento de Santander. *Revista Suelos Ecuatoriales*, 28:31-36.
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 88 p.
- VÁSQUEZ, M. 2005. Paquete tecnológico para el cultivo del plátano. Gobierno del estado de Colima. México. 77 p.
- VERHOEF, H., VAN SELM, A. 1983. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology* 6:387:394.
- WARDLE, D. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Advances in Ecological Research*. 26:105:185.
- 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 weatering. *Soil Sc* 107 (3): 194 – 202.
- VERHOEF, H., VAN SELM, A. 1983. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology* 6:387:394., G. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. CONCYTEC. Lima, Perú.
- ZAVALETA, G. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. CONCYTEC. Lima, Perú.
- ZERBINO, M., MORÓN, A. 2003. Macrofauna del suelo y su relación con propiedades físicas y químicas en rotaciones cultivo-pastura. In Morón, A.; Díaz, R. (Eds. técnicos). Simposio “40 años de rotaciones agrícolas – ganaderas”. Montevideo, Uruguay. Serie Técnica no. 134. 45-53 p.

X. ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 14. Recolectando muestras de suelo.



Figura 15. Realizando el conteo de macrofauna del suelo



Figura 16. Determinando el peso de la macrofauna del suelo



Figura 17. Realizando muestreo de suelo en el cultivo de cacao



Figura 18. Realizando muestreo de macrofauna en el cultivo de naranja



Figura 19. Realizando muestreo de macrofauna en el cultivo de plátano

Anexo 2. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso.

Cuadro 16. Densidad de macrofauna en suelos del cultivo de cacao

Grupo taxonómico	Profundidad			Total (ind.m ⁻²)
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	
Insecta - Hymenoptera	285	80	131	496
Oligochaeta - Haplotaxida	38	6	6	51
Crustacea -Isopoda	0	3	0	3
Miriapodas - Chilopoda	16	3	3	22
Insecta - Dermaptera	6	3	0	10
Insecta - Orthoptera	4	0	0	4
Insecta - Isoptera	2813	163	0	2976
Total (ind.m ⁻²)	3162	259	141	3562

Cuadro 17. Densidad de macrofauna en suelos del cultivo de plátano

Grupo taxonómico	Profundidad			Total (ind.m ⁻²)
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	
Insecta - Hymenoptera	134	42	61	237
Oligochaeta - Haplotaxida	16	6	0	22
Miriapodas - Chilopoda	0	0	3	3
Miriapodas - Diplopoda	0	13	0	13
Gasteropoda -	42	29	6	77
Insecta - Dermaptera	6	0	0	6
Insecta - Orthoptera	6	0	0	6
Total (ind.m ⁻²)	205	90	70	365

Cuadro 18. Densidad de macrofauna en suelos de bosque secundario.

Grupo taxonómico	Profundidad			Total (ind.m ⁻²)
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	
Insecta - Hymenoptera	170	26	0	195
Miriapodas - Chilopoda	6	6	0	13
Miriapodas - Diplopoda	0	13	0	13
Gasteropoda -	29	0	6	35
Insecta - Isoptera	1043	67	118	1229
Arachnida - Araneae	0	6	0	6
Total (ind.m ⁻²)	1248	118	125	1491

Cuadro 19. Densidad de macrofauna en suelos del cultivo de naranja.

Grupo taxonómico	Profundidad			Total (ind.m ⁻²)
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	
Insecta - Hymenoptera	0	54	35	90
Oligochaeta - Haplotaxida	125	54	3	182
Crustacea - Isopoda	0	6	0	6
Miriapodas - Chilopoda	10	3	0	13
Gasteropoda -	10	0	0	10
Insecta - Coleoptera	29	6	0	35
Total (ind.m ⁻²)	173	125	38	336

Anexo 3. Información recopilada para análisis estadístico

Cuadro 20. Información recolectada de las características físicas químicas y biológicas del suelo

N°	Sistema	Rep.	Da	CH (%)	Compactación (kg/cm ²)	T° (°C)	pH	M.O. (%)	N (%)	P (ppm)	K ₂ O (kg/ha)
1	Naranja	1	0.75	53.46	2.6	26.0	6.86	4.18	0.19	8.7	414.74
2	Naranja	2	0.90	44.23	2.3	25.5	7.27	5.37	0.24	4.5	396.19
3	Naranja	3	0.75	53.07	1.3	25.6	7.28	4.78	0.21	6.3	458.47
4	Plátano	1	1.07	36.41	1.2	28.0	7.38	2.69	0.12	2	242.49
5	Plátano	2	1.08	37.40	1.3	27.0	7.43	2.57	0.12	2.7	427.99
6	Plátano	3	0.93	41.15	2.3	26.5	7.48	1.79	0.08	1.8	434.62
7	Bs	1	0.95	21.69	1.8	24.0	7.34	1.41	0.06	5.2	243.81
8	Bs	2	1.01	31.20	1.6	25.0	7.34	1.41	0.06	5.2	243.81
9	Bs	3	0.99	20.61	2.3	24.5	7.34	1.41	0.06	5.2	243.81
10	Cacao	1	1.07	33.16	1.2	26.0	6.55	4.78	0.21	4.6	518.1
11	Cacao	2	1.03	44.05	1.8	25.5	6.92	4.78	0.21	4.4	571.1
12	Cacao	3	1.08	37.97	2.5	26.4	7.3	3.88	0.17	4.3	463.77

Bs: Bosque secundario

Cuadro 21. Información recolectada de densidad, biomasa y grupo de macrofauna de suelo

Sistema	Sist.	Rep.	G1°	D1°	G2°	D2°	G3°	D3°	B1°	B2°	B3°	Grupo total	Dens. total	Bio total
Naranja	1	1	2	160	3	112	2	32	22.8	2.62	0.42	7	304	25.86
	1	2	2	240	3	64	1	32	25.3	1.65	0.02	6	336	27.03
	1	3	2	176	2	128	1	16	43.2	1.77	0.03	5	320	45.05
	1	4	2	160	2	208	1	80	36.3	3.95	0.06	5	448	40.40
	1	5	2	128	2	112	1	32	29.8	2.90	0.03	5	272	32.77
Plátano	2	1	3	288	3	144	2	80	0.17	1.75	0.69	8	512	2.61
	2	2	2	48	1	48	1	32	1.69	1.37	0.33	4	128	3.38
	2	3	3	352	2	96	1	128	11.7	0.72	0.13	6	576	12.56
	2	4	2	112	1	32	1	80	0.28	4.10	0.08	4	224	4.46
	2	5	3	224	3	128	1	32	0.07	0.35	0.03	7	384	0.45
Bosque secundario	3	1	4	2048	3	96	1	176	0.20	2.75	0.02	8	2320	2.97
	3	2	2	1104	2	192	1	272	0.18	0.19	0.03	5	1568	0.40
	3	3	2	400	1	16	2	96	0.27	5.41	0.09	5	512	5.77
	3	4	2	1168	2	208	1	16	0.12	0.26	0.34	5	1392	0.71
	3	5	3	1520	1	80	1	64	0.22	0.08	0.06	5	1664	0.37
Cacao	4	1	4	3984	1	304	1	16	4.22	1.21	0.14	6	4304	5.58
	4	2	5	1040	2	48	1	16	8.03	0.12	6.72	8	1104	14.87
	4	3	1	8000	3	160	2	336	0.80	2.54	0.29	6	8496	3.63
	4	4	3	1824	2	528	1	256	2.34	0.53	0.26	6	2608	3.12
	4	5	3	960	2	256	1	80	2.03	0.26	0.08	6	1296	2.37

G:Grupo; D: Densidad; B: Biomasa; 1°: 0-10 cm profundidad; 2°: 10-20 cm profundidad; 3°: 20-30 cm profundidad

Cuadro 22. Información recopilada para análisis de correlación de variables

Sistema	Rep.	Da	CH (%)	Comp. (kg/cm ²)	T° (°C)	pH	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K ₂ O (kg/ha)	Bio.mi (Col/g)	Grupo total	Densidad total	Biomasa total
Naranja	1	0.75	53.46	2.6	26.0	6.9	4.2	0.2	8.7	414.7	80000	6.5	320.0	26.4
	2	0.90	44.23	2.3	25.5	7.3	5.4	0.2	4.5	396.2	90000	5.0	384.0	42.7
	3	0.75	53.07	1.3	25.6	7.3	4.8	0.2	6.3	458.5	85000	5.0	272.0	32.8
Plátano	1	1.07	36.41	1.2	28.0	7.4	2.7	0.1	2.0	242.5	60000	6.0	320.0	3.0
	2	1.08	37.40	1.3	27.0	7.4	2.6	0.1	2.7	428.0	140000	5.0	400.0	8.5
	3	0.93	41.15	2.3	26.5	7.5	1.8	0.1	1.8	434.6	100000	7.0	384.0	0.5
Bs	1	0.95	21.69	1.8	24.0	7.3	1.4	0.1	5.2	243.8	50000	6.5	1944.0	1.7
	2	1.01	31.20	1.6	25.0	7.3	1.4	0.1	5.2	243.8	80000	5.0	952.0	3.2
	3	0.99	20.61	2.3	24.5	7.3	1.4	0.1	5.2	243.8	65000	5.0	1664.0	0.4
Cacao	1	1.07	33.16	1.2	26.0	6.6	4.8	0.2	4.6	518.1	90000	7.0	2704.0	10.2
	2	1.03	44.05	1.8	25.5	6.9	4.8	0.2	4.4	571.1	80000	6.0	5552.0	3.4
	3	1.08	37.97	2.5	26.4	7.3	3.9	0.2	4.3	463.8	85000	6.0	1296.0	2.4

Bs: Bosque secundario