

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS EN CONSERVACION DE
SUELOS Y AGUA**



**PROPIEDADES BIOLÓGICAS Y FÍSICAS DEL SUELO BAJO DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN
LA DIVISORIA – TINGO MARÍA**

Tesis

Para optar el título de:

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

SAMUEL ABRAHAM QUISPE CHACON

PROMOCIÓN 2007 – II

Tingo María – Perú

2013

DEDICATORIA

A ti Creador todo poderoso por darme
Vida, salud, trabajo y la dicha de
aprender a buscar y transmitir la
preservación del recurso suelo del
noble cultivo de la caficultura.

A la memoria de mi padre José a mi
madre Rosa, a mis hermanos, por ser
ejemplos de trabajo, de superación y
por su apoyo incondicional para lograr
mis objetivos durante mi vida
Universitaria

A mi esposa Evelyn por su apoyo
incondicional para poder lograr el
desarrollo de la presente investigación

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a todas las personas que en forma desinteresada colaboraron en la culminación del presente trabajo de tesis, y en especial a:

- El Ing. NELINO FLORIDA ROFNER asesor, por sus oportunas sugerencias en la culminación y revisión del informe final del presente trabajo de investigación.
- El Ing. LUCIO MANRIQUE DE LARA, por brindarme su apoyo incondicional en la ejecución del trabajo de investigación.
- A los productores Manuel Rodriguez y Raydol Rodriguez, por brindarme sus fincas y su apoyo en la ejecución del trabajo de investigación.
- A los jurados de tesis: Ing. LUCIO MANRIQUE DE LARA, Ing. JAIME TORRES GARCIA e Ing. ROBERTO OBREGON PEÑA, por sus oportunas sugerencias.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Sistemas de manejo de suelo	4
2.1.1. Sistema de manejo en cafetales	4
2.1.2. Manejo sustentable de los suelos	4
2.2. Calidad de suelo	5
2.3. Propiedades biológicas	7
2.3.1. Biomasa vegetal	7
2.3.2. Materia orgánica del suelo	8
2.3.3. Fauna del suelo	9
2.3.4. Respiración microbiana del suelo	11
2.4. Propiedades físicas del suelo	13
2.4.1. Densidad aparente del suelo	13
2.4.2. Resistencia de suelo a la penetración.....	15
2.4.3. Estabilidad estructural de agregados del suelo	17

III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Lugar de ejecución	21
3.1.1. Ubicación política.....	21
3.1.2. Ubicación geográfica	21
3.1.3. Clima	22
3.1.4. Suelo	22
3.1.5. Vegetación.....	24
3.1.6. Fisiografía.....	24
3.1.7. Accesibilidad.....	25
3.1.8. Descripción de los sistemas de evaluación.....	25
3.2. Metodología de muestreo y análisis	27
3.2.1. Aporte de biomasa.....	27
3.2.2. Materia orgánica del suelo (método de Walkley y Black)	29
3.2.3. Respiración microbiana	30
3.2.4. Fauna del suelo	31
3.2.5. Estabilidad estructural.....	34

3.2.6. Densidad aparente	35
3.2.7. Resistencia del suelo	35
3.3. Descripción de la evaluación	36
3.3.1. Estratos de evaluación.....	36
3.3.2. Recolección, transporte y secado de muestras.....	37
3.3.3. Análisis de muestras de suelo en laboratorio.....	37
3.4. Análisis estadístico.....	38
3.5. Factores de estudio.....	39
3.5.1. Sistemas.....	39
3.5.2. Características biológicas del suelo	40
3.5.3. Propiedades físicas del suelo	40
3.5.4. Características químicas.....	40
3.5.5. Profundidades de estudio	40
3.6. Diseño experimental.....	40
IV. RESULTADOS	42
4.1. Biomasa vegetal.....	42
4.1.1. Biomasa herbácea arbustiva.....	42

4.1.2. Biomasa de hojarasca	43
4.2. Materia orgánica del suelo	44
4.3. Fauna del suelo.....	46
4.4. Respiración microbiana en el suelo	47
4.5. Densidad aparente	48
4.6. Resistencia del suelo a la penetración	50
4.7. Inestabilidad estructural del suelo	51
4.8. Relación de la inestabilidad estructural del suelo con la materia orgánica y la respiración microbiana	53
V. DISCUSIÓN	56
5.1. Biomasa vegetal.....	56
5.1.1. Biomasa herbácea arbustiva.....	56
5.1.2. Biomasa de hojarasca	56
5.2. Materia orgánica del suelo	57
5.3. Fauna del suelo.....	58
5.4. Respiración microbiana en el suelo	59
5.5. Densidad aparente	60

5.6. Resistencia del suelo a la penetración	61
5.7. Inestabilidad estructural del suelo	62
5.8. Relación de la inestabilidad estructural del suelo con la materia orgánica y la respiración microbiana	63
VI. CONCLUSIONES	64
VII. RECOMENDACIONES.....	67
VIII. ABSTRACT	68
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	80

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Niveles de contenido de materia orgánica del suelo.....	9
2. Promedios de población en un estudio de diversidad microbiana en un sistema agroforestal de café al sur de Manabí, Ecuador. 2004.	12
3. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.	14
4. Niveles de resistencia de suelo a la penetración.	16
5. Fuentes de variación del análisis de varianza y grados libertad.	39
6. Distribución de las variables en estudio.....	40
7. ANVA de biomasa herbácea y arbustiva, zona Margarita.....	81
8. ANVA de biomasa herbácea y arbustiva, Hermilio Valdizán.....	81
9. ANVA de biomasa de hojarasca, zona Margarita.	81
10. ANVA de biomasa de hojarasca, zona Hermilio Valdizán.....	82
11. ANVA de materia orgánica del suelo de 0 – 10 cm, zona Margarita.....	82

12. ANVA de materia orgánica del suelo de 10 – 20 cm, zona Margarita.....	82
13. ANVA de materia orgánica del suelo de 0 – 10 cm, zona Hermilio Valdizán.	83
14. ANVA de materia orgánica del suelo de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.	83
15. ANVA de respiración microbiana del suelo de 0 – 10 cm, zona Margarita.....	83
16. Análisis de varianza de Respiración microbiana del suelo de 10 – 20 cm, zona Margarita.....	84
17. Análisis de varianza de Respiración microbiana del suelo de 0 – 10 cm, zona Hermilio Valdizán.	84
18. Análisis de varianza de respiración microbiana del suelo de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.	84
19. Análisis de varianza de densidad aparente del suelo de 0 – 10 cm, zona Margarita.....	85
20. Análisis de varianza de densidad aparente del suelo de 10 – 20 cm, zona Margarita.....	85
21. Análisis de varianza de Densidad aparente del suelo de 0 – 10 cm, zona Hermilio Valdizán.	85

22.	Análisis de varianza de Densidad aparente del suelo de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.	86
23.	Análisis de varianza de resistencia del suelo a la penetración de 0 – 10 cm, zona Margarita.	86
24.	Análisis de varianza de resistencia del suelo a la penetración de 10 – 20 cm, zona Margarita.	86
25.	Análisis de varianza de resistencia del suelo a la penetración de 0 – 10 cm, zona Hermilio Valdizán.	87
26.	Análisis de varianza de resistencia del suelo a la penetración de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.	87
27.	Análisis de varianza de Inestabilidad estructural del suelo de 0 – 10 cm, zona Margarita.	87
28.	Análisis de varianza de Inestabilidad estructural del suelo de 10 – 20 cm, zona Margarita.	88
29.	Análisis de varianza de Inestabilidad estructural del suelo de 0-10 cm, zona Hermilio Valdizán.	88
30.	Análisis de varianza de Inestabilidad estructural del suelo de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.	88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Distribución de zonas de muestreo en la cuenca alta Río Azul.....	27
2. Muestreo para fauna del suelo.	32
3. Calicata para prueba de resistencia del suelo a la penetración.	36
4. Diagrama de muestreo en la unidad experimental, en campo para cada zona.....	36
5. Toneladas por hectárea de biomasa herbácea arbustiva y diferencias significativas (Test Tukey, $P < 0.05$) en sistemas de manejo de suelos en cafetales en Margarita y Hermilio Valdizán	43
6. Toneladas por hectárea de biomasa de hojarasca y diferencias significativas (Test Tukey, $P < 0.05$) en sistemas de manejo de suelos en cafetales en Margarita y Hermilio Valdizán.....	44
7. Promedio de materia orgánica del suelo y diferencias significativas (Test Tukey, $p < 0.05$) en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, a diferentes profundidades.	46
8. Diversidad de clases taxonómicas de fauna en el suelo en diferentes sistemas de manejo de suelos, en dos zonas y a dos profundidades.	46

9. Respiración microbiana del suelo en CO ₂ /100 g de suelo y diferencias significativas (Test Tukey, P <0.05) en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, a diferentes profundidades.	48
10. Densidad aparente del suelo en g/cm ³ y diferencias significativas (Test Tukey, p <0.05) en Sistemas de Manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, a diferentes profundidades.	49
11. Resistencia del suelo a la penetración en Kg/cm ² y diferencias (Test Tukey, P <0.05) en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, a diferentes profundidades.	50
12. Porcentaje de Inestabilidad de agregados estructurales (Test Tukey, p <0.05) del suelo en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, y a diferentes profundidades.	53
13. Relación entre el porcentaje de agregados inestables y la materia orgánica en Sistema de Manejo de Suelos en el cultivo de café a diferentes profundidades, en Margarita y Hermilio Valdizán, en la Divisoria - Tingo María.	54
14. Relación entre el porcentaje de agregados inestables y la respiración microbiana en Sistema de Manejo de Suelos en el cultivo de café a diferentes profundidades, en Margarita y Hermilio Valdizán, en la Divisoria - Tingo María.	55

15. Vista de un Sistema de Bosque Virgen.	95
16. Vista de un cafetal con un Sistema de Manejo Mejorado.	95
17. Vista de un cafetal con un Sistema de Manejo Tradicional.	96
18. Muestreo de hojarasca en un Bosque.	96
19. Muestreo de suelos para determinar densidad aparente.	97
20. Muestreo de fauna del suelo.	97
21. Medición de la resistencia del suelo a la penetración.	98
22. Evaluación de la biomasa herbácea y arbustiva.	98
23. Determinación de la diversidad de fauna en el suelo.	99
24. Muestra de fauna del suelo den un MMS a 10 cm.	99
25. Determinando la respiración microbiana en el suelo.	100
26. Realizando la medición de CO ₂ respirado por el suelo.	100
27. Determinando el contenido de materia orgánica en el suelo.	101
28. Análisis de estabilidad estructural del suelo.	101
29. Análisis de estabilidad estructural del suelo.	102
30. Ubicación de parcelas seleccionadas con diferentes sistemas de uso de suelo.	103

RESUMEN

Con la finalidad de determinar las propiedades biológicas y físicas del suelo bajo diferentes sistemas de manejo en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), se realizó la investigación en el periodo de febrero – agosto del 2011 en los sectores Hermilio Valdizán y Margarita, ubicada en la parte alta de la micro cuenca Río Azul, provincia Leoncio Prado. Se delimitó parcelas con Sistema de manejo mejorado – MMS (rozo y sin quema más abonos orgánicos), Sistema de manejo tradicional – TMS (rozo, tumba y quema) y Sistema de bosque virgen – BVS (se intervino con caza de animales y extracción algunos árboles maderables), parcelas que ubicados en cada uno en los dos sectores. Se encontró que el contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva fue mayor en el TMS; el carbono encontrado en la biomasa de hojarasca fue superior en el BVS; la Materia Orgánica en el Suelo (MOS), la diversidad de clases taxonómicas de macrofauna, la actividad respiratoria, la densidad aparente, la resistencia del suelo a la penetración y la inestabilidad estructural del suelo presentan valores superiores en el MMS; además se encontró una relación que a mayor contenido de materia orgánica y actividad microbiana en el suelo, disminuye la inestabilidad estructural de suelos con cultivos de café.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda en la producción de alimentos ha impulsado el uso intensivo y hasta desmedido del recurso suelo, y 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. En los últimos años el cultivo de café ha adquirido gran importancia económica en diferentes suelos de selva central del país, entre los departamentos de Huánuco, Pasco y Junín, en las montañas de estas regiones se encuentran suelos fácilmente erosionables, por sus características edafoclimáticas.

La parte alta de la micro cuenca Río Azul forma parte de la cadena montañosa Cordillera Azul presentando un clima con fuertes precipitaciones y suelos con fuertes pendientes, y es allí donde se desarrolla la caficultura cada vez más intensa. Las parcelas de café fueron instalados en esta zona mediante prácticas de desboque y quema, los mismos que están siendo manejados tradicionalmente, sin ninguna práctica de conservación del recurso suelo, teniendo como resultado la erosión y pérdida de la calidad del suelo, y el deterioro del ambiente suelo.

En busca de una agricultura sustentable es importante determinar o realizar en la zona medidas de recuperación y preservación de los suelos con la finalidad de preservar el recurso suelo, algunas propiedades biológicas e

indicadores de calidad física de suelo que tienen esencialidad en la evaluación de las prácticas de manejo de suelo en cafetales, como la estabilidad estructural y la funcionalidad del suelo respecto a la materia orgánica.

La presente investigación tiene como alcance contribuir a la ciencia en el análisis y actividad de los microorganismos en el suelo, que son los indicadores a corto plazo de la dirección del ecosistema del suelo si se encamina a su recuperación, preservación o degradación, así mismo como punto de partida en los planes y proyectos de manejo de suelos, para la preservación y medidas de mitigación de la degradación de suelo en el cultivo de café, que implementan los proyectos en el cultivo de café.

La justificación de la investigación se basa en que la mayoría de caficultores de esta parte alta de la micro cuenca Río Azul no están realizando labores de preservación del suelo, lo contrario en un afán de preservar la calidad del suelo, algunos caficultores han implementado medidas de preservación y recuperación del suelo mediante la incorporación de abonos orgánicos compostados con alto contenido de materia orgánica y enriquecido con microorganismos eficientes; llamado en este como Sistema de Manejo Mejorado (MMS) con el objetivo de incrementar la productividad mediante la nutrición del café e incrementar la eficiencia biológica del suelo, es por ello que la investigación encontrará en cuanto está mejorando los suelos en algunas propiedades biológicas e indicadores de calidad física mediante los procesos biológicos que se desarrollan en los sistemas de manejo de suelos en cafetales. Razón por la cual se plantea

La hipótesis de la investigación que pretende alcanzar es que los suelos con sistema de manejo mejorado en cultivos de café tienen un impacto positivo en la mejora del estado de las propiedades biológicas y permite la conservación de la calidad física de los suelos.

Y de esta forma se plantea los siguientes objetivos:

- Evaluar la biomasa vegetal, materia orgánica, fauna y respiración microbiana del suelo.
- Determinar la densidad aparente, resistencia y estabilidad estructural del suelo en los sistemas de manejo de suelo.
- Analizar una relación entre los indicadores biológicos y físicos en los sistemas de manejo de cafetales en condiciones del trópico de selva alta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sistemas de manejo de suelo

2.1.1. Sistema de manejo en cafetales

Los resultados observados por DE AGUIAR (2008) en un manejo agroforestal sugieren cierta indicación de antecedentes de calidad física de suelo, comparado con un cafetal a pleno sol.

La alteración de las condiciones del suelo por las prácticas de manejo puede afectar la producción de los cultivos, por un lado, a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, actividad microbiana y dinámica de nutrientes y por otro lado, modificando propiedades físicas del suelo como agregación y porosidad (DÍAZ *et al.*, 2002). La siembra directa, es decir la no labranza puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos puesto que contribuyen, en general, a mantener o incrementar el nivel de carbono orgánico del suelo (FRANZLUEBBERS *et al.*, 1999).

2.1.2. Manejo sustentable de los suelos

El uso sustentable de tierras agrícolas, requiere conservar las propiedades edáficas, que son importantes desde el punto de vista de la

fertilidad y el laboreo del suelo (BEZDICEK *et al.*, 1996). Los sistemas de manejo sustentables para las tierras agrícolas, generalmente se basan en prácticas de manejo conservacionistas tales como la labranza reducida, la incorporación de materia orgánica y la rotación de cultivos (PANKHURST *et al.*, 1996).

2.2. Calidad de suelo

La calidad y salud del recurso suelo es un componente fundamental en la biósfera para la producción de alimentos y energía, como así también el mantenimiento de la calidad ambiental (DORAN y ZEISS, 2000).

La calidad de suelos de diversas áreas del planeta ha declinado significativamente, donde los sistemas en equilibrio fueron reemplazados paulatinamente por la actividad agrícola (SALINAS–GARCÍA *et al.*, 1997), indicando que este proceso de agriculturización creciente y desmedido, sumado al manejo inadecuado de las tierras ha conducido al deterioro de la estructura del suelo y a la consecuente reducción de la materia orgánica, con una disminución de la fertilidad física, química y biológica del suelo. Por otro lado BUSCHIAZZO *et al.* (1998), menciona que la agricultura continua y el uso de sistemas de labranza agresivo deteriora las propiedades del suelo e incremento de superficies afectadas por procesos erosivos y de degradación.

La alteración de las condiciones del suelo por las prácticas de manejo pueden afectar la producción de los cultivos, por un lado, a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, actividad microbiana y

dinámica de nutrientes; y por otro lado modificando propiedades físicas del suelo como la agregación y porosidad (SALINAS – GARCÍA *et al.*, 1997).

La calidad física de los suelos se refiere fundamentalmente a parámetros como la resistencia mecánica, la transmisión y el almacenaje de fluidos en la zona de exploración de las raíces. Los suelos con buena calidad física deben tener características de almacenaje y transmisión de fluidos que permitan proporciones adecuadas de agua, nutrientes disueltos y aire como para promover el máximo desarrollo de los cultivos y una mínima degradación ambiental (TOPP *et al.*, 1997).

Una estimación indirecta de la capacidad de almacenar agua y aire en la zona de exploración de las raíces es a través de la estabilidad de la estructura, debido a que este parámetro gobierna tanto los aspectos relacionados con la compactación, como los vinculados con el almacenaje y movimiento de agua y aire (REYNOLDS *et al.*, 2002; DEXTER, 2004).

Existe amplio consenso en identificar valores óptimos de parámetros tales como la densidad aparente, porosidad, contenido de carbono orgánico y capacidad de retención de agua del suelo. Todos ellos pueden determinar la calidad física del suelo, con la finalidad de mejorar la productividad de los cultivos manteniendo a la vez la calidad ambiental (REYNOLDS *et al.*, 2002). Varios autores han determinado que la resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para detectar efectos de las prácticas de manejo sobre el suelo (HAMMEL, 1989).

La conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el desarrollo – Río 1992 (UNCED) marcó un hito muy especial al establecer la necesidad de desarrollar y aplicar diferentes metodologías para determinar el estado del ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel local, nacional, regional y global. Se han desarrollado listas de indicadores de uso “universal”, pensando en todas las situaciones posibles y todos los suelos posibles (DORAN y PARKIN, 1996).

2.3. Propiedades biológicas

2.3.1. Biomasa vegetal

En un sistema agroforestal en café perteneciente al ICT “Juan Bernito – Tarapoto”, muestra que la biomasa arbustiva y herbácea fue 1.89 Tn/ha, y la biomasa de hojarasca fue 4.89 Tn/ha, resultando mayor la biomasa de hojarasca que la biomasa arbustiva y herbácea (QUIÑE, 2008).

El uso de sombra en cafetales es necesario en algunas regiones, y en otras se conserva por tradición. Múltiples estudios han comprobado el beneficio sobre el cultivo de café y se encontró que el componente arbóreo contribuye a la conservación del suelo y mejora sus características físicas, disminuye la evaporación de la superficie y amortigua la temperatura, favorece las condiciones micro climáticas al incrementar la humedad relativa, reduciendo la temperatura ambiental y merma las diferencias de temperatura entre el día y la noche (ENRIQUE y SÁNCHEZ, 2007), sin embargo poco se ha investigado el efecto que produce las sombras de cafetal en la actividad biológica del suelo.

2.3.2. Materia orgánica del suelo

El carbono orgánico del suelo es un indicador sensible y capaz de detectar los efectos de prácticas de manejo de suelo, y es mayor el efecto en el carbono orgánico particulado (EIZA *et al.*, 2005). Los suelos de sitios de referencia quasi-prístina (bosques primarios o bosques con poca intervención humana) presentan mejores condiciones estructurales, mayor proporción de carbono orgánico total (COT) y menor compactación con respecto al mismo suelo bajo cultivo (FERRERAS *et al.*, 2007).

El contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad, debido a la mayor acumulación de material vegetal en la superficie del suelo, pero en ensayos de diferencia de pequeñas profundidades, los resultados de materia orgánica casi son iguales o similares. Además encontró una fuerte reducción de carbono orgánico en el cultivo de café a pleno sol, siendo significativamente superior, en cambio los sistemas agroforestales de café y el bosque arrojaron resultados similares, de ahí la importancia de los sistemas agroforestales en el aporte y mantenimiento de carbono orgánico del suelo. Concluyendo que sistemas de cultivo bien manejados se deben promover con condiciones semejantes al sistema natural (DE AGUIAR, 2008).

Los componentes químicos de la materia orgánica del suelo son los: hidratos de carbono, ligninas, taninos, glucósidos, ácidos orgánicos, sales, ésteres, lípidos, resinas, compuestos nitrogenados, pigmentos y compuestos minerales como aniones y cationes (NAVARRO, 2003).

NAVARRO (2003) indica que el humus influye notablemente en las características físicas del suelo, actúa como un moderador de las variaciones de temperatura del suelo, es el principal responsable de la estructura granulosa del suelo, y en consecuencia, facilitando mayor porosidad. Reduce la viscosidad de las arcillas, con lo que se favorece la aireación y drenaje. La gran capacidad de retención de agua que mantiene el contenido apropiado de ella, junto al de cimentación en la agregación, hace del humus un agente preventivo de primera importancia contra la erosión.

Los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la materia orgánica del suelo (NAVARRO, 2003). Los suelos contienen más carbono que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera (SWIFT, 2001).

Cuadro 1. Niveles de contenido de materia orgánica del suelo.

Nivel	M.O. (%)
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

Fuente: BAZÁN *et al.* (2000).

2.3.3. Fauna del suelo

En ambientes naturales del trópico húmedo, los macroinvertebrados del suelo son los agentes reguladores de los procesos físico

químicos que afectan la fertilidad de los suelos. Ellos contribuyen a la conformación de estructuras de macro agregados resistentes. Los macro invertebrados mezclan los residuos orgánicos al excavar madrigueras para transportar suelo a la superficie por medio de cámaras subterráneas (LAVELLE, 1984).

En Yurimaguas, en un bosque primario húmedo el suelo estuvo colonizado hasta los 20 cm de profundidad con un 97.1%. La comunidad de oligochaetas estuvo dominada por especie epígeas y anécicas que se alimentan de la hojarasca. Estas, seguidas de los coleópteros 1.1% y las isópteras 0.95%, son las mayores componentes de la biomasa 89.1% (PASHANASI, 2001).

En un bosque secundario de 20 años tuvo la riqueza taxonómica de 30 unidades y una población de individuos casi dos veces mayor que la del bosque primario. La distribución vertical estuvo concentrada hasta el estrato de los 10 cm 70.7%, las isópteras representaron el 67.2% de la población; las formícidas, el 11.5% y las oligochaetas, el 3.5% (PASHANASI, 2001).

La riqueza taxonómica en los sistemas de cultivos observa un decrecimiento, las isópteras son el componente más representativo, seguida de las formícidas y luego las oligochaetas estando la mayor concentración de individuos en los 10 cm de profundidad (PASHANASI, 2001).

Concluye que la distribución de individuos disminuye con la profundidad del suelo en los diferentes sistemas de uso del suelo

(PASHANASI, 2001). Así mismo las comunidades de macro invertebrados de Yurimaguas y Pucallpa fueron afectados por el sistema de uso de la tierra. Los bosques primarios no intervenido e intervenidos, tiene una diversidad muy similar a las purmas.

2.3.4. Respiración microbiana del suelo

La actividad microbiana, comúnmente se estudia mediante la biomasa microbiana, la actividad enzimática y la actividad respiratoria o producción de CO₂ (BORIE *et al.*, 1999). El componente microbiano incluye nematodos, protozoos, organismos filamentosos, levaduras, hongos, micro algas y una gran diversidad de bacterias (PAUL *et al.*, 1999). La actividad respiratoria medida por la producción de CO₂ es un indicador de la actividad de los organismos aeróbicos del suelo (BORIE *et al.*, 1999), también es sensible a las alteraciones por los distintos sistemas de labranza (ACEVEDO y MARTINEZ, 2003). La rotación de cultivos y la práctica de abonado orgánico tienen impacto positivo sobre el carbono orgánico del suelo (FRANZLUEBBERS *et al.*, 1994).

El manejo agrícola convencional de los suelos, promueve la liberación de carbono hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece la acumulación de carbono en formas orgánicas dentro del suelo (MARTINEZ *et al.*, 2008). El sistema de siembra directa con cultivo de cobertura se comportó como el más adecuado para la conservación biológica del suelo (FERRERAS *et al.*, 2009).

La biomasa microbiana es de carácter dinámico y que está estrictamente relacionado con la dinámica de la materia orgánica del suelo, y siendo directamente influenciada por factores biótico y abiótico (temperatura y humedad principalmente), CARTER (1986) afirma que la biomasa microbiana es un óptimo índice para diagnosticar alteraciones en las características biológicas del suelo. En este sentido, el estudio de las interacciones de factores intrínsecos de suelo, como la biomasa microbiana se es de vital importancia.

El desenvolvimiento microbiano ha sido más evidente en las capas superficiales que en las capas más profundas en el suelo (GERALDES *et al.*, 1995), confirmando estas indicaciones cuando se encontró reducción de 72 a 56% de biomasa de C y N, respectivamente, cuando se comparó a profundidades de 0 - 10 cm como a de 20 – 30 cm. MORALES *et al.* (2000) en un estudio realizado en un sistema de uso de suelo agroforestal con café, al Sur de Manabí, encontró la siguiente población de microorganismos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Promedios de población en un estudio de diversidad microbiana en un sistema agroforestal de café al sur de Manabí, Ecuador. 2004.

Uso de suelo	Bacterias	Hongos	Actinomicetes	Fijadores	Solubilizadoras	celulíticos	Micorrizas
				de nitrógeno	de fósforo		
				UFC /gss	Esporas/gss		
Café	1.35 x 10 ⁶	1.97 x 10 ⁶	6.65 x 10 ⁶	1.18 x 10 ⁶	1.28 x 10 ⁶	2.33 x 10 ⁶	4.87

UFC: Unidades formadoras de colonia.

gss: gramos de suelo seco.

Fuente: MORALES *et al.* (2000).

La mayoría de los suelos contienen entre 10^8 a 10^{10} micro organismos por gramo de suelo (MADIGAN *et al.*, 2004). Las bacterias son los micro organismos más numerosos y están representados por más de 10^4 - 10^6 especies diferentes, los fungís son los siguientes individuos por gramo de suelo representados por más de 106 especies diferentes (SYLVIA *et al.*, 1999).

En el caso del bocashi se encuentra la presencia de micro organismos con una población de individuos que está en el rango indicado por los autores de 10.573×10^4 MO/ g de suelo, hasta 12.30×10^4 MO/g de suelo (RENGIFO, 2010).

2.4. Propiedades físicas del suelo

2.4.1. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo secado al horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas. Es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica).

El suelo es una mezcla de partículas minerales, material orgánico, aire y agua (parte sólida y espacio poroso); a diferencia de la textura y estructura que se refieren a la parte sólida, la densidad aparente es propiedad física que se relaciona con la porosidad, compactación, aireación y distribución de los poros, y es afectada por la estructura del suelo, el contenido de materia orgánica y la labranza (BAZAN *et al.*, 2000).

Cuadro 3. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura de suelo	Densidades aparentes ideales (g/cm ³)	Densidades aparentes que pueden afectar al crecimiento radicular (g/cm ³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm ³)
Arena, areno franco	< 1.60	1.69	> 1.80
Franco-arenosa, franco	< 1.40	1.63	> 1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco arcillosa	< 1.40	1.6	> 1.75
Limosa, franco limosa	< 1.30	1.6	> 1.75
Franco-limosa, franco arcillo-limosa	< 1.40	1.55	> 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, franco arcillosa (35-45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.47

Fuente: USDA (1999).

La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo. Esta condición puede ser alterada por el cultivo; pisoteo de animales; maquinaria agrícola; y clima, por ejemplo por impacto de las gotas de lluvia (ARSHAD *et al.*, 1996).

La densidad del suelo está relacionada con la textura, los suelos arenosos obtienen mayores valores frecuentemente entre 1.35 a 1.85 kg/dm³ (ARAUJO *et al.*, 2004). Según CARVALHO *et al.* (2004), indica que los sistemas agroforestales tienen mayor potencial en recuperar la densidad de suelo en relación de los cultivos de café a pleno sol. DE AGUIAR (2008) encontró que los valores de densidad parecen explicar mejor al efecto de manejo de suelo, que representa un indicador mejor de calidad de suelo, evidenciando también el efecto sobre la estructura.

2.4.2. Resistencia de suelo 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, ha sido relacionada con penetración de raíces (BRADFORD, 1986). Mientras que VOGEL (1992) ofrece información acerca de capas resistentes para raíces, y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo.

La resistencia del suelo se relaciona con la aptitud del suelo a resistir la pérdida de estructura. Ofrece información acerca de capas impenetrables para raíces, y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo (OADES, 1980). También puede ser

empleada para determinar duripanes, zonas de compactación, u horizontes densos (MATERECHERA *et al.*, 1992).

En Argentina, FERRERAS *et al.* (2007) concluyeron que los suelos que evidenciaron la pérdida de carbono orgánico y la estabilidad estructural aumentaron la susceptibilidad a la compactación de suelos subtropicales, y aquellos suelos que presentaron mejor característica de estructuración y menor resistencia a la penetración, pueden presentar un mejor comportamiento frente a factores que inciden en la degradación. Y suelos con inestabilidad estructural de agregados fueron suelos compactados.

El instrumento usado es el pocket penetrometer Assembly S-170 (ICT, 2004) cuya unidad de medida es el kg/cm^2 para la resistencia a la penetración, que con un rango de 0 – 4.5 kg/cm^2 , presentando los siguientes niveles de interpretación:

Cuadro 4. Niveles de resistencia de suelo a la penetración.

(kg/cm^2)	Nivel de resistencia
< 1	Suelos muy suaves
1 - 2	Suelos suaves
2 - 3	Suelos duros
3 - 4	Suelos muy duros
> 4	Suelos extremadamente duros

Fuente: ICT (2004).

2.4.3. Estabilidad estructural de agregados del suelo

Los agregados del suelo son partículas secundarias formadas a través de la combinación de partículas minerales con sustratos orgánicos e inorgánicos (BAVER, 1972). El complejo dinámico de agregación es el resultado de la interacción de muchos factores incluyendo el medio ambiente, factores de gestión del suelo, influencia de las plantas y propiedades de la composición mineral, textura, concentración de carbono orgánico del suelo, proceso pedogenético, actividad microbiana, intercambio de iones, reserva de nutrientes y humedad variable (KAY, 1998).

Los agregados del suelo están favorecidas por el carbono orgánico del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso del suelo, afectando diversas propiedades físicas, como humedad aprovechable, capacidad de aire y movimiento de agua y gases en el suelo (MARTINEZ *et al.*, 2008).

La estabilidad de agregados es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas (HILLEL, 1982), indicando la cantidad que resiste a la perturbación por el agua que fluye. En general, cuanto mayor sea el porcentaje de agregados estables tanto menor será la erodabilidad del suelo y son mejores para la calidad del suelo (TATE, 1995).

La cantidad de los agregados está afectada por la cantidad y tipo de los siguientes constituyentes del suelo (KEMPER, 1966):

La estabilidad de los agregados en general se incrementa con el contenido de materia orgánica. El efecto es más pronunciado en suelos que contienen poca cantidad de arcilla. En general, incrementos en materia orgánica por encima del 2%, no aumentan apreciablemente la estabilidad de agregados (MARTÍNEZ *et al.*, 2008).

La estabilidad de los agregados se ve afectada por la cantidad y tipo de arcilla del suelo y se incrementa con el contenido de arcilla. Este efecto decrece a altos contenidos de arcilla. Las arcillas de elevada superficie específica (por ej. Montmorillonita), tienden a originar mayor agregación que arcillas de baja superficie específica (por ej. Caolinita).

La estabilidad de agregados se incrementa con el contenido de óxido de hierro libre. Los óxidos de aluminio libres no incrementan apreciablemente la estabilidad de agregados.

El contenido de carbonato de calcio por lo general no afecta apreciablemente la estabilidad de agregados.

La estabilidad de agregados decrece con crecientes cantidades de sodio de intercambio. Los agregados estables al agua son no existentes en suelo con más de 20% de Na⁺ intercambiable.

Los micro agregados (menos de 250 μm) consiste de partículas primarias del suelo unidas a micro agregados menores. Los agentes de ligazón incluyen: materia orgánica humificada (polímeros orgánicos), metales o

cationes polivalentes, raíces e hifas de hongos, polisacáridos, restos de plantas y microbios (encontrados), óxidos amorfos de hierro y aluminio.

Los macro agregados (más de 250 μm) consisten de micro agregados unidos entre sí. Los agentes de ligazón son: hifas de hongos, raíces fibrosas, polisacáridos, óxidos de hierro y aluminio (suelos que tiene más del 10% de óxidos de hierro y aluminio). Los macro agregados se forman rápidamente bajo las siguientes condiciones; bajo pastura o gramíneas de forraje (masa radicular fibrosa, densa), en sitios donde se han agregado residuos orgánicos. En sitios donde está presente una gran cantidad de micro agregado (menor a 250 μm).

DE AGUIAR (2008) no encontró diferencias significativas entre sistemas en cuanto a distribución de diferentes clases de agregados en la superficie, sin embargo se observó mejor agregación a mayores profundidades en bosques secundarios en relación a áreas cultivadas. FERRERAS *et al.* (2007) mencionan que los indicadores de fertilidad física más sensibles o los que aportan mayor información relevante son el porcentaje de agregados estables a los pre tratamientos a agua y etanol, concluyendo que suelos con inestabilidad estructural de agregados fueron suelos compactados.

Es importante la ruptura de los agregados, como función de la magnitud de fuerzas que actúan sobre los agregados, dentro de las que el impacto de la gota de la lluvia es el más importante. Los suelos con agregados grandes y estables pueden tener mayor resistencia a la erosión, debido a que

no se romperán fácilmente ante el impacto de la gota de la lluvia (TEXEIRA y MISRA, 1997).

Los resultados de la distribución del tamaño de agregados y su estabilidad fueron discutidos considerando los factores que, dados los sistemas de manejo comparados, intervienen en la dinámica de la descomposición de MO y consecuentemente, en la formación y estabilidad de macro agregados (OADES 1993).

Los índices de estabilidad estructural mostraron diferencias significativas entre tipos de manejo, donde los valores más bajos se encontraron en lotes a libre exposición respecto a lotes bajo sombra (ENRIQUE y SÁNCHEZ, 2007).

La relación entre la estabilidad estructural del suelo y la materia orgánica del suelo, indica que, en la medida que aumenta el Carbono orgánico del suelo, se incrementa la estabilidad de los agregados (FERRERAS *et al.*, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

La investigación se llevó a cabo en la parte alta de la micro cuenca Río Azul, en áreas de influencia de productores de café en la:

Región : Huánuco.
Provincia : Leoncio Prado.
Distrito : Hermilio Valdizán.
Sector : Hermilio Valdizán y Margarita.

3.1.2. Ubicación geográfica

La parcela evaluada está ubicada en las siguientes coordenadas

UTM:

Sector : Hermilio Valdizán
Este : 406942
Norte : 8983060

Altitud : 1205 msnm

Sector : Margarita

Este : 410529

Norte : 8987310

Altitud : 1308 msnm

3.1.3. Clima

La superficie de la parte alta de la micro cuenca Río Azul se encuentra en la región Selva Alta, formando parte de la cadena montañosa cordillera Azul, y el sector de La Divisoria oscilan entre los 1100 a 1600 msnm. La precipitación en el año 2011 fue 3184 mm y en el año 2012 de 2974.9 mm, temperatura media mensual es de 18 °C a 21 °C (SENAMHI, Estación meteorológica La Divisoria) y la humedad relativa media es superior a 70%.

De acuerdo a la clasificación de la zona de vida, la zona de la investigación corresponde a un bosque muy húmedo Premontano Tropical transicional a bosque húmedo Tropical bmh-PT/bh-T (HOLDRIDGE, 1987), y PULGAR (1981) lo clasifica como la región natural Rupa Rupa.

3.1.4. Suelo

La zona de Hermilio Valdizán y Margarita, geológicamente está constituida casi en su totalidad por material parental de caliza y en menor grado las limonitas y lutitas suaves, en proceso de edafización avanzada. Pero en las

zonas de pendientes más suaves o aquellas ubicadas en la base de los cerros, se observa depósitos de material detrítico fino y/o grueso derivado de estas mismas rocas (HORNA, 2000).

HARDI (1970) manifiesta que el origen de esta parte de la región amazónica se remota a la aparición de un geo-sinclinal este-oeste, el mismo que durante el periodo cámbrico, dio origen a una cuenca cuyo desagüe se orientaba hacia el oeste con el Océano Pacífico, luego debido a los procesos continuos de sedimentación y el inicio del levantamiento de las cordilleras de los Andes durante el mioceno, el drenaje de la cuenca cambió de dirección orientándose hacia el este, Océano Atlántico. Posteriormente, durante los periodos pleistoceno y holoceno se produjo deposición de material. Puede presentarse también precipitaciones que empieza como una llovizna de gota fina y que son las que generalmente tienen más duración, siendo los daños causados por estas precipitaciones de gran consideración.

Estudios realizados de suelos y Capacidad de Uso Mayor de la ZEE Leoncio Prado (GRH, 2012). Los suelos de la zona de Hermilio Valdizán y Margarita, es clasificado en la consociación Suelo Pampamarca (PA) del subgrupo Typic Eutrudepts. Estos suelos son conformados por un perfil ABCR, moderadamente profundo; de color pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento oscuro y textura media a fina. El horizonte superficial A presenta color pardo grisáceo oscuro y textura franca sobre el horizonte B estructurado en bloques grueso, de consistencia firme, arcilloso, y color pardo amarillento; finalmente el estrato masivo denominado CR, conformado por materiales rocas angulares.

Químicamente, los suelos son de reacción fuertemente ácida a moderadamente ácida, la capacidad de intercambio catiónico varía de 16 a 19,20 cmol+/kg de suelo, y no salino.

Por su capacidad de uso mayor son clasificados en C3se Tierras aptas para cultivos permanentes de calidad agrológica baja y con limitación por suelos y riesgos de erosión. Corresponden a suelos profundos a moderadamente profundos, de textura moderadamente fina a media, de drenaje natural bueno a moderado y las limitaciones referidas al factor edáfico.

Las limitaciones de uso de esta categoría están referidas a la baja fertilidad y desbalance nutricional debido a los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, así como a los riesgos de erosión debido a la pendiente predominante.

3.1.5. Vegetación

La vegetación de la zona de Hermilio Valdizán y Margarita es un complejo de cultivos y purmas, cuya estructura son de arbustos y bosques (ZARATE *et al.*, 2010). Los lugares evaluados son cafetales bajo sombra y bosques.

3.1.6. Fisiografía

Estudios realizados de suelos y Capacidad de Uso Mayor de la ZEE Leoncio Prado (GRH, 2012). Fisiográficamente las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán, se encuentra en el gran paisaje relieve montañoso, paisaje

montañas bajas y altas, y en el sub paisaje de laderas ligera a moderadamente empinada.

3.1.7. Accesibilidad

Se traslada al Distrito de Hermilio Valdizán por la carretera Federico Basadre desde la ciudad de Tingo María hasta la comunidad de San Isidro, luego por el lado izquierdo por una carretera afirmada hasta la comunidad de Hermilio Valdizán que queda el fundo Rodríguez a aproximadamente a unos 35 km de la ciudad de Tingo María, y a la comunidad de Margarita al fundo del Sr Raydol Rodriguez a 52 km aproximadamente de la ciudad de Tingo María.

3.1.8. Descripción de los sistemas de evaluación

3.1.8.1. Sistema de manejo mejorado (MMS)

En la zona de Margarita: es un sistema de producción de café intervenido con rozo y sin quema en una pendiente superior a un 30%, sembrado aproximadamente hace 8 años, al cual se ha incorporado sombra con leguminosas como guaba (*Inga edulis*), que sirven de sombra permanente al cultivo de café. La plantación ha sido instalada a un distanciamiento de 2 m x 1.5 m, haciendo un total de 3333 plantas/ha. Se realizó abonamiento orgánico continuo en el cafetal desde 2008, con productos orgánicos como bocashi y composta (enriquecido con micro organismos eficientes) y guano de isla.

En la zona de Hermilio Valdizán: es un sistema de producción de café intervenido con rozo y sin quema en una pendiente aproximadamente de 30%, sembrado aproximadamente hace 8 años, al cual se ha incorporado sombra con leguminosas como guaba (*Inga edulis*) y especies forestales maderables, que sirven de sombra permanente al cultivo de café. La plantación ha sido instalada a un distanciamiento de 2 m x 1.5 m, haciendo un total de 3333 plantas/ha. Se realizó abonamiento orgánico continuo en el cafetal desde 2008, con productos orgánicos como bocashi y composta (enriquecido con micro organismos eficientes).

3.1.8.2. Sistema de manejo tecnificado (TMS)

En ambas zonas de estudio, es un sistema de producción de café, donde se realizó el rozo, tumba y quema, en el cual los primeros años se estableció maíz y plátano. Establecida la sombra temporal se instaló el café aproximadamente hace 10 años en Margarita y hace 9 años en Hermilio Valdizán, al cual se ha incorporado sombra con leguminosas como guaba (*Inga edulis*), que sirven de sombra permanente al cultivo de café. La plantación ha sido instalada a un distanciamiento de 2 m x 1.5 m, haciendo un total de 3333 plantas/ha bajo una pendiente de 55% de pendiente.

3.1.8.3. Sistema de bosque virgen (BVS)

El sistema de bosque virgen es para ambas zonas, adyacente a los cafetales, son bosques quasi-pristina, donde se intervino solo con caza de

1 m x 1 m, de las parcelas de los tratamientos parcelas de 10 m x 40 m, se cortó toda la vegetación del suelo, registrando el peso fresco total por metro cuadrado; de ésta, se colectó una sub-muestra, registrando el peso fresco y, colocando en una bolsa de papel correctamente identificada, que fue secado en estufas a 75 °C hasta que obtenga peso constante (ALEGRE *et al.*, 2002).

El peso seco de esta biomasa transformada a TM/ha y éste valor multiplicado por el factor de 0.45; para obtener la cantidad de carbono.

Se estimó esta biomasa en TM/ha, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{BAH (TM/ha)} = ((\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}) * 0.01$$

Donde,

BAH = Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado

0.01 = Factor de conversión

3.2.1.2. Cálculos de la biomasa de hojarasca (TM/ha)

Se estimó la biomasa de hojarasca en TM/ha, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Bh (TM/ha)} = ((\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}) * 0.04$$

Donde,

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca (TM/ha)

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado

0.04 = Factor de conversión

3.2.2. Materia orgánica del suelo (método de Walkley y Black)

Se realizó por el método de la combustión húmeda, la misma que consiste en determinar el carbono presente en la materia orgánica del suelo fácilmente oxidable por el dicromato de potasio (KCr_2O_7) en un medio ácido (ácido sulfúrico). El dicromato actúa capturando los electrones liberados en la combustión, reduciéndose el Cr.



Para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de suelo se realizó el siguiente procedimiento:

Se pesó 1g de suelo y depositado en un Erlenmeyer de 250 ml, agregando 10 ml de dicromato de potasio 2N y luego añadido 10 ml de ácido sulfúrico Q.P. 96%. Luego fue homogenizado la solución para reposar por 2

horas, y llevado a volumen de 100 ml con agua destilada y se tomó una alícuota de 20 ml.

Esta alícuota de solución fue llevado a un vaso precipitado para titular; previamente agregando 2 a 3 gotas de indicador de di fenilamina sulfúrica. Se Tituló con sal de Mohr 0.2N, el cambio de color verde oscuro a verde brillante indicó el final de la titulación; anotando el gasto de la solución de Mohr, paralelo a esto realizó un blanco (sin muestra).

Cálculo utilizado para determinar la materia orgánica en%:

$$\% \text{ M.O.} = \frac{(a - bf) 0.003 \times 1.724}{P} 100$$

a = ml de bicromato de potasio utilizado.

b = ml de sal ferrosa o sal de Mohr gastado (gasto de titulación).

0.003 = Factor del carbón.

1.724 = Factor de Van Vammelen.

p = peso de muestra de suelo.

3.2.3. Respiración microbiana

La muestra de suelo se obtuvo a dos profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm de profundidad de los tratamientos en estudio (IGAC, 1990).

Se utilizó 100 g de suelo fresco y al ambiente y fue humedecido a capacidad de campo, luego colocados en un respirómetro y mantenido a 25 ± 2 °C, de temperatura en un ambiente oscuro.

Las evaluaciones se realizaron a 24 y 48 horas en función de la liberación de CO₂-C durante el desarrollo del experimento.

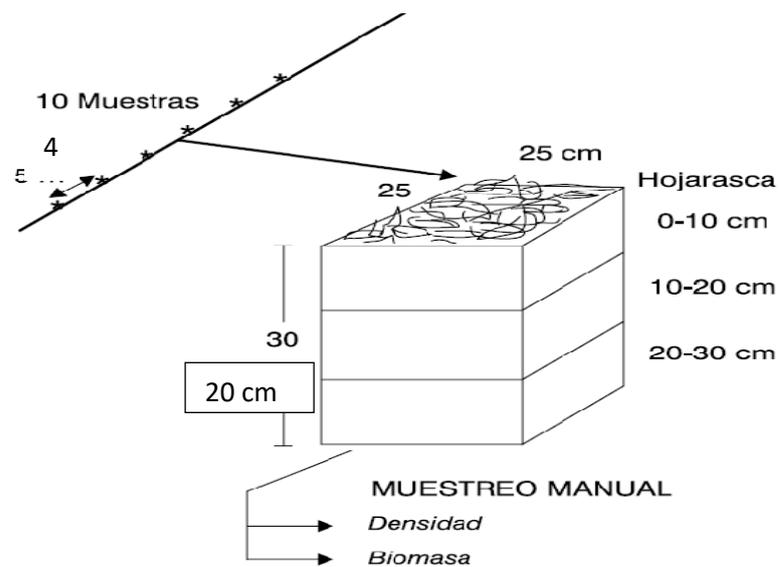
Para determinar la liberación de CO₂-C, se extrajo 8 ml de NaOH 0.6 N, con una jeringa y colocado en un matraz de 125 ml, siendo el tubo de ensayo enjuagado con 8 ml de agua destilada, luego se agregó 5 ml de BaCl₂ 2N, 2 a 3 gotas de fenolftaleína y titulado con HCl 0.6 N. El cálculo de CO₂ – C liberado se determinó con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg CO}_2 - \text{C}}{100 \text{ g de suelo}} = \frac{\text{gasto en ml HCl (blanco)} - \text{gasto HCl en ml (muestra)}}{100 \text{ g de suelo}} \times 0.6 \times 6$$

3.2.4. Fauna del suelo

El método de muestreo más utilizado es el recomendado por el Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), (LAVELLE, 1984; ANDERSON e INGRAM, 1993) (Figura 2). Cada monolito tuvo las siguientes dimensiones: 25 cm x 25 cm x 20 cm.

Los monolitos fueron divididos en estratos sucesivos (0 – 10 y 10 – 20 cm).



Fuente: Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF, IUBS/UNESCO) Programme.

Figura 2. Muestreo para fauna del suelo.

Esta evaluación se realizó de la siguiente manera:

- Se procedió a extraer las muestras cada 10 m en un transecto de 40 metros lineales, el mismo transecto cuyo origen y dirección es recto y lineal, dentro del sistema de uso que se pretendió evaluar, recolectándose por lo menos 3 muestras por sistema de uso y en cada zona.
- Se realizó un muestreo por estratos sucesivos 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, la misma que fueron colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio, lugar donde se procedió al separado y extracción de los individuos con la ayuda de pinzas y lupa, los que se colectan en frascos de vidrio debidamente rotuladas, que contienen solución de alcohol al 90% y formol al 5%.

- Los individuos fueron identificados a nivel de órdenes, con una guía de identificación y contrastado con la experiencia de un Entomólogo.
- En algunos casos cuando el individuo era pequeño se utilizó un estereoscopio para su correcta clasificación.
- Se determinó la densidad (Abundancia), utilizando un cuadrado de 25 x 25 cm, lo que representa 1/16 m², los datos de las unidades de muestreo fueron multiplicados por 16 para obtener las unidades de número de individuos por m² (ind./m²) utilizando la metodología propuesta por CORREA y OLIVEIRA (2000).
- Se determinó la riqueza de clases taxonómicas o unidades taxonómicas encontradas en los diferentes sistemas de manejo de los suelos. (BEGON, HARPER Y TOWNSEND, 1995). Para estimar se utilizó el Índice de Shannon – Wiener (H'): (BEGON, HARPER Y TOWNSEND, 1995).

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

Donde:

H' = Diversidad (bits/individuo)

S = Número de especies

P_i = Proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total (n_i/N_t)

n_i = abundancia de la especie i

N = Abundancia total

3.2.5. Estabilidad estructural

La prosiguió la metodología de NUÑEZ (2001), tomando muestras sin disturbar a profundidades de 0 – 10 y 10 – 20 cm. Las muestras se dejaron secar al aire bajo sombra, luego se desmenuzan a mano y tamizados a una abertura de 2 mm.

En una probeta de 50 ml se colocó 25 g de muestra y se enrasó a 40 ml con agua destilada, y se dejó reposar por media hora.

Simultáneamente en otra probeta de 50 ml se colocó 15 g de muestra y enrasó a 40 ml con una solución de Cloruro de Potasio a 1 N, y se dejó reposar durante media hora.

Luego se agitó ambas probetas, con una varilla, de forma vertical y circular, suavemente por tres veces con intervalos de media hora y se dejó reposar ambas probetas por espacio de 24 horas, y al finalizar este tiempo se tomó lectura del volumen de sedimentación en ambas probetas. La diferencia de volúmenes representa el índice de inestabilidad estructural cuando mayor es la diferencia, y considerándose la estructura estable si no hay diferencia de sedimentación entre ambas.

3.2.6. Densidad aparente

Prosiguiendo el método del cilindro (PORTA *et al.*, 1999), se construyó un hoyo de 25 cm de lado, 20 cm de profundidad y marcado la profundidad de 0 – 10 cm y de 10 – 20 cm. Se introdujo los cilindros metálicos de 4 cm de diámetro y 5 cm de altura en el suelo en las 2 profundidades.

Con mucho cuidado se extrajo los cilindros con la muestra de suelo, luego las muestras de suelo fueron colocados en estufa a 105 °C por 72 horas. Las muestras de suelo y el cilindro fueron pesados previamente (y antes del muestreo fueron pesados los cilindros).

$$DA (\text{g/cm}^3) = \frac{PSSE}{VC}$$

Donde,

DA (g/cm³) = Densidad aparente, en g/cc

PSSE = Peso de suelo seco a estufa del suelo dentro del cilindro

VC = Volumen del cilindro (constante)

3.2.7. Resistencia del suelo

Fueron ubicados los puntos de muestreo y construidos un pequeño hoyo de 25 cm de lado, de 20 cm de profundidad y marcados a las profundidades de 0 – 10 cm y de 10 – 20 cm. Se midió la resistencia del suelo con un penetrómetro de forma horizontal en dos puntos por cada profundidad y a la misma altura (RAMÍREZ y SALAZAR, 2005).

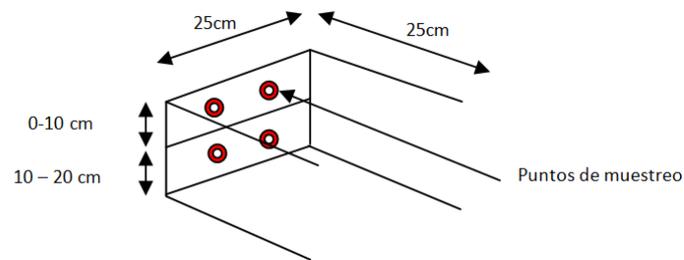


Figura 3. Calicata para prueba de resistencia del suelo a la penetración.

3.3. Descripción de la evaluación

3.3.1. Estratos de evaluación

La recolección de muestras de suelo en cada sistema, se realizó en tres puntos de la unidad experimental de observación. Esta unidad de muestreo es una calicata de 25 cm por 25 cm.

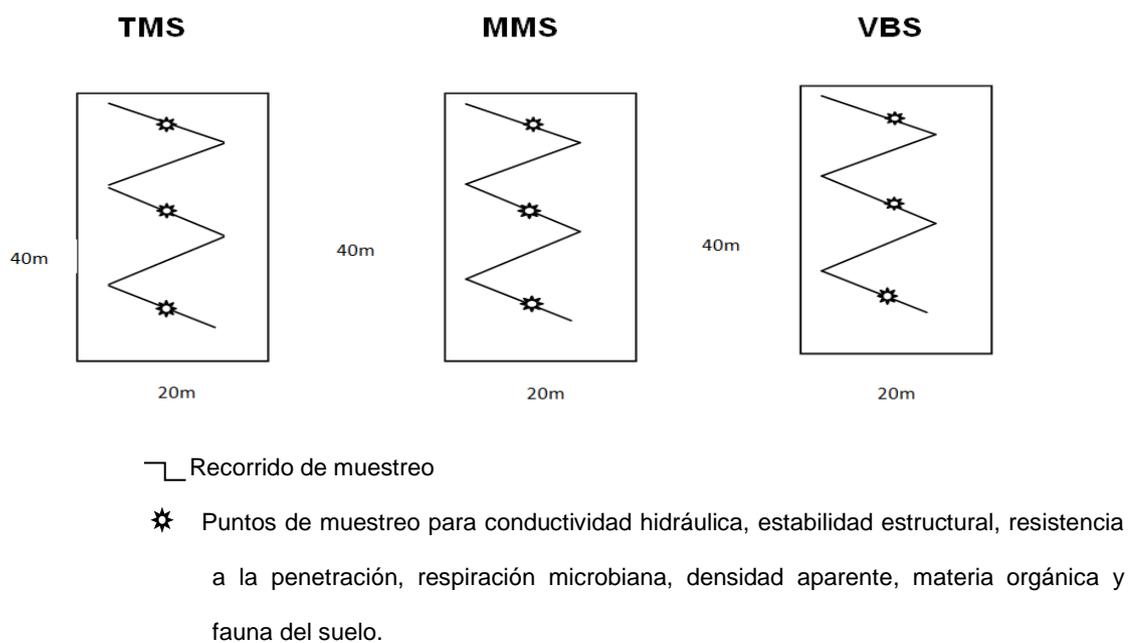


Figura 4. Diagrama de muestreo en la unidad experimental, en campo para cada zona.

3.3.2. Recolección, transporte y secado de muestras

Se realizó el muestreo de biomasa arbustiva/herbácea y biomasa de hojarasca.

Se obtuvieron muestras de suelo sin perturbar de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm y empleando pala recta en cada punto determinado, siendo transportadas, luego separadas de algunas muestras que se realizaron con muestras frescas como respiración microbiana, fauna de suelo en laboratorio y la otra parte siendo secado bajo sombra. Fueron sacadas muestras representativas a las dos profundidades para el análisis granulométrico.

3.3.3. Análisis de muestras de suelo en laboratorio

Para la obtención de los datos de laboratorio se realizó los siguientes análisis para vegetación, fauna y suelo con sus respectivos procedimientos detallados anteriormente:

Análisis biológico: Biomasa arbustiva y herbácea (ALEGRE *et al.*, 2002)

Fauna del suelo (ANDERSON e INGRAM, 1993)

Biomasa microbiana (ANDERSON e INGRAM, 1993)

Análisis físico: Estabilidad estructural del suelo (NUÑEZ, 2001)

Granulometría de suelos

Densidad aparente (PORTA *et al.*, 1999)

Resistencia de suelo a la penetración (RAMÍREZ y SALAZAR, 2005)

Conductividad hidráulica.

Análisis químico: Materia orgánica (método de Walkley Black)

3.4. Análisis estadístico

De acuerdo a la metodología propuesta, se tienen tres sistemas de manejo en estudio (BVS, MMS y TMS) definidas como tratamientos, determinándose las propiedades biológicas como: respiración microbiana y fauna del suelo y la calidad física de suelos como la estabilidad de agregados del suelo, granulometría, densidad aparente, resistencia del suelo a la penetración, conductividad hidráulica, y la materia orgánica como propiedad química a dos profundidades (0 – 10 cm y 10 – 20 cm). Se utilizó el diseño de completamente al azar (DCA), con tres repeticiones por cada sistema con su respectivo análisis de varianza, en cada variable analizado y en cada zona.

El modelo aditivo lineal será

$$Y_{ijk} = \mu + S_j + E_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} : La observación en el k-ésimo repetición, de i-ésimo sistema, en el j-ésimo estrato.

μ : Media general

S_i : Es el i-ésimo sistema (tres sistemas)

E_j : En el j-ésimo estrato (dos profundidades)

ε_{ijk} : Error aleatorio de la observación, en el k-ésimo repetición del i-ésimo sistema y en el j-ésimo estrato.

Cuadro 5. Fuentes de variación del análisis de varianza y grados libertad.

Fuentes de variación	Grados de libertad*
Sistema	2
Error	6
TOTAL	8

(*) Grados de libertad de las variables en estudio.

Los datos obtenidos de cada unidad muestral se sometieron a la prueba de significación estadística de Tuckey ($\alpha=0.05$); asimismo se aplicó una estadística descriptiva, para mostrar las medidas de resumen con gráficos y tablas, utilizando el software Infostat y SAS.

3.5. Factores de estudio

3.5.1. Sistemas

a_1 Sistema de Manejo Mejorado (MMS)

a_2 Sistema de Manejo Tradicional (TMS)

a_3 Sistema de Bosque Virgen (BVS)

3.5.2. Características biológicas del suelo

b₁ Respiración microbiana del suelo

b₂ Fauna del suelo

3.5.3. Propiedades físicas del suelo

b₁ Estabilidad estructural del suelo

b₂ Densidad aparente

b₃ Resistencia de suelos

3.5.4. Características químicas

c₁ Materia orgánica del suelo

3.5.5. Profundidades de estudio

d₁ De 0 – 10 centímetros

d₂ De 10 – 20 centímetros

3.6. Diseño experimental

El estudio se realizó en tres sistemas de manejo de suelo en el cultivo de café establecidas en la zona de Hermilio Valdizán y Margarita, las variables fueron evaluadas a dos profundidades de muestreo que fueron repetidos en tres sub áreas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Distribución de las variables en estudio.

	Biomasa herbácea / arbustiva	Respiración microbiana	Fauna del suelo	Materia orgánica	Inestabilidad estructural	Densidad aparente	Resistencia de suelo
N° de zonas	2	2	2	2	2	2	2
N° de sistemas en cada zona	3	3	3	3	3	3	3
N° de sub áreas muestrales	3	3	3	3	3	3	3
N° de puntos de muestreo por sub área	1	1	1	1	1	1	1
Muestras por profundidad	2 0 – 10 cm 10 – 20 cm	2 0 – 10 cm 10 - 20 cm	2 0 – 10 cm 10 – 20 cm				

IV. RESULTADOS

4.1. Biomasa vegetal

4.1.1. Biomasa herbácea arbustiva

La biomasa herbácea y arbustiva, en sistemas de manejo en cafetales en la zona de margarita, presenta un 36.83% de C.V. (Cuadro 7 del anexo), de acuerdo a la prueba de Tukey expresa diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelo en cafetales, obteniendo valores promedios de 0.44 TM/HA para el BVS, 0.19 TM/HA para el MMS, y 1.13 TM/HA para el TMS. Similarmente en la zona de Hermilio Valdizán presenta un 37.81 de C.V. (Cuadro 8 del anexo), de acuerdo a la prueba de Tukey expresa diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelo en cafetales, obteniendo valores promedios de 0.61 TM/HA para el BVS, 0.32 TM/HA para el MMS, y 1.17 TM/HA para el TMS.

La mayor biomasa herbácea arbustiva del TMS para ambas zonas se debe principalmente a las mínimas labores agrícolas como el deshiero que realiza el productor cafetalero, ocurriendo en la mayoría de casos de 2 deshierbos al año en la zona.

El MMS, mostraron biomasa herbácea arbustiva menores, por el mismo hecho contrario a lo anterior, las labores de deshierbo permanente que supera hasta mayor a 4 veces por año, ésta actividad de deshierbo favorece el crecimiento y producción del café, similarmente la biomasa herbácea arbustiva en el BVS no se observa significativamente, por las condiciones de luz que hace que no desarrolle la vegetación herbácea y arbustiva.

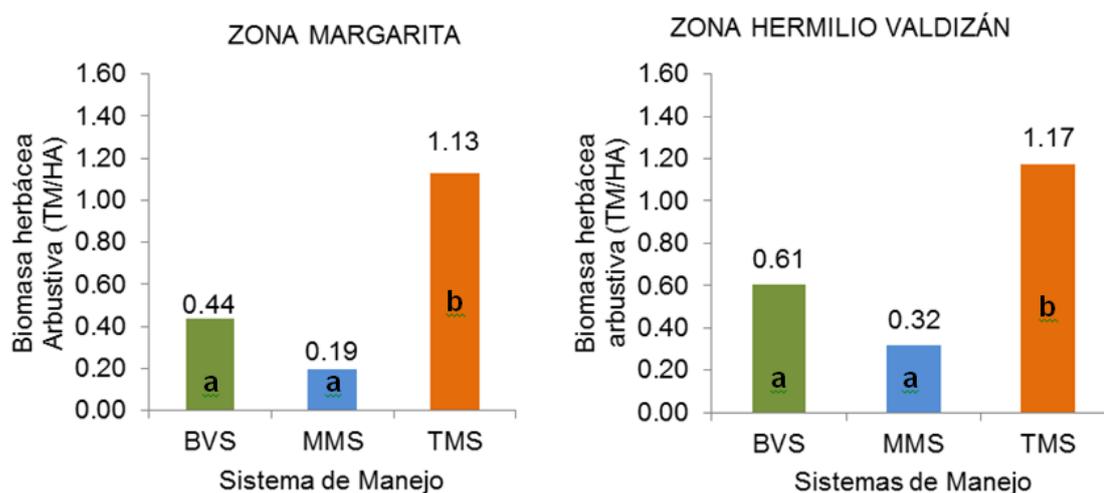


Figura 5. Toneladas por hectárea de biomasa herbácea arbustiva y diferencias significativas (Test Tukey, $P < 0.05$) en sistemas de manejo de suelos en cafetales en Margarita y Hermilio Valdizán

4.1.2. Biomasa de hojarasca

La biomasa de hojarasca, en sistemas de manejo en cafetales en la zona de margarita, presenta un 36.6 de C.V. (Cuadro 9 del anexo), de acuerdo a la prueba de Tukey expresa diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelo en cafetales, obteniendo valores promedios de 61.75 TM/HA para el BVS, 3.91 TM/HA para el MMS, y 4.55 TM/HA para el

TMS. Similarmente en la zona de Hermilio Valdizán presenta un 68.9 de C.V. (Cuadro 10 del anexo), de acuerdo a la prueba de Tukey expresa diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelo en cafetales, obteniendo valores promedios de 63.85 TM/HA para el BVS, 4.91 TM/HA para el MMS y 5.92 TM/ha para el TMS.

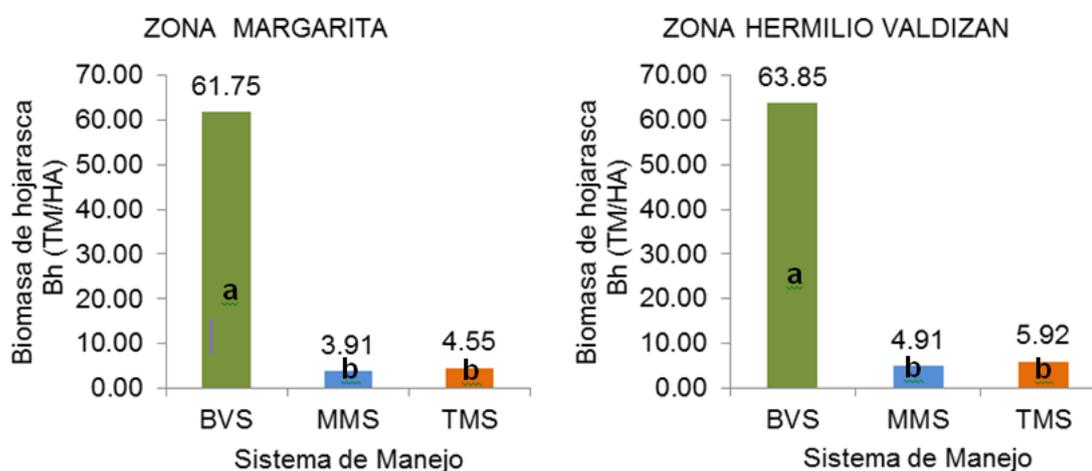


Figura 6. Toneladas por hectárea de biomasa de hojarasca y diferencias significativas (Test Tukey, $P < 0.05$) en sistemas de manejo de suelos en cafetales en Margarita y Hermilio Valdizán.

4.2. Materia orgánica del suelo

Los contenidos de materia orgánica, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 7), el análisis de varianza con un 9.54% y 11.59% de C.V. (Cuadro 11 y 12 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm en la zona Margarita, no mostró diferencia significativa para el efecto del uso de los suelos en BVS y MMS, pero si para el TMS, obteniéndose

valores promedios de 2.30% de MO para el BVS, 2.69% MO para el MMS y 1.98% MO para el TMS a la primera profundidad.

Los contenidos de materia no mostraron diferencia significativa a la profundidad de 10 a 20 cm. Para la zona de Hermilio Valdizán el contenido de materia orgánica, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 7), el análisis de varianza con un 26.70% y 32.28% de C.V. (Cuadro 13 y Cuadro 14 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, mostró diferencia significativa para el efecto del uso de los suelos en BVS, respecto al MMS y TMS que no presentaron diferencias significativas para ambas profundidades, obteniéndose valores promedios de 3.20% de MO para el BVS, 6.28% MO para el MMS y 2.34% MO para el TMS a la primera profundidad.

El MMS en los 10 primeros centímetros presenta niveles superiores de M.O., medio para la zona de margarita y alto para la zona de Hermilio Valdizán; respecto al BVS y TMS. Y no habiendo diferencia significativa de materia orgánica de 10 a 20 cm de profundidad para ambas zonas, pero sí mostrando valores superiores en el contenido de materia orgánica el MMS en la zona Hermilio Valdizán.

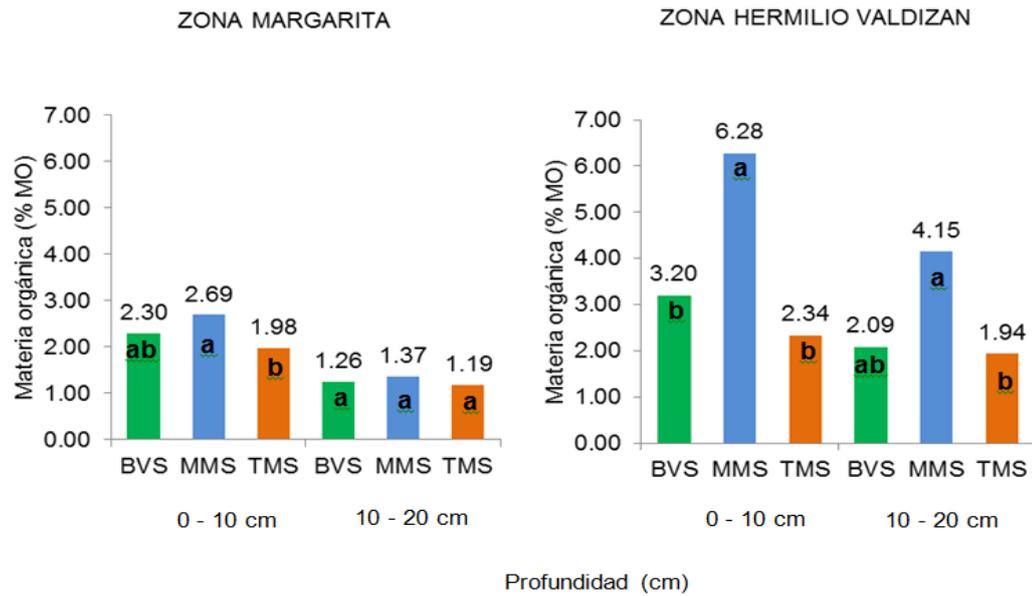


Figura 7. Promedio de materia orgánica del suelo y diferencias significativas (Test Tukey, $p < 0.05$) en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, a diferentes profundidades.

4.3. Fauna del suelo

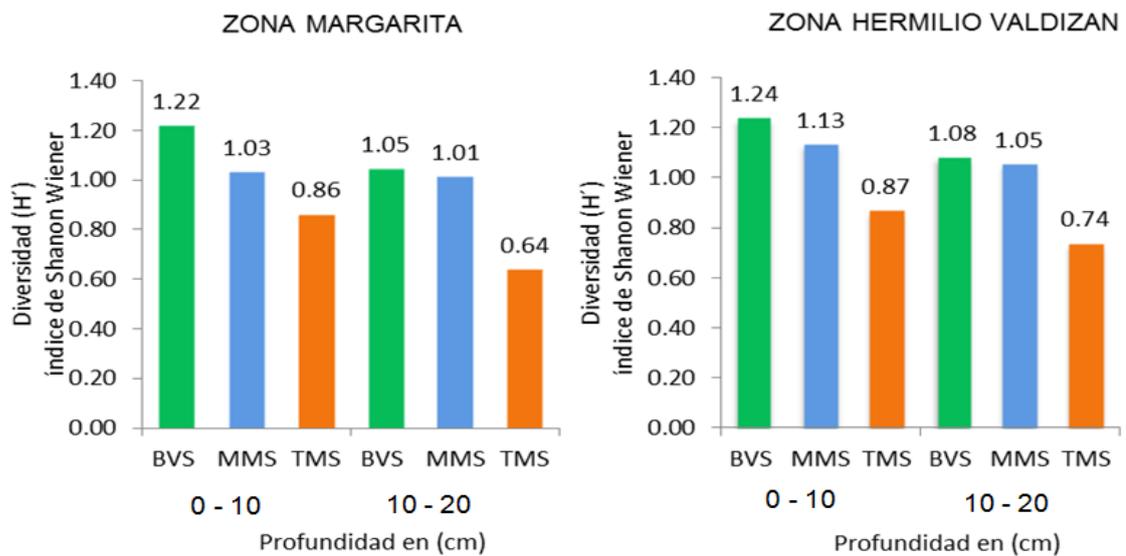


Figura 8. Diversidad de clases taxonómicas de fauna en el suelo en diferentes sistemas de manejo de suelos, en dos zonas y a dos profundidades.

4.4. Respiración microbiana en el suelo

La respiración microbiana del suelo, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 9), el análisis de varianza con un 10.57% y 16.34% de C.V. (Cuadro 15 y 16 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm en la zona Margarita, mostró diferencia significativa para el efecto de los sistemas de uso de suelos en cafetales; siendo el BVS y el MMS mostraron similar comportamiento en la respiración microbiana del suelo, con valores de 0.035 mg CO₂/100 g de suelo y 0.031 mg CO₂/100 g de suelo respectivamente, pero si hubo diferencia de éstos con el TMS que tuvo un valor de 0.016 mg CO₂/100 g de suelo, en los primeros 10 cm de profundidad, teniendo un similar comportamiento a la profundidad de 10 cm a 20 cm.

Para la zona de Hermilio Valdizán la respiración microbiana, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 9), el análisis de varianza con un 11.61% y 15.10% de C.V. (Cuadro 17 y Cuadro 18 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, mostró diferencia significativa para el efecto del sistema de uso de suelos en cafetales.

El BVS y el MMS mostraron similar comportamiento en la respiración microbiana del suelo, con valores de 0.043 mg CO₂/100 g de suelo y 0.037 mg CO₂/100 g de suelo respectivamente, pero si hubo diferencia de éstos con el TMS que tuvo un valor de 0.020 mg CO₂/100g de suelo, en los primeros 10 cm de profundidad, teniendo un similar comportamiento a la profundidad de 10 cm a 20 cm.

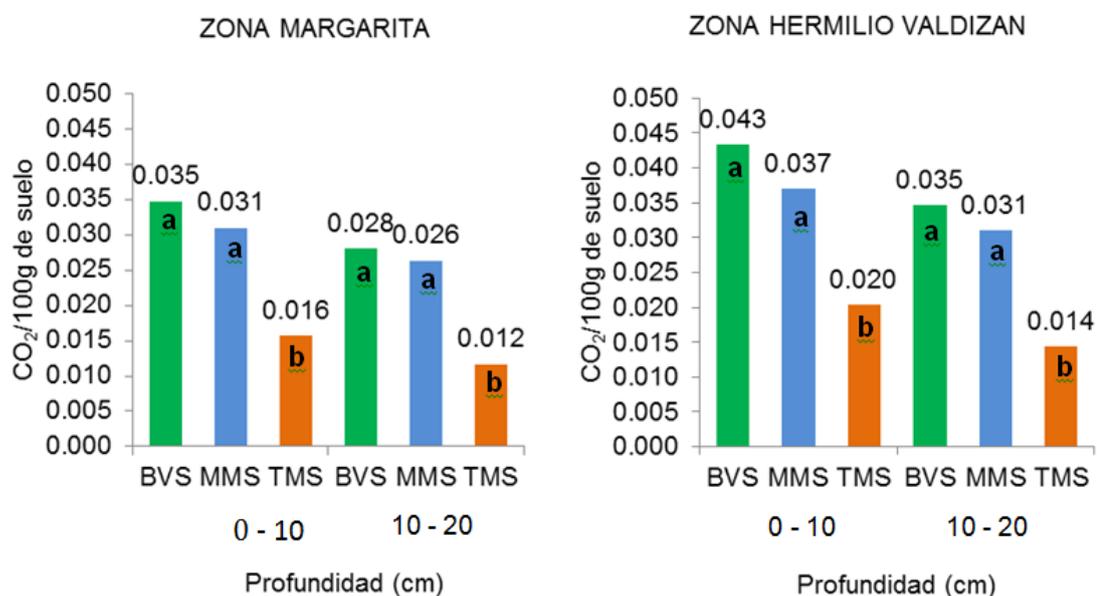


Figura 9. Respiración microbiana del suelo en CO₂/100 g de suelo y diferencias significativas (Test Tukey, P < 0.05) en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, a diferentes profundidades.

4.5. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo, de acuerdo a la prueba Tukey (Figura 10), el análisis de varianza presenta un 1.87% y 2.35% de C.V. (Cuadro 19 y 20 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm en la zona Margarita, el TMS y el BVS no mostraron diferencia significativa para el efecto del uso de los suelos, pero si ante el MMS, siendo mayor la densidad aparente el TMS y BVS, con valores promedios de 1.32 g/cm³ para el TMS, 1.28 g/cm³ para el BVS y 1.21 g/cm³ para el MMS a la primera profundidad. Este mismo comportamiento se dio de los 10 a 20 cm de profundidad, pero incrementándose la densidad aparente del suelo con la profundidad. Para la zona de Hermilio Valdizán la densidad aparente del suelo,

de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 10), el análisis de varianza presenta 1.46% y 1.37% de C.V. (Cuadro 21 y 22 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm.

El TMS y el BVS no mostraron diferencia significativa para el efecto del uso de los suelos, pero si ante el MMS, siendo mayor la Densidad Aparente del suelo el TMS y BVS, con valores promedios de 1.22 g/cm^3 para el TMS, 1.19 g/cm^3 para el BVS y 1.14 g/cm^3 para el MMS, de 0 a 10 cm de profundidad, y resultó haber diferencias significativas en los valores de Densidad Aparente del Suelo entre los Sistemas de Manejo de Suelo TMS, BVS y MMS.

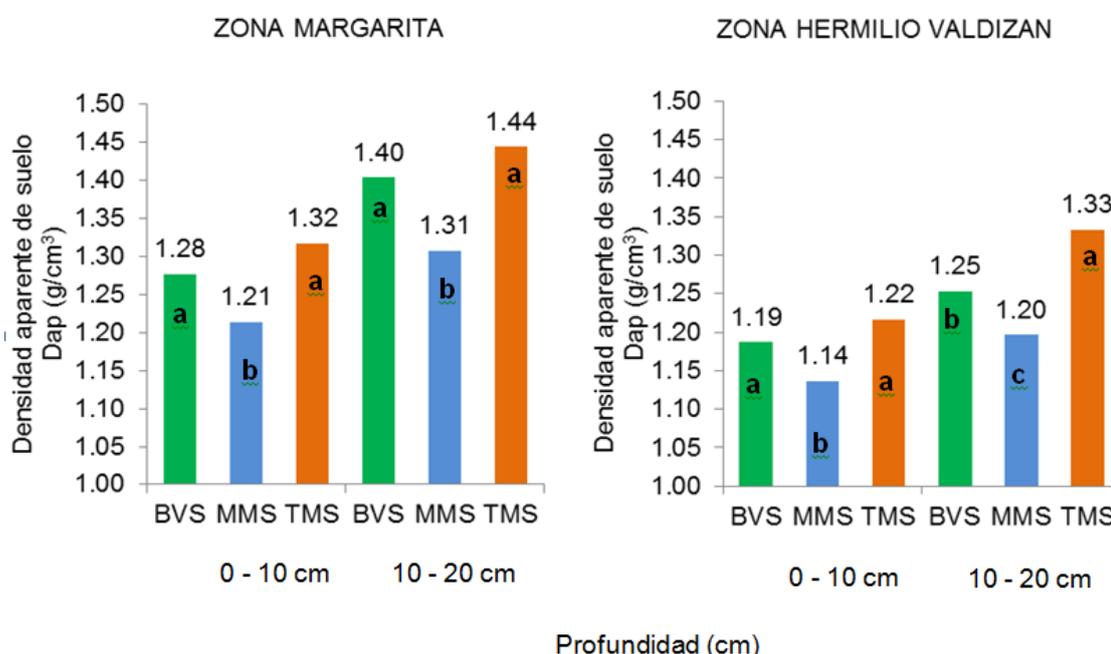


Figura 10. Densidad aparente del suelo en g/cm^3 y diferencias significativas (Test Tukey, $p < 0.05$) en Sistemas de Manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, a diferentes profundidades.

4.6. Resistencia del suelo a la penetración

La resistencia de suelo a la penetración, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 11), el análisis de varianza presenta un 10.53% y 8.31% de C.V. (Cuadro 23 y 24 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm en la zona Margarita, el TMS mostró diferencia significativa para el efecto del MMS y BVS, siendo mayor la resistencia del suelo a la penetración el TMS con valor de 2.71 kg/cm² para el TMS, mientras que 1.92 kg/cm² para el BVS y 1.53 kg/cm² para el MMS que no hubo diferencia estadística a la profundidad de 0 a 10 cm. En cambio en los 10 a 20 cm de profundidad, no mostró diferencia significativa para el TMS y MMS, pero si con el BVS, los valores promedios más altos de la resistencia del suelo a la penetración, corresponden 3.33 kg/cm² para el TMS y 2.80 kg/cm² para el MMS, diferenciando significativamente del BVS con un valor de 2.00 kg/cm².

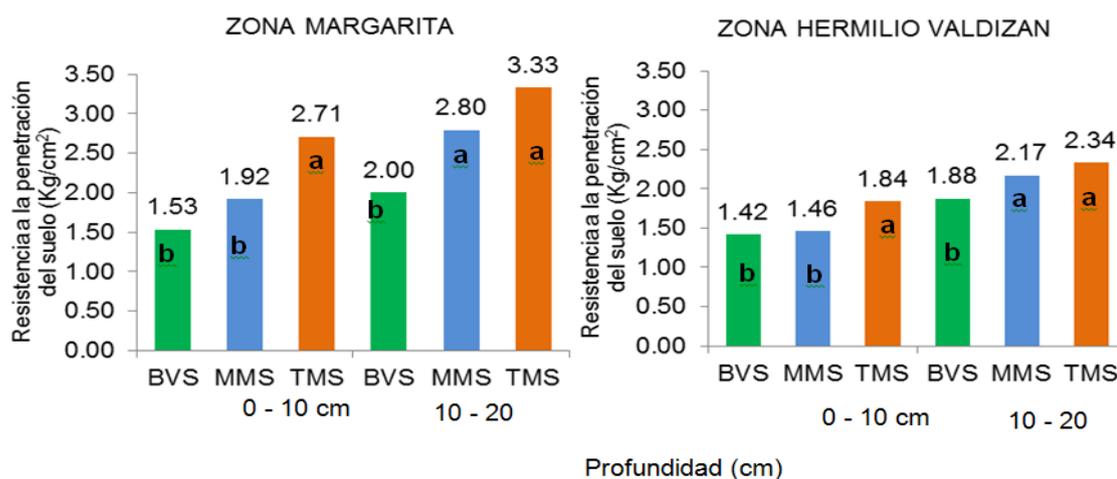


Figura 11. Resistencia del suelo a la penetración en Kg/cm² y diferencias (Test Tukey, P <0.05) en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, a diferentes profundidades.

Para la zona de Hermilio Valdizán la resistencia del suelo a la penetración, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 11), el análisis de varianza presenta 4.53% y 4.38% de C.V. (Cuadro 25 y 26 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, el TMS mostró diferencia significativa para el efecto del sistema de manejo de suelos respecto al MMS y BVS, siendo mayor la resistencia de suelo a la penetración el TMS con valor promedio de 1.84 kg/cm², mientras que 1.46 kg/cm² para el BVS y 1.42 kg/cm² para el MMS que no hubo diferencia significativa a la primera profundidad de 0 a 10 cm.

En los 10 a 20 cm de profundidad, el TMS y BVS no mostraron diferencia significativa, pero si estos, con el BVS, los valores promedios más altos de la resistencia del suelo a la penetración, corresponden 2.34 kg/cm² para el TMS y 2.17 kg/cm² para el MMS, diferenciando significativamente del BVS con un valor de 1.88 kg/cm².

4.7. Inestabilidad estructural del suelo

La inestabilidad estructural del suelo, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 12), el análisis de varianza presenta un 5.11% y 4.24% de C.V. (Cuadro 27 y 28 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm en la zona Margarita para el efecto del sistema de manejo de suelos.

El TMS y MMS, se comportaron similarmente, pero mostraron diferencia significativa al BVS, siendo mayor la inestabilidad estructural de

suelo el TMS con valor promedio de 46.98% para el TMS y 44.77% para el MMS, mientras que 37.99% para el BVS a la primera profundidad de 0 a 10 cm. Similarmente en los 10 a 20 cm de profundidad, hubo diferencia significativa respecto a la inestabilidad estructural del suelo del TMS y MMS, respecto al BVS, los valores promedios más altos de la inestabilidad estructural, corresponden 49.91% para el TMS y 46.92% para el MMS, diferenciando significativamente del BVS con un valor de 41.44%.

Para la zona de Hermilio Valdizán la inestabilidad estructural del suelo, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 12), el análisis de varianza presenta 6.16% y 3.22% de C.V. (Cuadro 29 y Cuadro 30 del anexo), respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, hubo diferencia significativa para el efecto del sistema de manejo de suelos, entre TMS y MMS no se encontró diferencia significativa, pero sí al BVS, mostrando el TMS con valor promedio de 38.99%, 37.65% para el MMS, y mientras que 31.32% para el BVS a la primera profundidad de 0 a 10 cm.

De manera similar los valores encontrados de inestabilidad se comportaron en los 10 a 20 cm de profundidad, los valores promedios más altos de inestabilidad estructural del suelo, corresponden 40.97% para el TMS y 39.61% para el MMS, diferenciando significativamente del BVS con un valor de 31.81%.

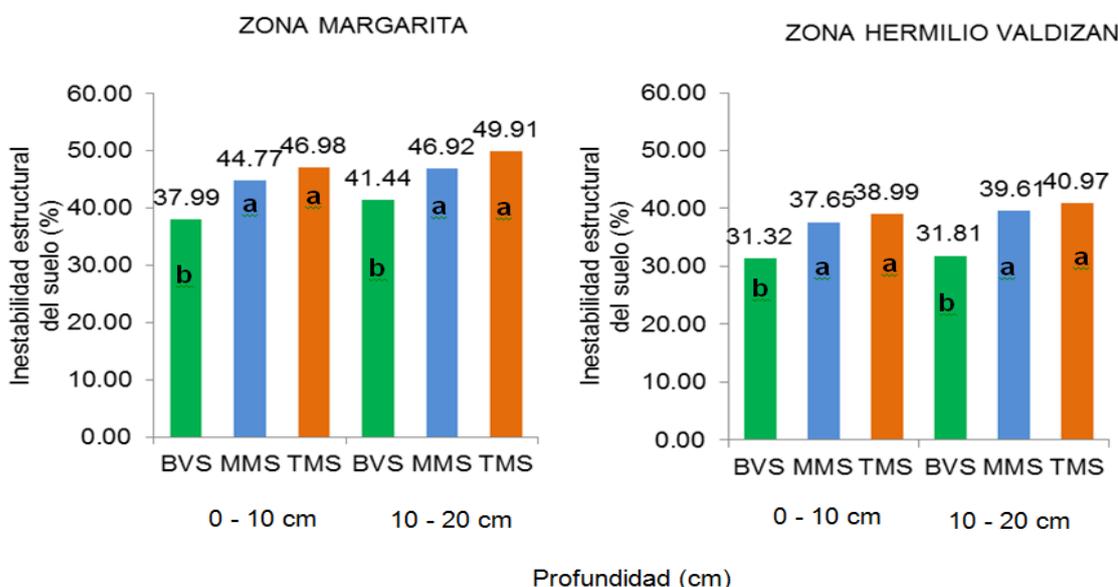


Figura 12. Porcentaje de Inestabilidad de agregados estructurales (Test Tukey, $p < 0.05$) del suelo en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán, y a diferentes profundidades.

El TMS presenta el mayor valor de inestabilidad estructural, posiblemente en respuesta al bajo contenido de materia orgánica y a la poca actividad microbiana, a diferencia de un BVS o un MMS que presentan menor inestabilidad por el contenido de materia orgánica del suelo, juntamente a la mayor actividad microbiana del suelo que van actuando con las proteínas como agentes cementantes del suelo.

4.8. Relación de la inestabilidad estructural del suelo con la materia orgánica y la respiración microbiana

La relación entre la inestabilidad estructural del suelo y el porcentaje de materia orgánica presenta una tendencia logarítmica con un R^2 igual a 0.2581, representada por la siguiente fórmula: $y = -6.15\ln(x) + 45.719$.

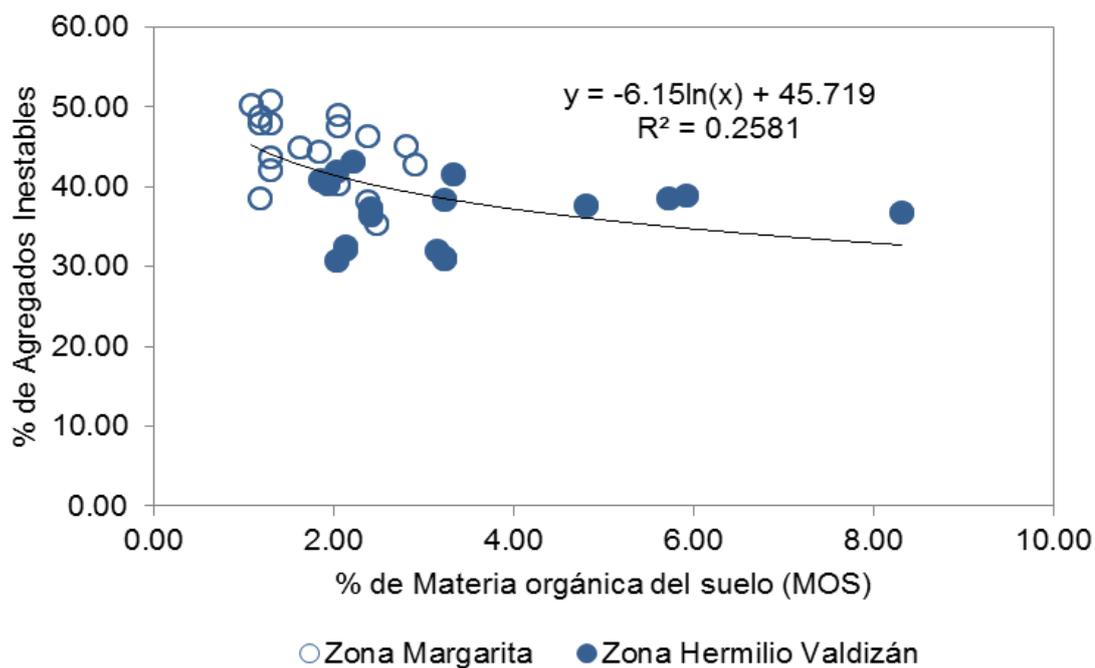


Figura 13. Relación entre el porcentaje de agregados inestables y la materia orgánica en Sistema de Manejo de Suelos en el cultivo de café a diferentes profundidades, en Margarita y Hermilio Valdizán, en la Divisoria - Tingo María.

La relación entre la inestabilidad estructural del suelo y la respiración microbiana presenta una tendencia polinómica con un R^2 igual a 0.4734, representada por la siguiente fórmula: $y = -9049.2x^2 + 89.344x + 45.937$.

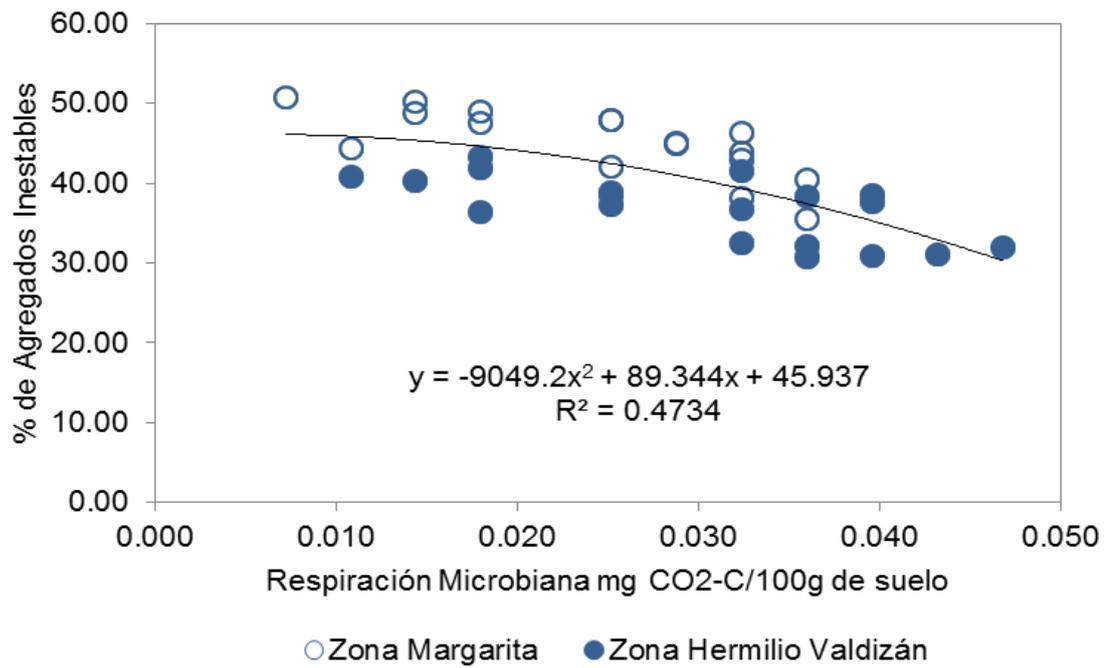


Figura 14. Relación entre el porcentaje de agregados inestables y la respiración microbiana en Sistema de Manejo de Suelos en el cultivo de café a diferentes profundidades, en Margarita y Hermilio Valdizán, en la Divisoria - Tingo María.

V. DISCUSIÓN

5.1. Biomasa vegetal

5.1.1. Biomasa herbácea arbustiva

El carbono obtenido en la biomasa herbácea y arbustiva en TMS es mucho mayor que el MMS, esto se debe a que en el sistema de manejo tradicional TMS no se realiza de manera adecuada las prácticas culturales como deshierbo, afirmado por (QUIÑE, 2008), quien en el estudio realizado, el aporte de biomasa herbácea y arbustiva en sistemas agroforestales en café en Tarapoto, encontró en el fundo Sananguillo 2.35 TM/HA a comparación del fundo Juan Bernito que obtuvo 1.89 TM/HA, donde en el fundo Sananguillo se desarrolla prácticas inadecuadas y mínimo deshierbo (QUIÑE, 2008).

5.1.2. Biomasa de hojarasca

El carbono obtenido en la hojarasca es mayor en el BVS, respecto a los MMS y TMS, esto se debe a que en el sistema de manejo de bosque BVS acumula mayor cantidad de hojarasca y densidad arbórea por hectárea (QUIÑE, 2008); contrariamente el menor contenido de biomasa de hojarasca en el MMS, se debe a la menor densidad arbórea por hectárea y a una descomposición más rápida de ésta, como consecuencia del aumento de la

temperatura, combinada con un alto grado de humedad (QUIÑE, 2008). También esto se debe al incremento de la actividad microbiológica

5.2. Materia orgánica del suelo

Los contenidos de materia orgánica, oscilaron entre 1.19% y 4.15%, siendo valores normales en suelos Inceptisoles y Alfisoles, con la diferencia en la zona de Hermilio Valdizán mostró un valor alto de 6.28% de MO para el MMS, y un valor medio de 2.69% de MO para el Sistema de Manejo Mejorado (MMS) de la zona Margarita, siendo superior en ambos casos al Sistema de Bosque Virgen (BVS), y a la vez ésta siendo superior al Sistema de manejo tradicional (TMS), explicándose esto por adición permanente de abonos orgánicos como composta durante los dos últimos años y aportes orgánicos del sombrero al suelo, y para el BVS solo del sombrero, afirmado por (ENRIQUE y SÁNCHEZ, 2007), y en el Sistema de Manejo de Suelo (TMS) se encontró los más bajos contenidos de MO para ambas profundidades y zonas.

La alta acumulación de materia orgánica en la superficie de estos suelos se debe a que la alófana adsorbe fuertemente sustancias orgánicas, limitando su degradación (BURBANO, 1989; UNIGARRO, 2005). La actividad microbiológica presenta diferentes valores con la profundidad del suelo, presentando variabilidad con la superficie del suelo, el contenido de humus indica la dinámica de MOS, correlacionado con el sistema de manejo de cultivo y características de suelo. Y por periodo de impacto los sistemas de manejo de

cultivo no ha tenido impacto en la calidad de la MOS (GIUSEPPE Lo PAPA y CARMELO DAZZI, 2006).

El carbono orgánico del suelo asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo y la estabilidad de agregados y/o la formación de estos es influenciada por el contenido de carbono en el suelo, indicado por (MONNIER, 1965; OADES y TISDALL, 1980; MUÑOS, 1990; ORELLANA y PILATTI, 1994 y RAMÍREZ, 1998).

Un sistema de manejo de bosque y un sistema de manejo tradicionales en cacao en San Martín, Perú, respecto al contenido de materia orgánica, no mostró diferencia significativa (COTRINA, 2009), lo que los resultados, difieren en los sistemas de manejo de cafetales. Siendo el Sistema de Manejo Tradicional en cafetales, presenta diferencias significativas ante los Sistemas de Manejo Mejorado y Sistema de Bosque Virgen, en Margarita y Hermilio Valdizán en la Cuenca alta de Río Azul.

5.3. Fauna del suelo

En cuanto a la fauna del suelo, BARRIOS (2010) realizó un estudio a nivel de mezofauna encontrando un mayor contenido de especies en un área de 1 ha de muestreo, y aplicando el método de Shanon y Winner para toda la diversidad tuvo como resultado 0.98 en promedio y los resultados obtenidos en esta investigación de 0 – 10 cm la diversidad promedio de 1.22 y 1.24 en el

BVS para las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán siendo en este sistema donde se encuentra la mayor diversidad. Según estos índices probablemente debido a que se encuentra en un bosque. También el MMS mostró mayor diversidad de fauna que el TMS, Esto debido a la materia orgánica incorporada al suelo, que ha incrementado la actividad biológica tanto en micro y macro fauna del suelo, en estudios desarrollados en Selva Central (CONTRERAS y ADRIAZOLA, 2012). Donde se encontró la menor diversidad es el TMS a para ambas zonas, variando en el número de poblaciones de las distintas unidades taxonómicas encontradas en el muestreo.

5.4. Respiración microbiana en el suelo

La eficiencia microbiana medida mediante la respiración microbiana evidenció una disminución de 10 a 20 cm de profundidad, como se muestra en los resultados para ambas zonas (GERALDES *et al.*, 1995).

La actividad biológica puede estimarse a través de indicadores que generan información sobre la dinámica de la materia orgánica en el suelo, entre ellos la actividad microbiana y la biomasa microbiana. Estas propiedades permiten estimar la calidad biológica del suelo, por cambios en el manejo agronómico y sufrir cambios frente al estrés ambiental (SANCHEZ, 2000).

Las diferencias significativas mostraron mayor respiración microbiana en suelos bajo sombra, encontrándose en el BVS y MMS, guardando relación con el contenido de materia orgánica, estrechamente

ligadas a ciclos de mineralización de la materia orgánica y disponibilidad de nutrientes para las plantas (ENRIQUE y SÁNCHEZ, 2007).

Un suelo típico manejado en forma convencional y con enmiendas orgánicas, el tratamiento convencional tuvo menor actividad biológica, medida a través de la producción de CO₂, mientras que el suelo donde fue incorporado abono animal tuvo la mayor tasa respiratoria (WANDER *et al.*, 1994), lo que concuerda con los resultados obtenidos, que en el MMS fue mucho mayor la actividad respiratoria en el suelo, posiblemente debido a la incorporación de composta enriquecida con microorganismos eficientes, siendo muy cercano a BVS, pero sí existiendo diferencia significativa ante el TMS que fue la menor actividad respiratoria, tal como se encontró que los valores de acuerdo a los sistemas de uso de suelo muestran claramente que a mayor contenido de materia orgánica existe mayor actividad microbiana y por consiguiente mayor liberación de CO₂.

5.5. Densidad aparente

En la densidad aparente, los valores fluctúan entre 1.0 y 1.7 g/cm³ y aumentan con la profundidad en el perfil (ARSHAD *et al.*, 1996), que son valores aceptables en el estudio. Valores inferiores a 1.0, son característicos de suelos orgánicos (FORSYTHE, 1985), y que se encuentran en los 5 cm de profundidad del suelo. En la compactación y las restricciones al crecimiento de raíces, en cuanto mayor es la densidad, menor es el espacio poroso, crecimiento, penetración de raíces, y el desarrollo de plantas (USDA, 1999).

5.6. Resistencia del suelo a la penetración

El MMS y el BVS mantienen hasta en los 10 centímetros de profundidad del suelo y en ambas zonas una consistencia suave y de poca resistencia respecto al TMS, mientras que de 10 a 20 cm solo el BVS presenta poca resistencia de suelo a la penetración, lo que indica que los sistemas de manejo tradicional (TMS) tienen consistencia dura respecto a los MMS y BVS, y se analiza que la resistencia del suelo a la penetración se incrementa con la profundidad, corroborado por COTRINA (2009).

El criterio para establecer los límites de profundidad para cada clase radica entre la compactación y enraizamiento. A medida que la compactación es más superficial en el perfil, el crecimiento de las raíces queda confinado principalmente en los primeros centímetros del perfil (BARRACLOUGH, 1991).

A pesar de la resistencia a la penetración será afectada por la textura, densidad del suelo y contenido de agua (CORLETT, 1995), sugiere que valores encima de 2.5 kg/cm^2 , comienzan a restringir el pleno crecimiento de las raíces de las plantas. Otros investigadores, consideran críticos los valores que varían de 6.0 a 7.0 kg/cm^2 en suelos arenosos y en torno de 2.5 Kg/cm^2 para suelos arcillosos (OADES, 1980), 3 Kg/cm^2 de resistencia a la penetración constituye un impedimento mecánico para el crecimiento de las raíces (MATERECHERA *et al.*, 1992 y VOGEL, 1992).

Las prácticas de manejo de suelos mediante la incorporación de materia orgánica al suelo pueden reducir la resistencia a la penetración en forma considerable (AGGARWAL y GOSWAMI, 2003).

5.7. Inestabilidad estructural del suelo

El menor porcentaje de agregados inestables se debe principalmente al revestimiento de los agregados por la materia orgánica, que evita el efecto degradante del agua; lo que cuando hay mayor presencia del contenido de materia orgánica del suelo, la actividad microbiana es mayor, conducen a la unión de partículas del suelo y consecuentemente a un incremento de la agregación (USDA, 1999).

El TMS presenta el mayor valor de inestabilidad estructural, posiblemente en respuesta al bajo contenido de materia orgánica y a la poca actividad microbiana, a diferencia de un BVS o un MMS que presentan menor inestabilidad por el contenido de materia orgánica del suelo, juntamente a la mayor actividad microbiana del suelo que van actuando con las proteínas como agentes cementantes del suelo.

El índice de la estabilidad estructural del suelo es una estimación de la calidad del suelo, que indica el grado de cercanía, a las condiciones para el crecimiento de las plantas, que dispone de una condición física en la cual el suelo sea un conjunto óptimamente friable, suelto y poroso de agregados, que permiten el libre movimiento de agua y aire, germinación y crecimiento de raíces sin obstrucción, y además de su resistencia a las fuerzas externas a ser

destruidas (HILLEL, 1982), en cuanto menor sea el porcentaje de agregados inestables, será menor la erodabilidad del suelo.

5.8. Relación de la inestabilidad estructural del suelo con la materia orgánica y la respiración microbiana

Los agregados inestables se incrementa cuando disminuye el contenido de materia orgánica en el suelo, afirmado por KEMPER (1966) y FERRERAS *et al.* (2007), el contenido de materia orgánica superiores a 2% incrementa apreciablemente la estabilidad estructural del suelo en las zonas de Hermilio Valdizán y Margarita, se debe a la presencia de la actividad microbiana en el suelo.

Los agregados inestables se muestran cuando menor es la respiración microbiana, definida por la actividad microbiana en el suelo, esto concuerda por lo afirmado por KEMPER (1966), quien afirma que los agentes de ligazón de los agregados son las hifas de los hongos, polisacáridos, resultados de la actividad biológica, confirmando que la materia orgánica incorporada con microorganismos eficientes en cafetales, resultará menor porcentaje de agregados inestables.

A esto se deduce que uno de los indicadores más sensibles, que proporciona información relevante a la fertilidad física es el porcentaje de inestabilidad estructural, afirmado por (FERRERAS *et al.*, 2007), y que estos suelos tendrá mayor resistencia a la erosión al impacto de la gota de la lluvia (TEXEIRA y MISRA, 1997).

VI. CONCLUSIONES

1. El contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva, respecto al sistema de manejo de suelo, mostró diferencias, el TMS presentó valores de 1.13 TM/ha y 1.17 TM/ha para las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán respectivamente, siendo superiores al MMS y BVS.
2. El carbono encontrado en la biomasa de hojarasca, en los sistemas de manejo de suelos, mostró diferencias, el BVS presentó valores de 61.75 TM/ha y 63.85 TM/ha para las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán respectivamente, siendo mucho menor en el MMS y TMS.
3. La Materia Orgánica en el Suelo (MOS), en los sistemas de manejo de suelos en cafetales, es superior en los primeros 10 centímetros de profundidad, mostrando diferencias significativas entre sistemas de manejo de suelos. El MMS mostró mayor valor ante el BVS, y ésta a su vez ante el TMS, para ambas zonas.
4. El BVS presentó mayor diversidad de clases taxonómicas de macrofauna del suelo en comparación al MMS y TMS, además la diversidad disminuye al incrementarse la profundidad de suelo.

5. La actividad respiratoria presentó diferencias para los sistemas de Manejo de suelos en las zonas estudiadas. El MMS, presentó valores de 0.031 mg de CO₂-C/100g de suelo y 0.037 mg de CO₂-C/100g, respectivamente para la zona de Margarita y Hermilio Valdizán, siendo muy cercano al BVS, pero sí existiendo diferencia ante el TMS, que fue menor la actividad respiratoria de los microorganismos.
6. La densidad aparente se modifica con la incorporación de materia orgánica al suelo, se encontró mayor densidad a mayor profundidad, existiendo diferencias entre sistemas de manejo de suelo. El MMS presentó valores de 1.21 g/cm³ y 1.14 g/cm³, en promedio para las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán respectivamente, presentando diferencia ante el BVS y TMS.
7. La resistencia del suelo a la penetración, presentó diferencias en los sistemas de manejo de suelos, el MMS presentó valores de 1.92 kg/cm² y 1.46 kg/cm² respectivamente para la zona de Margarita y Hermilio Valdizán, comportamiento similar a el BVS y siendo menor en el TMS con diferencias significativas, lo que el MMS no presenta compactación de suelos y que los TMS se encuentran muy cercano a la compactación.
8. La inestabilidad estructural del suelo presenta diferencias entre sistemas de manejo, el MMS presenta valores de 44.77% y 37.65%, para las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán respectivamente, siendo inestable al BVS con diferencias significativas, pero con valores de inestabilidad

numéricamente fueron menores al TMS, que se atribuye principalmente al revestimiento de los agregados por la materia orgánica y la alta actividad microbiana en el MMS.

9. Se encontró una relación que a mayor contenido de materia orgánica y actividad microbiana en el suelo, disminuye la inestabilidad estructural de suelos con cultivos de café en la zona de Divisoria.

VII. RECOMENDACIONES

1. Incentivar el cultivo de café bajo el sistema de manejo mejorado (MMS) debido a que preserva la calidad del suelo en la zona cafetalera de la selva alta del Perú.
2. En otras investigaciones similares, evaluar los efectos de los abonos orgánicos enriquecidos con microorganismos eficientes, el recurso suelo, productividad y su impacto al ambiente en las parcelas con cultivos de café.
3. La actividad respiratoria de los microorganismos y la inestabilidad estructural de los suelos, son los parámetros más sensibles para determinar el estado del suelo que indique su preservación respecto al tiempo.

VIII. ABSTRACT

Biological and physical properties of soil under different management systems in the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L.) in the Divisoria – Tingo María.

Managing in the culture of coffee (*Coffea arabica* L.), Leoncio Prado carried out the investigation in the period of February – August, 2011 in the sectors Hermilio Valdizán and Daisy located in the high part of the micro basin Blue Río, province. There delimited plots with System of improved managing – MMS (1 rub and without burning), System of managing tradicional – TMS (1 rub, it falls down and burning) and System of virgin forest – BVS (some providing useful wood trees were controlled by hunt for animals and extraction), you parcel that located in each one in both sectors. One found that the content of carbon in the herbaceous biomass and arbustiva was major in the TMS; the carbon found in the biomass of verbiage was top in the BVS; the Organic Matter in the soil (MOS), the diversity of classes taxonomical of macrofauna, the respiratory activity, the apparent density, the resistance of the soil to the penetration and the structural instability of the soil present top values in the MMS; in addition one found a relation that to major content of organic matter and microbial activity in the soil, diminishes the structural instability of soils with cultures of coffee.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, E., MARTÍNEZ, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, E.: Sustentabilidad en Cultivos Anuales. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas. 8: 13-25.
- AGGARRWAL, P., GOSWAMI, B. 2003. Bed planting system for increasing water use efficiency of wheat grown on Inceptisol. Indian J. Agric. Sci. 73: 422-425.
- ALEGRE, J., ARÉVALO, L., RICSE, R. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú.
- ARAÚJO, M.A., TORMENA, C.A., INOUE, T.T., COSTA, A.C.S. 2004. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28: 459- 504.
- ARSHAD, M., LOWERY, B., GROSSMAN, B. 1996. Physical test for monitoring soil quality. pp. 123-142.
- BARRACLOUGH, P., WEIR, A., KUHLMANN, H. 1991. Factors affecting the growth and distribution of Winter wheat roots under UK field conditions. Ed McMichael B.I. y H. Persson. Plant roots and their environment.

Proceeding of an ISSR symposium, Uppsala, Sweden. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands. pp. 410-417.

BARRIOS, L. 2010. Efecto del estiércol y el aserrín en la génesis de la estructura del suelo degradado en Tingo María. Segunda práctica pre profesional. Recursos Naturales Renovables mención Conservación de Suelos y Agua. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 59 p.

BAUDER, A., BLACK, A.L. 1981. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 1166-1170.

BAVER, L., FARWOETH, R. 1972. Soil structure effects in the growth of sugar beets. Soil Science Society of America Proceedings, Madison. pp.45-48.

BAZAN, R., ROMERO, C., VALENCIA, M., NAZARIO, J., GRACÍA, S. 2000. Guía de prácticas de edafología. Departamento de suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. 49 p.

BEGON, M., HARPER, J. L., TOWNSEND, C.R. 1995. Ecología: Individuos, Poblaciones y comunidades. Barcelona, España, Omega, S.A. 886 p.

BEZDICEK, D.C., PAPENDICK, R.I., LAL, R. 1996. Introduction: Importance of Soil Quality to Health and Sustainable Land Management. En: Doran, J. W. & Jones, A.J., (eds.) Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication, Number 49: 1-8.

- BORIE, G., AGUILERA, S.M., PEIRANO, P. 1999. Actividad biológica de suelos. *Forntera agrícola*. 5, 29-32.
- BRADFORD, J.M. 1986. Penetrability p. 468-471. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. ASA and SSSA, Madison, WI.
- BURBANO, H. 1989. *El suelo: Una visión sobre sus componentes bioorgánicos*. Pasto: Universidad de Nariño. 447 p.
- BUSCHIAZZO, D.E., PANIGATTI, J.L., UNGER, P.W. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49: 105-116.
- CARTER, M.R. 1986. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. *Soil Till. Res.* 7: 29-40.
- CARVALHO, R., GOEDERT, W.J., ARMANDO, M.S. 2004. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:1153-1155.
- CONTRERAS, E., ADRIAZOLA, J. 2012. Efecto de la pulpa de café y la fertilización química en el rendimiento y en la macrofauna edáfica del cultivo de café (*Coffea arábica* L.). *Investigación y amazonía* 2011, 1(2): 53-58.
- CORLETT, R. 1995. Tropical secondary forest. *Progress in Physical geography*. Ottawa. pp. 159-172.

- CORREIA, M.E.F., OLIVEIRA, L.C.M. 2000. De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapa agrobiología, fev. 46 p. (Embrapa Agrbiología. Documentos, 112).
- COTRINA, L. 2009. Índice de estabilidad estructural de agregados en suelos ácidos, bajo dos sistemas de uso en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). Tesis ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 44 p.
- DE AGUIAR, M. 2008. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais – Brasil.
- DEXTER, A.R. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 201-214.
- DÍAZ-ZORITA, M., DUARTE, G.A., GROVE, J.H. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.
- DORAN, J.W., ZEISS, M.R. 2000. Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol. *Appl. Soil Ecol.* 15: 3-11.
- DORAN, JW & TB PARKIN. 1994. Defining an assessing soil quality. In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Doran, JW; DC Coleman; DF Bezdieck & BA Stewart (eds.). 35 SSSA Special Publication, Madison, WI. pp. 3-21.

- EIZA, M.J., FIORITI, N., STUDEDERT, G.A., ECHEVERRÍA, H.E. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23: 59-68.
- ENRIQUE, I., SANCHEZ DE, M. 2007. Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades físicas del suelo en la meseta de Popayán. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Colombia.* 5(2): 39-43.
- FERRERAS, L., MAGRA, G., BESSON, P., KOVALEVSKI, E., GARCIA, F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. *Ci. Suelo (Argentina)* 25(2): 159-172.
- FERRERAS, L., TORESANI, S., BONEL, B., FERNANDEZ, E., BAGUCIGALPO, S., FAGGIOLI, V., BELTRAN, C. 2009. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad en diferentes manejos. *Ci. Suelo (Argentina)* 27(1): 103-114.
- FORSYTHE, W. 1985. *Manual de laboratorio. Física de suelos.* Instituto interamericano de ciencias agrícolas. San José, Costa Rica. 212 p.
- FRANZLUBBERS, A.J., HONS, F.M., Zuberer, D.A. 1994. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1639–1645.
- GERALDES, A.P.A., CERRI, C.C., FEIGL, B.J. 1995. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. *Rev. Bras. Ci. Solo* 19:55-60.

- GIUSEPPE Lo PAPA, CARMELO, D. 2006. Effects of different cropping systems on soil organic matter quality in a xeric environment (Italy). *In: X Congreso Nacional y III Internacional de la ciencia del suelo. 2006. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. p. 51.*
- GOBIERNO REGIONAL DE HUÁNUCO. 2012. Suelos y Capacidad de Uso Mayor. Zonificación Ecológica y Económica de la Provincia Leoncio Prado. 31 p.
- HAMMEL, J.E. 1989. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1515-1519.
- HARDY, F. 1970. Suelos Tropicales. Pedología tradicional con énfasis en América. Ediciones Henneo Hnos. México.
- HILLEL, D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press, New York. 413 p.
- HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. 2da ed. Academic Press, San Diego, CA. 470 p.
- HOLDRIDGE, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. San José de Costa Rica. Costa Rica. 216 p.
- HORNA, I. 2000. Caracterización agroecológica del fundo La Divisoria, con énfasis en suelos relacionados con la vegetación. Tesis para optar el

- título de: ingeniero en recursos Naturales Renovables, Mención Conservación de Suelos y Aguas. Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 110 p.
- ICT. 2004. Manejo y transferencia de tecnología del cacao en el Perú. Chiclayo, Perú. 389 p.
- I.G.A.C. 1990. Manual de métodos analíticos de laboratorio de suelos. Subdirección agrológica. Bogotá, Colombia.
- KAY, B.D. 1998. Soil structure and organic carbon: Soil processes and the carbon cycle a review. Ed. Lal, R., Kimble, J., Follet, R. and Stewart, B. CRC Press, Estados Unidos. pp. 169-197.
- KEMPER, W.D., KOCH, E.J. 1966. Aggregate stability of soils from Western United States and Canada. USDA-ARS Tech Bull No. 1355. US Gov. Print. Office, Washington, DC.
- LAVELLE, P., PANAHASI, B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia. En *Pedobiología* 33: 283-291.
- LAVELLE, P. 1984. The Soil Systems Humid Tropics. En: *Biology International*. 9: 2-17.
- MADIGAN, T., MARTINKO, J., PARKER, J. 2004. *Brock-Biology of Microorganisms*. Prentice Hall, Editions Pearson Education, NJ. 150 p
- MARTINEZ, E., FUENTES, J.P., ACEVEDO, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 8(1): 68-96.

- MATERECHERA, S., ALSTON, E., KIRBY, M., DEXTER, A. 1992. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into compacted subsoil. *Plant soil*. pp. 297-303.
- MONNIER, G. 1965. Action des matieres organiques sur la stabilité structurales des sols. *Ann. Agron.* pp. 327-400.
- MORALES, R., BERNAL, G., LÓPEZ, M., CALVACHE, M. s/d. Estudio de la diversidad microbiana en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*), y cultivos de pastos y arroz (*Oriza sativa*) en dos tipos de suelo del sur de Manabí..
- NAVARRO G., NAVARRO B. 2003. "Química agrícola": El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2 ed. Madrid, España, Mundi-prensa. 486 p.
- NUÑEZ, J. 2001. Manejo y conservación de suelos. Asociación de Industria Gráfica Costarricense – ASOINGRAF, San José, Costa Rica. 254 p.
- OADES, J. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- OADES, J., TISDALL, M. 1980. Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. *Plant soil*. pp. 319-337.
- ORELLANA, J., PILATTI, M. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del suelo*. 12(2):75-80.

- PANAHASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía Peruana. FOLIA AMAZÓNICA, 12 (1-2): 75-97
- PANKHURST, C.E., HAWKE, B.G., MCDONALD, H.J., KIRBY, C.A., BUCKERFIELD, J.C., MICHELSEN., O'BRIEN, K.A., GUPTA, V.V.R., DOUBE, B.M.1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. Austr. J. Agric. Res. 35: 1015-1028.
- PORTA, J., LÓPEZ ACEVEDO, M., ROQUERO, C. 1999. Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente. 2 ed. Mundi-Prensa.
- PULGAR, J. 1981. Geografía del Perú. Las ocho regiones naturales del Perú. 8ava edición. Editorial Universo S.A. Lima, Perú.
- QUIÑE, P. 2008. Biomasa y reserva de carbono en sistemas agroforestales de café (*coffea arabica*) en diferentes pisos altitudinales. Tesis Ing. Agrónomo. Tarapoto, Perú. Universidad Nacional de San Martín. 40 p.
- RAMÍREZ, R. 1999. Evaluación de la aplicación del abono tipo bocashi en las propiedades físicas de un suelo degradado del municipio de Marinilla, Antioquía. 24(2):55-58.
- RAMÍREZ, R., SALAZAR, C.I. 2005. Cambios de la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un andisol-marinilla la montaña. Marinilla. 22 p.

- RENGIFO, M. 2010. Aislamiento e identificación de fungi y bacterias en abono orgánico bocashi. Tesis ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 49 p.
- REYNOLDS, W.D., BOWMAN, B.T., RURY, C.F., TANA, C.S., LU, M. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146.
- SALINAS-GARCÍA, J.R., HONS, F.M., MATOCHA, J.E. 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 152-159.
- SANCHEZ de M., GÓMEZ, E.D. 2000. El suelo: Un sistema vivo. Cuaderno ambiental N° 1. Universidad Nacional de Colombia – Palmira. Instituto de estudios ambientales. 14 p.
- SENAMHI. 2013. Estación Meteorológica La Divisoria, distrito Hermilio Valdizán, Provincia Leoncio Prado – Huánuco. Información preparada.
- SWIFT, R.S. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166, 858-871.
- SYLVIA, D.M., FUHRMANN, J., HARTEL, P.G., ZUBERER, D.A. 1999. Principles and applications of soil microbiology. United States of América. Hall. Inc. 480 p.
- TATE, R. 1995. Soil microbiology. Jhon wiley and Sons. New York. 27(5): 56-58.

- TEXEIRA, P.C., MISRA, R.K. 1997. Erosion and sediment characteristics of cultivated forest soils as affected by the mechanical stability of aggregates. *Catena* 30: 119-134.
- TOPP, G.C., REYNOLDS, W.D., COOK, F.J., KIRBY, J.M., CARTER, M.R. 1997. Physical attributes of soil quality. Elsevier, New York, 25: 21- 58.
- UNIGARRO, A. 2005. Evaluación de la calidad de suelo Dystric Cryandepht mediante la determinación de alguna propiedades biológicas, químicas y físicas, en el santuario de flora y fauna galeras, Nariño. Universidad nacional de Colombia. Palmira. *Act Agrom.* Vol 54 (4): 7-12.
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. Trad. LUTER A., SALAZAR J. CNIA – Argentina. 88 p.
- VOGEL, H. 1992. Morphological and hidrological characteristics of gleyic granitic soils and their potential for crop production. A case study from Zimbabwe. *Soil Technology.* pp. 303-317.
- WANDER, M.M., TRAINA, S.J., STINNER, B.R., PETERS, S.E. 1994, Organic and conventional management effects on biologically active soil orgnic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1130-1139.
- ZARATE, R., MORY, T. 2010. Vegetación, informe temático. Proyecto meso zonificación ecológica y económica para el desarrollo sostenible de la selva de Huánuco. IIAP – DEVIDA - MPLP. Iquitos, Perú.

ANEXO

Anexo 1. Análisis de varianza de las variables

Cuadro 7. ANVA de biomasa herbácea y arbustiva, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	1.41727	2	0.70863	15.178	0.0045	*
Error	0.28013	6	0.04669			
Total	1.6974	8				

C.V. = 36.83%

Cuadro 8. ANVA de biomasa herbácea y arbustiva, Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	1.5432	2	0.7717	10.0976	0.012	*
Error	0.4585	6	0.0764			
Total	2.0019	8				

C.V. = 37.81%

Cuadro 9. ANVA de biomasa de hojarasca, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	6618.09	2	3309.05	45.1	0.0002	*
Error	440.21	6	73.37			
Total	7058.31	8				

C.V. = 36.6%

Cuadro 10. ANVA de biomasa de hojarasca, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	6830.83	2	3415.41	11.61	0.0087	*
Error	1765.08	6	294.18			
Total	8595.91	8				

C.V. = 68.89%

Cuadro 11. ANVA de materia orgánica del suelo de 0 – 10 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	0.77	2	0.39	7.86	0.0211	*
Error	0.29	6	0.05			
Total	1.07	8				

C.V. = 9.54%

Cuadro 12. ANVA de materia orgánica del suelo de 10 – 20 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	0.05	2	0.02	1.14	0.3805	NS
Error	0.13	6	0.02			
Total	0.18	8				

C.V. = 11.59%

Cuadro 13. ANVA de materia orgánica del suelo de 0 – 10 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	25.75	2	12.87	11.63	0.0086	*
Error	6.64	6	1.11			
Total	32.39	8				

C.V. = 26.70.

Cuadro 14. ANVA de materia orgánica del suelo de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	9.18	2	4.59	5.92	0.0381	*
Error	4.65	6	0.78			
Total	13.83	8				

C.V. = 32.29%.

Cuadro 15. ANVA de respiración microbiana del suelo de 0 – 10 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	6.10E-04	2	3.05E-04	37.07	0.0004	*
Error	4.93E-05	6	8.22E-06			
Total	6.59E-04	8				

C.V. = 10.58%

Cuadro 16. Análisis de varianza de Respiración microbiana del suelo de 10 – 20 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	4.62E-04	2	2.31E-04	18.22	0.0028	*
Error	7.60E-05	6	1.27E-05			
Total	5.38E-04	8				

C.V. = 16.34%.

Cuadro 17. Análisis de varianza de Respiración microbiana del suelo de 0 – 10 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	8.28E-04	2	4.14E-04	27.81	0.0009	*
Error	8.93E-05	6	1.49E-05			
Total	9.18E-04	8				

C.V. = 11.61%.

Cuadro 18. Análisis de varianza de respiración microbiana del suelo de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	7.05E-04	2	3.52E-04	21.72	0.0018	*
Error	9.73E-05	6	1.62E-05			
Total	8.02E-04	8				

C.V. = 15.10%.

Cuadro 19. Análisis de varianza de densidad aparente del suelo de 0 – 10 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	0.0163	2	0.0081	14.3725	0.0051	*
Error	0.0034	6	0.0006			
Total	0.0197	8				

C.V. = 1.87%.

Cuadro 20. Análisis de varianza de densidad aparente del suelo de 10 – 20 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	0.0296	2	0.0148	13.8854	0.0056	*
Error	0.0064	6	0.0011			
Total	0.036	8				

C.V. = 2.35%.

Cuadro 21. Análisis de varianza de Densidad aparente del suelo de 0 – 10 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	0.0098	2	0.0049	16.3333	0.0037	*
Error	0.0018	6	0.0003			
Total	0.0116	8				

C.V. = 1.46%.

Cuadro 22. Análisis de varianza de Densidad aparente del suelo de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	0.0283	2	0.0141	47.1481	0.0002	*
Error	0.0018	6	0.0003			
Total	0.0301	8				

C.V. = 1.37%.

Cuadro 23. Análisis de varianza de resistencia del suelo a la penetración de 0 – 10 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	2.1582	2	1.0791	23.0500	0.0015	*
Error	0.2809	6	0.0468			
Total	2.4390	8				

C.V. = 10.53%.

Cuadro 24. Análisis de varianza de resistencia del suelo a la penetración de 10 – 20 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	2.6863	2	1.3431	26.4572	0.0011	*
Error	0.3046	6	0.0508			
Total	2.9909	8				

C.V. = 8.31%.

Cuadro 25. Análisis de varianza de resistencia del suelo a la penetración de 0 – 10 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	0.3171	2	0.1585	31.2232	0.0007	*
Error	0.0305	6	0.0051			
Total	0.3476	8				

C.V. = 4.53%.

Cuadro 26. Análisis de varianza de resistencia del suelo a la penetración de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	0.3254	2	0.1627	18.7263	0.0026	*
Error	0.0521	6	0.0087			
Total	0.3776	8				

C.V. = 4.38%.

Cuadro 27. Análisis de varianza de Inestabilidad estructural del suelo de 0 – 10 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	131.8083	2	65.9041	13.4946	0.006	*
Error	29.3025	6	4.8838			
Total	161.1108	8				

C.V. = 5.11%.

Cuadro 28. Análisis de varianza de Inestabilidad estructural del suelo de 10 – 20 cm, zona Margarita.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	110.7878	2	55.3939	14.5022	0.005	NS
Error	22.9181	6	3.8197			
Total	133.7059	8				

C.V. = 4.24%.

Cuadro 29. Análisis de varianza de Inestabilidad estructural del suelo de 0-10 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	100.6934	2	50.3467	10.229	0.0117	*
Error	29.5316	6	4.2919			
Total	130.2250	8				

C.V. = 6.16%.

Cuadro 30. Análisis de varianza de Inestabilidad estructural del suelo de 10 – 20 cm, zona Hermilio Valdizán.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor	Sig.(0.05)
Sistema	146.4822	2	73.2411	50.079	0.0002	*
Error	8.7751	6	1.4625			
Total	155.2572	8				

C.V. = 3.22%.

Anexo 4. Formato de evaluación.

HOJA DE TRABAJO

Biomasa Herbácea Arbustiva y de Hojarasca

Zona :

Fecha :

Evaluador :

SISTEMA	Peso fresco/m ² PFT	Peso fresco de la muestra (g) PFM	peso seco de muestra +papel	peso de papel	peso seco de la muestra (g) PSM	BAH (TM/HA)	Promedio BAH (TM/HA)
Biomasa Herbácea Arbustiva							
BVS							
BVS							
BVS							
MMS							
MMS							
MMS							
TMS							
TMS							
TMS							
Biomasa de Hojarasca							
BVS							
BVS							
BVS							
MMS							
MMS							
MMS							
TMS							
TMS							
TMS							

HOJA DE TRABAJO

Materia orgánica del suelo

Zona :

Fecha :

Evaluador :

SISTEMA	Profundida (cm)	peso de muestra (g)	gasto en ml de sal de mohr (titulación)	% de MO	% promedio de MO
BVS1	0-10				
BVS1	10-20				
BVS2	0-10				
BVS2	10-20				
BVS3	0-10				
BVS3	10-20				
MMS1	0-10				
MMS1	10-20				
MMS2	0-10				
MMS2	10-20				
MMS3	0-10				
MMS3	10-20				
TMS1	0-10				
TMS1	10-20				
TMS2	0-10				
TMS2	10-20				
TMS3	0-10				
TMS3	10-20				

HOJA DE TRABAJO

Densidad Aparente

Zona :

Fecha :

Evaluador :

Sistema	Profundidad (cm)	Peso de muestra (g)	Volumen (cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)
BVS1	0-10			
BVS1	10-20			
BVS2	0-10			
BVS2	10-20			
BVS3	0-10			
BVS3	10-20			
MMS1	0-10			
MMS1	10-20			
MMS2	0-10			
MMS2	10-20			
MMS3	0-10			
MMS3	10-20			
TMS1	0-10			
TMS1	10-20			
TMS2	0-10			
TMS2	10-20			
TMS3	0-10			
TMS3	10-20			

HOJA DE TRABAJO

Resistencia del suelo a la penetración

Zona :

Fecha :

Evaluador :

Sistema	Profundidad (cm)	Ensayo 1	Ensayo 2	Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Media (kg/cm ²)
BVS1	0-10				
BVS1	10-20				
BVS2	0-10				
BVS2	10-20				
BVS3	0-10				
BVS3	10-20				
MMS1	0-10				
MMS1	10-20				
MMS2	0-10				
MMS2	10-20				
MMS3	0-10				
MMS3	10-20				
TMS1	0-10				
TMS1	10-20				
TMS2	0-10				
TMS2	10-20				
TMS3	0-10				
TMS3	10-20				

HOJA DE TRABAJO

Inestabilidad estructural del suelo

Zona :

Fecha :

Evaluador :

Sistema	Profundidad	volumen en ml al agua	volumen en ml en KCL	inestabilidad estructural (diferencia de volúmenes)	Inestabilidad estructural en %
BVS1	0-10				
BVS1	10-20				
BVS2	0-10				
BVS2	10-20				
BVS3	0-10				
BVS3	10-20				
MMS1	0-10				
MMS1	10-20				
MMS2	0-10				
MMS2	10-20				
MMS3	0-10				
MMS3	10-20				
TMS1	0-10				
TMS1	10-20				
TMS2	0-10				
TMS2	10-20				
TMS3	0-10				
TMS3	10-20				

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 15. Vista de un Sistema de Bosque Virgen.



Figura 16. Vista de un cafetal con un Sistema de Manejo Mejorado.



Figura 17. Vista de un cafetal con un Sistema de Manejo Tradicional.



Figura 18. Muestreo de hojarasca en un Bosque.



Figura 19. Muestreo de suelos para determinar densidad aparente.



Figura 20. Muestreo de fauna del suelo.



Figura 21. Medición de la resistencia del suelo a la penetración.



Figura 22. Evaluación de la biomasa herbácea y arbustiva.



Figura 23. Determinación de la diversidad de fauna en el suelo.

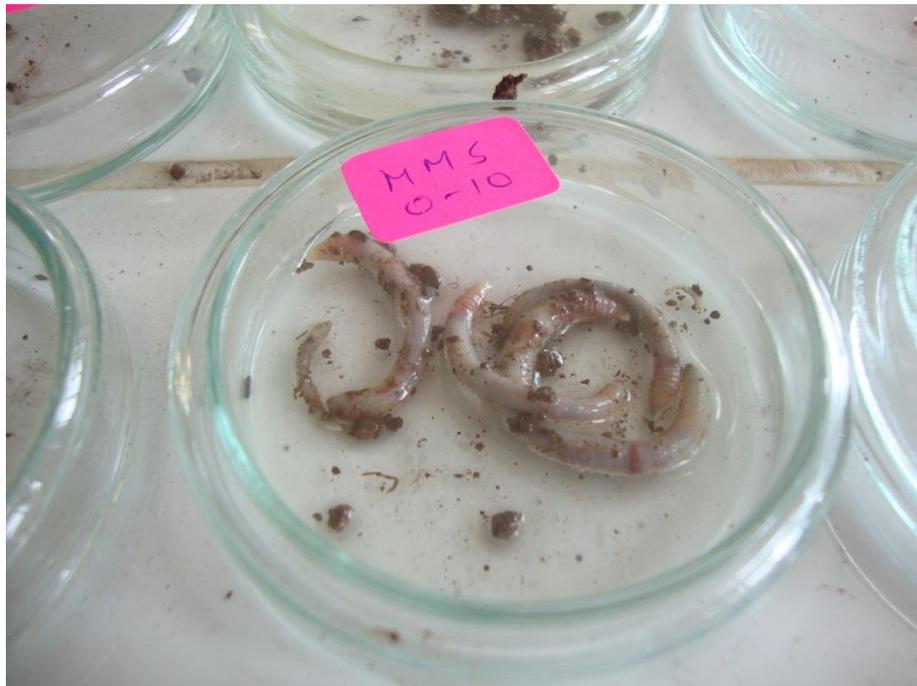


Figura 24. Muestra de fauna del suelo den un MMS a 10 cm.



Figura 25. Determinando la respiración microbiana en el suelo.



Figura 26. Realizando la medición de CO₂ respirado por el suelo.



Figura 27. Determinando el contenido de materia orgánica en el suelo.

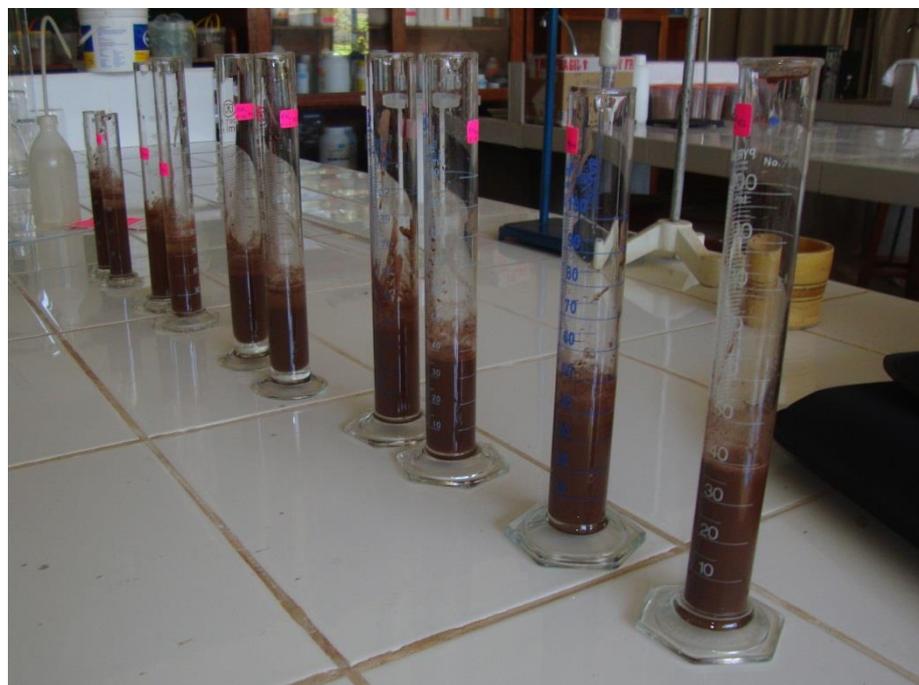


Figura 28. Análisis de estabilidad estructural del suelo.



Figura 29. Análisis de estabilidad estructural del suelo.

