

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**EVALUACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO Y CARBONO
ORGÁNICO EN DOS SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL DISTRITO
RUPA RUPA – TINGO MARÍA**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

JOSÉ ENRIQUE DAZA ÁLVAREZ

2018

DEDICATORIA

A Dios por la fortaleza de siempre, permitiéndome llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más.

A mi querida madre Ponciana Álvarez Simón por darme la vida, por haberme apoyado en todo momento, con sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi querida esposa: Rosario Mirella Malpartida Rodríguez, porque siempre he contado con ella en las buenas y malas quien ha sido mi motivación y apoyo en todo momento, gracias al amor que siempre nos hemos tenido; Finalmente a mi querida suegra, Milagros Rodríguez Rengifo, que es una segunda madre para mí por su apoyo incondicional a quien admiro y quiero mucho.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haberme forjado como profesional.

- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M.Sc. Obregón Peña, Roberto; Ing. Torres García, Jaime; Ing. M.Sc. Sandro Junior, Ruíz Castre.

- Al Ing. Lévano Crisóstomo José por su orientación profesional, durante el trabajo de campo y gabinete, así como también, durante la redacción de tesis, y un ejemplo profesional a seguir.

- A todos los forjadores de las bases de conocimiento, y a mis amigos que acompañaron y apoyaron de la forma directa e indirectamente en la cristalización de la investigación.

- A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes construyeron en mi formación profesional.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. El ganado y sus efectos	4
2.1.1. Deterioro de la estructura edáfica	5
2.1.2. Compactación	6
2.1.3. Pérdida de nutrientes en el suelo.....	8
2.2. Efecto de la materia orgánica del suelo (MOS) en pastizales	12
2.2.1. La degradación del pastizal	13
2.2.2. El sistema radicular.....	14
2.3. Carbono orgánico del suelo en sistemas de pasturas.....	15
2.4. Estudios realizados	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Lugar de ejecución	22
3.2. Materiales y equipos	25
3.2.1. Materiales y equipos de campo	25

3.2.2. Materiales y equipos de laboratorio	25
3.3. Metodología	25
3.3.1. Entrevista a los agricultores	26
3.3.2. Demarcación del área de estudio	26
3.3.3. Obtención de muestras de suelos.....	27
3.3.4. Determinación de la biomasa radicular	27
3.3.5. Estimación del contenido de carbono en la biomasa radicular.....	28
3.3.6. Estimación del carbono del suelo	29
3.3.7. Determinación de las propiedades fisicoquímicas del suelo.....	29
3.4. Tipo de investigación.....	34
3.3.1. Variable independiente	34
3.3.2. Variables dependientes.....	34
3.5. Análisis estadístico.....	34
IV. RESULTADOS	35
4.1. Propiedades físicas, químicas entre los sistemas de pastura	35

4.2. Carbono orgánico bajo el suelo.....	36
4.2.1. Carbono radicular.....	36
4.2.2. Carbono orgánico del suelo	40
4.2.3. Carbono total bajo suelo	42
V. DISCUSIÓN.....	43
VI. CONCLUSIONES	46
VII. RECOMENDACIONES.....	47
VIII. ABSTRACT	48
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	50
ANEXO	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Coordenadas en UTM para las zonas de muestreo.....	24
2. Métodos para determinar los indicadores físicos químicos del suelo	30
3. Evaluación de indicadores fisicoquímicos entre sistemas de pastura.....	35
4. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas	37
5. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas	40
6. Carbono bajo suelo en pastura mejorada y pastura natural (t.C/ha).....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación de la zona en estudio	23
2. Croquis de la parcela en estudio.....	26
3. Evaluación de biomasa radicular (g/m^2) a través de tres profundidades en sistemas de pastura natural y mejorada	38
4. Evaluación de biomasa radicular (g/m^2) entre sistemas de pasturas natural y mejorada	38
5. Evaluación de carbono radicular (t/ha) a través de tres profundidades en sistemas de pastura natural y mejorada	39
6. Evaluación de carbono radicular (t/ha) en sistemas de pasturas natural y mejorada	39
7. Evaluación de carbono en el suelo (t/ha) a través de tres profundidades en sistemas de pastura natural y mejorada	41
8. Evaluación de carbono en el suelo (t/ha) en sistemas de pasturas natural y mejorada	41
9. Potrero con pastura mejorada.....	57
10. Extracción de muestras de suelo	57

11. Extracción de muestras de suelo	58
12. Extracción de muestras de biomasa radicular.....	58
13. Molido de muestras de suelo	59
14. Tamizado de suelos	59
15. Identificación de muestras de suelo.	60
16. Determinación de fosforo del suelo.....	60
17. Determinación de materia organica del suelo.	61
18. Determinación de materia orgánica.	61
19. Determinación de potasio del suelo.	62
20. Determinación de materia orgánica del suelo	62
21. Determinación de capacidad de intercambio catiónico.	63

RESUMEN

La investigación se realizó en parcelas con pastura natural y pastura mejorada, situadas en el caserío Merced de Locro, distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, región Huánuco, con la finalidad de evaluar los indicadores de calidad del suelo y carbono orgánico en dos sistemas de uso de la tierra (pastura natural (*Paspalum conjugatum*) y pastura mejorada (*Brachiaria decumbens*)) en el distrito Rupa Rupa – Tingo María.

La metodología empleada fue la propuesta por el grupo GAMMA (IBRAHIM *et al.*, 2003), para evaluación de biomasa en sistemas de pastura. Por cada unidad en estudio (parcelas) se consideró 1000 metros cuadrados como área a explorar (20 m. x 50 m.). La recolección de las muestras se realizó con una palana sobre los primeros 30 cm del suelo, tomando 05 (cinco) submuestras (1.0 kg) sistemáticamente en el centro de cada cuadrante. Para encontrar diferencias estadísticas entre las dos unidades exploratorias con respecto a las variables dependientes se utilizó la prueba de LSD Fisher para la inferencia basadas en dos muestras. De los resultados, los suelos con pastura mejorada presentaron mayores valores de densidad aparente respecto a la pastura natural. Para la materia orgánica, los suelos con pastura mejorada presentó niveles bajos respecto a la pastura natural. El comportamiento anterior se repite para los tenores de nitrógeno. Por lo que aceptamos la hipótesis alternante al existir un efecto positivo del sistema de pastura mejorada sobre la pastura natural. Sin embargo, para el fósforo, potasio y CIC no existió diferencias estadísticas entre ambos sistemas de pastura en estudio.

. Los suelos de pastura mejorada presentaron mayores valores respecto a la pastura natural. Sin embargo para el almacenamiento de carbono almacenado en el suelo, el sistema de pastura natural presentó mayores tasas de almacenamiento respecto a la pastura mejorada. Finalmente para el almacenamiento de carbono bajo el suelo, el sistema de pastura natural almacena mayor carbono orgánico respecto a la pastura mejorada.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el cambio de uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo.

Los procesos degradativos de la cobertura vegetal en pastizales resultan en disminución de su capacidad productiva forrajera y de su capacidad protectora del suelo. La erosión de los suelos, como resultado de la degradación de los pastizales, tiene como punto de partida la pérdida de cobertura vegetal por sobrepastoreo, pasando por la desaparición de especies forrajeras importantes que son reemplazadas por otras no deseables (retrogresión de la comunidad vegetal), y la pérdida de la capacidad de infiltración del agua que en su recorrido (escorrentía superficial) arrastra partículas de suelo, sobre todo en laderas.

El uso del suelo resulta de los asentamientos y las actividades productivas que se desarrollan sobre la cobertura del suelo para satisfacer las necesidades antrópicas (cultivos, ciudades, represas, etc). Las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos.

Una de las causas fundamentales de la baja productividad del ganado de la región se relaciona con la baja calidad de los pastizales y su alto nivel de degradación que se relaciona con no aplicar algunos principios fundamentales, novedosos y ajustados adecuadamente, en un método de pastoreo eficiente y sostenible. Por ello, se considera que un pasto está degradado cuando la especie deseable pierde su vigor y capacidad productiva por unidad de área y por animal.

El pastoreo de grandes herbívoros es una de las principales perturbaciones que moldean la estructura y el funcionamiento de sistemas de pastizales. A nivel de comunidades, provoca cambios en la composición de especies, riqueza, diversidad, estructura del dosel y atributos morfológicos de las plantas. Por otro lado el pastoreo modifica a nivel ecosistémico atributos como la productividad primaria neta, carbono orgánico del suelo (COS), materia orgánica del suelo (MOS), composición de tipos funcionales de plantas. Asimismo, la naturaleza y los mecanismos de las interacciones entre los microorganismos del suelo y la dinámica de los procesos químicos en los suelos de la Amazonía son aún poco conocidos y, posiblemente, dependientes de las cantidades y calidades de la hojarasca depositada sobre el suelo.

Por lo antes mencionado, en la presente investigación se tuvo como interrogante: ¿los sistemas de pastura natural (*Paspalum conjugatum*) y pastura mejorada (*Brachiaria decumbens*) influyen significativamente sobre los indicadores de calidad del suelo y carbono orgánico en el distrito Rupa Rupa – Tingo María?. Respecto a este contexto se trabajó los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar los indicadores de calidad del suelo y carbono orgánico en dos sistemas de uso de la tierra (pastura natural (*Paspalum conjugatum*) y pastura mejorada (*Brachiaria decumbens*)) en el distrito Rupa Rupa – Tingo María.

Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas (densidad aparente) y químicas (materia orgánica, nitrógeno total, reacción del suelo o pH, fósforo disponible, potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico) del suelo en parcelas con sistemas de pastura natural (*Paspalum conjugatum*) y pastura mejorada (*Brachiaria decumbens*).
- Cuantificar el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo y biomasa radicular en parcelas con sistemas de pastura natural (*Paspalum conjugatum*) y pastura mejorada (*Brachiaria decumbens*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El ganado y sus efectos

Gran parte de la degradación mundial del suelo (34.5%) es atribuida al pastoreo de animales domésticos, los cuales tienen un efecto directo e indirecto sobre la superficie del suelo. De la superficie mundial (130 millones de km² aprox., exceptuando las aguas superficiales), el 26.0% se aprovecha como áreas de pastoreo, solo superado por los bosques (30.3%) y otros usos (31.8%). La importancia mundial de las áreas de pastoreo es tal que duplica en superficie a las tierras destinadas al cultivo, ya sean tierras arables (10.9%) o tierras de cultivos permanentes (1.1%), y es el grupo más importante de las tierras de explotación agraria (37.9% del total mundial) (BLANCO, 2009).

En las dehesas y pastizales se ha constatado el predominio de los procesos de degradación física y biológica. Algunos, como la erosión hídrica, son particularmente destacables, estando, en buena medida, relacionados con la reducción de la cubierta vegetal provocada por los animales domésticos. También han sido reportados otros procesos de degradación física, como el deterioro de la estructura edáfica debido a una débil estabilidad de agregados, la baja capacidad de infiltración y la compactación del suelo (BLANCO, 2009).

El arbolado también influye en este sentido, ya que las podas fuertes o la disminución de la fracción de cubierta, reducen la protección

del suelo. A lo anterior habría que añadir el efecto potenciador sobre la escorrentía superficial y, por tanto, sobre la erosión hídrica, de los suelos hidrológicos. Aunque menos que en otras formaciones vegetales, este efecto ha sido observado en dehesas y pastizales en las áreas bajo copa o con acumulaciones de hojarasca. La erosión laminar se ve potenciada, además, por la compactación del suelo y se traduce en otra serie de procesos de degradación como la reducción de la profundidad del suelo y del horizonte Ah, lo que conduce a la pérdida de nutrientes y de materia orgánica y a cambios texturales que alteran la estructura del suelo y su fertilidad (CERDA, 1998).

2.1.1. Deterioro de la estructura edáfica

La estructura del suelo se caracteriza por la forma, colocación y distribución de las partículas (arcillas, limos y arenas), los poros y su agregación; categorizándose, principalmente, en función del grado de estructuración, del tipo de estructura, tamaño y forma de los agregados. Son muchos los autores que asocian la pérdida de calidad de un suelo al deterioro de su estructura y los efectos que sobrelleva: reducción de la capacidad de retención hídrica y de infiltración, pérdida de aireación del suelo y de materia orgánica y restricciones al crecimiento radicular (YONG y WARKENTIN, 1975)

La estructura del suelo está estrechamente relacionada con su textura, en los suelos limosos abundan las estructuras laminares, en los arcillosos las prismáticas, etc. Se considera como un estado del suelo, más que una propiedad, ya que puede ser cambiada a corto plazo por acciones humanas como el laboreo y el pastoreo, mientras la textura es una propiedad

que varía mucho más lentamente que la estructura. Es, además, uno de los aspectos más relacionados con la mayoría de los indicadores propuestos tradicionalmente en la literatura científica. Puede servir, por ejemplo, como indicador indirecto de compactación: un suelo con una estructura migajosa tendrá una porosidad elevada y uno con estructura masiva, valores de compactación y de densidad aparente altos; o como indicador directo del grado de estructuración de un suelo: en las descripciones in situ se clasifica la estructura según su grado, tamaño y tipo (LARSON y PIERCE, 1991).

2.1.2. Compactación

La compactación del suelo es uno de los procesos de degradación física de mayor importancia, debido a la reducción de la porosidad producida por causas naturales y/o antrópicas, entre las que destacan las labores agrícolas, uso de maquinaria pesada y pisoteo del ganado. Sus efectos implican cambios en la estructura del suelo, mayor densidad aparente e incremento de la resistencia mecánica y penetración del suelo, reducción del volumen de los macro poros y disminución de la capacidad de retención hídrica, aumento de la escorrentía superficial y, como consecuencias, aumento de las pérdidas de suelo por erosión hídrica, dificultad de las plantas para enraizar, etc. El USDA considera la compactación como serio problema cuando limita en el suelo la capacidad de almacenar e infiltrar agua e impide el crecimiento de plantas o el reciclaje de nutrientes (GREACEN y SANDS, 1980).

GREENWOOD y MCKENZIE (2001) evidenciaron efectos como el aumento de la densidad aparente, reducción de la porosidad, limitaciones al

crecimiento de las plantas, reducción de la capacidad de infiltración, etc., destacando el hecho de que la magnitud de la compactación en áreas de pastoreo es relativamente pequeña en comparación con suelos cultivados, afectando como máximo a los 15 primeros centímetros. No obstante, 15 cm en los suelos de los pastizales del suroeste ibérico, podría suponer la compactación total en muchas áreas con suelos del tipo Leptosol, muy abundantes en la zona de estudio. La densidad aparente se define como la relación existente entre la masa de suelo seco y el volumen que esta ocupa, siendo su valor directamente proporcional a la compactación.

Otra forma alternativa a la densidad aparente de medir la compactación es el cálculo de la resistencia a la fuerza de penetración, aunque ambas variables no son siempre equivalentes debido a la gran variabilidad espacial de esta última, incluso en distancias muy cortas. VOORHEES (1983) señalo que la resistencia a la penetración es un método más sensible para medir la compactación del suelo, especialmente en profundidad, en comparación a la densidad aparente, que apenas refleja los cambios de porosidad en el suelo (RÜGNITZ *et al.* 2009).

DORAN y PARKIN (1994) consideran la densidad aparente es un parámetro imprescindible para medir la calidad del suelo, ya que refleja el estado de degradación de la estructura edáfica. Por otro lado, es un valor fácilmente ponderable, lo que le ha hecho ser el parámetro más usado en el cálculo de la compactación, aunque con un gran inconveniente: permite saber el espacio que ocupan sus poros pero no su tamaño ni la relación entre ellos.

2.1.3. Pérdida de nutrientes en el suelo

Las principales fuentes de nutrientes (macro y micronutrientes) del suelo son el agua, el aire, los minerales y la materia orgánica. Del agua y del aire se obtienen elementos como el carbono, el hidrogeno y el oxígeno; directamente de las rocas y minerales se obtienen las bases: calcio, magnesio, potasio, sodio y el fosforo. El nitrógeno proviene, principalmente, de la materia orgánica. En el caso de los micronutrientes habría que destacar el zinc, el molibdeno, el manganeso, el hierro o el cobre, entre otros, que, a pesar de su escasa cantidad, son absolutamente necesarios para el buen desarrollo de la función de producción vegetal de un suelo. Otro concepto muy importante a la hora de comprender la fertilidad de los suelos es el del reciclaje continuo y cíclico de los nutrientes y de la materia orgánica. Ello posibilita, por un lado, que estos nunca se terminen, al regresar a la Naturaleza una vez utilizados y, por otro, la posibilidad de disponer de los mismos en forma útil, ya que la mayoría necesitan ser convertidos a formas moleculares válidas para la vida mediante procesos biogeoquímicos, de forma que resulten asimilables para las plantas y otros organismos vivos (POLIDORO *et al.* (2008).

El fósforo es liberado al suelo desde las rocas fosfatadas por meteorización en forma de fosfatos (PO_4), donde son asimilados por las plantas y estas por los animales que lo expulsan en forma de excretas, y gracias a la ayuda de los descomponedores saprotrofos este vuelve al suelo en forma de fosfato, continuándose así el ciclo. El nitrógeno proviene de la atmosfera y es retenido en el suelo por la acción de las bacterias fijadoras de N_2 atmosférico,

que se encuentran en el mismo suelo y en las raíces de las plantas. Este nitrógeno fijado mediante procesos de momificación y nitrificación se convierte en nitrato (NO_3^-), forma en la que es asimilado por las plantas, o expulsado a la atmósfera, debido a la acción de las bacterias desnitrificantes.

La pérdida de fertilidad ocasionada por la disminución de la cantidad de nutrientes (degradación química) y por la reducción de los aportes de materia orgánica (degradación biológica) merma la productividad y la calidad de los pastos, siendo este el principal proceso de degradación de origen bioquímico de los suelos en las áreas de pastoreo, aunque puede ser debido a causas tanto físicas como químicas o biológicas. El agotamiento de las tierras es un problema universal que ha sido ampliamente abordado, teniendo en cuenta en numerosos programas internacionales de conservación de suelos y evaluado mediante diversos indicadores de calidad. La importancia de la fertilidad es tal, que, hasta la aparición de los indicadores, la calidad de un suelo se medía, generalmente, por su fertilidad (DORAN y PARKIN, 1994).

El grado de acidez o basicidad de un suelo depende de diversos factores, como la litología dominante y sus procesos de meteorización, el contenido de materia orgánica y sus procesos de humificación, la capacidad de intercambio catiónico, las precipitaciones, etc. Las zonas con dominio de rocas silíceas suelen tener suelos ácidos, al contrario de lo que sucede con las dominadas por rocas calcáreas, donde abundan los suelos básicos. En ambientes pluviosos la acidez suele ser mayor y los residuos orgánicos son de naturaleza ácida. Con todo, la acción del ser humano con la aplicación de

enmiendas, fertilizantes y abonos o la irrigación alteran el pH natural del suelo. Las consecuencias que un pH inadecuado puede tener en la calidad de los suelos es un hecho ampliamente estudiado: reducción de la asimilación de nutrientes, pérdida de fertilidad, inutilidad de tierras, etc. De hecho, la mayoría de las clasificaciones de indicadores de calidad del suelo usan el pH como indicador y, en algunos casos, como la guía del USDA (1999), incluso proponen su estimación in situ mediante el uso de medidores de pH de bolsillo.

Otros sistemas de clasificaciones como el de PELLANT *et al.* (2005) o el de SHEPHERD (2000) no usan el pH como indicador, porque su cuantificación exacta se realiza mejor en laboratorio que en el campo, aunque en el caso de SHEPHERD (2000) se apoya en el uso de fertilizantes como indicador y PELLANT *et al.* (2005) tienen en cuenta la producción vegetal, estrechamente ligada a un pH adecuado.

Una capacidad de intercambio catiónico elevada tiene numerosos efectos positivos sobre el suelo: amortigua los cambios de pH, controla la estabilidad estructural, aumenta la disponibilidad de nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, intensifica el efecto de las enmiendas y los fertilizantes y presta al suelo resistencia frente a cualquier cambio químico causado, por ejemplo, por cambios en el uso (ZHIPPING *et al.* (2004).

El potasio es un nutriente requerido por las plantas en gran cantidad, siendo absorbido en su forma catiónica K^+ . Es usado junto con el nitrógeno y el fósforo, y aporta a las plantas una mayor resistencia a enfermedades, sequías y heladas, muy típicas en ambientes mediterráneos.

Este nutriente se suministra al suelo en forma de residuos vegetales y animales y de una manera artificial mediante la aplicación de fertilizantes. Además, es el elemento que se transfiere en mayores proporciones a los animales herbívoros a través de las bellotas y del material herbáceo, cosa que no ocurre con el calcio, sodio, hierro y manganeso (ESCUDERO *et al.*, 1985).

El suelo absorbe el nitrógeno atmosférico (N_2) mediante la acción de las bacterias fijadoras, que se encuentran tanto en el suelo como en las raíces de las plantas. Una vez fijado, por procesos de momificación y, posteriormente, de nitrificación se convierte en iones amonio, nitrito y nitrato, respectivamente, gracias a los descomponedores y a las bacterias nitrificantes. En forma de nitrato y amonio el nitrógeno es asimilado por las plantas. El cierre del ciclo se lleva a cabo por la acción de las bacterias des nitrificantes, que devuelven el nitrógeno a la atmosfera en su forma molecular (N_2).

La importancia del nitrógeno es puesta de manifiesto por autores como CAMPBELL *et al.* (1976), que basaban sus estudios de calidad del suelo en el contenido de nitrógeno. LARSON y PIERCE (1991) consideran el contenido de nitrógeno total como indicador químico, al que DORAN y PARKIN (1994) añaden el nitrógeno potencialmente mineralizable. Estos autores consideran también el nitrógeno de la biomasa microbiana como indicador biológico de calidad. No obstante, el estudio y la determinación del nitrógeno en el suelo es, obviamente, bastante anterior a su uso como indicador.

El fosforo es un elemento químico no metálico perteneciente al grupo del nitrógeno que se encuentra presente tanto en los organismos vivos

como en los suelos en forma de fosfatos. Su importancia para los suelos radica en el hecho de ser un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, ya que su contenido es clave para la formación de tejidos y órganos vegetales. Esta importancia se constata por su presencia como indicador en la mayoría de clasificaciones y guías de indicadores de calidad del suelo (BLANCO, 2009).

2.2. Efecto de la materia orgánica del suelo (MOS) en pastizales

POTTHAST *et al.* (2010), en Ecuador, en su estudio compararon muestras de suelo de un pastizal activo de *Setaria sphacelata*, y de otro abandonado e invadido de malezas. La hojarasca de la gramínea (C4) y de la arbustiva (C3) difirieron en la relación C: N (33 y 77, respectivamente) y en el contenido de lignina (18 y 45 %, respectivamente). El desplazamiento masivo de la gramínea por la maleza disminuyó el pH, C y N orgánicos del suelo, así como su biomasa y actividad microbiana, con aumento de la población de actinomicetos.

No es suficiente aún el conocimiento acerca de cómo varía la MOS por el efecto de la intensidad de manejo de los pastizales. En este sentido, DUBEUX *et al.* (2006) investigaron el efecto de la intensidad de manejo de un pastizal de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Flügge) definieron que se afectó por la intensidad de manejo, pero esto sí tuvo efecto en las fracciones ligeras de la materia orgánica. Así, con la menor intensidad de manejo las partículas < 53 µg presentaron las mayores concentraciones de C y N. Esto indicaría que, al aumentar la intensidad de manejo, las fracciones de MOS de lenta liberación favorecerían el secuestro de C y la fertilidad potencial del suelo.

No obstante, se debe tener en cuenta el efecto negativo y la sostenibilidad cuestionable de los sistemas intensivos que utilizan altas aplicaciones de fertilizantes. El tiempo de explotación de un pastizal produce cambios espaciales y temporales en el contenido de MOS (GREENWOOD y MCKENZIE, 2001).

2.2.1. La degradación del pastizal

MÜLLER *et al.* (2004) refiere que la degradación de los pastizales constituye uno de los problemas más graves relacionados con el uso de los suelos en la región del Amazonas, por lo que muchos productores abren nuevas áreas con bosques. Al examinar la relación entre la degradación del pastizal y algunas propiedades de los suelos, estos investigadores encontraron gran disminución de la biomasa de las gramíneas según el pastizal presentaba mayor degradación. Comprobaron además, que la recuperación fue muy eficiente y rápida con la siembra de *Andropogon gayanus* y *Panicum maximum*, especies que lograron mayores producciones de fitomasa aérea y subterránea.

DE OLIVEIRA *et al.* (2004) encontraron que en las sabanas de Los Cerrados, en Brasil, la productividad de los forrajes y de los animales disminuyó varios años después de establecer pastizales mejorados con *Brachiarias* y otras gramíneas de África. Advirtieron que si no se tomaban medidas para remediar esa situación, estas áreas se invadirían nuevamente de malezas y los suelos se comenzarían a compactar y degradar. En estas situaciones se han observado bajas acumulaciones de hojarasca, de MO y de biomasa microbiana en los suelos. A partir de los resultados de esta

investigación, sus autores recomendaron como indicadores más reales y simples del deterioro del suelo en un pastizal, la tasa de deposición de hojarasca, el contenido de C de la biomasa microbiana y el rebrote del pasto después del pastoreo (AMÉZQUITA *et al.*, 2008).

2.2.2. El sistema radicular

Además de suministrar agua, nutrientes, hormonas y servir de soporte mecánico a las plantas, las raíces contribuyen al incremento de la MOS, al aumentar el C- orgánico, el N y la biomasa microbiana. Se ha indicado que el C procedente de las raíces se retiene y forma más agregados estables en el suelo con respecto al que procede de la biomasa aérea (TRUJILLO *et al.*, 2006).

El efecto de los fertilizantes en el crecimiento de la raíz es similar al que ejercen en la parte aérea. Sin embargo, la magnitud de la respuesta puede variar. En suelos deficientes en nutrientes, el peso de la raíz y el volumen de pelos radicales responden frecuentemente a una ecuación cuadrática, cuando se adiciona fertilizante al suelo. No obstante, la mayor parte del sistema radical de los pastos se localiza en la capa de 0-20 cm del suelo (HERNÁNDEZ 2003).

FRAGERIA y MOREIRA (2011) refieren que la utilización de especies y cultivares de plantas tolerantes al estrés biótico y abiótico, unida a la aplicación de prácticas culturales adecuadas, puede mejorar la función del sistema radical de las plantas en condiciones ambientales favorables y desfavorables (ANDRADE, 1999).

TRUJILLO *et al.* (2006) refiere que el entendimiento de los procesos de acumulación de C en el suelo de los pastizales es muy limitado, ya que la información acerca de la producción, transformación y descomposición de las raíces es aún insuficiente. Estos autores encontraron que, en un pastizal de *Brachiaria humidicola* bien manejado, la producción de raíces fue el doble, con respecto a una sabana nativa. Esto, unido a una producción superior de hojarasca de baja calidad (mayor relación C:N y C:P), propició mayor acumulación de C en el suelo (FAO, 2002).

2.3. Carbono orgánico del suelo en sistemas de pasturas

El carbono orgánico del suelo es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del Carbono orgánico de la biósfera. El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo. Los pastizales, debido a su gran extensión y diversidad, tienen un impacto significativo en la captura de carbono de la tierra y, potencialmente, pueden secuestrar grandes cantidades de carbono. El aumento de almacenamiento de carbono en los ecosistemas terrestres, se ha promovido como un medio por el cual grandes cantidades de CO₂ pueden ser removidos de la atmósfera (DE CAMARGO *et ál.*, 1999).

Las pasturas permanentes o las tierras de pastoreo cubren más de 3,000 millones de hectáreas, la mayor parte de las cuales está en tierras áridas; el estado de degradación de estas tierras se estima que este entre 14 y 31 por ciento. Se han mencionado la gran extensión de las tierras de pastoreo y la importancia de las reservas de carbono. Mientras que el carbono total

presente en las praderas es menor que en algunos ecosistemas forestales, la parte del carbono contenido en el suelo puede ser mayor. En general, el contenido de carbono de un suelo bajo pasturas es mayor que bajo cultivos. Una de los principales factores utilizados en el manejo de las pasturas es el control del pastoreo, intensidad, frecuencia, estacionalidad y también un mejor manejo del fuego para el control de las especies leñosas. Otros factores incluyen el mejoramiento del suelo y la calidad de los pastos.

En lo que se refiere al suelo, uno de los principales factores limitantes para el crecimiento de las plantas es la deficiencia de nutrientes. La fertilización en bajas dosis puede ser una solución (tal vez con P en lugar de N). Sin embargo, una mejor fertilización nitrogenada, más ecológica y más sostenible, se obtiene mediante la introducción de leguminosas fijadoras de nitrógeno. Otra alternativa puede ser la modificación de la calidad del pastoreo e introducir especies más productivas con sistemas radiculares más profundos, más resistentes a la degradación de las pasturas. Todas estas soluciones incrementarán en buena medida la captura de carbono, ya que las pasturas pueden almacenar cantidades muy altas de carbono en forma estable. Paralelamente, el incremento de los rendimientos también puede ser importante, duplicando o triplicando la producción (DE CAMARGO *et ál.*, 1999).

2.4. Estudios realizados

El carbono orgánico del suelo en los distintos usos de la tierra presentó diferencias significativas en Costa Rica y Nicaragua ($p < 0.05$). En Colombia, los cuatro usos de la tierra evaluados no presentaron diferencias

significativas en sus contenidos de COS, reportándose valores de entre 52.3 ± 9.8 y 81.3 ± 3.6 t/ha para los bosques riparios y para las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente. Estos resultados se asemejan a los de otros estudios llevados a cabo en Colombia, donde inventarios de carbono superficial en el suelo (0 - 30 cm) de cuatro tipos de cobertura vegetal (bosque primario intervenido, bosque secundario, rastrojo bajo y pastizal sin manejar) no encontraron diferencias significativas (83.9 ± 11.1 y 96.6 ± 5.0 t/ha (MORENO y LARA, 2003).

Se ha estimado que el carbono (C) en la biomasa de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 y entre 25 y 190 t C/ha, respectivamente (BROWN *et ál.*, 1997), y que el C en el suelo puede variar entre 60 y 115 t C/ha. Datos reportados de pasturas tropicales en Latinoamérica muestran cómo el establecimiento de pasturas mejoradas logra aumentar los niveles de carbono bajo el suelo. En Brasil, el establecimiento de pasturas mejoradas en áreas deforestadas provocó incrementos en la acumulación de carbono orgánico (DE CAMARGO *et ál.*, 1999).

El potencial de los sistemas agroforestales (suelos y biomasa) para almacenar carbono puede variar entre 20 y 204 t/ha, estando la mayoría de este carbono almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que pueden variar entre 1.8 y 5.2 t/ha (IBRAHIM *et ál.*, 2005).

En los llanos orientales colombianos, estudios realizados en estaciones experimentales muestran que la pastura *Brachiaria humidicola* posee a un metro de profundidad 222.8 t/ha de C (FISHER *et ál.*, 1994).

En Costa Rica, las pasturas degradadas presentaron menor cantidad de COS que los demás sistemas (21.7 ± 6.6 t/ha de C). Los otros seis usos de la tierra evaluados no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), encontrándose en un rango entre 95.1 ± 6.6 y 139.5 ± 17.2 t/ha de C para las plantaciones forestales y las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente. En Nicaragua, las pasturas degradadas presentaron menor cantidad de COS con 63.1 ± 8.4 t/ha de C y los bosques secundarios los que presentaron una mayor cantidad con 139.2 ± 20.4 t/ha de C (PEZO *et al.*, 2009).

En Costa Rica, las pasturas degradadas (26.5 ± 10.9 t/ha) fueron significativamente menores en su contenido total de C en comparación a los otros usos de la tierra, mientras que los bosques secundarios mostraron significativamente los mayores valores (297.6 ± 72.6 C t/ha). Los otros usos de la tierra, excepto las pasturas degradadas, fueron significativamente similares en su contenido total de C. Se encontraron diferencias significativas en C entre los usos del suelo ($p = 0.0285$). Los usos de la tierra con mayores cantidades de C en Nicaragua fueron el bosque secundario, la vegetación secundaria joven (tacotales), el banco forrajero de gramíneas y los pastos mejorados con alta densidad de árboles. Las pasturas degradadas fueron el uso de la tierra con menor C (72.5 ± 6.8 t/ha), aunque estadísticamente similares a las pasturas naturales y mejoradas y a la vegetación secundaria joven ($p > 0.05$). Los datos encontrados en este estudio se asemejan a los reportes de carbono total obtenidos en bosques húmedos en Nicaragua, donde el almacenamiento de carbono sumado del suelo y de la biomasa alcanzó rangos de entre 251.7 y 320.1 t/ha (LAGOS y VENEGAS, 2003).

Datos similares se reportaron en Matiguás, Nicaragua, en donde no se encontraron diferencias significativas entre el COS a un metro de profundidad del suelo entre pasturas y vegetación secundaria (RUIZ, 2002), aunque en el caso de Nicaragua los datos muestran semejanzas estadísticas en el almacenamiento de carbono entre las pasturas degradadas y otros usos de la tierra. Los menores contenidos en las pasturas degradadas se deben posiblemente al efecto de la edad y al tipo de manejo que realizan los productores, tal como quemados o la carga animal empleada. Los resultados determinados en este estudio sobre la cantidad de COS almacenada en los suelos de los tres países concuerdan con estudios llevados a cabo en otros sitios del Neotrópico. Los resultados de COS en bosques se asemejan a los reportados en Venezuela, donde se determinaron valores de 125.0 ± 8.3 t/ha de COS a 1 m de profundidad en bosques secos con condiciones climáticas similares a los sitios de Costa Rica y Nicaragua (DELANEY *et ál.*, 1997).

En bosques húmedos en Guatemala se encontró a una profundidad de 60 cm cantidades de COS de 130.4 t/ha de C (ARREAGA, 2002). En contraste, estudios efectuados en pasturas en la Amazonía brasileña hacen suponer que las pasturas mejoradas (*B. humidicola*) incorporan mayores cantidades de materia orgánica en la superficie del suelo que otros usos de la tierra, como los bosques o las plantaciones forestales (DE CAMARGO *et ál.*, 1999). El caso estudiado en los llanos Colombianos con pastos conformados por *B. humidicola* muestran un ejemplo de este supuesto (FISHER *et ál.*, 2004). Parece existir un patrón de depósitos de COS en distintos usos de la tierra, que muestra menores cantidades en suelos de bosques secundarios en

edad avanzada y en bosques riparios que en suelos bajo pasturas; este patrón se puede observar en los datos reportados por este estudio en Colombia y Costa Rica. Existen una serie de factores que influyen en el COS, como el historial de usos de la tierra, las entradas y salidas de materia orgánica del sistema y el manejo de estos usos de la tierra. Factores como las condiciones físicas y biológicas del suelo y la historia de las entradas de material orgánico a los suelos pueden determinar las tasas de cambio de carbono orgánico bajo el suelo cuando la vegetación y las prácticas de manejo han cambiado, tal como en la eliminación de bosque para establecer pasturas (POST y KWON 2000).

Cuando se presenta una situación como la anterior, se puede ganar o perder carbono del suelo dependiendo de las circunstancias específicas, como el uso de fertilizantes o la eliminación de la cobertura vegetal. Además, las actividades de manejo tanto para la producción animal como el aprovechamiento forestal también afectan el almacenamiento de carbono. Las similitudes estadísticas del COS entre usos del suelo se pueden deber a la edad de los sistemas. El amplio rango de edad de parcelas medidas en cada sistema dificulta evaluar el efecto de los sistemas de uso del suelo en el COS.

Biomasa arbórea arriba del suelo En Colombia se encontró 158.7 ± 12.5 t/ha de carbono en la biomasa aérea en los bosques riparios. Se encontraron diferencias estadísticas ($p = 0.0042$) en el almacenamiento de carbono en biomasa aérea entre sistemas de Costa Rica. En este país, las plantaciones de teca presentaron el mayor almacenamiento de carbono,

seguidas por los bosques secundarios (92.4 ± 11.3 y 90.8 ± 48.6 t/ha de C, respectivamente). Las pasturas degradadas, las pasturas mejoradas con baja densidad de árboles y las pasturas naturales con alta densidad de árboles fueron los usos de la tierra que aportaron menor cantidad de carbono en la biomasa arbórea. Los bosques secundarios presentaron mayor almacenamiento de C en Nicaragua que el resto de los sistemas (23.0 ± 3.0 t/ha de C). Los demás usos de la tierra no presentaron diferencias significativas en los contenidos de biomasa ($p > 0.05$), pero los bancos forrajeros de gramíneas son los de menor carbono (6.0 t/ha).

El contenido de carbono en la biomasa de bosques reportados en este estudio (entre 23.0 y 158.7 t/ha de C) se asemejan a los reportes existentes para biomasa de bosques tropicales (ORREGO y DEL VALLE, 2003). En bosques húmedos en Centroamérica, se han reportado valores de carbono de entre 111.4 a 137.8 t/ha de C en Costa Rica (SEGURA, 1999); 145.6 y 183.2 t/ha de C en Nicaragua (LAGOS y VENEGAS, 2003) y 104.80 t/ha de C en Guatemala (ARREAGA 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en parcelas con pastura natural (*Paspalum conjugatum*) y pastura mejorada (*Brachiaria decumbens*), situadas políticamente en el caserío Merced de Locro, distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, región Huánuco. Las parcelas en estudio se encuentran ubicadas en el margen izquierdo del río Huallaga, específicamente a 18.5 km de la carretera Castillo Grande - Venenillo.

Holdrige (1993) citado por Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995), refiere que el área estudiada corresponde a la zona de vida de transición: Bosque Muy Húmedo – Pre montano Tropical (bmh-PT) a Bosque Muy Húmedo – Subtropical (bmh-S). Presenta suelos que se han desarrollado, principalmente por agentes meteóricos en los distintos tipos de sustratos, distinguiéndose que las áreas de la zona, están cubiertas por suelos sobre una formación sedimentaria e intrusiva. Los suelos son aluviales, muy fértiles, muy profundos y ligeramente alcalinos, son aptos para cultivos en limpio como arroz (bajo riego), plátano, frutales, pastos, cacao y especies nativas. Sin embargo, si nos referimos a los suelos que se encuentran alejados de los ríos, en las colinas, encontramos que presentan un bajo contenido de materia orgánica, por ende, son poco fértiles, de aptitud forestal y de protección.

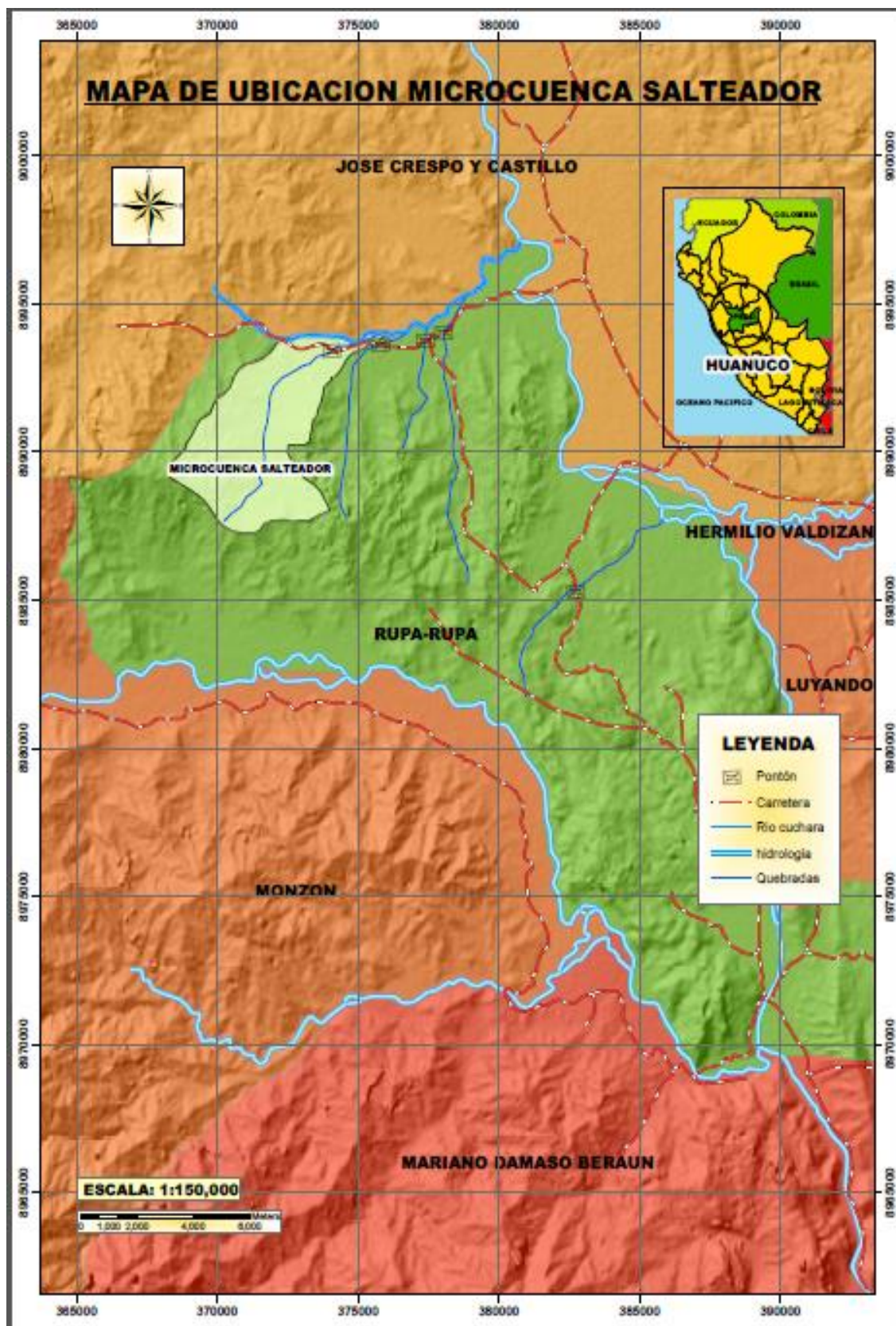


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona en estudio

La ubicación geográfica de las parcelas ganaderas en estudio corresponde a las coordenadas UTM (Zona 19 K, Datúm WGS 84):

Cuadro 1. Coordenadas en UTM para las zonas de muestreo

Parcelas ganadera	Coordenadas UTM		Altura (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
Pastura natural	385482	8985001	619
Pastura mejorada	384301	8985606	628

El área de estudio comprende dos extensos territorios: un territorio montañoso colinoso, con características fisiográficas extremas con pendientes muy disectadas, presentando una composición florística particular con muchas epifitas, aunque también con algunas especies del llano, siendo estructuralmente de dosel bajo con pocas especies arbóreas de gran porte; y el llano amazónico, donde se presentaron una gran diversidad de hábitats y tipos de vegetación, fisiográficamente con relieves suaves y ondulados con predominio de la planicie aluvial (Proyecto Especial Alto Huallaga, 2012).

La estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez (Estación Tulumayo) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, hasta diciembre del año 2014 registra una precipitación promedio anual de 3,581.5 mm y varía en intensidad, duración y frecuencia; muchas veces se manifiestan violentamente en forma de gotas gruesas, de poca duración y en pleno sol. Se registra una Humedad Relativa media anual de 84.3%. La red hidrográfica del área de estudio está representada por el río Huallaga, que discurren de norte a oeste,

recepcionando un número de cauces menores (rio Corvina, Santa Martha y quebrada Aserradero), los que conjuntamente con los colectores principales como son los ríos Cuchara, Yurimaguas y la quebrada Picuruyacu, constituye el canal natural para la evacuación de los excedentes de agua, principalmente en la época de mayores precipitaciones (Proyecto Especial Alto Huallaga – PEAH, 2012).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales y equipos de campo

Machetes, wincha de 5 m., bolsas plásticas de 1 y 2 kg, marcadores, lápices y formularios, cuaderno de campo, fichas de campo, martillo, papel kraf, rafia, navajas, machete, pala recta, impermeables, lima, Cuadrante de 1.0 x 1.0 m., GPS (Sistema de posicionamiento global), cámara fotográfica, eclímetro.

3.2.2. Materiales y equipos de laboratorio

Matraz de Erlenmeyer, vaso de precipitación, probeta graduada, varilla, tamiz, balanza de 10 kg, balanza de precisión digital, estufa, tijera podadora, calculadora.

3.3. Metodología

La investigación se enmarcó en dos fases: gabinete – campo y campo – gabinete.

3.3.1. Entrevista a los agricultores

La entrevista a los ganaderos incluyó variables de tipo biofísico como: distrito, comunidad, área, altura, ubicación; de tipo social: capacitación o asistencia técnica; de tipo tecnológico: variedades de pastura, fertilización, control de plagas, enfermedades y malezas, labores de conservación de suelos, manejo de árboles de cobertura.

3.3.2. Demarcación del área de estudio

Por cada unidad en estudio (parcelas) se consideró 1000 metros cuadrados como área a explorar (20 m. x 50 m.). Metodología propuesta por el grupo GAMMA (IBRAHIM *et al.*, 2003), para evaluación de biomasa en sistemas de pastura (Figura 2).

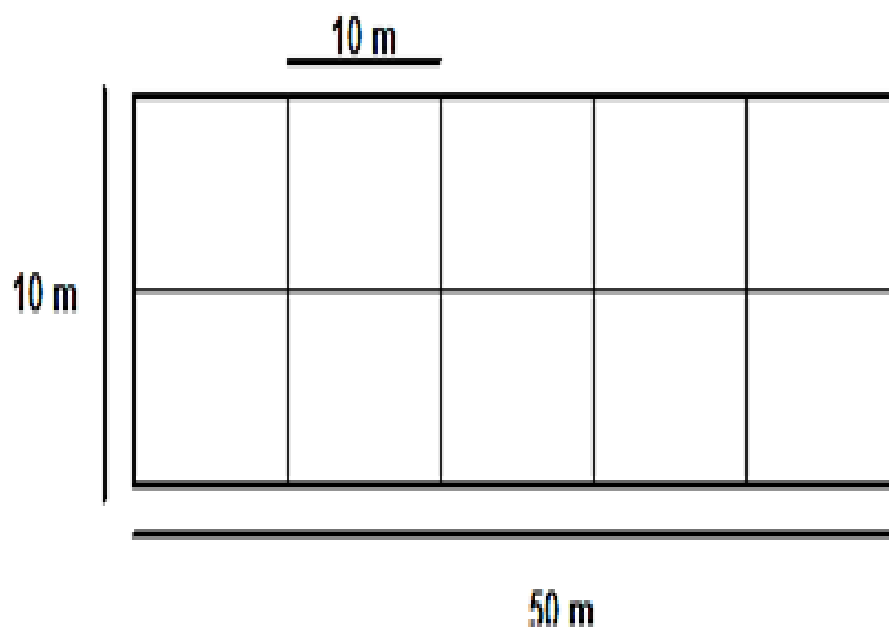


Figura 2. Croquis de la parcela en estudio.

En la Figura 2, se detalla el croquis de las parcelas en estudio, de ello, cada sub parcela (repetición) tiene 10 m. x 10 m. y se delimitó utilizando rafia de color. Los puntos verdes (estrella) indican los puntos de muestreo, seleccionado al azar, de la biomasa sobre el suelo (herbáceo y hojarasca) y la biomasa bajo suelo (raíces); los puntos negros, indican los límites de cada subparcela; y el punto blanco corresponde al punto de georeferenciación de cada parcela.

3.3.3. Obtención de muestras de suelos

La recolección de las muestras se realizó con una palana sobre los primeros 30 cm del suelo, tomando 05 (cinco) submuestras (1.0 kg) sistemáticamente en el centro de cada cuadrante, evitando puntos donde se evidencia la reciente deposición de heces o especies no forrajeras que pudieran alterar el contenido de nutrientes en el suelo.

3.3.4. Determinación de la biomasa radicular

Tal como sugiere el RÜGNITZ *et al.* (2009), se construyó mini calicatas de 30 cm. de largo y 25 cm. de ancho por 30 cm de profundidad. De ello, se tomaron muestras de raíces a tres profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, y de 20-30 cm, por la predominancia de raíces en los primeros 30 centímetros. Cada muestra de suelo con raíces fue colocada en bolsas codificadas indicando su profundidad. Posteriormente en el laboratorio se procedió al tamizado (tamiz de 2 mm) y lavado de las raíces finas realizadas manualmente. Las raíces encontradas se secaron con papel toalla y se pesó como materia

verde con una balanza digital. Posteriormente, se determinó la materia seca por el método de la estufa. Este peso de biomasa radicular se extrapoló a toneladas por hectárea (t/ha), utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Biomasa radicular (t ha}^{-1}\text{)} = \sum_{i=1}^{i=n} (\text{MFr muestra} * (\% \text{ MS}) * 10) \text{ profundidad}$$

i: profundidad evaluada.

n: tres profundidades

Biomasa radicular (t/ha): Biomasa radicular (materia seca)

MFr muestra: Materia fresca radicular de la muestra expresada en kg/m^2

% MS: Porcentaje de la materia seca de la muestra.

10: Factor para convertir kg/m^2 a t/ha

3.3.5. Estimación del contenido de carbono en la biomasa radicular

Para determinar el carbono contenido en cada biomasa, según la metodología del ICRAF (RÜGNITZ et al., 2009) se multiplicó por el factor 0,5. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Carbono radicular (t/ha) (CR)} = \text{biomasa radicular (t/ha)} * 0.5$$

3.3.6. Estimación del carbono del suelo

Para la estimación del carbono del suelo en cada estrato (0-10 cm, 10-20 cm, y 20-30 cm), se utilizó la fórmula sugerida por MacDicken (1997).

$$i=n$$

$$\text{COS (t ha}^{-1}\text{)} = \sum ([\text{CO}/100] * \text{Dap} * \text{Ps} * 10000) \text{ profundidad}$$

$$i=1$$

COS (t/h): Carbono orgánico del suelo

i: profundidad evaluada.

n: tres profundidades

[CO] (%): Concentración de carbono orgánico en %.

%CO= 0,58 x %MO (según Walkley y Black, 1938)

Dap (t/m³): densidad Parente de la profundidad evaluada (t/m³)

Ps(m): profundidad de muestreo (m)

10000: área (m²)

3.3.7. Determinación de las propiedades fisicoquímicas del suelo

La determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo fue de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 2. Métodos para determinar los indicadores físicos químicos del suelo

Indicadores fisicoquímicos	Método
Densidad aparente	Vol., peso húmedo y seco del suelo
Materia orgánica (C y N orgánico)	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo o pH	Método del potenciómetro
Nitrógeno Total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
C.I.C	Método del acetato

Fuente: MOSCATELLI *et al.*, (2005).

- Densidad aparente

La estimación de la densidad aparente fue determinada por el método del cilindro, que consistió en introducir un cilindro metálico al suelo para extraer una muestra de volumen conocido (502.66 cm^3) y secado al horno a 105°C por 72 horas, para determinar su peso seco (ms). Posteriormente, el peso seco se dividió entre el volumen del suelo (volumen interno del cilindro). Se tuvo 10 repeticiones por sistema.

- Materia orgánica: Método de Walkley y Black

Se pesó 0.5 g de suelo y se colocó en un erlemeyer de 250 mL, se agregó 10 mL de dicromato de potasio, y luego 10 mL de ácido sulfúrico Q.P. 96% concentrado, se dejó en reposo por una hora a mas, se enrazó a 100 mL con agua destilada. De esta solución tomó en una alícuota de 10 mL, se

adicionó 2 a 3 gotas del indicador difenil-amina, y se tituló con sal ferrosa amoniacal o sal de Mohr, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ 0.2N hasta que vire de azul violeta a verde brillante, se debe preparar un blanco, que consiste en preparar una muestra sin suelo. La finalidad es calcular el factor de corrección de la solución ferrosa.

$$\%M.O = \frac{(a - bf)0.003 * 1.724}{p} * 100$$

a: mL de dicromato de potasio utilizado

b: mL de sal ferrosa o sal de Mohr gastado (gasto de titulación)

f : Factor de corrección.

0.003 : Factor del carbón.

1.724 : Factor de van Vammelen.

P : Peso de la muestra

- Fósforo (Método de Olsen modificado)

Se utilizó el método de Olsen Modificado. En suelos ácidos los compuestos dominantes del fósforo son aluminio, hierro y manganeso, mientras que en suelos alcalinos son los fosfatos de calcio y magnesio, este comportamiento químico del fósforo llevó a investigar sobre diferentes extractantes en el análisis de fósforo disponible. Una vez que el fósforo ha sido extraído, la determinación en la solución es un procedimiento de tipo analítico.

Se pesó 2 g de suelo y se colocó en vaso de precipitación, se agregó 20 mL de bicarbonato de sodio 0.5 M (pH 8.5), se añadió carbón libre de fósforo, agitamos por 15 minutos, y se filtró. Del filtrado se tomó 3 mL, se agregó 10 mL de molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, al molibdato de amonio agregamos 0.01 g de ácido ascórbico por muestra, al mezclar inmediatamente, se torna azul cuando hay fósforo en la muestra y por último leer en el espectrofotómetro a una banda de 600 nm.

- Potasio disponible (método de ácido sulfúrico 6N)

Se peso 2.5 g de suelo, para luego depositarlo en un vaso de plástico, agregar 25 ml de ácido sulfúrico 6 N, luego se agito por espacio de 10 minutos. Posteriormente se filtró lo obtenido, de este filtrado se hizo diluciones en tubo de ensayo 1/10, 1/100, 1/1000. Finalmente se tomó lectura en el espectrofotómetro de Absorción Atómica.

- Determinación de la CIC efectiva para suelos con Acetato

Se pesó 5 gramos de suelo, agregar 50 mL de KCl 1N. Agitar por espacio de 15 minutos, luego filtrar con papel filtro.

- Determinación de bases cambiables (Ca + Mg) Método del Versenato

Del filtrado anterior se tomó 10 mL, luego se agregó 5 mL de solución tampón complejo (Buffer). Luego se agregó 1 o .2 gotas de indicador dicromo negro tornándose a rojo vino. Finalmente, titular con EDTA 0.01 M hasta que vire a color azul.

Cálculos:

$\text{Cmol c. de Ca + Mg} = \text{Gasto de titulación.}$

- Determinación del Ca

De la solución anterior se tomó 10 mL. Se agregó 2 mL de NaOH 6N. Luego se agregó como indicador purpurato de amonio tornándose rosado, luego se Tituló con EDTA hasta virar a violeta. Finalmente se anotó el gasto.

- Determinación de la acidez cambiante (Al + H)

De la solución anterior se tomó 10 mL. Se agregó como indicador 1- 2 gotas de fenolftaleína, se tituló con NaOH 0.01 N hasta virar a rosado.

Cálculos:

$\text{Cmol c. de Al + H} = \text{Gasto de titulación}$

- Determinación del Al

Se decoloró la muestra anterior con unas gotas de HCl 0.01 M hasta cambiar de color (inoloro). Se retituló agregando a cada muestra 10 mL de fluoruro de sodio 4% tomándose púrpura. Se tituló con ácido clorhídrico 0.01 M hasta cambio de color (inoloro).

Cálculos:

$\text{Cmol c. de aluminio} = \text{Gasto de titulación.}$

Cálculos de CICE:

$$\text{CICE (Cmol e /100 gr. de suelo)} = \text{Cmol e Bases Cambiables} + \text{Cmol e acidez cambiabile.}$$

(Fuente: Departamento de suelos de la Estación Experimental Agrícola la Molina-1984).

3.4. Tipo de investigación

El trabajo correspondió al tipo de diseño de investigación exploratorio o descriptivo.

3.3.1. Variable independiente

Las variables independientes son las dos unidades en estudio: pastura natura y pastura mejorada.

3.3.2. Variables dependientes

- Propiedades físicas y químicas
- Carbono radicular
- Carbono orgánico de suelo

3.5. Análisis estadístico

Para encontrar diferencias estadísticas entre las dos unidades exploratorias con respecto a las variables dependientes se utilizó la prueba de LSD Fisher para la inferencia basadas en dos muestras. Para describir los resultados se utilizaron cuadros y graficas de barras descriptivas.

IV. RESULTADOS

4.1. Propiedades físicas, químicas entre los sistemas de pastura

Para la prueba de LSD Fisher, a un 95% de confiabilidad se determinó que existe diferencia significativa para los valores de densidad aparente, materia orgánica y nitrógeno del suelo entre los sistemas de pastura natural y mejorada (Cuadro 3). Determinándose que los suelos con pastura mejorada presentan mayores valores ($1.63\pm 0.02 \text{ g/cm}^3$) respecto a los suelos con pastura natural ($1.47\pm 0.06 \text{ g/cm}^3$). Para los tenores de materia orgánica, los suelos con pastura mejorada presentó niveles bajos (1.54%) respecto a la pastura natural (1.91%). El comportamiento anterior se repite para los tenores de nitrógeno.

Cuadro 3. Evaluación de indicadores fisicoquímicos entre sistemas de pastura

Variabes	Pastura mejorada	Pastura natural	p – valor
Dap. (g/cm^3)	$1.81\pm 0.02a$	$1.52\pm 0.06b$	<0.0001
Materia org. (%)	$1.54\pm 0.05a$	$1.91\pm 0.02b$	<0.0015
N (%)	$0.04\pm 0.01a$	$0.01\pm 0.01b$	<0.0001
P (ppm)	$12.65\pm 1.65a$	$9.65\pm 1.56a$	0.0568
K ₂ O (kg/ha)	$212.56\pm 58.65a$	$195\pm 75.65a$	0.0658
CIC (meq/100 g suelo)	$4.35\pm 1.32a$	$4.53\pm 1.10a$	0.0614

En el Cuadro 3, se observa que para los tenores de fósforo disponible (ppm), potasio (kg/ha) y capacidad de intercambio catiónico (meq/100 gr de suelo) no existió diferencia significativa entre ambos suelos en estudio. Con valores que van de 9.65 ± 1.56 ppm a 12.65 ± 1.65 ppm de fósforo disponible; para el potasio se encuentra en el rango de 195 ± 75.65 kg/ha a 212.56 ± 58.65 kg/ha. Finalmente la CIC se encuentra en el rango de 4.35 ± 1.32 meq/100 g suelo a 4.53 ± 1.10 meq/100 g suelo.

4.2. Carbono orgánico bajo el suelo

4.2.1. Carbono radicular

En el Cuadro 4, se muestra los valores de biomasa radicular y carbono radicular evaluados por profundidad de horizonte entre los dos sistemas de pastura en estudio. En los estratos de 0 – 10 cm y 20 – 30 cm de profundidad no existe evidencia estadística para aceptar diferencias significativas entre los promedios de biomasa radicular (g/cm^2) y carbono radicular (t/ha) en ambos sistemas de uso en estudio. Sin embargo, en el segundo estrato de profundidad (10 – 20 cm) existe alta evidencia estadística para aceptar diferencias entre los promedios de biomasa radicular y carbono radicular en los sistemas en estudio, de ello se aprecia que el sistema con pastura mejorada ostenta mayores valores (235.76 ± 42.75 g/cm^2 de biomasa radicular y 1.83 ± 0.17 t/ha de carbono radicular) respecto al sistema con pastura natural (71.69 ± 9.14 g/cm^2 y 0.39 ± 0.3 t/ha de biomasa y carbono radicular).

Cuadro 4. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas

Profundidad del horizonte (cm)	Pastura	Biomasa radicular (gr/m ²)	Carbono radicular (t.ha ⁻¹)
0 - 10	Mejorada	424.48 ± 43.54 a	2.03 ± 0.21 a
	Natural	432.11 ± 5.54 a	2.25 ± 0.01 a
	P-valor	0.6897	0.5478
10 - 20	Mejorada	235.76 ± 42.75 a	1.83 ± 0.17 a
	Natural	71.69 ± 9.14 b	0.39 ± 0.3 b
	P-valor	0.0001	0.0001
20 - 30	Mejorada	104.71 ± 41.37 a	0.44 ± 0.09 a
	Natural	41.09 ± 11.46 a	0.23 ± 0.01 a
	P-valor	0.5643	0.3465
0 - 30	Mejorada	746.38 ± 46.46 a	4.29 ± 0.34 a
	Natural	544.89 ± 32.89 a	2.84 ± 0.11 a
	P-valor	0.0649	0.0794

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). según prueba de LSD Fisher.

En las Figuras 3, 4, 5 y 6 (grafico de boxplot), se observan el comportamiento de la biomasa y carbono radicular evaluado a través de tres profundidades y entre sistemas de pastura natural y mejorada. Observándose que los estratos de 0 – 10 cm y 20 – 30 cm de profundidad no existió diferencia significativa para ambas variables en estudio. Sin embargo en el segundo estrato se observa mayores valores para el sistema de pastura mejorada.

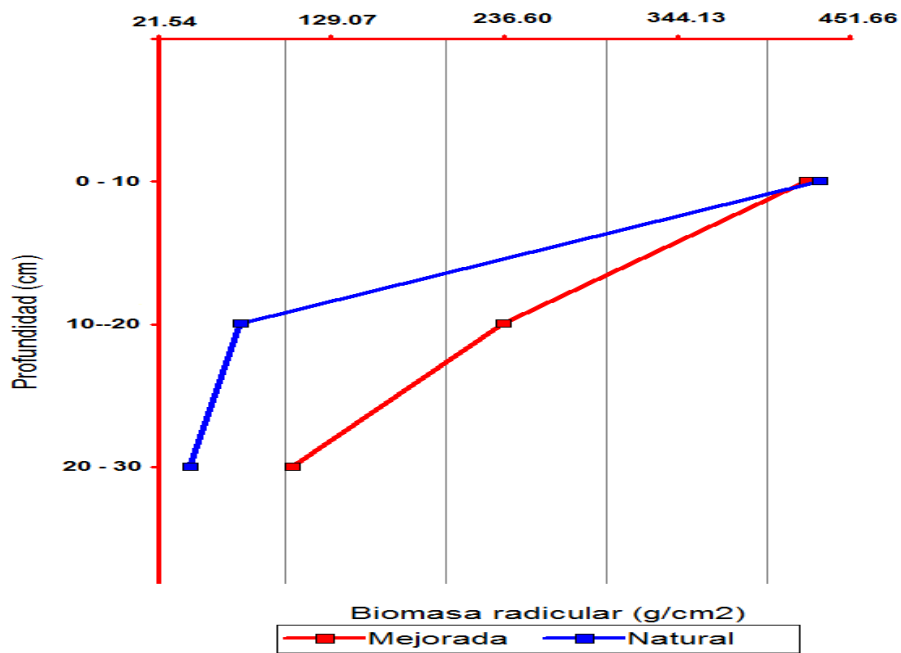


Figura 3. Evaluación de biomasa radicular (g/m^2) a través de tres profundidades en sistemas de pastura natural y mejorada

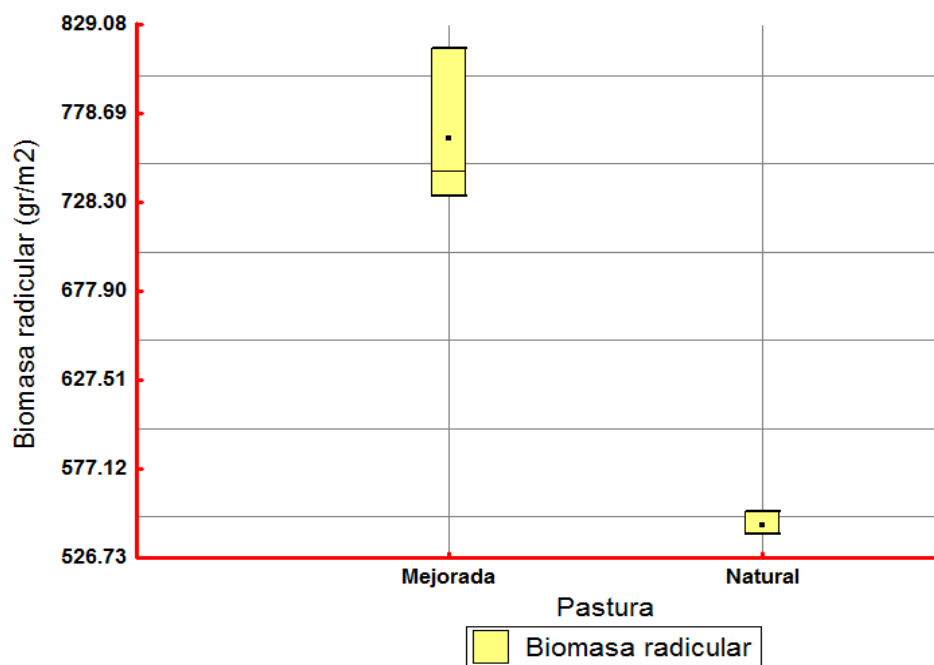


Figura 4. Evaluación de biomasa radicular (g/m^2) entre sistemas de pasturas natural y mejorada

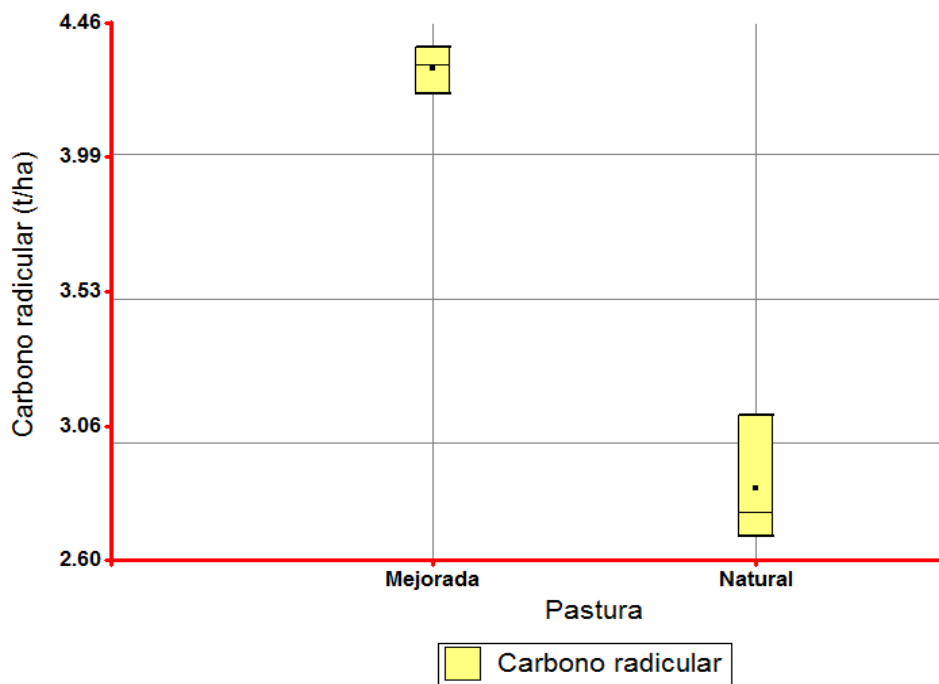


Figura 5. Evaluación de carbono radicular (t/ha) a través de tres profundidades en sistemas de pastura natural y mejorada

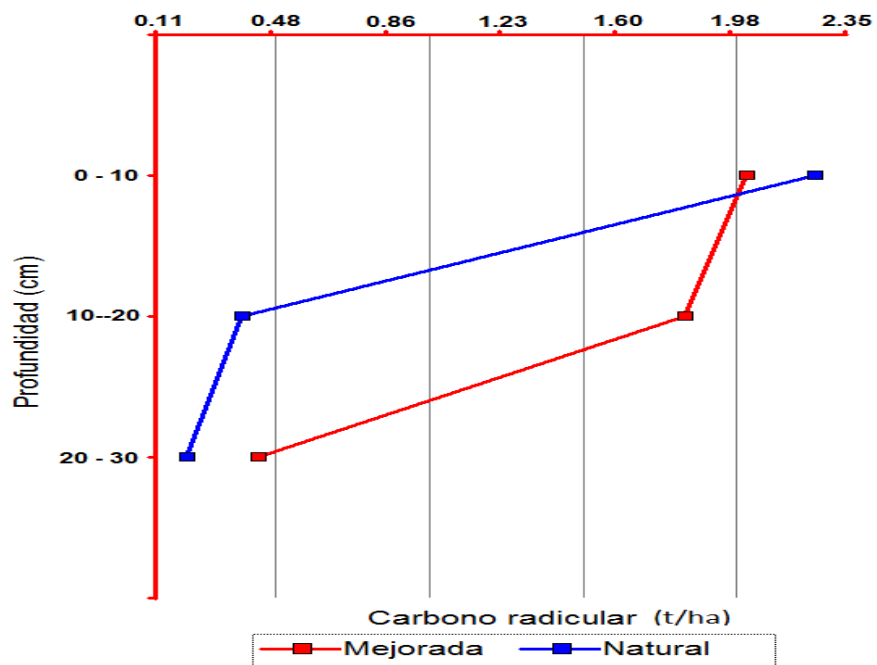


Figura 6. Evaluación de carbono radicular (t/ha) en sistemas de pasturas natural y mejorada

4.2.2. Carbono orgánico del suelo

Para el comparador de medias existieron diferencias significativas respecto a las tasas de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo evaluado entre los sistemas de pastura natural y mejorada por estratos sucesivos de 0 – 10 cm; 10 – 20 cm., y 20 – 30 cm de profundidad. En el primer estrato se evidencia mayores valores de carbono orgánico almacenado en el sistema de pastura mejorada. Mientras que, para el segundo y tercer estrato, el sistema de pastura natural almacena mayores tasas de carbono en el suelo.

Cuadro 5. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas

Profundidad del horizonte (cm)	Pastura	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Carbono orgánico del suelo (t.ha ⁻¹)
0 - 10	Mejorada	2.44	1.42	20.94 ± 0.21 a
	Natural	2.11	131	15.93 ± 0.12 b
	P-valor			<0.0001
10 - 20	Mejorada	1.21	164	12.12 ± 0.09 b
	Natural	2.41	139	20.82 ± 0.04 a
	P-valor			<0.0001
20 - 30	Mejorada	1.09	1.84	10.40 ± 0.01 b
	Natural	1.21	1.71	11.25 ± 0.03 a
	P-valor			<0.0001
0 - 30	Mejorada			43.46 ± 0.08 b
	Natural			48.00 ± 0.21 a
	P-valor			<0.0001

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). según prueba de LSD Fisher.

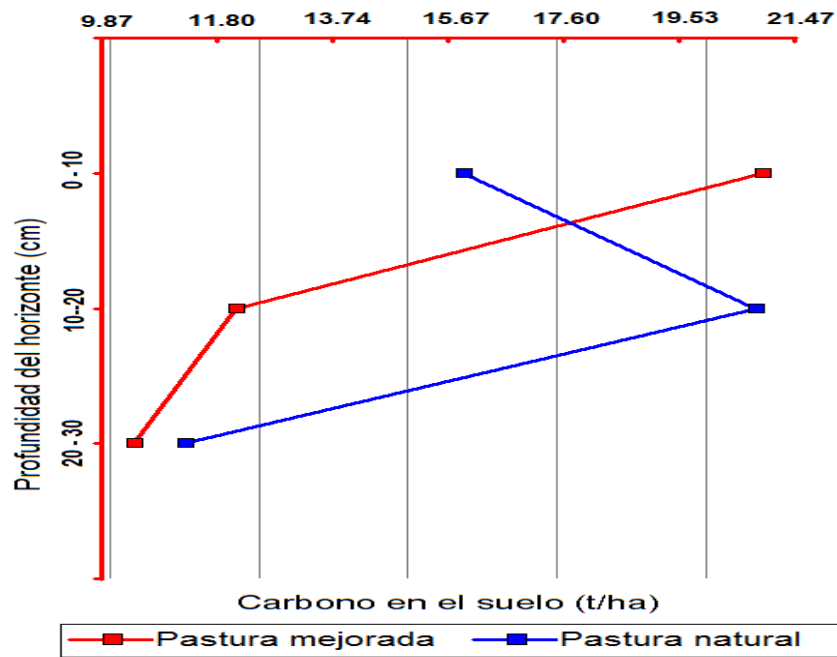


Figura 7. Evaluación de carbono en el suelo (t/ha) a través de tres profundidades en sistemas de pastura natural y mejorada

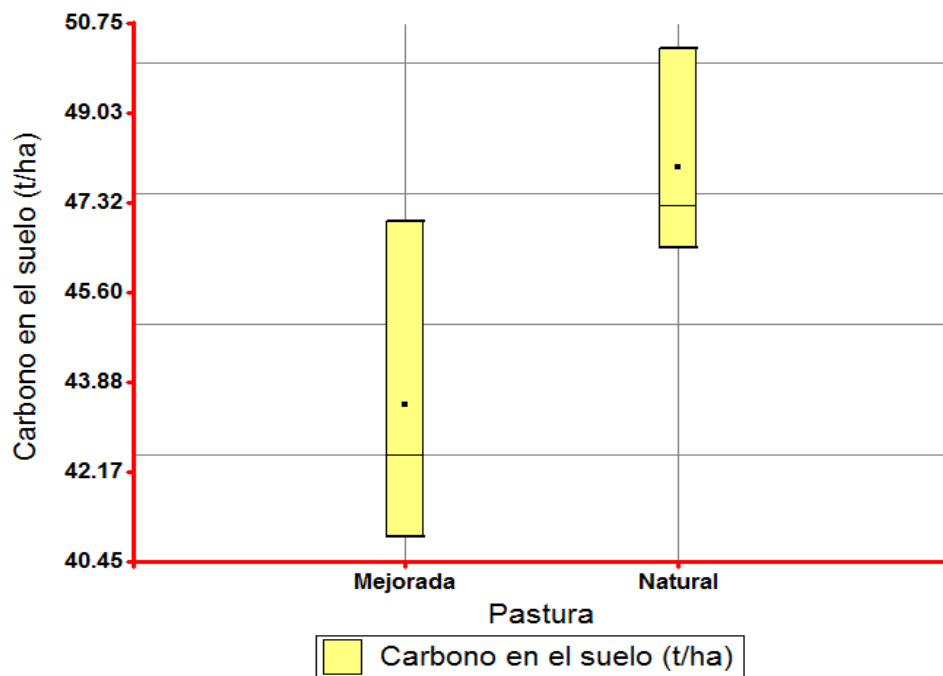


Figura 8. Evaluación de carbono en el suelo (t/ha) en sistemas de pasturas natural y mejorada

4.2.3. Carbono total bajo suelo

Para la prueba de LSD Fisher, a un 95% de confiabilidad, existió diferencia significativa en los valores de almacenamiento de carbono radicular entre los sistemas de pastura natural y mejorada. De ello, existe evidencia estadística para afirmar que los suelos de pastura mejorada presentan mayores valores respecto a la pastura natural (4.29 ± 0.34 t. C/ha y 2.84 ± 0.11 t. C/ha respectivamente). Sin embargo para el almacenamiento de carbono almacenado en el suelo, los suelos con sistema de pastura natural presentan mayores tasas de almacenamiento respecto a la pastura mejorada (48.00 ± 0.21 t. C/ha y 43.46 ± 0.08 t. C/ha). Finalmente para el almacenamiento de carbono bajo el suelo, existe evidencia estadística para afirmar que los suelos de pastura natural almacenan mayor carbono orgánico respecto a la pastura mejorada (50.84 ± 0.47 t. C/ha y 47.75 ± 0.78 t. C/ha).

Cuadro 6. Carbono bajo suelo en pastura mejorada y pastura natural (t.C/ha)

Pastura	Carbono radicular t. C/ha	Carbono orgánico del suelo t. C/ha	Carbono bajo suelo t. C/ha
Mejorada	4.29 ± 0.34 a	43.46 ± 0.08 b	47.75 ± 0.78 b
Natural	2.84 ± 0.11 a	48.00 ± 0.21 a	50.84 ± 0.47 a
p-valor	0.0582	<0.0001	<0.0001
CV%	11.25	15.63	4.24

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). según prueba de LSD Fisher.

V. DISCUSIÓN

Existió diferencia significativa para los valores de densidad aparente, materia orgánica y nitrógeno del suelo entre los sistemas de pastura natural y mejorada (Cuadro 3). Los suelos con pastura mejorada presentan mayores valores ($1.63 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$) respecto a la pastura natural ($1.47 \pm 0.06 \text{ g/cm}^3$). Para los tenores de materia orgánica, los suelos con pastura mejorada presentó niveles bajos (1.54%) respecto a la pastura natural (1.91%). Este comportamiento se atribuye a factores como la escorrentía superficial, debido a las altas precipitaciones, características de la zona en estudio por encontrarse en condiciones de selva alta. Por tanto se da fenómenos de erosión hídrica de los suelos (CERDA, 1998). Siendo menor en los sistemas de pastura mejorada por su elevado aporte de material senescente al suelo (hojarasca).

Por otra parte, la erosión laminar se ve potenciada por la compactación del suelo, con mayor frecuencia en el sistema de pastura natural, cuyas características son: mal drenaje, presentan agua en el perfil, en forma permanente o semipermanente, etc. Además, para los tenores de fósforo disponible (ppm), potasio (kg/ha) y capacidad de intercambio catiónico (meq/100 gr de suelo) no existió diferencia significativa entre ambos suelos en estudio. Con valores que van de $9.65 \pm 1.56 \text{ ppm}$ a $12.65 \pm 1.65 \text{ ppm}$ de fósforo disponible; para el potasio se encuentra en el rango de $195 \pm 75.65 \text{ kg/ha}$ a

212.56±58.65 kg/ha. Finalmente la CIC se encuentra en el rango de 4.35±1.32 meq/100 g suelo a 4.53±1.10 meq/100 g suelo. Este comportamiento se atribuye al fósforo liberado al suelo desde las rocas fosfatadas (meteorización) en forma de fosfatos, siendo asimilados por las plantas y animales.

Para los valores de biomasa radicular y carbono radicular evaluados por profundidad de horizonte entre los dos sistemas de pastura en estudio. En los estratos de 0 – 10 cm y 20 – 30 cm de profundidad no existió evidencia estadística para aceptar diferencias significativas entre los promedios en ambos sistemas de uso en estudio. Sin embargo, en el segundo estrato de profundidad (10 – 20 cm) existió alta evidencia estadística para aceptar diferencias en los sistemas en estudio, de ello, el sistemas con pastura mejorada ostentó mayores valores (235.76 ± 42.75 g/cm² de biomasa radicular y 1.83 ± 0.17 t/ha de carbono radicular) respecto al sistemas con pastura natural (71.69 ± 9.14 g/cm² y 0.39 ± 0.3 t/ha de biomasa y carbono radicular). RAO *et al.* (2001) muestran una distribución de raíces de pasturas concentrada en los primeros 30 centímetros del perfil del suelo. Para RÜGNITZ *et al.* 2009, esta distribución es característica de gramíneas pastoreadas que crecen en suelos pobres con reducción de nutrientes en las capas profundas.

No existió diferencia significativa entre los valores de almacenamiento de carbono radicular. Coincidimos con los resultados obtenidos por RAO *et al.* (2001) quien en la región amazónica reportó biomasa radicular de 640 g/m² a 700 g/m². Sin embargo, ZHIPING *et al.* (2004) difiere con nuestros resultados al determinar 930 g/m² de biomasa radicular en plantas C4 como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*).

Para el almacenamiento de carbono almacenado, los suelos con sistema de pastura natural presentaron mayores tasas de almacenamiento respecto a la pastura mejorada (48.00 ± 0.21 t. C/ha y 43.46 ± 0.08 t. C/ha). Nuestros resultados coinciden con los reportado por POLIDORO *et al.* (2008); AMÉZQUITA *et al.* (2008); y MACDIKEN (1997) atribuyéndose a que los suelos son pobres y con bajos contenidos de materia orgánica. Por su parte, la pastura natural contiene mayores tenores de materia orgánica de 10 a 20 centímetros de profundidad, respecto a la pastura mejorada. Esta variabilidad ocurre por una mayor biomasa radicular que permite incrementos de materia orgánica por efecto de la muerte de raíces (PEZO *et al.*, 2009).

Para el almacenamiento de carbono bajo el suelo, existió evidencia estadística para afirmar que los suelos de pastura natural almacenan mayor carbono orgánico respecto a la pastura mejorada (50.84 ± 0.47 t. C/ha y 47.75 ± 0.78 t. C/ha). Los resultados obtenidos en nuestra investigación son menores a los reportado por ANDRADE (1999) y FAO (2002). Cuyo valores fluctúan de 70 t C/ha a 90 t C/ha. Esta variabilidad se atribuye a factores como la calidad del suelo, precipitaciones, presencia del animal, etc.

VI. CONCLUSIONES

1. Los suelos con pastura mejorada presentaron mayores valores de densidad aparente respecto a los suelos con pastura natural. Para los tenores de materia orgánica, los suelos con pastura mejorada presentó niveles bajos respecto a la pastura natural. El comportamiento anterior se repite para los tenores de nitrógeno. Por lo que aceptamos la hipótesis alternante al existir un efecto positivo del sistema de pastura mejorada sobre la pastura natural. Sin embargo, para el fósforo, potasio y CIC no existió diferencias estadísticas entre ambos sistemas de pastura en estudio.
2. Los suelos de pastura mejorada presentaron mayores valores respecto a la pastura natural (4.29 ± 0.34 t. C/ha y 2.84 ± 0.11 t. C/ha respectivamente). Sin embargo para el almacenamiento de carbono almacenado en el suelo, el sistema de pastura natural presentó mayores tasas de almacenamiento respecto a la pastura mejorada (48.00 ± 0.21 t. C/ha y 43.46 ± 0.08 t. C/ha). Finalmente para el almacenamiento de carbono bajo el suelo, el sistema de pastura natural almacenan mayor carbono orgánico respecto a la pastura mejorada (50.84 ± 0.47 t. C/ha y 47.75 ± 0.78 t. C/ha).

VII. RECOMENDACIONES

1. Para posteriores investigaciones incluir variables como: biomasa arbórea, biomasa arbustiva, hojarasca, necromasa, entre otros.
2. Continuar en el monitoreo de este trabajo de investigación, para evaluar la efecto de los sistemas de pastura en relación al tiempo de instalación de estas.
3. Valorar los sistemas ganaderos como potenciales reservas de carbono mediante mayores trabajos de investigación que permitan definir las reservas y capturas de carbono.

**EVALUATION OF SOIL AND ORGANIC CARBON QUALITY INDICATORS IN
TWO EARTH USE SYSTEMS IN THE DISTRICT RUPA RUPA - TINGO**

MARÍA

VIII. ABSTRACT

The research was conducted on plots with natural pasture and improved pasture, located in the farm Merced de Locro, district Rupa Rupa, province Leoncio Prado, region Huánuco, with the purpose of evaluating soil and organic carbon quality indicators in two systems of land use (natural pasture (*Paspalum conjugatum*) and improved pasture (*Brachiaria decumbens*) in the district Rupa Rupa - Tingo María.

The methodology used was the one proposed by the GAMMA group (IBRAHIM *et al.*, 2003), for the evaluation of biomass in pasture systems. For each unit under study (plots), 1,000 square meters were considered as the area to be explored (20m x 50m). The collection of the samples was carried out with a palana on the first 30 cm of the soil, taking 05 (five) subsamples (1.0 kg) systematically in the center of each quadrant. To find statistical differences between the two exploratory units with respect to the dependent variables, the Fisher LSD test was used for inference based on two samples. Of the results, the soils with improved pasture presented higher values of apparent density with respect to the natural pasture. For the organic matter, the soils with improved pasture presented low levels with respect to the natural pasture. The above behavior is repeated for nitrogen levels. Therefore, we accept the alternating hypothesis when there is a positive effect of the improved pasture

system on the natural pasture. However, for phosphorus, potassium and CIC, there were no statistical differences between the two pasture systems under study. The improved pasture soils presented higher values regarding the natural pasture. However, for the storage of carbon stored in the soil, the natural pasture system presented higher storage rates than improved pasture. Finally, for the storage of carbon under the soil, the natural pasture system stores more organic carbon than the improved pasture.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMÉZQUITA. M; CASASOLA. F; RAMÍREZ. B; GIRALDO. H; GÓMEZ. H; LLANDERAL. T; VELÁSQUEZ. J; IBRAHIM. M. 2008. Stock and sequestration. In: Carbon sequestration in tropical grassland ecosystem. ISBN 978-90-8686-026-5. The Netherland. 52 p.
- ANDERSON J. & INGRAM, J. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. 2nd edition. International. Wallingford, UK. 221 p.
- ANDRADE. H. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc: Turrialba. CR. CATIE. 70 p.
- ARREAGA, D. 2002. Fauna do solo em diferentes sistemas de plantio e manejo no planalto medio do Rio Grande do Sul. Biodinâmica do solo.
- BLANCO, M. 2009. Comportamiento ecofisiológico de *Brachiaria decumbens* en monocultivo y en asociación con *Leucaena leucocéphala*. Revista Pastos y Forrajes Vol. 31 N° 3. 2008. Pp 217-227.
- CAMPBELL, K; ORDÓÑEZ, J; MASERA O. 1976. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1). 2001:3-12. Veracruz. México.

- CERDA, E.1998. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada. Universidad Centroamérica. Facultad de ciencia. Tecnología y ambiente. Managua – Nicaragua. 37 p.
- DE CAMARGO, J; DUBS, F.,LAVELLE, P.,BRENNAN, A.,EGGLETON, P., HAIMI, J., IVITS, E.,JONES, D.,KEATING, A., MORENO, A., SCHEIDEGGER, C.,SOUSA, P.,SZEL, G., WATT, A. 1999. Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: an European gradient study. 252 p.
- DE OLIVEIRA, F; EDWARDS, C.,BOHLEN, P.,LINDEN, D.,SUBLER, S. 2004. Earthworms in agroecosystems. In Hendrix, P.F. (Ed.). Earthworm ecology and biogeography in North America. Boca Raton, Lewis Publishers. 185-213 p.
- DELANEY, K; CORREIA, M. E. F., OLIVEIRA, L. C. M. 1997. De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. Seropedica. Embrapa. Agrobiologica. 112p.
- DORAN, S; PARKIN; A. 1994. Suelos del valle y del piedemonte en Talamanca: un paisaje dinámico para el almacenamiento de carbono. En: Agroforestería de las Américas N° 46 2008. Pp. 40-44.
- ESCUDERO, J; BENJAMIN. A; MASERA; O. 1985. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Vol 1. N° 1. Universidad Austral de Chile.

- FAO, 2002. Soil biodiversity and sustainable agriculture. In International Technical
- FISHER, L; HUTCHINSON, K.,KING, K. 1994. The effects of sheep stocking level on invertebrate abundance, biomass and energy utilization in temperate, sown grassland. *Journal of Applied Ecology* 17:369-387.
- FRAGERIA, A; MOREIRA, S. 2011. Cambio Climático y desarrollo. San José. CR. PNUD-Yale School of Forestry and Environment Studies. 465 p.
- GREACEN; L; SANDS, A. 1980. Impact of fall tillage on short-term carbón dioxide flux. In: *Soils and Global Change*. CRC Press. 132 p.
- GREENWOOD, H; MCKENZIE, K. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. Australia. Australian Greenhouse Office. 114 p.
- HERNÁNDEZ, F. 2003. Cambio Climático. Bosques y ordenación forestal. Una visión en conjunto. Roma. IT. FAO. 147 p.
- HOLDRIGE (1993), Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995).
- IBRAHIM, T; RUGGER, E; MUSCHELLER, N. 2005. Soil carbon stabilization in converted tropical pastures and forests depends on soil type. In: *Soil Science Society of America Journal* 69(4). pp. 1110-1117.
- LAGOS, P; VENEGAS, J. 2003. Almacenamiento de carbono en Bosques – El Papel del suelo. *Revista Forestal Iberoamericana* Vol. 1 N° 1. IUFRO. Centro de Investigación Forestal. Viena. Austria. [EN LINEA]

(<http://www.google.com.pe/search?q=carbono+en+el+suelo&hl=es&Start=40&sa=N>; 05 junio. 2010).

LARSON, D; PIERCE, Q. 1991. Producción de biomasa vegetal epígea e hipógea en las sabanas nativas. En Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia. CIAT. CIRAD. ISBN 958-694-033-0. Pp 124-145.

MACDIKEN. K. 1997. A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry Projects. Arlington. VA. US. Winrock International. 87 p.

MORENO, K; LARA, A. 2003. The effects of structure and its dynamics on the ecology and conservation of arthropods in British grasslands. *Biological Conservation* 95:129-142.

MÜLLER, D; ILMARINEN, K., MIKOLA, J., VESTERBERG, M. 2004. Do mammalian grazers affect plant growth and plant quality via long term soil feedbacks? In International Colloquium on Soil Zoology and Ecology. (14, 2004, France). 164 p.

ORREGO, W; DEL VALLE, Q. 2003. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer. Roma. IT. FAO. 55 p.

PEAH, 2012. Manual de Formulación de proyecto (Asistencia técnica personalizada) Formulación de proyectos – Dirección de estudios. 30 de abril del 2012. 35 p.

- PELLANT, W; MARTINEZ. E.; FUENTES. P.; ACEVEDO. E. 2005. Carbon sequestration in tropical agroforestry system. *Agriculture. Ecosystem and Environment* 99(1-3): 15-27
- PEZO. D; TORRES, O; OSPINA. S. 2009. Rol de los pastizales seminaturales en las fincas ganaderas de Muy Muy. Nicaragua percepciones de productores en investigadores. En: *Agroforestería de las Américas* N° 47 2009. Pp 7-11.
- POLIDORO, E; POST, F; KWON, D. 2008. Carbon sequestration and sustainable coffee in Guatemala. Final report. Arlington. VA. US. Winrock International. 14 p.
- POTTHAST, D; DECÄENS, T., LAVELLE, P., JIMÉNEZ, J. (2010. Creating healthy productive soil. In Congreso Nacional de AAPRESID (8., Mar del Plata, Argentina). pp. 35-40.
- RAO, L; RODRÍGUEZ, I., CRESPO, G., SÁNCHEZ, R. & FRAGA, S. 2001. Influencia del área sombreada por *Albizia lebbek* en indicadores del pasto (*C. nlemfuensis*) y el suelo. *Rev. Cubana. Cienc. agríc.* 34:273.
- RÜGNITZ. M; CHACÓN. M; PORRO. R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima. Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.
- RUIZ, S. 2002. Architectural features of agricultural habitats and their impact on spider inhabitants. *Journal of Arachnology* 27:371-377.

- SEGURA, T. 1999. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits; an overview. *Agroforestry systems*, 76: 1-10.
- SHEPHERD, S. 2000. Fortaleciendo de Relaciones Comunitarias: Intercambio Internacional para el Manejo de los Recursos Naturales. Taller de Desarrollo en la Economía Local desde un enfoque de Forestaría Análoga: Sri Lanka y Ecuador. Santa María Huatulco. México. 9 -15 de Noviembre 2003. 41 p.
- TRUJILLO, D; FEIJÓO, M., BUITRAGO, A., CALDERÓN, P., GIL, D., ZÚÑIGA, M. & CAMARGO, J. 2006. Quantifying soil macroinvertebrates under different land use systems in Colombia. 2nd International Symposium on Silvopastoral Systems. Universidad Autónoma. Mérida, Yucatán, México. 88 p.
- VOORHEES, K. 1983. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2):3-14. Veracruz. México.
- YONG, A; WARKENTIN, E. 1975. cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoral en la zona Atlántica de Costa Rica. En: *Agroforestería en las Américas* 6(23): 51-53.
- ZHIPING, T; TROUVE. C; MARIOTTI. A; SCHWARETZ. D; GUILLET. B. 2004. Soil organic carbon dynamics under eucalyptus and pinus plants in savannas in Congo. *Soil Biol. Biochem.* 26:287-295.

ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 9. Potrero con pastura mejorada



Figura 10. Extracción de muestras de suelo



Figura 11. Extracción de muestras de suelo



Figura 12. Extracción de muestras de biomasa radicular



Figura 13. Molido de muestras de suelo



Figura 14. Tamizado de suelos



Figura 15. Identificación de muestras de suelo.



Figura 16. Determinación de fosforo del suelo.



Figura 17. Determinación de materia orgánica del suelo.



Figura 18. Determinación de materia orgánica.



Figura 19. Determinación de potasio del suelo.



Figura 20. Determinación de materia orgánica del suelo



Figura 21. Determinación de capacidad de intercambio catiónico.