

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**EFFECTOS DEL PASTOREO SOBRE LAS RESERVAS SUBTERRÁNEAS DE
CARBONO Y NITRÓGENO EN LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO –
HUÁNUCO**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

LIZETH ELVA OLORTEGUI UTIA

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 27 de Abril del 2018, a horas 6:00 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de La Universidad Nacional Agraria de La Selva, para calificar la tesis titulada:

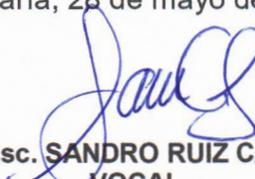
EFFECTOS DEL PASTOREO SOBRE LAS RESERVAS SUBTERRÁNEAS DE CARBONO Y NITRÓGENO EN LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO – HUÁNUCO

Presentado por el Bachiller, **LIZETH ELVA OLORTEGUI UTIA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

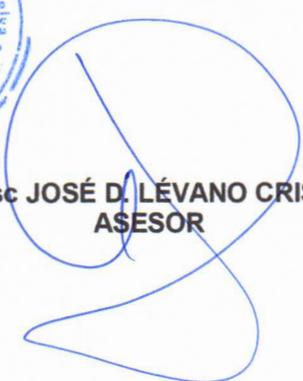
En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación de Título correspondiente.

Tingo María, 28 de mayo del 2018.


Ing. JAIME TORRES GARCÍA
PRESIDENTE


Ing. M.sc. SANDRO RUIZ CASTRE
VOCAL


Ing. M.sc. ROBERTO OBREGÓN PEÑA
VOCAL


Ing. M.sc. JOSÉ D. LÉVANO CRISÓSTOMO
ASESOR



AGRADECIMIENTO

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 mis queridos padres James Olortegui Gutiérrez y Victoria Utia Joroma por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por el valor mostrado para salir adelante.

A mis hermanos: Denis Olortegui Peña, Marco Antonio Valdez Utia, porque siempre he contado con ellos, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y la amistad.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, quien me regala cada amanecer y por sobre todo quien me regala el entendimiento para realizar cada reto de vida.
- A mis padres, a mis hermanos, mis tíos y tías, y demás familiares; por su amor fraternal, apoyo moral y económico.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyó en mi formación profesional.
- A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes contribuyeron en mi formación académica.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. Torres García Jaime; Ing. M.Sc. Ruiz Castre sandro; Ing. M.Sc. Obregón Peña Roberto, Ing. M.Sc. Florida Rofner Nelino.
- Al Ing. M.Sc. Lévano Crisóstomo José, docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor del presente trabajo, por su labor como formador, su amistad, su apoyo desinteresado y supervisión de la presente tesis.
- A todas aquellas personas que en forma directa o indirecta colaboraron significativamente para la culminación de la tesis.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. El suelo	4
2.2. La calidad del suelo.....	4
2.2.1. Indicadores físicos	5
2.2.2. Indicadores químicos	6
2.3. Degradación del suelo en áreas de pastoreo.....	6
2.3.1. Sobre el ganado y sus efectos.....	8
2.3.2. Sobre los procesos de degradación.....	9
2.3.3. Deterioro de la estructura edáfica	10
2.3.4. Compactación del suelo.....	11
2.3.5. Pérdida de nutrientes en el suelo.....	14
2.4. Factores que influyen en la materia orgánica del suelo en pastizales	17

2.4.1. La intensidad de manejo	17
2.4.2. La degradación del pastizal	18
2.4.3. El sistema radicular.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Lugar de ejecución.....	23
3.1.1. Ubicación política.....	23
3.1.2. Ubicación geográfica.....	24
3.1.3. Características generales de la zona.....	24
3.2. Materiales y equipos	25
3.2.1. Materiales y equipos de campo	25
3.2.2. Equipos y software.....	25
3.2.3. Materiales, equipos e insumos de laboratorio.....	26
3.3. Metodología	26
3.3.1. Enfoque metodológico	26
3.3.2. Selección de las parcelas experimentales	26
3.3.3. Demarcación del área de estudio	26

3.3.4. Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo en laboratorio	28
3.3.5. Determinación de la biomasa radicular	29
3.3.6. Estimación del carbono orgánico del suelo.....	31
3.3.7. Tipo de investigación	32
3.3.8. Variables independientes.....	32
3.3.9. Variables dependientes.....	32
3.4. Análisis estadístico.....	33
IV. RESULTADOS	35
4.1. Evaluación de variables en estudio entre parcelas ganaderas	35
4.1.1. Biomasa subterránea	35
4.1.2. Materia orgánica y nitrógeno orgánico del suelo.....	37
4.1.3. Densidad aparente del suelo	37
4.1.4. Carbono orgánico del suelo	38
4.2. Evaluación de las variables de estudio a través de un gradiente vertical del suelo en parcelas ganaderas	38

4.2.1. Biomasa subterránea	38
4.2.2. Materia orgánica y nitrógeno orgánico del suelo.....	40
4.2.3. Densidad aparente del suelo	44
4.2.4. Carbono orgánico del suelo	45
V. DISCUSIÓN.....	47
VI. CONCLUSIONES	50
VII. RECOMENDACIONES.....	51
VIII. ABSTRACT	52
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXO	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Coordenadas UTM de las parcelas con instalación de pasto <i>Brachiaria brizantha</i> en estudio.	24
2. Métodos para determinar los indicadores físicos	29
3. Métodos para determinar los indicadores químicos	29
4. Análisis de varianza de la biomasa subterránea evaluado entre las parcelas de estudio.....	35
5. Promedio de biomasa subterránea almacenado en las unidades de estudio	36
6. Análisis de varianza para el efecto del tipo de uso de las parcelas ganaderas sobre la materia orgánica y nitrógeno orgánico del suelo	37
7. Análisis de varianza de la biomasa subterránea almacenado en las parcelas de estudio evaluado a través de la profundidad del suelo.....	38
8. Promedio de biomasa subterránea almacenado en las unidades de estudio	39
9. Análisis de varianza del contenido de materia orgánica en el suelo	40
10. Promedio de materia orgánica en los suelos de las parcelas ganaderas evaluadas por profundidad	41

11. Análisis de varianza del contenido de nitrógeno orgánico en el suelo de los sectores en estudio	42
12. Promedio de nitrógeno orgánico en los suelos de las parcelas ganaderas evaluadas por profundidad	43
13. Promedio de densidad aparente del suelo en las unidades de estudio	44
14. Promedio de carbono orgánico almacenado.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema del plan de muestreo.	27
2. Promedio de biomasa subterránea almacenado en el suelo	36
3. Cantidad de biomasa subterránea bajo pastoreo y clausura, a distintas profundidades y en promedio para todos los sitios (n=4). Los contenidos están expresados en t/ha.	40
4. Variaciones en profundidad de materia orgánica (%) correspondiente a los siguientes intervalos 0-5, 5-10, 10-30, 30-50, 50-70 y 70-100 cm.	41
5. Variaciones en profundidad del contenido de nitrógeno (%) correspondiente a los siguientes intervalos 0-5, 5-10, 10-30, 30-50, 50-70 y 70-100 cm.	43
6. Variaciones en profundidad de la densidad aparente bajo pastoreo y clausura. En intervalos de 0-5, 5-10, 10-30 cm de profundidad.....	45
7. Variaciones en profundidad de la cantidad de carbono orgánico en el suelo. Las mediciones fueron tomadas en los siguientes intervalos 0-5, 5-10, 10-30 cm de profundidad.....	46
8. Parcela ganadera bajo pastoreo	62
9. Altura de la calicata en la parcela sin pastoreo	62

10. Parcela ganadera bajo pastoreo	63
11. Parcela ganadera bajo pastoreo	63
12. Pesado de la muestra para determinar la densidad aparente.....	64

RESUMEN

La investigación se realizó en el sector Venenillo, distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado – Huánuco; específicamente sobre ganaderías extensivas, en parcelas ganaderas con instalación de *Brachiaria brizantha*, con la finalidad de evaluar la distribución vertical del carbono y nitrógeno orgánico, biomasa subterránea del suelo en parcelas ganaderas pastoreadas y no pastoreadas. La metodología empleada es una mixtura de la propuesta por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) (RÜGNITZ *et al.*, 2009), por la Winrock International Institute For Agricultural Development (WINROCK) (MACDICKEN, 1997) y el grupo Ganadería y Medio Ambiente (GAMMA) (IBRAHIM *et al.*, 2003). De las muestras para análisis de biomasa subterránea y pH correspondientes a los 30 cm del perfil del suelo (0-5 cm, 5-10 cm y 10-30 cm) se extrajeron con un barreno de suelos de 2 cm de diámetro. Por otra parte, entre los 30 y los 100 cm de profundidad, se tomaron tres muestras de suelo por tratamiento con un barreno de 5.5 centímetros de diámetro, separándose en tres intervalos de profundidad: 30 -50 cm, 50 – 70 cm y 70 - 100 cm. La exclusión del pastoreo disminuyó significativamente la biomasa subterránea en los pastizales. La supresión del pastoreo determinó un promedio de 2.02 t/ha de biomasa subterránea, mientras que los sitios pastoreados determinó un promedio de 4.83 t/ha. Los efectos del pastoreo sobre la materia orgánica del suelo y el nitrógeno orgánico no difirieron entre los distintos tipos de suelo. La materia orgánica y nitrógeno tiende a decrecer a medida que se incrementa la profundidad del suelo. La densidad aparente del suelo se reduce a medida que se incrementa la profundidad del suelo. Para los valores de la cantidad de

carbono orgánico en el suelo no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativas. Concluyéndose que la exclusión del pastoreo no ejerce efecto positivo en las reservas de subterráneas de carbono y nitrógeno orgánico; se determinó que el pastoreo del ganado vacuno ejerce un efecto negativo sobre las reservas subterráneas de carbono y nitrógeno orgánico, biomasa subterránea, densidad aparente a través de la distribución vertical del perfil del suelo.

Palabras clave: Carbono, nitrógeno, microbiano, densidad, biomasa, pastura.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores retos que afrontan los especialistas de todo el mundo en la actualidad se relaciona con la generación de soluciones para mitigar la degradación del suelo, agua y aire, al mismo tiempo que se incrementa la presión sobre estos recursos naturales, en respuesta a la necesidad de producir más alimentos para una población creciente.

Como consecuencia de las actividades agrícolas y ganaderas vastas áreas de tierra han sido degradadas, algunas en forma irreversible, por un amplio rango de procesos, entre los cuales se destacan: erosión acelerada, desertización, compactación y endurecimiento, acidificación, salinización y/o sodificación, disminución en el contenido de materia orgánica, pérdida de diversidad y caída de la fertilidad del suelo.

Comprender las consecuencias y los mecanismos por los que el pastoreo altera la biogeoquímica de los pastizales es importante para mejorar nuestro conocimiento acerca del funcionamiento de los ecosistemas a escala global, ya que las tierras de pastoreo ocupan cerca de la mitad de la superficie terrestre. El tipo, sentido y magnitud de las alteraciones biogeoquímicas que ocasiona el pastoreo, particularmente su impacto sobre las reservas de carbono y nitrógeno orgánico del suelo han generado controversias. El manejo del pastoreo tiene grandes implicancias para el secuestro de carbono y un

papel importante en el mantenimiento de la productividad primaria a través de sus efectos sobre la fertilidad del suelo.

El pastoreo puede aumentar, disminuir o mantener inalteradas las cantidades de materia orgánica del suelo (MOS). Sin embargo, los aumentos observados en las condiciones pastoreadas son en general significativos solo en los primeros centímetros del suelo y a su vez la mayoría de estos trabajos no realizan correcciones que consideren la compactación del suelo, la cual puede aumentar espuriamente los contenidos de MOS.

Los contenidos de MOS son afectados por el clima, la textura del suelo y la vegetación. Es posible que el pastoreo interactúe con estos factores en sus efectos sobre la MOS. Los efectos del pastoreo sobre la MOS varían entre distintos pastizales y que están principalmente asociados al cambio producido por el pastoreo en la partición de carbono a raíces. La literatura, en término de ciclaje de nutrientes, globaliza la información dentro de los sistemas agroforestales, habiendo un gran bagaje de información específica en sistemas de pastoreo.

En la presente investigación se determinó que el pastoreo del ganado vacuno ejerce un efecto negativo sobre las reservas subterráneas de carbono y nitrógeno orgánico, biomasa subterránea, densidad aparente a través de la distribución vertical del perfil del suelo.

Para demostrar lo antes mencionado, se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la distribución vertical del carbono y nitrógeno orgánico, biomasa subterránea del suelo en parcelas ganaderas pastoreadas y no pastoreadas.

Objetivos específicos

- Evaluar la biomasa subterránea, densidad aparente, materia orgánica, carbono y nitrógeno orgánico entre parcelas ganaderas (pastoreada y no pastoreada).

- Evaluar la biomasa subterránea, densidad aparente, materia orgánica, carbono y nitrógeno orgánico a través de un gradiente vertical del suelo en parcelas ganaderas (pastoreada y no pastoreada).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El suelo

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la explotación agropecuaria y forestal. La producción de alimentos depende en un alto porcentaje del uso que se les dé a los suelos (MARTIN Y ADAD, 2006).

Su formación es un proceso complejo que involucra cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria. Los físicos implican la reducción del tamaño de las partículas sin ninguna alteración en su composición, y son causados por ciclos de hielo-deshielo, lluvia y otros efectos ambientales. Los químicos son originados por la separación de las partículas minerales de las rocas; su alteración o destrucción y la resíntesis a compuestos sólidos estables se deben, principalmente, a la acción del agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos (BUDHU, 2007).

2.2. La calidad del suelo

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos (DORAN Y PARKIN, 1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (CARTER *et al.*, 1997). El estado de las propiedades

dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituyen la salud del suelo; la preocupación por la calidad del suelo no es nueva (SINGER Y EWING, 2000).

En el pasado, este concepto fue equiparado con el de productividad agrícola por la poca diferenciación que se hacía entre tierras y suelo. Tierras de buena calidad eran aquéllas que permitían maximizar la producción y minimizar la erosión. Para clasificarlas se generaron sistemas basados en esas ideas (DORAN y PARKIN, 1994). La calidad del suelo, ha sido percibida de muchas formas desde que este concepto se popularizó en la década anterior (KARLEN *et al.*, 1997). Este concepto ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Simultáneamente, calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso.

2.2.1. Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso, ya que no se pueden mejorar fácilmente (SINGER Y EWING, 2000). La calidad física del suelo se asocia con el uso eficiente del agua, los nutrientes y los pesticidas, lo cual reduce el efecto invernadero, y conlleva un incremento de la producción agrícola (LAL, 1997). Esta calidad no se puede medir directamente, pero se infiere a través de los indicadores de la calidad y de la medición de los atributos que están

influenciados por el uso y las prácticas de manejo (CARTER, 2002). La estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

2.2.2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y los microorganismos (SQI, 1996). Entre ellos se encuentran la disponibilidad de nutrimentos, el carbono orgánico total, el carbono orgánico lábil, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes, los cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable.

2.3. Degradación del suelo en áreas de pastoreo

El pastoreo puede aumentar, disminuir o mantener inalteradas las cantidades de materia orgánica del suelo (MOS) (HENDERSON *et al.*, 2004). Sin embargo, los aumentos observados en las condiciones pastoreadas son en general significativos solo en los primeros centímetros del suelo y a su vez la mayoría de estos trabajos no realizan correcciones que consideren la compactación del suelo, la cual puede aumentar espuriamente los contenidos de MOS (HENDERSON *et al.*, 2004). Las fluctuaciones climáticas presentan

efectos positivos o negativos sobre la PPNA, pero su impacto relativo sobre la PPNA es más alto en el extremo seco que en el extremo húmedo del gradiente de precipitación. Los contenidos de materia orgánica en el suelo (MOS) son afectados por el clima, la textura del suelo y la vegetación (JOBAGY Y JACKSON 2000).

Los herbívoros pueden afectar la acumulación de MOS a través de una variedad de mecanismos simultáneos. La mayoría de estos mecanismos involucran cambios en la cantidad de C y N (los dos elementos más importantes que componen la materia orgánica) que entra o sale del suelo (BAISDEN *et al.* 2002).

Estos mecanismos pueden ser, entre otros: (1) la redistribución de N en el ecosistema (AUGUSTINE, 2003), que generalmente aumenta las pérdidas de N; la exportación de N en la biomasa de plantas y animales, que también aumenta las salidas de N; los aumentos en la volatilización y lixiviación de N (FRANK Y EVANS 1997); el consumo de C y la respiración por los herbívoros, que disminuye las entradas de C al suelo; la compactación del suelo por pisoteo (HENDERSON *et al.*, 2004), con efectos variables en las entradas y salidas de C; el aumento en la erosión del suelo, que acelera las pérdidas de C y N (NEFF *et al.* 2005), los cambios en la asignación de C y N a raíces (PUCHETA *et al.* 2004), que aumentan o disminuyen las entradas de C y N al suelo; los cambios en la calidad de la broza (ALLARD *et al.*, 2003), que influyen en la descomposición y las salidas de C; los cambios en la fijación de N (ALLARD *et al.*, 2003), que influyen en las entradas de N. Los cambios en la

productividad primaria ocasionados por la remoción de biomasa muerta y verde (OESTERHELD *et al.* 1999), que alteran las entradas de C y la destrucción física del material muerto en pie por el tráfico animal (SCHUMAN *et al.* 1999), que puede aumentar la PPNA y favorecer la descomposición.

Los cambios en la composición de especies inducidos por la herbivoría pueden activar algunos de estos mecanismos biogeoquímicos mencionados. Por ejemplo, las variaciones en la calidad de la broza, la cantidad de C y N que es asignada a las raíces o la abundancia de leguminosas que fijan nitrógeno en el tapiz vegetal (LOISEAU *et al.*, ALLARD *et al.* 2003). Dependiendo de la magnitud y el signo de los cambios provocados en las entradas y en las salidas de C y N del suelo, el pastoreo tendrá consecuencias positivas o negativas sobre la MOS. Mientras que en los pastizales semiáridos, en los cuales el agua es la principal limitante de la PPNA, la acumulación de MOS estaría controlada por el C (BURKE *et al.* 1998), en los pastizales subhúmedos y húmedos, los nutrientes, particularmente el N, controlarían la PPNA y la acumulación de MOS (JOHNSON y MATCHETT 2001).

2.3.1. Sobre 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 destinadas a cultivos permanentes (1.1%), y es el grupo más importante de las tierras bajo explotación agraria (37.9% del total mundial) (ARNOLD, 1990).

2.3.2. Sobre los procesos de degradación

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, relacionados con la reducción de la cubierta vegetal provocada por los animales domésticos, particularmente en los años de sequía pluviométrica. También han sido reportados en dehesas y pastizales 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).

Las actividades tradicionales de las áreas de pastoreo como el cultivo de cereal, el manejo del ganado, el tratamiento del arbolado, mediante podas, modifican la cobertura vegetal del suelo, tanto a nivel superficial como aéreo, influyendo directamente sobre el estado de la vegetación. Los cultivos rotacionales en muchas áreas de pastoreo quedan el suelo al descubierto al final del verano, aumentando efectos de la erosión hídrica, especialmente en las zonas de fuerte pendiente. Lo mismo ocurre en áreas sobre pastoreadas, particularmente en los años más secos, en los que el pasto no se recupera en primavera y pierde su capacidad protectora (SCHNABEL *et al.*, 2013).

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. La compactación también afecta de manera directa a la vegetación, ya que impide el crecimiento natural de las raíces de las plantas y reduce su aireación (CERDA, 1998).

2.3.3. Deterioro de la estructura edáfica

La estructura del suelo se caracteriza por la forma, colocación y distribución de las partículas (arcillas, limos y arenas) y los poros del suelo y por su agregación; categorizándose, principalmente, en función del grado de estructuración, del tipo de estructura y del tamaño y forma de los agregados (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 (LARSON Y PIERCE, 1991). 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.

2.3.4. Compactación del suelo

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, el uso de maquinaria pesada y el pisoteo del ganado. Sus efectos han sido ampliamente estudiados, implicando cambios en la estructura del suelo, mayor densidad aparente e incremento de la resistencia mecánica y fuerza de penetración del suelo (GREACEN Y SANDS, 1980), 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 un serio problema cuando limita en el suelo la capacidad de almacenar e infiltrar agua e impide el crecimiento de las plantas o el reciclaje de nutrientes (FIERER *et al*, 2005).

El pisoteo del ganado ejerce una presión variable sobre el suelo, estando condicionado por factores del propio animal como su masa, el tamaño de la pezuña y su energía cinética y por otros factores físicos como el contenido de humedad del suelo y la pendiente del terreno. GREENWOOD Y MCKENZIE (2001) investigaron sobre los principales factores y efectos físicos de la compactación de los suelos. Entre los factores más importantes destacaron el pisoteo de los animales y el producido por el paso de la maquinaria agraria, y cuantificaron la presión ejercida sobre el suelo.

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.

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

De una manera más específica y centrada en las áreas de pastoreo, el NRCS del USDA añade más valores limitantes de densidad aparente para otras clases texturales. Los suelos con texturas gruesas presentan valores limitantes para el enraizamiento de las plantas a partir de 1.75 g/cm^3 , los de textura franca a partir de 1.70 g/cm^3 , los de textura franco-arcillosa y arcillo-arenosa a partir de 1.65 g/cm^3 y 1.60 g/cm^3 , respectivamente. Los suelos con texturas más finas presentan unos valores limitantes entre 1.40 g/cm^3 en suelos arcillosos hasta 1.55 g/cm^3 en suelos limosos. Los de textura arcillo-limosa y franco-limo-arcillosa, por su parte, presentan valores de 1.45 y 1.50 g/cm^3 , respectivamente. 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 (GERRARD, 1982). VOORHEES (1983) señaló 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 (BLANCO, 2009).

La compactación del suelo conlleva una reducción de la producción vegetal (WHALLEY *et al.*, 2008) debido a las limitaciones a las que se ven sometidas las raíces y los brotes de las plantas. TAYLOR (1966) cifró en 2,5 MPa el valor limitante de resistencia a la penetración a partir del cual el crecimiento de las raíces de las plantas no se lleva a cabo o se produce con dificultad. En consonancia con esa cifra, aunque con valores más bajos, el umbral de 2 MPa, dado por GREACEN (1986), es muy a menudo aceptado

como el valor limitador del crecimiento potencial de las raíces en la discusión de trabajos que se dedican a estudiar la compactación del suelo mediante penetrómetros. Otros trabajos proponen valores más altos: 3 MPa (BUSSCHER y SOJKA, 1987). No obstante, los valores críticos de limitación al crecimiento radicular pueden variar según el tipo de suelo o de vegetación que este soporta (BENGOUGH, 1991).

2.3.5. Pérdida de nutrientes en el suelo

Las principales fuentes de nutrientes 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 fósforo.

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 (BENGOUGH, 1991).

El nitrógeno proviene de la atmósfera 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 nitrificación 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 (BENGOUGH, 1991).

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. DORAN y PARKIN (1994) añadieron, además, la textura y la estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable. En cuanto a las clasificaciones de indicadores desarrolladas en áreas de pastoreo, PELLANT *et al.* (2005) proponen dos indicadores para medir la fertilidad de las plantas: el contenido de hojarasca y la producción anual de las plantas. El pH se usa como parámetro para expresar el grado de acidez o basicidad de una solución, consistente en medir en la misma la concentración de iones hidronio (H_3O^+). Su importancia radica en su efecto sobre la solubilidad de los minerales, ya que a ciertos valores de pH (<5,00 - >9,00) muchos nutrientes (N, P, Ca, Mg, K) dejan de ser asimilables

para las plantas (HAZELTON Y MURPHY, 2007). A medida que los valores de pH se alejan de 7, en un sentido u otro, algunos elementos y/o sales minerales pueden ser absorbidos por las plantas con mayor facilidad, lo que llegaría a producir altos niveles de toxicidad en las mismas al superarse ciertas concentraciones de algunos elementos como el hierro, el aluminio, el manganeso, etc., lo que puede ocurrir en suelos muy ácidos; o problemas de salinización por altas concentraciones de sales solubles o exceso de nutrientes como el sodio. No obstante, existen especies vegetales adaptadas a altos valores de acidez o alcalinidad, aunque la mayoría de los expertos recomiendan un pH entre 6 y 7,5 como el idóneo para la mayoría de las especies.

En ambientes pluviosos la acidez suele ser mayor y los residuos orgánicos son de naturaleza acida. 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, 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.

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 (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-), respectivamente, gracias a los descomponedores y a las bacterias nitrificantes. En forma de nitrato y amonio el nitrógeno es asimilado por las plantas.

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 fósforo 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.

2.4. Factores que influyen en la materia orgánica del suelo en pastizales

2.4.1. La intensidad de manejo

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 de los sistemas intensivos que utilizan de fertilizantes.

2.4.2. La degradación del pastizal

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.

2.4.3. 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.

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.

La acumulación de MOS en las capas superficiales del suelo está principalmente determinada por la cantidad de raíces y sus tasas de renovación

(JOBAGY Y JACKSON 2000). Por otro lado, la materia orgánica de los órganos subterráneos contribuye en mayor medida a la formación de MOS (JOBAGY y JACKSON, 2000).

A pesar de que se ha demostrado en experimentos con plantas individuales que la asignación de biomasa a raíces disminuye después del pastoreo o la defoliación (OESTERHELD, 2002), las evidencias recabadas en experimentos de campo (a nivel de comunidad) son contradictorias y muestran que el pastoreo puede aumentar o disminuir la cantidad de raíces y otros órganos subterráneos (MCNAUGHTON *et al.*, 1998). Sin embargo, en los pastizales húmedos y subhúmedos del Río de la Plata, los cuales normalmente tienen períodos cortos de sequía en verano, el pastoreo parece estimular la asignación de recursos a los órganos subterráneos (PUCHETA *et al.*, 2004). La asignación de biomasa a raíces no sólo aumenta el C que entra al suelo sino también la retención de N dentro del ecosistema (DELL *et al.*, 2005).

Conjuntamente con los cambios en la MOS, el pastoreo de grandes herbívoros aumenta la compactación del suelo debido al pisoteo. Varios autores muestran cambios en la densidad aparente del suelo ocasionados por el pastoreo (HENDERSON *et al.* 2004), mientras que otros no detectan efectos significativos (TABOADA Y LAVADO 1988).

Hasta ahora ningún trabajo ha relacionado estos efectos variables del pastoreo sobre la densidad aparente del suelo con alguna otra variable. La densidad aparente es una propiedad importante de suelo, estrechamente asociada a los contenidos de MOS (FRANZLUEBBERS *et al.*, 2000). La

densidad aparente influye en la aeración del suelo y la capacidad de retención de agua y puede alterar las estimaciones de COS y NOS del suelo, particularmente en los horizontes superficiales (HENDERSON *et al.*, 2004).

Los experimentos que analizan los cambios ocurridos entre zonas clausuradas al pastoreo y las zonas adyacentes pastoreadas tienen varios problemas conocidos. Algunos de estos problemas son inherentes al tipo de estudio, pero otros pueden ser solucionados con relativa facilidad. Los primeros incluyen los supuestos de que el tiempo y el espacio son intercambiables y que los efectos del pastoreo pueden inferirse de la situación inversa, donde los herbívoros son removidos (ausencia de histéresis). El intercambio de espacio por tiempo puede suponerse con cierta confianza si se evalúan las variaciones espaciales de las propiedades del suelo (topografía, por ejemplo) y si se comprueba que ciertas propiedades inalterables por los herbívoros (como la textura del suelo en el caso de que la erosión no sea importante) sean similares entre ambas situaciones. Por otro lado, la reversibilidad de los efectos del pastoreo ha sido cuestionada en algunos estudios (BURKE *et al.*, 1997), por lo que los efectos de la suspensión del pastoreo deben invertirse con cierta cautela. Un problema frecuente en estos estudios es la pseudoreplicación (HURLBERT, 1984), la cual puede evitarse considerando correctamente las submuestras e incluyendo varios sitios apareados independientes como verdaderas réplicas. Adicionalmente, los cambios ocurridos en la MOS bajo distintos regímenes de pastoreo a menudo son medidos solamente en los primeros centímetros del perfil del suelo, donde la compactación del suelo por efecto del pisoteo es mayor. En esta situación es necesario corregir los

contenidos de COS y NOS medidos y llevarlos a una masa equivalente, para no subestimar los contenidos de MOS en la situación no pastoreada (HENDERSON *et al.* 2004). A su vez, la MOS está compuesta por varias fracciones con distintas tasas de renovación y el pastoreo puede afectarlas de manera distinta al igual que lo observado para cultivos agrícolas por FABRIZZI *et al.* (2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en el sector Venenillo, específicamente sobre ganaderías extensivas, en parcelas ganaderas con instalación de *Brachiaria brizantha*, diferenciadas por el tipo de uso (parcela ganadera pastoreada y no pastoreada).

La zona en estudio corresponde a Centro Poblado Venenillo, perteneciente al distrito de Rupa Rupa de la provincia de Leoncio Prado, de la región Huánuco, está ubicada en la margen derecha del río Cuchara, muy cerca de su desembocadura en el río Huallaga. Por otra parte, el trabajo de gabinete se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.1.1. Ubicación política

Región	:	Huánuco
Provincia	:	Leoncio Prado
Distrito	:	Rupa Rupa
Centro poblado	:	Venenillo

3.1.2. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica de las parcelas en estudio corresponde a las coordenadas UTM (Zona 19 K, Datum WGS 84), siendo las siguientes (Cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas UTM de las parcelas con instalación de pasto *Brachiaria brizantha* en estudio.

Ganadería	Coordenadas UTM		Altura (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
Pastoreada	379253	8995575	586
No pastoreada	379425	8994905	591

3.1.3. Características generales de la zona

Su fisiografía principalmente está conformada por valles, comprendida desde planos aluviales y terrenos pantanosos (aguajales) hasta regularmente accidentados, se estima que más del 50 % de las tierras son de protección forestal en la provincia de Leoncio Prado.

La temperatura varía entre 29,4 °C máximo, 19,2 oc mínimo, y 23,9 °C como media. La precipitación promedio anual es 3 629.6 mm, humedad 26 relativa de 84 %. Existe mayor variación en la precipitación que en la temperatura a través del año, por lo que es casi imposible diferenciar verano de invierno desde el punto de vista térmico (Hueck, 1978; citado por AYALA, 1999).

Los suelos dominantes en esta región son de dos tipos inceptisoles y ultisoles, con régimen de humedad principal. Asimismo, de acuerdo a la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimática de Holdridge (1987), indicado en el mapa de zonas de vida del Perú (INRENA, 1995); las zonas de investigación se encuentran de acuerdo a los niveles de altitud de los tipos de, bosque muy húmedo Sub Tropical (bmh-ST) o bosque muy húmedo PreMontano Tropical (bmh-PMT), que involucran a toda la provincia de Leoncio Prado.

La economía de la zona es sustentada principalmente a través de la agricultura desarrollada con mejores condiciones en los valles, tierras cercanas a los ríos, teniendo como productos principales: el plátano, yuca, café, cacao, cítricos, papaya; además de la ganadería y actividad forestal que también son rubros importantes que vienen generando ingresos económicos.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales y equipos de campo

Flexómetro de 5 m., libreta de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, martillo, navajas, machete, pala recta, capa impermeable, wincha de 50 m, cilindros muestreadores, barreno, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS).

3.2.2. Equipos y software

Laptop Compaq Presario, microsoft office 2016, arcgis 10.1.

3.2.3. Materiales, equipos e insumos de laboratorio

Matraz de Erlenmeyer, vaso de precipitación, probeta graduada, varilla, tamiz, balanza de precisión y estufa, agua destilada, ácido sulfúrico, difenilamina sulfúrica, sal de Mohr y cloruro de potasio.

3.3. Metodología

3.3.1. Enfoque metodológico

La metodología desarrollada es una mixtura de la propuesta por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) (RÜGNITZ *et al.*, 2009), por la Winrock International Institute For Agricultural Development (WINROCK) (MACDICKEN, 1997) y las propuestas por el grupo Ganadería y Medio Ambiente (GAMMA) (IBRAHIM *et al.*, 2003).

3.3.2. Selección de las parcelas experimentales

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron parcelas pastoriles con instalación de *Brachiaria brizantha*, diferenciadas por el tipo de uso (parcela ganadera pastoreada y no pastoreada). Todas ellas debieron presentar características uniformes por cuanto a pendiente moderada (plana).

3.3.3. Demarcación del área de estudio

Tal como sugiere la metodología propuesta por el grupo GAMMA (IBRAHIM *et al.*, 2003), para la evaluación en potreros se demarcó un área de 1000 metros cuadrados.

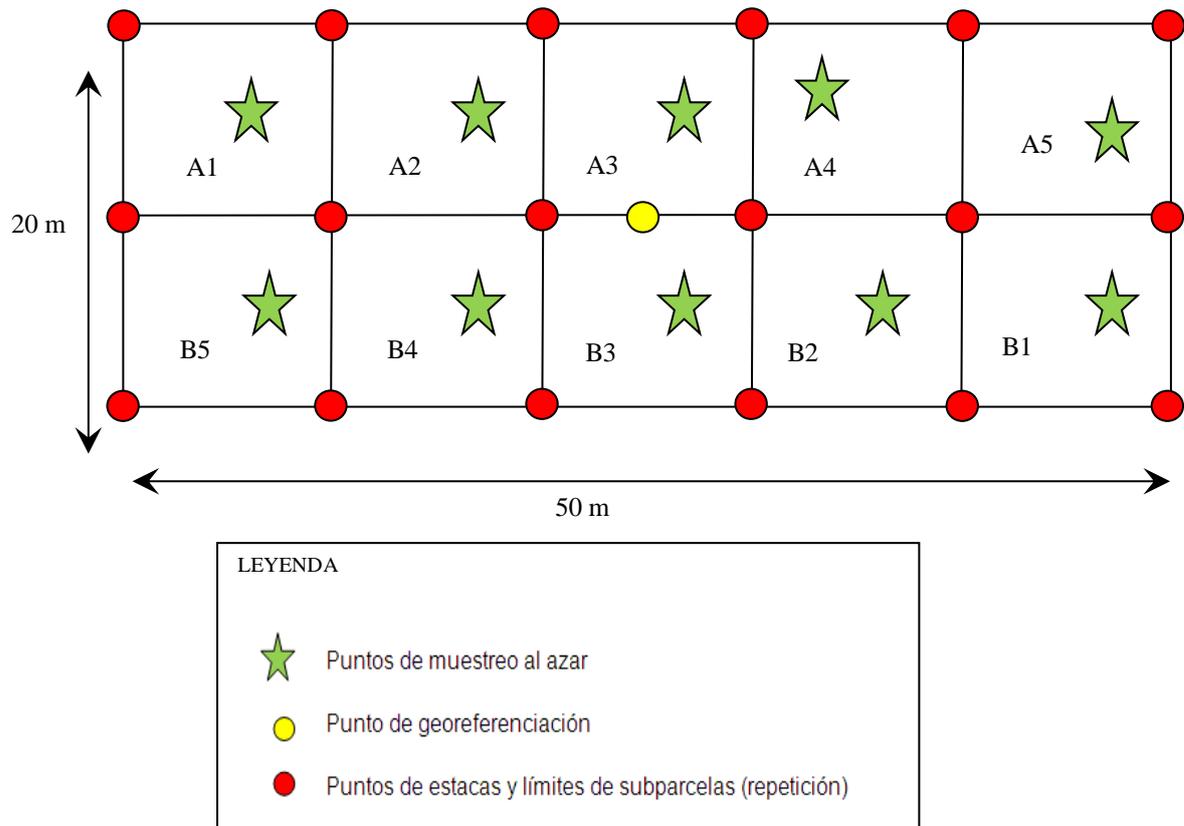


Figura 1. Esquema del plan de muestreo.

Cada subparcela (repetición) tuvo 10 m. x 10 m. y se delimitó utilizando rafia de color. Los puntos verdes (estrella) indican los puntos de muestreo, seleccionado al azar; los puntos rojos, indican los límites de cada subparcela; y el punto amarillo corresponde al punto de georeferenciación de cada parcela.

De las muestras para análisis de carbono y nitrógeno orgánico correspondientes a los primeros 30 centímetros del perfil del suelo se extrajeron con un barreno de suelos de 2 centímetros de diámetro. Por lo que, por cada parcela en estudio, se tomó al azar cuatro puntos de muestreo (cada punto de muestreo que representa un monolito) de ellos, cada punto de

muestreo fue separados en tres intervalos de profundidad: 0-5 cm, 5-10 cm y 10-30 centímetros de profundidad por lo cual se realizó doce puntos de muestreo, haciendo un total de veinticuatro puntos de muestreo para ser analizadas en el laboratorio. Así mismo, se tomaron muestras de raíces y órganos subterráneos con un cilindro muestreador de 7 cm de ancho para determinar la biomasa subterránea. Las raíces fueron cuidadosamente separadas del suelo y lavadas con agua utilizando un tamiz de 2 mm de diámetro. Luego fueron secadas en un horno a 60°C y se pesaron con precisión de miligramos.

Por otra parte, entre los 30 y los 100 centímetro de profundidad, se tomaron tres muestras de suelo por tratamiento con un barreno de 5.5 centímetros de diámetro, separándose en tres intervalos de profundidad: 30-50 cm, 50-70 cm y 70-100 cm. Extrayéndose un total de 24 muestras de suelo en total. Para su posterior análisis químico y determinación de los niveles de carbono y nitrógeno orgánico del suelo.

3.3.4. Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo en laboratorio

La estimación de la densidad aparente fue determinada por el método del cilindro, que consistió en introducir un cilindro metálico en las paredes del monolito, diferenciándolos por estratos para lo cual cada cilindro poseía un volumen definido, luego estas muestras serán secados 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).

La determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo fue de acuerdo a los siguientes cuadros:

Cuadro 2. Métodos para determinar los indicadores físicos

Indicadores físicos	Método
Densidad aparente	Volumen, peso húmedo y seco del suelo

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

Cuadro 3. Métodos para determinar los indicadores químicos

Indicadores químicos	Método
Materia orgánica (C y N orgánico)	Método de Walkley y Black

3.3.5. Determinación de la biomasa radicular

Como sabemos los sistemas radiculares representan la biomasa bajo el suelo y constituyen otro importante sumidero de carbono. En proyectos de fijación de carbono este componente es importante, ya que corresponde entre un 10 y un 40% de la biomasa total (MACDIKEN, 1997). La biomasa de las raíces se estimó por medición directa.

Para determinar la biomasa radicular, se construyó una mini calicata de 50 cm. de largo y 30 cm. de ancho por 50 cm. de profundidad como punto de muestreo. Se utilizó el método de medición directa de biomasa de raíces sugerida por BOHM (1979), que consiste en la toma de muestras de suelo con un barreno de volumen conocido (área de 20.25 cm² y 10 cm de largo). Tal como sugiere RÜGNITZ *et al.*, (2009), 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 se colocó en bolsas codificadas indicando su profundidad.

Posteriormente en el laboratorio se procedió al lavado y tamizado (tamiz de 2 mm) de las raíces finas manualmente.

Las raíces encontradas se secaron con papel toalla y se pesó como materia verde con una balanza digital. Posteriormente, al igual que la biomasa herbácea, se determinó la materia seca por el método de la estufa. Este peso de biomasa radicular se extrapoló a toneladas por hectárea (t/ha)

Este peso de biomasa radicular se extrapoló a toneladas por hectárea (t/ha).

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

Dónde:

i = Profundidad evaluada

n =tres profundidades

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

MVR_{muestra} = Materia verde radicular de la muestra expresada en kg/m^2

%MS = Porcentaje de la materia de la muestra

10 =Factor para convertir kg/m² a t/ha

3.3.6. Estimación del carbono orgánico del suelo

Para estimar el contenido de carbono orgánico en las profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, y de 20-30 cm, se utilizó el método de Walkley Black (método de oxidación húmeda) porque no demanda de equipos sofisticados. Se tomaron muestras de suelo por cada estrato. Se pesó 200 gramos de esta muestra previamente codificada indicando el suelo por tipo de sistema y profundidad de muestra, luego se envió al laboratorio de suelos para obtener los datos de materia orgánica por profundidad.

Para la estimación del carbono orgánico del suelo en cada estrato de evaluación, se utilizó la fórmula sugerida por MACDICKEN (1997). El carbono almacenado en el suelo es calculado por medio de la sumatoria del carbono almacenado en cada horizonte definido.

$$Cos(t\ ha^{-1}) = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\left[\frac{CO}{100} \right] \times Dap \times Ps \times 10000 \right)_{\text{profundidad}}$$

Dónde:

Cos (t h-1): 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 aparente de la profundidad

Ps (m): profundidad de muestreo (m)

10000: área m²

3.3.7. Tipo de investigación

La investigación a realizarse fue del tipo descriptiva.

3.3.8. Variables independientes

Las variables independientes fueron las parcelas ganaderas con instalación de *Brachiaria brizantha*, diferenciadas por el tipo de uso (parcela ganadera pastoreada y no pastoreada).

3.3.9. Variables dependientes

- Contenido de carbono y nitrógeno orgánico
- Biomasa subterránea
- Densidad aparente

3.4. Análisis estadístico

Para la presente investigación se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2x6.

Dónde:

Factor (A) = Sistema de uso de la tierra (SUT), con 2 niveles.

- a1= Pastura pastoreada (SUT1)
- a2 = Pastura no pastoreada (SUT2)

Factor (B) = Estratos (E), con 6 niveles de profundidad.

- b1= 0-5 cm de profundidad (E1)
- b2 = 5- 10 cm de profundidad (E2)
- b3 = 10-30 cm de profundidad (E3)
- b4 = 30-50 cm de profundidad (E4)
- b5 = 50-70 cm de profundidad (E5)
- b6 = 70-100 cm de profundidad (E6)

El modelo estadístico a empleado es el siguiente:

$$Y_{ij} = u + A_i + B_j + A_i * B_j + E_{ij}$$

Dónde:

U = Media muestral

A_i = Efecto de los diferentes usos de la tierra (1 y)

B_j = Efecto de los estratos ($j = 1, 2, 3$ y 6)

$A_i * B_j$ = efecto de la interacción de usos de la tierra y estratos.

E_{ij} = Error experimental

Los datos de las variables evaluadas fueron analizados utilizando el software estadístico InfoStat versión 2.1; asimismo, se añaden gráficos que ilustran con mayor detalle los resultados obtenidos.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación de variables en estudio entre parcelas ganaderas

4.1.1. Biomasa subterránea

De las observaciones obtenidos respecto a la biomasa subterránea, luego de realizar el análisis de variabilidad, estos presentaron diferencia significativa (p -valor = 0.0386), por lo que se realizó el análisis de prueba de comparador de medias (*Tukey*) para evaluar la cantidad de biomasa subterránea existen en ambas unidades de estudio (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de la biomasa subterránea evaluado entre las parcelas de estudio

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	47.62	1	47.61	4.84	0.0386
Error	216.40	22	9.84		
Total	264.01	23			

La exclusión del pastoreo disminuyó significativamente la biomasa subterránea (raíces y otros órganos subterráneos) en los pastizales. La prueba estadística muestra un coeficiente de variabilidad de 19.17% (Ver anexo 2), por los que los datos obtenidos son poco homogéneos o muy distantes respecto a

su media. Por otra parte, la supresión del pastoreo determino un promedio de 2.02 t/ha de biomasa subterránea, mientras que los sitios pastoreados determino un promedio de 4.83 t/ha (Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedio de biomasa subterránea almacenado en las unidades de estudio

Sector	Biomasa subterranea (t/ha)($\bar{x} \pm e.e$)
No pastoreada	2.02 \pm 0.90 a
Pastoreada	4.83 \pm 0.84b
p-valor	0.0386
C.V. (%)	19.17

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

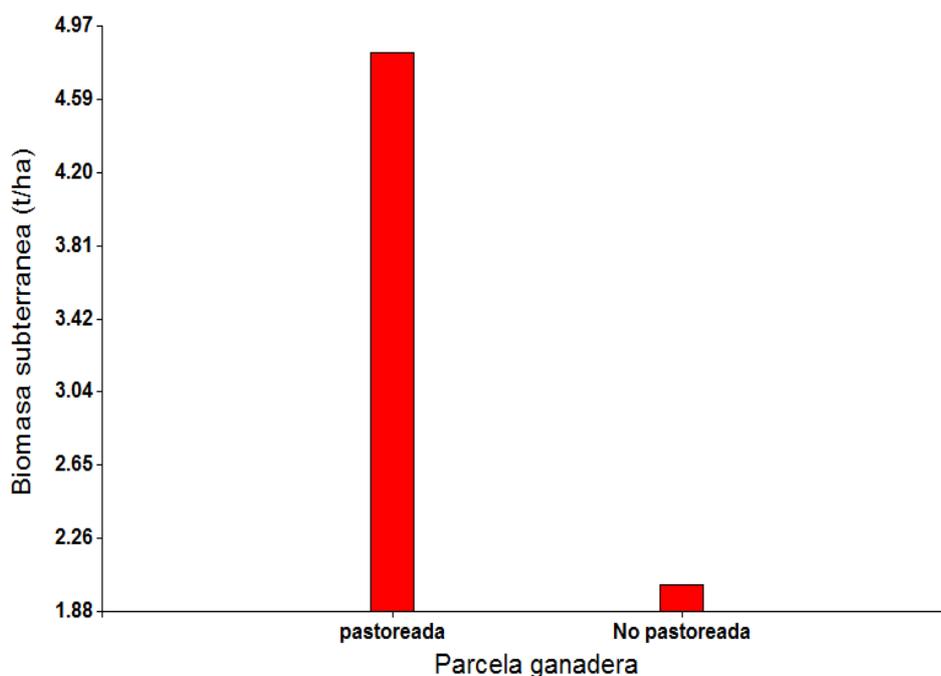


Figura 2. Promedio de biomasa subterránea almacenado en el suelo

4.1.2. Materia orgánica y nitrógeno orgánico del suelo

De los resultados obtenidos del laboratorio de los niveles de materia orgánica y nitrógeno orgánico en el suelo de las parcelas ganaderas en estudio, para el análisis de varianza no existen razones suficientes para aceptar diferencias significativas. Por lo que, los efectos del pastoreo sobre la materia orgánica del suelo (MOS) y el nitrógeno orgánico del suelo (NOS) no difirieron entre los distintos tipos de suelo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza para el efecto del tipo de uso de las parcelas ganaderas sobre la materia orgánica y nitrógeno orgánico del suelo

Variable	FV	GL	SC	Sig.
Materia orgánica	Tratamiento	1	17.51	0.6589
	Error	47	2.42	
	Total	47	19.93	
Densidad aparente	Tratamiento	1	0.48	0.5352
	Error	46	1.20	
	Total	47	1.68	

4.1.3. Densidad aparente del suelo

De acuerdo a los valores de densidad aparente del suelo de las parcelas ganaderas en estudio (pastoreada y no pastoreada), para el análisis de varianza (ANOVA) no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativas.

4.1.4. Carbono orgánico del suelo

De acuerdo a los valores de la cantidad de carbono orgánico en el suelo de las parcelas ganaderas en estudio (pastoreada y no pastoreada), para el análisis de varianza (ANOVA) no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativas.

4.2. Evaluación de las variables de estudio a través de un gradiente vertical del suelo en parcelas ganaderas

4.2.1. Biomasa subterránea

Para la evaluación del almacenamiento de la biomasa subterránea a través de la profundidad del suelo, el ANOVA determino que existe diferencia significativa entre los estratos en ambas unidades de estudio (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza de la biomasa subterránea almacenado en las parcelas de estudio evaluado a través de la profundidad del suelo

Parcela	F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
No pastoreada	Modelo	8.96	2	4.48	9.81	0.0055
	Error	4.11	9	0.46		
	Total	13.07	11			
Pastoreada	Modelo	90.78	2	45.39	3.63	0.0035
	Error	112.56	9	12.51		
	Total	203.33	11			

Para la prueba estadística existe razones suficientes para determinar diferencias significativas entre los tratamientos, ya que el valor calculado de F es mayor que el valor tabular de F al nivel de significación del 0.05 % por lo que se puede asegurar con un 95 % de certeza que existen diferencias entre los tratamientos. Por lo que, el contenido de biomasa subterránea se redujo, en promedio para todos los sitios, de 2.66 a 0.79 t/ha para la parcela excluida de pastoreo, siendo el mismo comportamiento en la parcela pastoreada (Cuadro 8).

Cuadro 8. Promedio de biomasa subterránea almacenado en las unidades de estudio

Profundidad	No pastoreada (t/ha) ($\bar{x} \pm e.e$)	Pastoreada (t/ha) ($\bar{x} \pm e.e$)
0 – 5 cm	2.66 \pm 0.90 a	8.19 \pm 0.90 a
5 – 10 cm	2.59 \pm 0.84 b	4.86 \pm 0.84 b
10 – 30 cm	0.79 \pm 0.64 b	1.45 \pm 0.64 c
p-valor	0.0386	0.035
C.V. (%)	33.52	13.17

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

En la Figura 3, se observa la reducción total de la biomasa en los órganos subterráneos para los primeros 30 centímetros del perfil fue 0.79 t/ha, representando una pérdida de -1.87 t/ha.

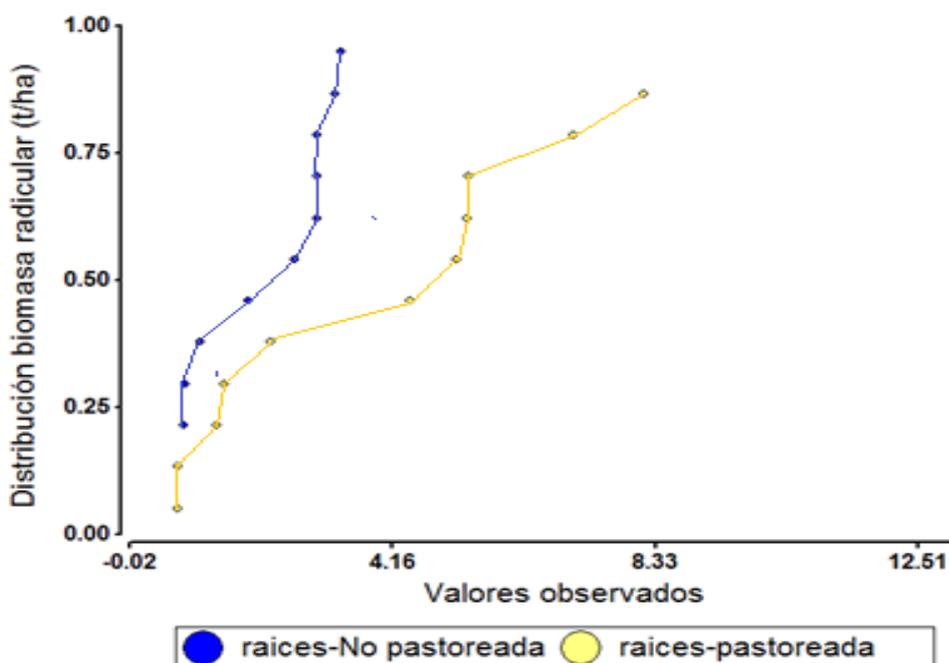


Figura 3. Cantidad de biomasa subterránea bajo pastoreo y clausura, a distintas profundidades y en promedio para todos los sitios (n=4). Los contenidos están expresados en t/ha.

4.2.2. Materia orgánica y nitrógeno orgánico del suelo

En el Cuadro 9, se detalla el análisis de varianza para el contenido de materia orgánica en el suelo de ambas parcelas en estudio.

Cuadro 9. Análisis de varianza del contenido de materia orgánica en el suelo

F.V.	SC	gl	CM ₁	p-valor	CM ₂	p-valor
Modelo	10.25	2	5.12	0.0007	6.15	0.0056
Error	6.36	15	0.42		0.78	
Total	16.61	17				

Cuadro 10. Promedio de materia orgánica en los suelos de las parcelas ganaderas evaluadas por profundidad

Profundidad	No pastoreada (t/ha)($x \pm e.e$)	Pastoreada (t/ha)($x \pm e.e$)
0 – 5 cm	2.19 \pm 0.90 a	2.25 \pm 0.34 a
5 – 10 cm	1.92 \pm 0.84 b	2.16 \pm 0.67 b
10 – 30 cm	1.79 \pm 0.64 b	2.09 \pm 0.64 b
30 – 50 cm	1.42 \pm 0.60 b	1.49 \pm 0.09 c
50 – 70 cm	1.21 \pm 0.64 c	1.38 \pm 0.12 d
70 – 100 cm	1.38 \pm 0.97 c	1.32 \pm 0.34 d
p-valor	0.0056	0.035
C.V. (%)	33.52	13.17 \pm 0.90 a

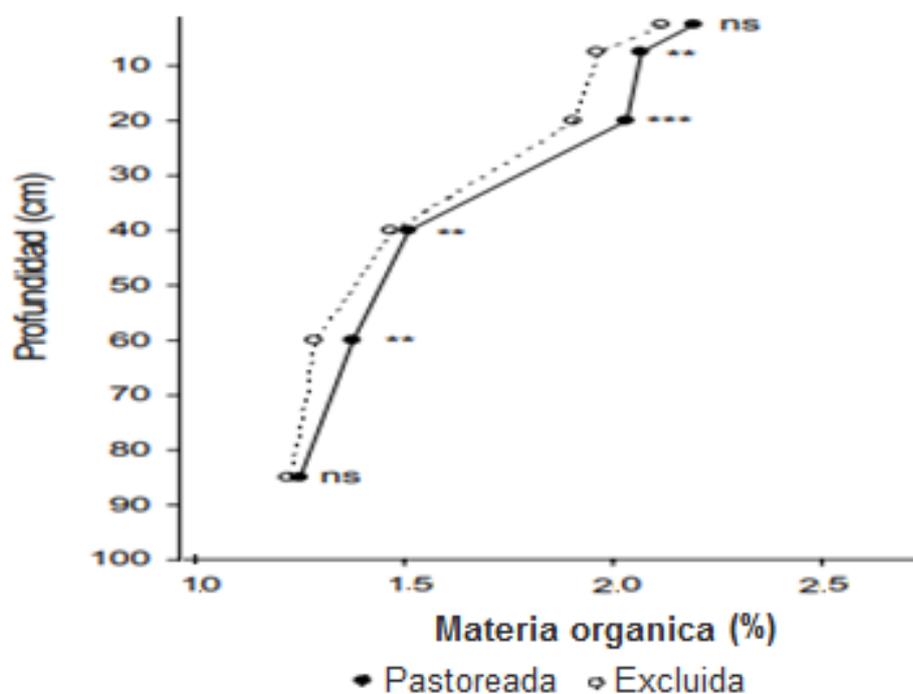


Figura 4. Variaciones en profundidad de materia orgánica (%) correspondiente a los siguientes intervalos 0-5, 5-10, 10-30, 30-50, 50-70 y 70-100 cm.

De las observaciones respecto al contenido de materia orgánica en el suelo de las parcelas ganaderas en estudio (Cuadro 10), luego de realizar el análisis de variabilidad, estos presentaron diferencia significativa (p -valor <0.05) en ambas parcelas ganaderas. Asimismo, en la Figura 4, se aprecia que la materia orgánica tiende a decrecer a medida que se incrementa la profundidad del suelo, este comportamiento se da para ambas parcelas en estudio.

Para el nitrógeno orgánico en el suelo de las parcelas ganaderas en estudio, existe evidencia estadística del efecto de la profundidad del suelo sobre los tenores de esta variable en ambas parcelas en estudio (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza del contenido de nitrógeno orgánico en el suelo de los sectores en estudio

F.V.	SC	gl	CM ₁	p-valor	CM ₂	p-valor
Modelo	0.03	2	0.01	0.0001	0.02	0.0012
Error	0.02	15	0.0001		0.0001	
Total	0.04	17				

En la Cuadro 12, se aprecia que, de los datos obtenidos respecto al nitrógeno orgánico en el suelo de las parcelas ganaderas en estudio, luego de realizar el análisis de variabilidad, estos presentaron diferencia significativa en ambas parcelas ganaderas. Existiendo disminución de los tenores de nitrógeno orgánico en el suelo a medida que se incrementa la profundidad.

Cuadro 12. Promedio de nitrógeno orgánico en los suelos de las parcelas ganaderas evaluadas por profundidad

Profundidad	No pastoreada (t/ha)($\bar{x} \pm e.e$)	Pastoreada (t/ha)($\bar{x} \pm e.e$)
0 – 5 cm	0.175 \pm 0.01 a	0.168 \pm 0.01 a
5 – 10 cm	0.163 \pm 0.01 b	0.159 \pm 0.02 b
10 – 30 cm	0.146 \pm 0.02 b	0.138 \pm 0.01 c
30 – 50 cm	0.143 \pm 0.01 c	0.135 \pm 0.02 c
50 – 70 cm	0.131 \pm 0.02 c	0.128 \pm 0.02 c
70 – 100 cm	0.087 \pm 0.01 c	0.085 \pm 0.01 d
p-valor	0.001	0.0001
C.V. (%)	33.52	24.36

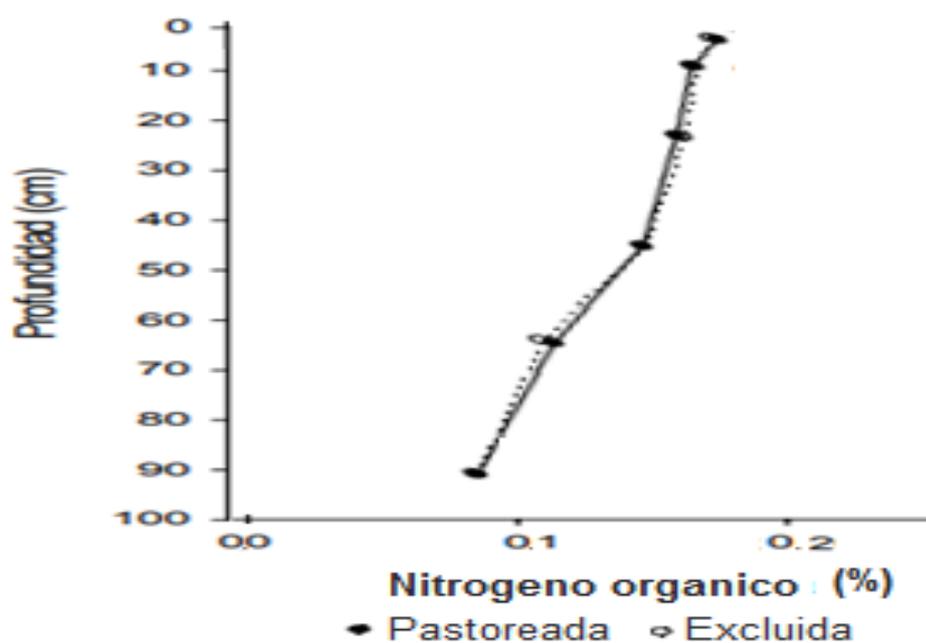


Figura 5. Variaciones en profundidad del contenido de nitrógeno (%) correspondiente a los siguientes intervalos 0-5, 5-10, 10-30, 30-50, 50-70 y 70-100 cm.

4.2.3. Densidad aparente del suelo

El ANOVA determinó que existe diferencia significativa entre los estratos en ambas unidades de estudio (parcelas ganaderas pastoreadas y no pastoreadas). De ello, para la prueba estadística (*Tukey*), la densidad aparente se reduce a medida que se incrementa la profundidad del suelo. Este comportamiento ocurre para ambas parcelas ganaderas en estudio (Cuadro 13).

Cuadro 13. Promedio de densidad aparente del suelo en las unidades de estudio

Profundidad	No pastoreada (g/cm ³) ($\bar{x} \pm e.e$)	Pastoreada (g/cm ³)($\bar{x} \pm e.e$)
0 – 5 cm	1.56 ± 0.03 a	1.41 ± 0.06 a
5 – 10 cm	1.38 ± 0.06 b	1.31 ± 0.04 b
10 – 30 cm	1.23 ± 0.04 c	1.08 ± 0.06 c
p-valor	0.0001	0.035
C.V. (%)	23.56	16.35

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

La densidad aparente fue menor en los sitios clausurados que en los pastoreados (Figura 6). La compactación del suelo bajo pastoreo fue mayor en las capas superficiales y disminuyó en profundidad.

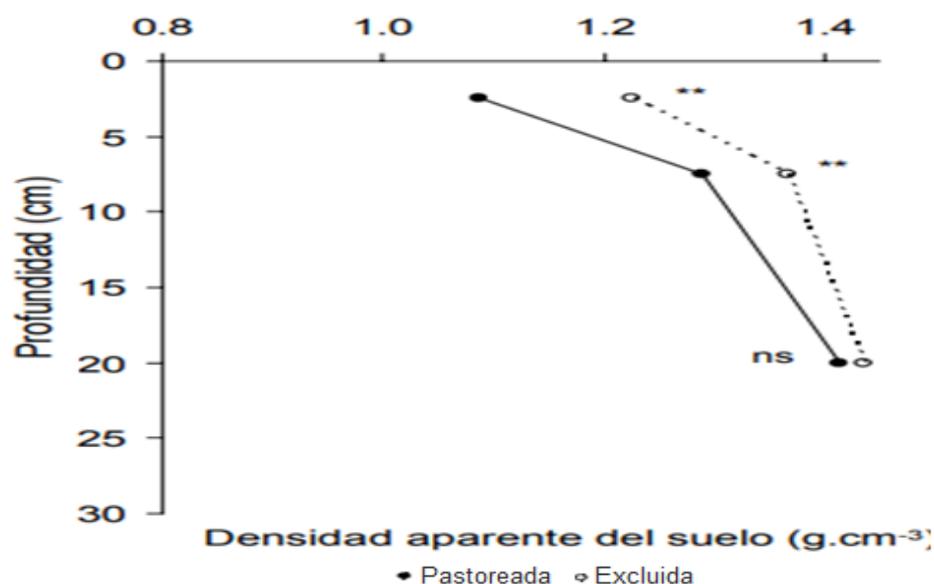


Figura 6. Variaciones en profundidad de la densidad aparente bajo pastoreo y clausura. En intervalos de 0-5, 5-10, 10-30 cm de profundidad.

4.2.4. Carbono orgánico del suelo

El ANOVA determinó que existe diferencia significativa entre los estratos en ambas unidades de estudio (Cuadro 14).

Cuadro 14. Promedio de carbono orgánico almacenado

Profundidad	No pastoreada (t/ha) ($\bar{x} \pm e.e$)	Pastoreada (t/ha)($\bar{x} \pm e.e$)
0 – 5 cm	19.25 \pm 12.5 a	15.04 \pm 14.6 a
5 – 10 cm	15.03 \pm 11.2 b	14.85 \pm 11.2 b
10 – 30 cm	12.36 \pm 14.6 c	8.59 \pm 16.3 c
p-valor	0.0001	0.0001
C.V. (%)	14.23	21.32

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

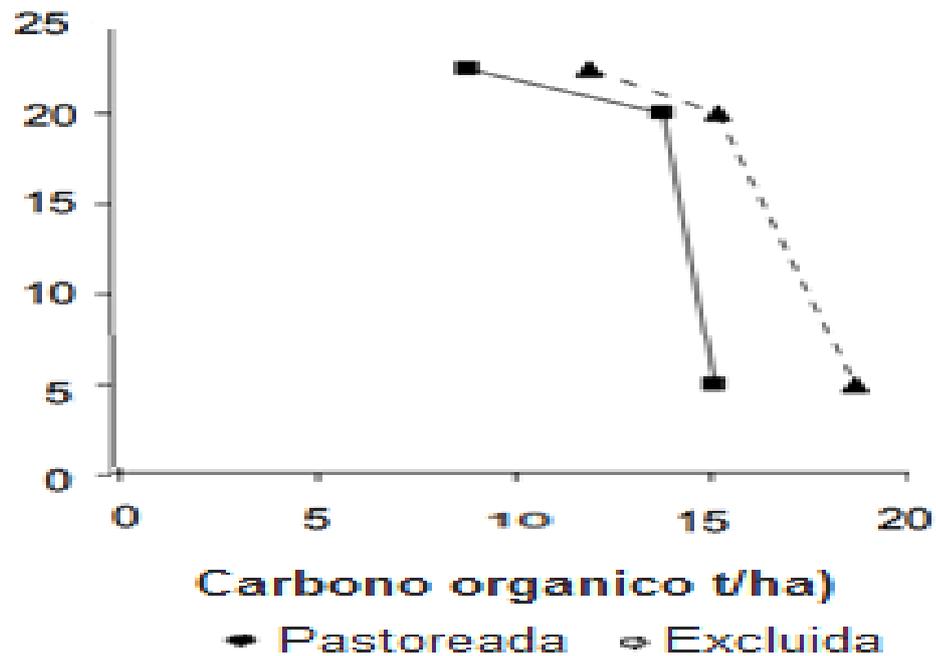


Figura 7. Variaciones en profundidad de la cantidad de carbono orgánico en el suelo. Las mediciones fueron tomadas en los siguientes intervalos 0-5, 5-10, 10-30 cm de profundidad.

En la Figura 7, se aprecia que para ambas parcelas la mayor cantidad de almacenamiento ocurre en los primeros 5 cm de profundidad del suelo.

V. DISCUSIÓN

La mayor cantidad de biomasa subterránea observada en las situaciones de pastoreo puede deberse a varias razones no excluyentes: una menor disponibilidad de N bajo pastoreo que aumentaría la exploración radical, un mayor estrés hídrico en superficie, que aumentaría la competencia por agua, la partición de biomasa a raíces y un aumento en la cobertura basal de la vegetación, ocasionada por una mayor cantidad de individuos por unidad de área, pero de menor tamaño (FRANK *et al.*, 1995).

Aunque no presentamos datos de biomasa aérea en la presente investigación, los valores informados de C y N en la biomasa subterránea y en el suelo son representativos de los contenidos totales del ecosistema, ya que una porción muy pequeña de las reservas de C y N se encuentran en la biomasa aérea en los ecosistemas de pastizal. A su vez, la cantidad de C y N en la biomasa aérea es variable estacionalmente y muy dependiente de la presión de pastoreo.

Los resultados obtenidos en la presente investigación sugieren que en estos pastizales los balances de C y N están estrechamente ligados (estadísticamente). Los contenidos de C y N y sus variaciones después de la exclusión del pastoreo estuvieron altamente correlacionados entre sí, tanto en la MOS como en la biomasa subterránea. Estos resultados concuerdan y

sugieren que las ganancias o pérdidas de carbono subterráneo están asociadas a la disponibilidad de nitrógeno.

Diversos trabajos informan de las elevadas pérdidas de N provocadas por disturbios como el pastoreo o fuego (JOHNSON y MATCHETT 2001, DELL *et al.* 2005). Los resultados de nuestra investigación sugieren además que la suspensión de las pérdidas de nitrógeno ocasionadas por los herbívoros (mediante la exclusión del ganado de una parcela), sólo impactarán en las reservas de MOS en aquellos sitios con suelos capaces de convertir la mayor disponibilidad de nitrógeno en MOS. La adsorción de la materia orgánica a las arcillas y limos es un importante mecanismo para retener MOS (JOBAGY y JACKSON 2000).

Recientemente, FIERER *et al.* (2005) mostraron que entre un 20 y un 50% de la respiración del suelo en las estaciones secas puede provenir de las capas profundas y que el CO₂ respirado procede de la mineralización del carbono orgánico joven trasladado en profundidad como carbono orgánico disuelto durante la estación húmeda. Estas evidencias sugieren que, en los pastizales húmedos, grandes cantidades de materia orgánica disuelta pueden alcanzar las capas profundas de suelo y ser respiradas allí o retenidas por la arcilla y el limo. A su vez, en los suelos poco profundos que no pueden retener MOS en profundidad, no se registraron aumentos en la MOS luego de la exclusión del pastoreo. Por el contrario, en estos suelos, otros procesos como la retención de nitrógeno por las raíces prevalecieron en el balance global de la

MOS, disminuyendo los contenidos de COS y NOS luego de la exclusión del pastoreo.

Los mayores contenidos de C y N en la biomasa subterránea registrados en las situaciones pastoreadas posiblemente favorecieron la acumulación de MOS en la superficie del suelo. Los sitios (parcela ganadera) con los mayores contenidos iniciales de biomasa subterránea y de MOS, fueron los que sufrieron las mayores disminuciones en todas las fracciones de la MOS después de la exclusión del pastoreo, sugiriendo que bajo pastoreo las raíces mantuvieron altos los contenidos de MOS en la superficie del suelo (FRANK *et al.* 1997).

VI. CONCLUSIONES

1. La supresión del pastoreo determinó un promedio de 2.02 t/ha de biomasa subterránea, mientras que para los sitios pastoreados fue 4.83 t/ha, existiendo diferencia significativa entre ambas parcelas de estudio. Mientras que para los valores de materia orgánica, nitrógeno orgánico, densidad aparente y carbono orgánico almacenado en el suelo no existen razones suficientes para aceptar diferencias significativas entre las parcelas en estudio.
2. A través del gradiente vertical del suelo, la biomasa subterránea se redujo, en promedio para todos los sitios, de 2.66 a 0.79 t/ha en suelos sin pastoreo y de 8.19 a 1.45 t/ha en suelos con pastoreo. Para la materia orgánica, descendió de 2.19% a 1.21% en suelo no pastoreado, y de 2.25% a 1.32% en suelo pastoreado. Apreciándose similar comportamiento para el nitrógeno orgánico y densidad aparente. Finalmente para el carbono orgánico, el mayor almacenamiento ocurre en los primeros 5 cm de profundidad del suelo 19.25 t/ha y 15.05 t/ha en suelos no pastoreado y pastoreado respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones de reservas de subterráneas de carbono y nitrógeno orgánico en épocas de invierno y verano.
2. Incrementar variables de medición física de suelos (resistencia a la penetración, textura) para poder determinar el grado de compactación de las parcelas en estudio.
3. Realizar mayores trabajos de investigación de la calidad del suelo con la presencia de la macrofauna.

EFFECTS OF GRAZING ON UNDERGROUND CARBON AND NITROGEN RESERVES IN THE PROVINCE OF LEONCIO PRADO – HUÁNUCO

VIII. ABSTRACT

The research was conducted in the sector Venenillo, district Rupa Rupa, Leoncio Prado - Huánuco province; specifically on extensive herds, in livestock plots with installation of *Brachiaria brizantha*, with the purpose of evaluating the vertical distribution of carbon and organic nitrogen, underground soil biomass in pastured and ungrazed livestock plots. The methodology used is a mixture of the one proposed by the World Agroforestry Center (ICRAF) (RÜGNITZ *et al.*, 2009), by the Winrock International Institute for Agricultural Development (WINROCK) (MACDICKEN, 1997) and the Livestock and Environment group (GAMMA) (IBRAHIM *et al.*, 2003). From the samples for analysis of underground biomass and pH corresponding to 30 cm of the soil profile (0-5 cm, 5-10 cm and 10-30 cm) were extracted with a soil auger of 2 cm in diameter. On the other hand, between 30 and 100 cm deep, three soil samples were taken by treatment with a hole of 5.5 centimeters in diameter, separating into three depth intervals: 30 -50 cm, 50-70 cm and 70 - 100 cm. The exclusion of grazing significantly decreased the underground biomass in the pastures. The suppression of grazing determined an average of 2.02 t/ha of underground biomass, while the pastored sites determined an average of 4.83 t/ha. The effects of grazing on soil organic matter and organic nitrogen did not differ between the different types of soil. Organic matter and nitrogen tend to decrease as soil depth increases. The apparent density of the soil is reduced as

the depth of the soil increases. For the values of the amount of organic carbon in the soil, there are not sufficient reasons to accept significant differences. Concluding that the exclusion of grazing does not exert a positive effect on the reserves of carbon and organic nitrogen underground; it was determined that cattle grazing exerts a negative effect on the underground carbon and organic nitrogen reserves, underground biomass, apparent density through the vertical distribution of the soil profile.

Keywords: Carbon, nitrogen, microbial, density, biomass, pasture.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, V; NEWTON, M; LIEFFERING, H; CLARK, C. 2003. Nitrogen cycling in grazed pastures at elevated CO₂: N returns by ruminants. *Global Change Biology* 342 p..
- ARNOLD, R. 1990. Global soil change : report of an Analysis, International Society of Soil Science, United Nations. Environmental Programme: change. International Science, UNEP. Laxenburg, Austria. 110 p.
- AUGUSTINE, T. 2003. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19:365-377.
- BAISDEN , T; SINGER, M; EWING, S. 2002. Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), Press, Boca Raton, Florida.
- BENGOUGH, I. 1991. The rock heathlands of Western Nova Scotia. Proc. 10 th Tall Timbers Fire Ecology Conference, Tallahassee, Florida. 265 p.
- BLANCO, E. 2009. Propiedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Solo*. 313 p.
- BUDHU, M. 2007. *Soil mechanics and foundations*. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 634 p.

- BURKE, I. C; LAUENROTH, M; VINTON, Y. 1998. Plant-soil interactions in temperate grasslands. *Biogeochemistry*. 143 p.
- BUSSCHER, W; SOJKA, Y. 1987. . The pathfinder AVHRR land data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *International Journal of Remote Sensing* 15:3347-3363.
- CARTER, R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions functions. *Agronomy Journal*. 94: p.
- CERDA, E. 1998. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. México. Edit. Mundi-Prensa. 109 p.
- DE OLIVEIRA, T; HAZARIKA, M; YASUOKA. 2004. Estimation of net primary productivity by integrating remote sensing data with an ecosystem model. *Remote Sensing of Environment*. 310 p.
- DELL, C; WILLIAMS, E; RICEA, Q. 2005. Partitioning of Nitrogen over five growing seasons in Tall grass prairie. *Ecology*. 287 p.
- DORAN, J; PARKIN, T. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America, Wisconsin, USA. 244 p.
- DUBEUX, J; SOLLENBERGER, L; VENDRAMINI, J. 2006. Management intensity affects fractions of soil organic matter from grazed bahiagrass swards. 38 p.

- FABRIZZI, K; MORON, A; GARCÍA, L. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. 41 p.
- FIERER, P; EVERTONS, P; LAL, T. 2005. . Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Prentice Hall. New Jersey, USA. 499 p.
- FRAGERIA, Q; MOREIRA, R. 2011. Retranslocation of shoot nitrogen to rhizomes and roots in prairie grasses may limit loss of N to grazing and fire during drought. *Functional Ecology* 10:396-400.
- FRANK, D; EVANS, L. 1997. Effects of native grazers on grassland N cycling in Yellowstone National Park. *Ecology* 248 p.
- FRANZLUEBBERS, A; STUEDEMANN, H; WILKINSON, A. 2000. Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biology and Biochemistry*. 478 p.
- GERRARD, R. 1982. Hacia un manejo sostenible de la materia orgánica y de la fertilidad Editorial Agronómica. 139 p.
- GREACEN, T; SANDS, Y. 1980. A comparison of some physical and chemical soil quality indicators influences by different crop species. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7(6): 15 p.

- GREACEN, Y. 1986. Soil quality and its dependence on dynamic physical processes. *Journal Environmental Quality* 26:41-48. 56 p.
- SMITH, O. 1979. An analytical model of the decomposition of soil. 115 p.
- GREENWOOD, T; MCKENZIE, O. 2001. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology* 195 p.
- HAZELTON, S; MURPHY, W. 2007. Estimation of absorbed photosynthetically active radiation and vegetation net production efficiency using satellite data. *Agricultural and forest meteorology*. 276 p.
- HENDERSON, D; ELLERT, L.; NAETH, K. 2004. Grazing and soil carbon along a gradient of Alberta rangeland. *Journal of Range Management*. 410 p.
- HERNÁNDEZ, N. 2003. Caracterización de los componentes de la fitomasa de un pastizal tradicional. Trabajo de Diploma. Fac. de Biología. Instituto de Ecología y Sistemática CITMA. 38 p.
- HOLDRIGE (1993), Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995)
- JOBAGY, E, JACKSON. L. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications*. 436 p.
- JOHNSON, L; MATCHETT, A. 2001. Fire and grazing regulate belowground processes in tallgrass prairie. *Ecology*. 389 p.

- KARLEN, D; MAUSBACH, M; DORAN, J; SCHUMAN, G.E. 1997. Soil quality: a concept. 243 p.
- LAL, R. 1997. Soil quality and agricultural sustainability. In: Soil quality and agricultural sustainability. (Ed. R. Lal). Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 45 p.
- LARSON, W; PIERCE, F 1991. Conservation and enhancement of soil quality. En: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Proc. of on evaluation for sustainable world. Bangkok, Thailand. 175 p.
- LOISEAU, P; LOUULT, X; ROUX; BARDY, E. 2003. Extensification of rich grasslands alter the C and N cycles? Ecology, en prensa.
- MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry Projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
- MARTIN, N; ADAD, I. 2006. Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. En: Disciplina Ciencias del Suelo. Tomo I. Pedología. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 504 p.
- MCNAUGHTON, S; BANYIKWA, M; MCNAUGHTON. L. 1998. Root biomass and productivity in a grazing ecosystem. Ecology 79:587- 592.

- NEFF, J; REYNOLDS, M; BELNAP, P. 2005. Multi-decadal impacts of grazing on soil physical and biogeochemical properties in southeast Utah. Ecological applications. 95 p.
- OESTERHELD, M; SALA, S; MCNAUGHTON. L. 1999. Effect of Animal Husbandry on Herbivore-Carrying Regional Scale. Nature. 236 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, M; SHOVER, P; PYKE, D; HERRICK, J. 2005. Interpreting indicators of rangeland health. Version 4. Interagency Technical Reference. 1734-6, Bureau of Land anagement, Denver, Colorado, USA. 145 p.
- PUCHETA, E; BONAMICI, M; CABI, L; DÍAZ. 2004. Below-ground biomass and productivity of a grazed site and a neighboring ungrazed enclosure in a grassland in central Argentina. Austral Ecology. 208 p.
- SCHNABEL, E; TAEJR; L; AGUILAR, A. 2013. Manejo selectivo de malezas para la conservación del suelo en café joven: evaluación con *Arachis pintoi* (septiembre de 1997, San José, Costa Rica). 85 p.
- SCHUMAN, D; REEDER, J; MANLEY, L. 1999. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. Ecological applications. 71 p.

- SINGER, M; EWING, S. 2000. Soil quality. En: Handbook of soil science. (Ed. M.E. Sumner). CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 271 p.
- SQI, 1996. Soil Quality Institute. Indicators for soil quality evaluation. USDA natural resources conservation service. The National Soil Survey Center / The Soil Quality Institute, NRCS, USDA / Service. USA. 164 p.
- TRUJILLO, W., FISHER, M; LAL, R. 2006. Root dynamics of native savanna and introduced pastures in the Eastern Plains Colombia. 87 p.
- VOORHEES, Y. 1983. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic. Soil Tillage Res. 79 p.
- WHALLEY, E; FERNÁNDEZ R., F. RODRÍGUEZ ASPILLAGA, A. LUPI., A. HERNÁNDEZ., H. REIS. 2008. Efectos de diferentes prácticas de preparación del terreno del pinus spp. Argentina. 240 p.
- YONG, T; WARKENTIN, T. 1975. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. México. Edit. Mundi-Prensa. 109 p.

ANEXO

Panel fotográfico



Figura 8. Parcela ganadera bajo pastoreo



Figura 9. Altura de la calicata en la parcela sin pastoreo



Figura 10. Parcela ganadera bajo pastoreo



Figura 11. Parcela ganadera bajo pastoreo



Figura 12. Pesado de la muestra para determinar la densidad aparente