

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO Y ALMACENAMIENTO DE**  
**CARBONO ORGÁNICO DE PAISAJES GANADEROS DEL DISTRITO NUEVO**  
**PROGRESO**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**RONALD DE LA CRUZ CANTARO**

**Tingo María – Perú**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Tingo María – Perú

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 003-2022-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 24 de abril de 2022, a horas 7:00 p.m. a través de la plataforma virtual Ms Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO DE PAISAJES GANADEROS DEL DISTRITO NUEVO PROGRESO”**

Presentado por la Bachiller: **DE LA CRUZ CANTARO, Ronald**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 02 de Mayo de 2021

**Dr. ROBERTO OBREGÓN PEÑA**  
**PRESIDENTE**

**Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ**  
**MIEMBRO**

**Ing. JAIME TORRES GARCIA**  
**MIEMBRO**



**Ing. M. Sc. JOSE LEVANO CRISOSTOMO**  
**ASESOR**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO Y ALMACENAMIENTO DE**  
**CARBONO ORGÁNICO DE PAISAJES GANADEROS DEL DISTRITO NUEVO**  
**PROGRESO**

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Autor</b>                     | : De La Cruz Cantaro, Ronald.          |
| <b>Asesor</b>                    | : Ing. M. Sc. Lévano Crisóstomo, José. |
| <b>Co-asesor</b>                 | : Ing. Robles Rodríguez, Rafael.       |
| <b>Programa de investigación</b> | : Ciencias básicas.                    |
| <b>Línea(s) de investigación</b> | : Ecología y conservación de suelos.   |
| <b>Eje temático</b>              | : Calidad de suelo en pastizal.        |
| <b>Lugar de ejecución</b>        | : Caserío Manteca.                     |
| <b>Duración</b>                  | : 6 meses.                             |
| <b>Financiamiento</b>            | : Propio.                              |
| <b>Monto</b>                     | : 3738.83                              |

**Tingo María – Perú**

**2022**



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN  
DOCENTE Y TESISISTA

DATOS GENERALES DE PREGRADO

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva.

**Facultad** : Facultad de Recursos Naturales Renovables.

**Título de Tesis** : Evaluación de la calidad del suelo y almacenamiento de carbono orgánico de paisajes ganaderos del distrito Nuevo Progreso.

**Autor** : Ronald, De La Cruz Cantaro.

**Asesor de tesis** : Ing. M. Sc. José, Lévano Crisóstomo.

**Escuela Profesional** : Escuela profesional de Conservación de Suelos y Agua.

**Programa de investigación** : Ciencias básicas.

**Línea(s) de investigación** : Ecología y conservación de suelos.

**Eje temático de investigación:** Calidad de suelo en pastizal.

**Lugar de ejecución** : Caserío Manteca.

**Duración** : Fecha de inicio 01-04-2018  
: Fecha de término 30-09-2018

**Financiamiento** : Recursos propios. S/ 3738.83

-----  
Bach. Ronald De la Cruz Cantaro  
Tesisista

-----  
Ing. M. Sc. José Lévano Crisóstomo.  
Asesor

## DEDICATORIA

A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy segundo a segundo, cuidándome y guiándome y brindándome la fortaleza para continuar siempre adelante en armonía e integridad familiar.

A mis padres, Paulino Felix de la Cruz Condori y Teodosia Cántaro Fabián, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final.

A mi esposa Heidy Piñan Bazán, que es el mejor apoyo que un profesional puede tener y a mi hija Ruth Abril, quien fue el motivo de seguir escalando un peldaño en la vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

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

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 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.....   | 3      |
| 2.1. Retención del carbono orgánico del suelo en diferentes sistemas de<br>pastura..... | 3      |
| 2.1.1. Calidad de suelo una herramienta como indicador .....                            | 4      |
| 2.2. Degradación del suelo en pastura .....   | 4      |
| 2.2.1. La ganadería y su efecto .....   | 4      |
| 2.2.2. Proceso de empobrecimiento de suelos .....                                       | 4      |
| 2.2.3. Degradación de la composición del suelo.....                                     | 5      |
| 2.2.4. Compactación .....   | 5      |
| 2.2.5. Escases nutrimental del medio edáfico .....                                      | 7      |
| 2.3. Importancia de la composición de la (MOS) en pastizales.....                       | 9      |
| 2.3.1. Hojarasca .....  | 9      |
| 2.3.2. Manejo del suelo pastizal.....   | 9      |
| 2.3.3. Pérdida de las propiedades del suelo en pastizal .....                           | 10     |
| 2.3.4. La raíz y su condición .....   | 10     |
| 2.3.5. Propiedades físicas del suelo .....  | 11     |
| 2.4. Desbosque y su dinámica de nutrición en el suelo .....                             | 12     |
| 2.4.1. Carbono orgánico del suelo en sistemas de pasturas .....                         | 13     |

|   |    |
|---|----|
| 2.5. Antecedentes.....  | 14 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 17 |
| 3.1. Lugar de ejecución.....  | 17 |
| 3.1.1. Descripción del lugar de estudio.....                                  | 17 |
| 3.1.2. Política y geografía .....   | 17 |
| 3.1.3. Condición climática .....  | 18 |
| 3.1.4. Zona de vida.....  | 18 |
| 3.2. Materiales .....   | 19 |
| 3.2.1. Materiales.....  | 19 |
| 3.2.2. Equipos .....  | 19 |
| 3.3. Metodología.....   | 20 |
| 3.3.1. Generales básicos de la investigación.....                             | 20 |
| 3.3.2. Coordinación del área de estudio.....                                  | 21 |
| 3.3.3. Metodologías de recolección de datos .....                             | 22 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 27 |
| 4.1. Carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura natural y mejorada ..... | 27 |
| 4.2. Carbono bajo suelo en pastura natural y mejorada.....                    | 28 |
| 4.2.1. Carbono radicular .....  | 28 |
| 4.2.2. Carbono orgánico del suelo (COS).....                                  | 31 |
| 4.2.3. Carbono bajo suelo .....   | 33 |
| 4.3. Carbono total de los sistemas de pasturas.....                           | 34 |

|  |    |
|--|----|
| 4.4. Diferencia entre carbono aéreo y carbono bajo el suelo..... | 35 |
| V. CONCLUSIONES .....  | 38 |
| VI. PROPUESTA A FUTURO .....                                     | 39 |
| VII. REFERENCIAS.....  | 40 |
| ANEXOS .....   | 47 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| Tablas  | Página |
|---|--------|
| 1. Ubicación de la zona de estudio. ....  | 18     |
| 2. Propiedades del suelo y su respectiva metodología. ....  | 25     |
| 3. Carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura mejorada y natural (t.C.ha <sup>-1</sup> ). .... | 27     |
| 4. Biomasa y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas. ....                   | 29     |
| 5. Carbono orgánico del suelo por profundidad de horizonte en las pasturas. ....                    | 31     |
| 6. Carbono bajo suelo en pastura mejorada y natural, expresadas en t.C.ha <sup>-1</sup> . ....      | 33     |
| 7. Carbono total en dos sistemas de pastura. ....   | 34     |
| 8. Contenido de carbono aéreo y carbono bajo el suelo en sistemas de pastura. ....                  | 36     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figuras   | Página |
|---|--------|
| 1. Izquierda, Pastura mejorada y derecha pastura natural. ....                      | 17     |
| 2. Mapa de ubicación a nivel provincial.....  | 18     |
| 3. Diseño de la parcela en estudio. ....  | 22     |
| 4. Carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura mejorada y pastura natural. .... | 27     |
| 5. Biomasa radicular por profundidad de horizonte en las pasturas.....              | 29     |
| 6. Carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas.....              | 30     |
| 7. Materia orgánica por profundidad de horizonte en las pasturas.....               | 31     |
| 8. Densidad aparente por profundidad de horizonte en las pasturas. ....             | 32     |
| 9. Carbono orgánico del suelo por profundidad de horizonte en las pasturas.....     | 32     |
| 10. Carbono bajo suelo en pastura mejorada y natural.....                           | 33     |
| 11. Carbono aéreo, bajo suelo y total en sistemas de pastura. ....                  | 35     |
| 12. Contenido de carbono aéreo y carbono bajo el suelo en pastura mejorada.....     | 36     |
| 13. Contenido de carbono aéreo y carbono bajo el suelo en pastura natural. ....     | 36     |
| 14. Área de pastura en estudio.....   | 48     |
| 15. Recolección de biomasa aéreo .....  | 48     |
| 16. Recolección de biomasa bajo suelo.....  | 49     |

## RESUMEN

Los indicadores de calidad del suelo son atributos medibles que influyen en la capacidad del suelo para llevar a cabo sus funciones ambientales y la producción de cultivos (pastos), motivo por el cual se realizó un estudio con el objetivo de evaluar la calidad del suelo y almacenamiento de carbono orgánico (fracciones de carbono orgánico) de paisajes ganaderos del distrito Nuevo Progreso. Dicho estudio se realizó en 20000 m<sup>2</sup> ubicado en el caserío Nuevo Progreso, distrito Nuevo Progreso, provincia Tocache, Región San Martín; considerando dos sistemas: natural y mejorado, se evaluaron variables de biomasa, primero evaluación de carbono bajo suelo (carbono radicular y carbono orgánico del suelo) se evaluaron con monolitos de dimensiones de 30x30 cm y profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30cm (Böhm, 1979; Rügntz et al., 2009) y segundo, carbono aéreo (carbono herbáceo y hojarasca) se realizaron con un cuadrante de madera con dimensiones de 1m x 1m y para hojarasca con dimensiones de 0,5m X 0,5m. Como resultado se muestra que no existe diferencia en carbono total en los sistemas de pastura natural y mejorado.

**Palabras clave:** Calidad de suelo, carbono, pastura natural, pastura mejorado.

## **ABSTRACT**

Soil quality indicators are measurable attributes that influence the soil's capacity to carry out its environmental functions and crop production (pasture), which is why a study was conducted with the objective of evaluating soil quality and organic carbon storage (organic carbon fractions) of livestock landscapes in the Nuevo Progreso district. This study was conducted in 20000 m<sup>2</sup> located in the Nuevo Progreso hamlet, Nuevo Progreso district, Tocache province, San Martin Region; considering two systems: natural and improved, biomass variables were evaluated, first evaluation of below ground carbon (root carbon and soil organic carbon) were evaluated with monoliths of 30x30 cm and depths of 0-10, 10-20 and 20-30cm (Böhm, 1979; Rügntz et al., 2009) and second, aerial carbon (herbaceous carbon and leaf litter) were carried out with a wood quadrat with dimensions of 1m x 1m, the sample was chosen and for leaf litter with dimensions of 0,5m X 0,5m. As a result, it is shown that there is no difference in total carbon in the natural and improved pasture systems.

**Keywords:** Soil quality, carbon, natural pasture, improved pasture.

## I. INTRODUCCIÓN

En un estudio realizado por FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), enmarcado en el programa LADA (Land Degradation Assessment in Drylands) publicado en 2008, se hace hincapié en que la degradación del suelo aumentó en las dos últimas décadas, afectando a más del 20% de las tierras agrícolas, el 30% de los bosques y el 10% de los pastizales y a cerca de 1500 millones de personas. Este hecho trae como consecuencia la disminución de la productividad agrícola, migraciones, inseguridad alimentaria, daños a recursos y ecosistemas básicos y pérdida de biodiversidad (Citado en Pulido, 2014).

Por lo tanto, Agro Rural, unidad ejecutora del Ministerio de Agricultura y Riego en las provincias de Bellavista, El Dorado, Huallaga, Lamas, Moyobamba, Rioja, San Martín y Tocache ejecutando el empadronamiento campaña de Siembra de Pastos y Forrajes 2020-2021 en la región San Martín, que se beneficiarán alrededor de 2614 familias campesinas, asignando un presupuesto total de S/ 1 836 298 (AGRORURAL, 2020).

Principalmente, las especies de plantas presentes, la actividad de los macro y microorganismos y la intensidad de manejo, entre otros factores. La tierra sujeta al pastoreo constante, al fuego repetido o a otros tipos de explotación, se degrada lentamente porque pierde su fertilidad si la restitución de los nutrientes del suelo, bien sea en forma de heces, fertilizante orgánico, fertilizante inorgánico, o una combinación de estos tres insumos, es insuficiente. Los pastizales permanentes producen efectos muy intensos en el contenido y las transformaciones de la materia orgánica del suelo.

El manejo inadecuado de los suelos contribuye a la pérdida gradual de su fertilidad, lo que constituye un factor de considerables dimensiones en los suelos ganaderos, por lo que resulta necesario buscar alternativas que promuevan un incremento en los rendimientos y que a su vez no provoquen daños en la fertilidad edáfica. Sin embargo, la naturaleza y los mecanismos de las interacciones entre los microorganismos del suelo y la dinámica de los procesos químicos en los suelos de la Amazonía son aún poco conocidos y, posiblemente, dependientes de la cantidad y calidad de la hojarasca depositada sobre el suelo.

Los indicadores de calidad del suelo son atributos medibles que influyen en la capacidad del suelo para llevar a cabo sus funciones ambientales y la producción de cultivos y/o pastos. En el caso de las dehesas y pastizales todavía no existe una metodología basada en indicadores que permita conocer el estado de sus suelos.

Sin embargo la biomasa es el componente primordial que a partir de ello se transforma el ciclo de la cadena alimenticia, como por la MOS pero para que el MOS sea nutritivo tambien depende de la especie, cuanto de carbono atmosferico captura que es beneficioso. Entonces en este estudio se realizaron con dos sistemas de pastura natural y mejorada, lo cual se ha generado una pregunta ¿Existirá diferencia de carbono orgánico del suelo entre la pastura natural y mejorada en la calidad de suelo ganadero en el distrito Nuevo Progreso?

### **Objetivo general**

- Evaluar la calidad del suelo y almacenamiento de carbono orgánico (fracciones de carbono organico) de paisajes ganaderos del distrito Nuevo Progreso.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura natural y mejorada.
- Cuantificar la cantidad de carbono bajo suelo en pastura natural y mejorada.
- Determinar la cantidad de carbono total de los sistemas de pasturas.
- Evaluar la diferencia entre carbono aéreo y carbono bajo el suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Retención del carbono orgánico del suelo en diferentes sistemas de pastura

La retención del carbono del medio edáfico es transformar el carbono de un espacio al carbono orgánico, que está se encuentra acumulado en el aire. Mediante la retención del carbono, el grado del CO<sub>2</sub> atmosférico se estarían minimizarse a medida que el grado del COS incremente. En la actualidad la retención del CO del medio edáfico fue considerado en varias naciones del mundo con el propósito de contribuir a la disminución de la contaminación del aire, generando concientización humana, vegetación y así mismo mejorando la producción para el bienestar social y ambiental sostenible. Las actividades del manejo incrementan el carbono orgánico del suelo, mejorando en la calidad de erosión, producción y otros (Jiménez et al., 2021).

Las especies vegetales atraen el C del aire mediante el proceso llamado fotosíntesis. Al consumir dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire y la radiación solar, la planta transforma el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en CO, cuando la planta desarrolla su raíz, tallo también hoja(s). como ejemplo se puede describir el ciclo de vida de la planta, descomposición, resultado final carbono orgánico del suelo (Jiménez et al., 2021).

Los suelos de pastura tienen la capacidad para almacenar el C en el medio edáfico beneficiando un equilibrio como minimizando la liberación del CO<sub>2</sub> a través de las prácticas agrícolas siendo ellas en el almacenamiento de carbono efectivas para su productividad y beneficio de la comunidad agrícola. Por lo tanto, es importante conocer su utilidad sobre la conservación y mejora de los sistemas de pastura, pensar con la disminución de GEI (gas de efecto invernadero), sostenibilidad del recurso natural, buscando mantener el recurso para la nueva generación. Los sistemas de pastizal por su inmensa área, mostrando un valor significativo en el secuestro de carbono en el suelo, sin embargo, varios estudios demuestran una gran cantidad de secuestro de carbono. La vegetación captura grandes cantidades de CO<sub>2</sub> de la atmósfera convirtiéndolo en carbono orgánico del suelo, y esa transformación suele formar otro medio viviente que es el suelo, soporte para la planta, como medio alimenticio natural, las actividades de los parámetros del suelo tales como fisicoquímicas también la parte viva como es la propiedad biológica del suelo, el medio edáfico es muy complejo para entender todo lo que sucede en ello porque su dinámica de comportamiento del suelo es algo natural (Jiménez et al., 2021).

### **2.1.1. Calidad de suelo una herramienta como indicador**

Una de las herramientas en moda que se está utilizando, es la calidad del suelo como indicador para tomar decisiones a mediano y largo plazo. Por ejemplo, en la propiedad física del suelo, la textura para percibir cambios se requiere 1,000 años (Arnold, 1990); otro ejemplo en la tasa de infiltración del suelo para percibir cambios se requiere menor a un año (Arshad y Coen, 1992). Las propiedades físicas del suelo requieren un diagnóstico muy sensible para determinar su calidad.

## **2.2. Degradación del suelo en pastura**

### **2.2.1. La ganadería y su efecto**

Una mayor parte de la alteración del suelo a nivel global (34,5%) es por manejo de crianza de ganadería, el cual tiene un efecto general sobre el suelo. A nivel mundial (130 millones de km<sup>2</sup> aproximadamente, además el agua superficial), el 26% de aprovechamiento como superficie de pastoreo, superficie de bosque (30,3%) finalmente otros usos de suelos (31,8%). Las zonas de pastura lo doblan en dimensión a las áreas de agricultura, por ejemplo, tierras arables (10,9 %) superficies al cultivo permanente (1,1%), y se concluye que los suelos bajo cultivo extensivo de la agricultura (37,90 % a nivel global) (Arnold, 1990).

### **2.2.2. Proceso de empobrecimiento de suelos**

Alboradas, así como pasturas han generado con mayor amplitud los sucesos de pérdida de física y biológica del suelo. Como por ejemplo la pérdida del suelo (erosión hídrica) lo más destacable, que está relacionada directamente con la desnudez vegetal (tala de los bosques) provocado por el hombre. Otro de las causas son la ganadería extensiva que en mayor escala el proceso de degradación es notorio por una estructura débil del suelo, muy poca eficiencia de filtración y un suelo compacto (Blanco-Sepúlveda, 2009).

La agricultura tradicional como las áreas de pastoreo, áreas para la agricultura cereal, la ganadería, desbosque del matorral y la plantación de una sola especie modifican el medio edáfico, como el medio ambiente, alterando a diferentes niveles. El cultivo rotacional deja un área descubierta al final (cosecha) provocando erosión del suelo, especificando en zonas pendientes. También los lugares de pastoreo extrema dejan superficies desnudas y aun peor cuando es sequía, la pastura no se recupera rápido y la humedad se pierde rápidamente (Schnabel et al., 2013).

### **2.2.3. Degradación de la composición del suelo**

El componente edáfico, una de las características que tiene es su forma, como están distribuidos los pedones (arena, limo y arcilla) y el sistema de los espacios vacíos y agua (poros) el comportamiento de la estructuración, tamaño en función al grado de los agregados (Yong y Warkentin, 1975). Varios autores toman un bajo nivel de calidad a la degradación de la composición del suelo (Lal, et al., 1997) como efecto se toman poca retención hídrica, poros taponeados poca funcionalidad de materia orgánica, pésimo desarrollo radicular.

El suelo y su estructura van relacionada con la textura, en el medio edáfico limoso persisten estructura laminar, en el suelo arcilloso las prismáticas, etc. A ello se menciona que el estado actual del suelo, que conocemos como propiedad se modifica rápidamente por acción humana y natural, la textura es un componente que se modifica lentamente la estructura del suelo. Estas dos propiedades son los más tomados en cuenta en la calidad del suelo propuesto en las investigaciones científicas (Larson y Pierce, 1991). Por ejemplo, como muestra directo la degradación y el grado de estructuración, porque es notorio insitu.

### **2.2.4. Compactación**

La compactación es el proceso degradativo física del suelo, significa reducir el normal desarrollo de la propiedad del suelo, por motivo natural y antrópica, podemos mencionar en la agricultura, uso de equipos (maquinaria), ganadería. Los efectos fueron demostrados y están en la literatura científica, que implican modificaciones en la estructura edáfico, un valor muy elevado en la densidad aparente, mayor resistencia a la compactación edáfica (Greacen y Sands, 1980), disminución de la porosidad, reducción de la retención hídrica, incremento como la escorrentía y como resultado mayor pérdida del suelo, conclusión difícil desarrollo de la planta radicularmente. El USDA menciona que la compactación genera limitaciones en el suelo como funcionalidad dinámica en el suelo (Pulido, 2014).

Las áreas ganaderas son compactadas por pisoteo, por el propio peso del animal en un suelo húmedo compacta más rápido generando pérdida biológica del suelo. Greenwood y Mckenzie (2001) realizaron estudios bibliográficos y analizaron las consecuencias sobre la compactación del suelo. Y uno de ellos fue el pisoteo a mayor escala, paso de la maquinaria agrícola (Pulido, 2014).

Según Greenwood y Mckenzie (2001) mencionan que la alteración del incremento por la consistencia del suelo (DA), disminución de la porosidad, restricción a normal desarrollo de

la planta, poca capacidad de infiltración, comparando la magnitud de ganadería con agricultura, la ganadería compacta superficialmente los 15 cm de profundidad. Pero podría ser totalmente compactados en varias zonas de suelo de grupo Leptosol, en abundancia del lugar de trabajo. La relación directa proporcional de la densidad tiene que ver con la compactación.

Manifiesta Doran y Parkin (1994) que la DA del medio edáfico es una variable indispensable, porque se considera en el estudio de calidad como el suelo, porque el parámetro tiene que ver con el estado de degradación de la estructura del suelo. Sin embargo, la densidad aparente ha sido fácilmente usado en la compactación del suelo porque es sencillo obtener, pero el cálculo del tamaño de los poros está directamente relacionado. Por lo tanto, Doran y Parkin (1994), como Chan en 2006 mencionan que la DA es una forma de señal o indicador de la degradación y la condición de la estructura del suelo.

Los medios edáficos con texturas gruesas constan un valor limitante para enraizar por que la planta de  $1,75 \text{ g/cm}^3$ , la textura del suelo franco del  $1,70 \text{ g/cm}^3$  y el suelo textural franco-arcillosa como suelos arcillo-arenosa con datos de  $1,65 \text{ g/cm}^3$  como también de  $1,60 \text{ g/cm}^3$ . Las texturas más finas constan de valores que limitan entre  $1,40 \text{ g/cm}^3$ , con textura arcillosa están a  $1,55 \text{ g/cm}^3$ . Los valores en textura arcillo-limosa como textura franca-limo-arcillosa, contienen datos de  $1,45$  a  $1,50 \text{ g/cm}^3$  (Doran y Parkin, 1994).

La tecnología avanza, otras formas de medir la densidad aparente y la compactación del suelo, con el equipo penetrómetro no fue similar los datos, las variables no son equivalentes que presentan variabilidad espacial en áreas pequeñas (Gerrard, 1982). La variable de resistencia a la penetración es medir el grado de compactación del suelo en especial a la profundidad, pero la densidad aparente mucho más (Voorhees, 1983).

Un suelo en estado compacto trae una alteración, como la disminución de la rentabilidad agrícola (Whalley et al., 2008) por que el suelo limita el libre desarrollo de las raíces y a la brotación de un nuevo ser. Taylor (1966) menciona que a  $2,5 \text{ MPa}$  del valor a la resistencia de penetración, la planta se limita en su desarrollo normal de las raíces, el umbral es de  $2 \text{ MPa}$ , dado por Greacen (1986), pero es muy difícil conocer en la limitación de crecimiento de raíces en un suelo compacto, pero existe estudiosos que se dedican a ver un poco más profundo el tema de compactación del suelo mediante equipos sofisticados. Otras literaturas científicas mencionan  $3 \text{ MPa}$  como (Busscher y Sojka, 1987). Otros detalles de los valores umbrales o límites de desarrollo normal de las raíces pueden variar por ejemplo tipo de suelo, o simplemente de la variedad de plantas que existen, otro sería el clima un factor muy relevante en el crecimiento radicular de la planta, y otros factores por considerar (Bengough, 1991).

### 2.2.5. Escases nutrimental del medio edáfico

La principal fuente nutrimental (macro y micro nutrientes) del medio edáfico son: agua, aire, MO y minerales. De los elementos como H<sub>2</sub>O y aire, se adquieren elementos tales como CHO; ahora de la mineralización “roca, mineral” se adquiere elementos básicos: Ca, Mg, K, Na y P. Sin embargo, el N deriva, generalmente de la descomposición orgánica. Para los micronutrientes tendría que resaltar el Zn, Mo, Mn, Fe o el Cu, y otros elementos que a su poca existencia son principalmente útiles para la dinámica y desarrollo, en condición suelo-planta. Otra manera de entender es el continuo cíclico, es decir el reciclaje de los nutrientes y de la materia orgánica naturalmente. Significa que la biomasa producida regresa a la naturaleza posibilita disposición de forma útil, ya que después el suelo se encargará de transformar en procesos biogeoquímicos para luego asimilar como nutrientes.

El P es liberado al medio edáfico de las rocas fosfatadas por mineralización en condición de fosfato (PO<sub>4</sub>), lo cual son consumidos por la planta, así como los animales, luego estas se transforman en heces, y los saprotrofos descomponen y lo convierten en fosfatos, una cadena alimenticia. El N es liberado del medio ambiente porque es captado por el medio edáfico mediante una bacteria llamado bacteria fijadora de N<sub>2</sub> atmosférico, que están en los suelos, así como la raíz de la planta. El N secuestrado por el procedimiento de nitrificación es transformado en nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), asimilado por la vegetación, expulsa al medio ambiente conducido por las bacterias.

Las piedras calizas nutrimentos en calcio y se encuentran en grandes proporciones, y son adquiridas por las plantas gracia a cursos de agua (crecidas por ríos), por ejemplo, la naturaleza crea medios para transformar ciclos o conocido como cadena alimenticia para cada componente. La fertilidad es incrementar componente químico al suelo, porque el suelo carece de pérdida o disminución de nutrientes (degradación química) y la reducción de MO conocido como (degradación biológica) baja la productividad y la calidad del producto (pasto) y este es debido a la disminución de los elementos del suelo, en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El agotamiento de suelo es por el constante aprovechamiento sin manejo alguna que en la actualidad aborda mucho, este tema se ha discutido en varios programas internacionales de conservación de suelos. Una de las claves para seguir produciendo de buena calidad y sin contaminar el suelo es entender como la naturaleza madre hace su ciclo sin ayuda alguna del hombre para recomponerse, entonces es dinámico, es decir una parcela debe generarse su propio ciclo alimenticio y que no necesite de nadie, porque la naturaleza es completa (Pulido, 2014).

Los primeros en publicar el estudio de indicadores de suelos Larson y Pierce (1991), utilizaron las variables pH, CIC, CE, y los elementos totales de Nitrógeno, Fosforo retenido, K intercambiable. Doran y Parkin (1994) mejoraron agregando más variables, la textura y el N fuertemente degradable. La clasificación e indicador en los estudios pastizales. Pellant et al. (2005) menciona los siguientes indicadores para cuantificar la fertilidad en la planta: la cantidad de hojarasca y la producción anual de la planta.

La importancia del pH está en su efecto de solubilidad de los minerales, porque a cierto valor el pH (<5 - >9) varios elementos (nitrógeno, fosforo, calcio, magnesio y potasio) pueden fácilmente aprovecharse por la planta (Hazelton y Murphy, 2007). Pero cada vez que el pH se aleja del neutro, positivamente o negativamente, algunos elementos como sales minerales podrían ser absorbidos con mucha facilidad por la planta, lo que generaría alto nivel de toxicidad. También existen especies vegetales que soportan un nivel alto en alcalino o acidez, los estudiosos en materia indican entre 6,0 a 7,50 lo adecuado para las plantas.

Los lugares lluviosos suelen poseer mayor acidez, por lo tanto, los componentes naturales en la mayoría poseen acidez. Provocado por la actividad humana, aplicando enmiendas, fertilizante, abono y riego altera su estado natural de pH. Finalmente encontrándose con el cambio generado un pH modificado de su estado natural con una baja calidad del suelo: reduce la asimilación de nutriente y pérdida de fertilidad. La mayoría de los estudios de clasificación de indicadores de calidad del suelo utilizan la variable pH, si ponemos ejemplos como guía del USDA (1999), algunos proponen el uso in situ con medidores de bolsillo. Otras clasificaciones Pellant et al. (2005) y Shepherd (2000) no recomiendan en campo, solo en laboratorio.

El elemento magnesio es un nutriente muy caracterizador por tener una gran facilidad de trasladarse, en la planta, porque constituye como elemento primordial de la molécula de clorofila. Es muy poli funcional porque se asocia con varios elementos como Ca, K, y la favorable asimilación del P y las actividades enzimáticas. El medio edáfico asimila el Mg en sentido negociable entre ambos ( $Mg^{2+}$ ) incluido cationicamente de Ca y el K; por lo tanto, es intercambiable y es un indicador del suelo.

Otro elemento relevante es K un elemento muy utilizado por la planta a mayor escala, siempre asimilable en cationes  $K^+$ , N y P para el fortalecimiento del cultivo y dar mayor resistencia contra las enfermedades, sequía y helada. Este elemento se compone de residuo vegetal y animal. Sin embargo, es el nutriente que se lleva en mayor proporción a los animales herbívoros en forma de alimento herbáceo, porque no ocurre lo mismo con otros elementos como Ca, Na, Fe y Mn (Escudero et al., 1985).

Elemento de vital importancia como el fósforo que siendo no metálico es del grupo nitrogenado y están presentes en seres vivos, en el medio edáfico, como ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Su función engloba principalmente en el crecimiento de la planta, porque su aporte es primordial en el desarrollo de los órganos, así como tejidos, por ello varios autores clasifican como indicador en la calidad de suelos.

Este elemento se percibe de manera natural y orgánicamente, proveniente del resto animal, vegetal o también en forma inorgánica (aporte de fertilizantes). La planta lo absorbe en forma de ion fosfato ( $\text{HPO}_4^{-2}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ ), que proviene, de la mineralización del P orgánico generado por los macro y microorganismos, biomasa, humus, por otro lado, por la asimilación mineral por procesos de descomposición de compuesto secundario, y también por des adsorción de arcilla y carbonato o por la mineralización como la apatita (Pulido, 2014).

### **2.3. Importancia de la composición de la (MOS) en pastizales**

#### **2.3.1. Hojarasca**

Las constantes modificaciones en medio edáfico hacen variar mucho en los reciclajes o entradas de biomasa hojarasca. Como en muchos países Americanos, como Ecuador, Brasil y en varios, en las montañas se realizan actividades de raleo en periodicidad convirtiendo en pastizal. Con regularidad los árboles invaden las zonas pastizales y minimizan su mayor producción. Al final terminan dejándolo (Crespo, 2011).

En el país Ecuatoriano (Potthast et al., 2010) se comparó distintos datos analizados de suelo, primero pastura activo de *Setaria sphacelata*, segundo pastizal en abandono con invasión de arvense. Las hojas de herbáceo (C4) así como herbáceo de (C3) se diferenciaron en relación C:N (33,0 y 77,0, al respecto) y en otros contenidos así como la lignina (18,0 y 45,0 %,). Por el entendimiento mayoritario del área del arvense disminuyeron el pH, carbono también el nitrógeno orgánico edáfico, como también la biomasa y la tarea activa microbiana, con incremento poblacional de actinomicetos.

#### **2.3.2. Manejo del suelo pastizal**

No alcanzaron suficientemente los conocimientos acerca de materia orgánica del suelo, por tal razón Dubeux et al. (2006) realizaron un estudio denominado “efecto de la intensidad de manejo de un pastizal de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Flüggé)” los tratamientos empleado tuvieron efecto en el estudio, donde menciona que la poca magnitud de

control de los fragmentos  $< 53,00 \mu\text{g}$  mostraron mejor contenido carbono-nitrógeno. Los resultados indican que, al incrementar la intensidad de manejo, las dosis de materia orgánica del suelo de pausada liberación ayudarían mejor al secuestro de carbono y a la fertilización potencial del medio edáfico. Ahora se tendrá que analizar el efecto negativo que causa las aplicaciones de mayor cantidad de fertilizantes. El mayor tiempo de aprovechamiento de las pasturas genera modificaciones espacial y temporal en la concentración de MOS Haynes (2000) citó un estudio, mencionando que en nueve hectáreas de pastizales permanentes incremento la materia orgánica, manifestándose también el aumento de carbono microbiano, de 1,0 hasta 2,20 %, así como también la fracción ligera de CO con datos de 1,80 hasta 4,60 %, carbono solubilizado en agua 0,70 hasta 1,20 % todo ello en carbono orgánico.

### **2.3.3. Pérdida de las propiedades del suelo en pastizal**

La pérdida o degradación del suelo en los pastizales, trae consecuencias muy altas en relación con el manejo edáfico de la región Amazonas, también nuevos ganaderos siguen abriendo áreas de bosques. Finamente evaluando la relación entre suelo de la pastura con los atributos del medio edáfico, los estudiosos en la materia hallaron un decremento de la biomasa en plantas de (C4) además el pastizal estudiado presentaba degradación. Luego realizaron un estudio experimental introduciendo *Andropogon gayanus* y *Panicum máximum*, el resultado fue con rápida recuperación del suelo, así como también buena producción de fitomasa aérea y biomasa subterránea (Müller et al., 2004). En las sabanas de Los Cerrados, en el estado de Brasil, la producción forrajera, así como los animales disminuyeron muchos años cuando establecieron pasturas mejorados con *Brachiarias* y la pastura gramínea de África. Recomendaron que, si no realizaban otras medidas a esta situación, las áreas del cultivo se llenarían de arvense, se erosionarían y se degradarían poco a poco. En estas condiciones se han visto muy poca hojarasca, materia orgánica y menos actividad de biomasa microbiana en el medio edáfico. Concluyendo en este estudio recomendaron que las pérdidas de las propiedades del suelo pastizal se dan a través de poca hojarasca, es menor el contenido de carbono y la biomasa microbiana porque el rebrote del pasto es para el pastoreo (De Oliveira et al., 2004).

### **2.3.4. La raíz y su condición**

Por tanto, de abastecer agua, nutriente, agregados y ser el sostén (soporte mecánico) a la planta, el sistema radicular atribuye el aumento de la MOS, al incrementar carbono

orgánico, Nitrógeno y la fracción microbiana del suelo. Se ha mencionado que el carbono que procede de la raíz, absorbe y genera varias sustancias establecidas en el medio edáfico, en relación al procedente de masa aérea de la especie (Trujillo et al., 2006).

Hernández (2003) menciona que la provocación del abono sintético en el desarrollo de las raíces es semejante a la parte aérea. Esta podría ser variado muy poco. En medios edáficos pobres en nutrición el peso de raíces y el volumen de pelos absorbentes o radicales están en frecuencia a una ecuación cuadrática, si realizamos la actividad de abonamiento, la concentración de la raíz en los pastizales la encontramos en profundidad de 0 a 20 centímetros.

La reforestación de especies y algunos cultivos de planta que sean tolerante al agotamiento biótico y abiótico, aplicando manejos culturales, practicas adecuadas, mejorarían el rendimiento radicular de las plantas siempre en cuando haya condición ambiental favorable (Frageria y Moreira, 2011).

El conocimiento y proceso de almacenamiento de carbono edáfico en las áreas pastizales son muy pocos los trabajos realizados y aún más las informaciones sobre la producción y transformación son escasas y mucho peor en descomposición todo referido al sistema radicular. Otro estudio realizado por el mismo autor encontró la diferencia entre pastura de *Brachiaria humidicola* manejo controlado y la sabana nativa, el contenido en sistema radicular fue dos veces mayor a favor de pastura manejado, con ventajas en acumulación de hojas de baja calidad (buena acción de relación entre C:N también entre C:P), generando buena concentración de carbono en el medio edáfico (Trujillo et al., 2006).

### **2.3.5. Propiedades físicas del suelo**

Está demostrado que principalmente los suelos (oxisoles), cuentan con buenas características de propiedades físicas cuando poseen manejo adecuado. El trópico se caracteriza alta infiltración y suelo estable, permite adecuarse a la agricultura avanzada con maquinarias. Sin embargo, en cambio, Colombia, en los Llanos Orientales, Amézquita et al. (2004) localizaron degradación en los atributos del medio edáfico, por lo tanto, cuando se empezaron a trabajar con herramientas y equipos de agricultura mecanizada. En esas condiciones recomiendan pastizales mejorados con raíces de alta profundidad. Se añade que este tipo de cultivo permite construir y mantener una capa generativa de prioridad de propiedad biológica activa, permitiendo a partir de ello mejorar propiedades como física y química del suelo, además se produce principalmente la materia orgánica del suelo. Se

menciona que la abundancia de los agregados del suelo se transforma a partir de ellas como por ejemplo el contenido de la materia orgánica del suelo. También mencionamos que los agregados forman y generan, aportan para la construcción de la estructura y agrupación de partículas de diferentes magnitudes, en donde la estructura suelo se ve en condiciones adecuadas de ambiente.

En un estudio predictivo plantean un modelo que ayuda a entender el sistema de agregación de los fragmentos edáficos, cuestionado en las interrogantes de investigación que los macroagregados son mayores a ( $>250 \mu\text{m}$ ) conforman también fragmentos de microagregados ( $< 250 \mu\text{m}$ ), atraídos por bandas de materia orgánica (Wei et al., 2006). Las composiciones vegetales de especies jóvenes son muy nutritivos en carbono porque son parte en el desarrollo y fortaleza de microagregados, es la naturaleza de la composición de los agregados de mantener contenidos de calidad y cantidad de biomasa arbórea y los componentes húmicos, así como por ejemplo el grado de las interacciones de fragmentos del medio edáfico. Los manejos agrícolas como por ejemplo el método de siembra, el tratamiento de agregados y la fertilización agronómica mejoran la estructura del suelo, sin embargo se necesitan estudios experimentales en agregados y su relación con el suelo (Six et al., 2004).

#### **2.4. Desbosque y su dinámica de nutrición en el suelo**

Estas modificaciones del cambio de uso agrícola provocados por el manejo de la agricultura, sustituyendo a la condición natural de la vegetación, alterando las propiedades del medio edáfico (Raiesi, 2012). Las distinguieron varios elementos en la actividad agronómica que podrían modificar las propiedades del medio edáfico, entre ellos mencionamos: alteración de la biomasa vegetal, labranza, fertilización y riego. El manejo agrícola altera la biomasa vegetal siendo remplazado (vegetación nativa) por otros cultivos y las cosechas, sin embargo, la labranza modifica las características físicas, y el manejo de los fertilizantes reemplaza las actividades que realizan los microorganismos y el riego origina desproporción o lavado de nutrientes o también salinización y sedimentos (Mclauchlan, 2006).

Generalmente, que las actividades agrícolas tradicional trae estrago en la materia orgánica del medio edáfico, que podrían ser en valores desde 16,0 % hasta 77,0 % de materia orgánica (Knops y Tilman, 2000). Esta pérdida de factores sucede porque: primero existe la decadencia de las hojarascas, tallos mejor dicho la materia de biomasa para la dinámica del suelo y segundo el aumento de descomposición provocado por la actividad agronómica y la falta de ingreso constante de la materia orgánica y el incremento de la aireación (Beheshti et

al., 2012). La aplicación de la materia orgánica al suelo trae cambios y modifica el sistema edáfico realizando cambios en la propiedad como la densidad, estabilidad de los agregados, poros, en la biomasa macro y microbiana también en las actividades de enzimas, porque toda adición trae consecuencias malas y buenas (Raiesi, 2012).

En muchos medios ambientales, siempre mencionaban que el COT se reduce notablemente en medios labrados que en suelos naturales (García-Orenes et al., 2010). Se ha visto que el descanso agrícola y la sucesión secundaria ayuda a incrementar el contenido de carbono orgánico total en el medio edáfico, esto se puede describir gracias a la cantidad de biomasa que se genera a la sucesión (Wang et al., 2011).

El procedimiento de las sucesiones secundarias a la posterioridad al paso de abandono de los cultivos de agrícolas es muy complicado y está en relación con el sistema biótico y abiótico, por ejemplo, condición ambiental, dispersión de semilla, calidad de muestras de semilla, aparición de nuevas especies y el plan de manejo edáfico (Morris et al., 2013). En los sistemas secos, la reparación de las especies vegetales tomaría muchos años como 40, 0 años, por la falta de agua se consideran procesos lentos, un bosque húmedo tardaría en recuperarse entre 8,0 a 15,0 años principalmente en la amazonia (Wang et al., 2011). La conversión del bosque a las áreas agrícolas trae un efecto en la composición y estructura de la comunidad biológica del suelo alterando su medio (Waldrop et al., 2000).

#### **2.4.1. Carbono orgánico del suelo en sistemas de pasturas**

El COS es un compuesto muy elemental en la fase general de carbono, conteniendo el 69,80 por ciento CO de la biósfera. A ello el medio edáfico contribuye almacenando el carbono, dependiendo de las actividades que se realiza. Los sistemas de pastura, a su gran área que ocupan, tienen un alto valor prometedor en el secuestro de carbono de la tierra y en general puede capturar en gran escala el carbono. El incremento de almacenar carbono en ecosistema suelo, ha generado como un medio por el cual se puede remover el CO<sub>2</sub> en mayor cantidad del ámbito atmosfera.

Los pastizales a largo plazo o áreas de pastura abarcan unos 3,000 millones de ha, en mayor parte se encuentran en zonas áridas; la baja calidad o degradación se calcula entre 14,0 a 31,0 %. Varios estudios, revistas han reportado de una escala mayor de extensión y la utilidad que lleva las reservas de carbono. Los carbonos totales extraídos de las praderas son inferiores a los extraídos por otros sistemas como forestales, el contenido de COS podría ser mayor, un dato interesante el contenido C en pastura es superior que en cultivos bajo suelo.

En cuanto a las mejoras de manejo de pastura tomar en cuenta los siguientes factores, controlar el pastoreo, intensidad, constancia, estacional, uso y empleo de fuego adecuado para controlar especies leñosas. También existen factores como mejorar el suelo mediante fertilizantes y finalmente el atributo de calidad de pastura.

Todo lo referente al suelo, existen muchos factores limitantes uno de ellos es la nutriente del suelo para el cultivo. Una solución podría ser la aplicación de fertilizantes en poca dosis como por ejemplo para remplazar el fósforo en vez de nitrógeno. La fertilización orgánica, nitrogenada, ecológica es recontra sustentable, se aporta mediante las introducciones de leguminosas aportadores y fijadoras de N. Otra forma podría ser las actividades de buena calidad de pastoreo y para su mejora del suelo realizar la reforestación con especies profundas en raíces para mantener la estructura del suelo. Todas estas alternativas ayudan a mejorar algunas falencias en el manejo de pastura y la captura de carbono, para que los ganaderos den ese aporte en almacenar muchas cantidades de carbono. Así mismo la productividad también se incrementa duplicidad o triplicidad de la producción.

Los suelos pastizales son potencialmente almacenadores de carbono y son de mucha ayuda para mantener un balance de liberación de CO<sub>2</sub> mediante la actividad agrícola, pero necesita mejorar en el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo para así beneficiarse toda la comunidad agraria. También es bueno conocer sobre la utilidad que traerá sobre el manejo y el rendimiento del suelo en las aras de pastura, no solo sobreexplotar el recurso suelo pensar también en la sostenibilidad, sin embargo, la reducción de los gases de efecto invernadero con la transformación es aprovechable (Jiménez et al., 2021).

## **2.5. Antecedentes**

En su estudio Brown et al. (1997) estimó que el carbono en bosque primaria y secundario oscila entre 60,0 a 230,0 también entre 25 y 190 t/ha, y el carbono en el suelo varía entre 60 y 115 t/ha respectivamente.

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 al., 1999).

Ibrahim et al. (2005) destaca que los sistemas agroforestales ya sea biomasa aérea y suelo, su almacenamiento de carbono variar de 20 a 204 t/ha, y se encontró que la mayoría destaca en el suelo, y este podría variar su incremento anual entre 1,8 a 5,2 t/ha.

El COS 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  $52,3 \pm 9,8$  y  $81,3 \pm 3,6$  t/ha para los bosques y 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 ( $83,9 \pm 11,1$  y  $96,6 \pm 5,0$  t/ha (Moreno y Lara, 2003).

El estudio realizado en Colombia, muestran en los pastizales de *Brachiaria humidicola* que su raíz alcanza un metro de profundidad, con carbono almacenado de 222,8 t/ha. También otro estudio realizado en Costa Rica, los sistemas pastizales en degradación mostraron poca cantidad en COS en comparación con otros ( $21,7 \pm 6,6$  t/ha de carbono). También otros tratamientos mostraron rangos de  $95,1 \pm 6,6$  en plantación forestal y  $139,5 \pm 17,2$  t/ha en pasturas mejoradas sin árboles. Otro estudio realizado en Nicaragua, presentaron poca cantidad de COS con  $63,1 \pm 8,4$  t/ha de carbono en pastura degradado y  $139,2 \pm 20,4$  t/ha de carbono en bosque secundario (Fisher et al., 1994).

En Costa Rica, las pasturas degradadas ( $26,5 \pm 10,9$  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 ( $297,6 \pm 72,6$  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 ( $72,5 \pm 6,8$  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), al igual que en bosques húmedos en Guatemala, donde se han encontrado valores de 237 t/ha de C total (Arreaga, 2002).

En Matiguás - Nicaragua, en un estudio de pastura y vegetación secundaria no se encontró diferencia a un metro de profundidad de COS (Ruiz, 2002), pero en el

almacenamiento del COS si existe diferencia, el mayor contenido fue en el bosque secundario. Ahora la menor cantidad de COS en pastura degradado es debido posiblemente al efecto de la edad y al tipo de manejo que se realizan, como las quemas o también la mayor cantidad de carga animal. Delaney et al. (1997) determinaron que la cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo concuerdan con lo mencionado anteriormente. También en Guatemala realizado en bosque húmedo a una profundidad de 0,6 metros se encontró la cantidad de 130,4 t/ha de COS (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 al., 1999). El caso estudiado en colombianos con pastos conformados por *B. humidicola* muestran un ejemplo de este supuesto (Fisher et al., 1994). 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 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).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Descripción del lugar de estudio

El estudio se desarrolló en la finca ganadera ubicada en el distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache, departamento de San Martín. Propietario Sr. Simión Inga Tello con DNI N° 47324319, que pertenece al caserío Manteca, la extensión de dicha finca es 20 ha aproximadamente.

El área en estudio consta de ganadería extensiva de aproximadamente 50 cabezas de ganado vacuno, el material biológico en estudio de *Brachiaria brizantha* (pastura mejorada) y (pastura natural) *Axonopus compressus*, *Paspalum conjugatum* conocido como (toro urco).



**Figura 1.** Izquierda, Pastura mejorada y derecha pastura natural.

##### 3.1.2. Política y geografía

La investigación se desarrolló en la provincia de Tocache, distrito Nuevo Progreso – San Martín en una área de 20 ha, en el fundo LA COLMENA. El estudio se desarrolló en la parte alta del predio, ubicado en las siguientes coordenadas UTM: 354376 Este y 9070835 Norte con una altitud de 528 msnm.

**Tabla 1.** Ubicación de la zona de estudio.

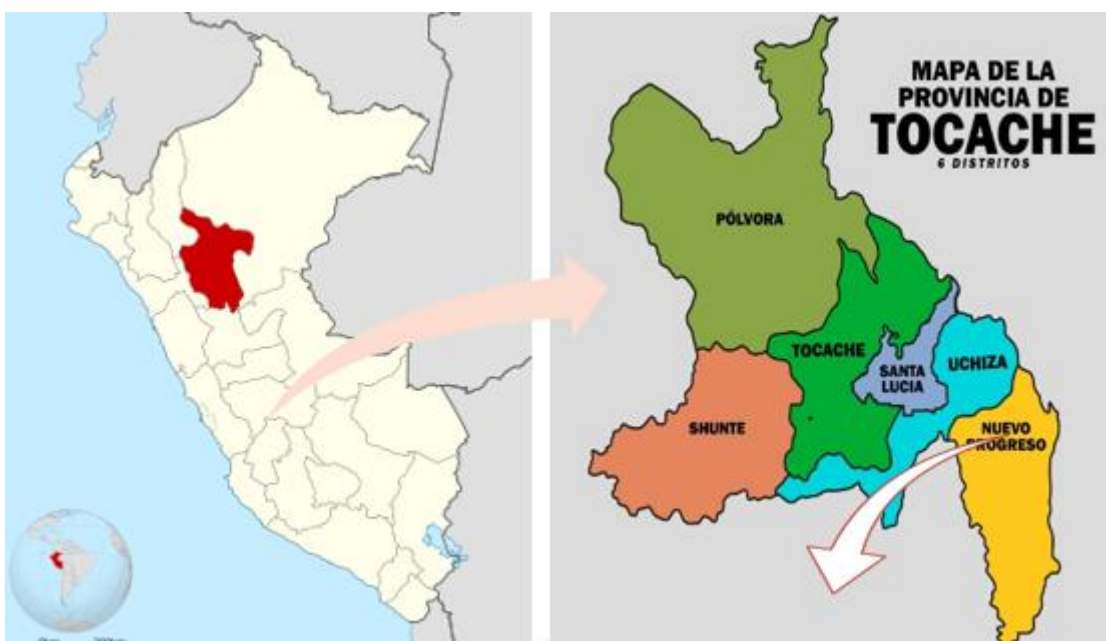
| Sistema de uso              | Coordenadas UTM |         | Altitud<br>(msnm) |
|-----------------------------|-----------------|---------|-------------------|
|                             | E               | N       |                   |
| Pastizal mejorada sin árbol | 354326          | 9070785 | 530               |
| Pastizal natural con árbol  | 354426          | 9070885 | 530               |

### 3.1.3. Condición climática

La condición climática es subtropical y tropical, la temperatura varía desde el mes de enero a diciembre entre 21 °C a 33 °C, y la precipitación media anual es de 1500 mm. En provincia de Tocache el mes con más lluvias es febrero con promedios de 154 mm y el mes con poca precipitación es agosto con promedios de 36 mm (Verdal Perú SAC, 2012).

### 3.1.4. Zona de vida

Publicado por Holdrige (1993) citado en MEP (Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995), el lugar de estudio pertenece a la zona de vida de transición: Bosque Muy Húmedo – Pre montano Tropical (bmh-PT) a Bosque Muy Húmedo – Subtropical (bmh-S). Presentando por agentes de meteoritos como sustratos de tipos distintos, entonces las características del suelo son muy aptas, con profundidades aptas y suelos alcalinos, concluyendo muy buenos suelos óptimos para la agricultura como pastos, plátanos, frutas, cacao y las especies nativas.

**Figura 2.** Mapa de ubicación a nivel provincial.

## **3.2. Materiales**

### **3.2.1. Materiales**

- Machete.
- Cinta flexible graduada de 5m.
- Bolsa de plástica para muestras de 1 y 2kg.
- Marcador, lapiceros y formulario.
- Libreta de apuntes en campo.
- Tableros y fichas para la instalación en campo.
- Martillo de jebe para clavar tubos de densidad.
- Papel kraft para llevar muestras.
- Rafia para delimitar parcelas.
- Navajas para perfilar muestras de tubos para densidad aparente.
- Pala Recta para realizar muestreos.
- Capas, ponchos impermeables para protección de lluvias.
- Lima para afilar machete.
- Rotulador.
- Bolsas blancas de 22\*25 cm.
- Muestreador cuadrante de madera.

### **3.2.2. Equipos**

- Receptor GPS.
- Cámara fotográfica
- Computador portátil.
- Balanza de precisión.
- Estufa eléctrica.
- Impresora.

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Generales básicos de la investigación**

##### **3.3.1.1. Tipo de estudio**

El estudio es de tipo prospectivo, porque el dato de recolección se ha obtenido mediante las mediciones realizados por el propio tesista y de manera correspondiente de control de mediciones y sesgos medición controladas (Supo y Zacarías 2020).

##### **3.3.1.2. Diseño de estudio**

En el estudio desarrollado se consideró al sistema de uso pastizal como natural y mejorado, el diseño desarrollado en el estudio es no experimental porque no se ha manipulado intencionalmente de forma deliberada para alterar su condición y ver el efecto, si no se ha observado su desarrollado de manera natural para luego analizarlos (Hernández et al., 2014).

##### **3.3.1.3. Nivel de estudio**

Según Hernández et al. (2014) el estudio corresponde a un nivel descriptivo por que busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Lo que pretende es extraer y analizar las características de manera independientemente o grupos de las variables de interés, porque su objetivo no es relacionar o asociar, ni mucho menos ver el efecto, si no describir las características de las variables.

##### **3.3.1.4. Población y muestra**

La población está considerada por el sistema de uso pastizal como natural y mejorada. Lo cual se consideró 1,0 ha de pastura natural y 1,0 ha de pastura mejorada. Y la muestra está considerada por la pastura y el suelo.

##### **3.3.1.5. Unidades de estudio**

Las unidades de estudio están consideradas de la siguiente manera:

- Sistema de uso pastura Natural
- Sistema de uso de pastura mejorada.

### **3.3.2. Coordinación del área de estudio**

#### **3.3.2.1. Planificación**

Primero se coordinó con el propietario del fundo, el reconocimiento del área del estudio y las actividades que se realizará durante el estudio, y así mismo las coordinaciones con el jefe del laboratorio de conservación de suelos de la escuela profesional de CSyA y la UNAS.

#### **3.3.2.2. Selección de la parcela**

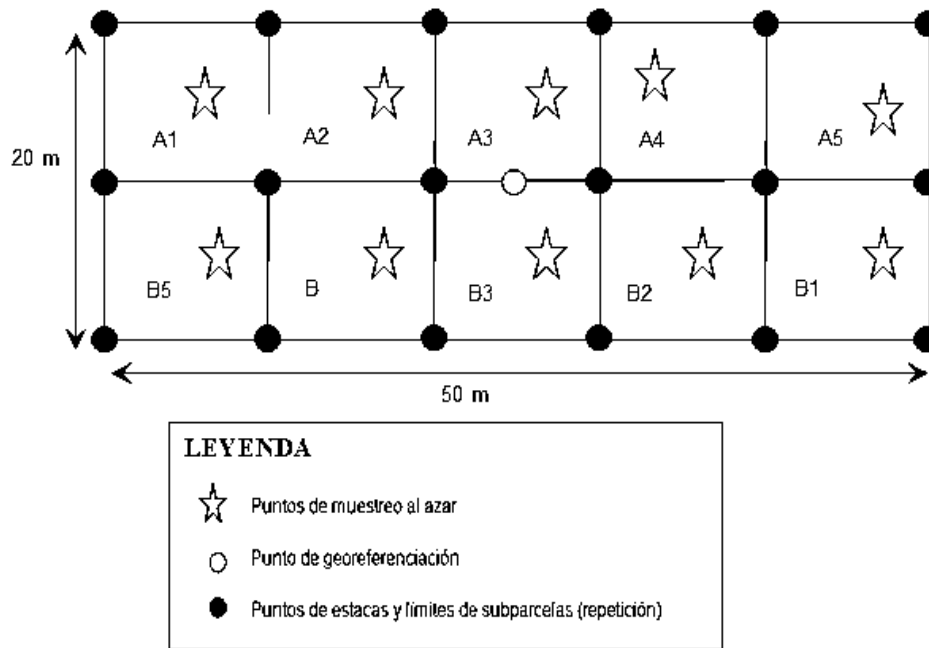
La metodología a seguir para la obtención del carbono en los sistemas de uso de pastura, están propuestas por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) (Rügnitz et al., 2009) y también propuesto por Winrock International Institute For Agricultural Development (WINROCK) (Macdicken, 1997) sin embargo también se integra el grupo Ganadería y Medio Ambiente (GAMMA) (Ibrahim et al., 2003).

#### **3.3.2.3. Georreferenciación de las áreas en estudio**

Para cada sistema en estudio (parcelas) se consideró 1 ha (10,000 m<sup>2</sup>), de los cuales se consideró como unidad de muestreo a 1000 m<sup>2</sup> como área a explorar (20m. x 50m.). Se siguieron las metodologías expuestas por el grupo GAMMA (Ibrahim et al., 2003), para su respectiva recojo de datos de la biomasa en sistema de pastura.

Para ubicar parcelas en el campo para cada unidad de estudio (parcelas) se utilizó criterios como: suelos uniformes en su fisiografía, pasturas homogéneas, pasturas de tamaños iguales, la recolección de muestras se hizo un día soleado, las muestras se trasladaron al día siguiente al laboratorio para su respectivo análisis para no alterar a la unidad de información, en el laboratorio de la Escuela profesional de Conservación de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, realizando los siguientes actividades.

Cada sub parcela o repetición tiene las mediciones de 10,0m X 10,0m. Enmarcado con rafia visible de color, así como esta en el diseño. Los puntos de forma estrella expresan donde se realizarán los muestreos aéreos (herbáceo y hojarasca) y bajo suelo (raíces, muestras de suelo como materia orgánica y densidad de suelo) de la biomasa. Los puntos negros de los cuadrantes indican la delimitación de la parcela y sub parcela en estudio (Figura 3).



**Figura 3.** Diseño de la parcela en estudio.

### 3.3.3. Metodologías de recolección de datos

#### 3.3.3.1. Determinación de la biomasa herbácea

Para la obtención de la biomasa herbácea, se utilizó el cuadrante de madera con dimensiones de 1,0m x 1,0m, se escogió un punto a muestrear al azar en cada sub parcela. En cada subparcela o cuadrante se utilizó una tijera podadora para la recolección de biomasa herbácea, se colectó toda biomasa solo del cuadrante de madera a 2 cm del suelo conocido como materia verde (MV). Luego de terminar dicha actividad se pesó la materia verde con una balanza de capacidad para 10kg. Otro detalle, en cada cuadrante o sub parcela se hizo diez repeticiones.

Para obtener la materia seca (MS) se tomó una porción de biomasa herbácea (200 gr aproximadamente) para poder manejar con más facilidad en la estufa y luego codificar cada bolsa. Una vez terminado colocar en la estufa en bolsas de papel por tres días a 70 °C, hasta obtener un peso constante. Todos ello se realizó en el laboratorio de Conservación de Suelos y agua – UNAS.

En gabinete se hizo los cálculos de la materia seca (MS) de la biomasa, el porcentaje de materia seca se calculó por regla de tres simple, para ello se realizó el cálculo de biomasa en materia seca del m<sup>2</sup>, luego convirtiendo a unidades de tonelada por hectáreas (t/ha), se utilizó la siguiente ecuación:

$$MS\% = (MS_{\text{submuestra}}/MV_{\text{submuestra}})*100$$

Dónde:

|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| MS%           | : Porcentaje de la materia seca (%)   |
| MS submuestra | : Peso de la submuestra seca (kg)     |
| MV submuestra | : Peso de la submuestra en verde (Kg) |
| 100           | : Factor para obtener el porcentaje.  |

$$\text{Biomasa herbácea (t/ha)} = MVH_{\text{muestra}} * (MS\%)*10$$

Dónde:

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Biomasa herbácea (t/ha): | Biomasa herbácea (MS)                                       |
| MVH muestra              | : Materia verde herbácea de la muestra en kg/m <sup>2</sup> |
| MS%                      | : Porcentaje de la materia seca.                            |
| 10                       | : Factor para convertir kg/m <sup>2</sup> a t/ha            |

### 3.3.3.2. Determinación de la biomasa hojarasca

La biomasa hojarasca se muestreo en el área construido por madera cuadrante, retirando la biomasa herbácea dentro del cuadrante de madera establecida con dimensiones de 0,5 x 0,5m con área de 0,25m<sup>2</sup>, obteniendo toda la materia dentro del cuadrante de madera como hojas secas, tallos y ramas. De la composición biomasa hojarasca se realizó 10,0 réplicas en cada sistema de estudio (unidad de estudio). Las repeticiones muestreadas fueron colocadas en bolsa cada uno con su etiqueta correspondiente, para su respectivo análisis en laboratorio, las muestras realizadas tenían poco peso y necesitaban balanza de precisión con dos decimales, el cual se envió. En el laboratorio se procedieron a colocar en bolsas de papel para el secado, luego pesar y convertir a (t/ha).

$$\text{Biomasa hojarasca (t/ha)} = MVh_{\text{muestra}} * (\% MS) * 10$$

Dónde:

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Biomasa hojarasca (t/ha): | Biomasa hojarasca (MS).                           |
| MVh muestra               | : Materia verde hojarasca en kg/m <sup>2</sup>    |
| MS%                       | : Porcentaje de la materia seca.                  |
| 10                        | : Factor para convertir kg/m <sup>2</sup> a t/ha. |

### 3.3.3.3. Determinación de la biomasa radicular

La realización del cálculo de biomasa radicular, primero realizar la calicata de 30cm ancho X 30cm largo y 30cm de profundidad, en cada cuadrante. Metodología de medición directa de biomasa de raíces por Böhm (1979) que consiste en tomar muestras de un área determinada de 30x30x30 cm.

Se recolectaron las muestras de cada una de las profundidades de 0 – 10, 10 – 20 y 20 – 30cm por la sugerencia y antecedentes de los estudios. Por cada punto de muestreo la raíz fue colocado y etiquetado en bolsas para su respectivo envío. Posteriormente se procedió al lavado de raíces finas manualmente, luego se pesó como materia verde. Una vez terminado se ha puesto en bolsas de papel para su respectivo secado en estufa y convertir en (t/ha) (Rügnitz et al., 2009). Con la expresión de la siguiente formula se determinó la biomasa radicular.

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

Donde:

|                          |   |
|--------------------------|---|
| i                        | : profundidad evaluada.   |
| n                        | : tres profundidades.   |
| Biomasa radicular (t/ha) | : Biomasa radicular (MS)  |
| MFr muestra              | : Materia fresca radicular de la muestra expresada en kg/m <sup>2</sup> |
| MS%                      | : Porcentaje de la materia seca.  |
| 10                       | : Factor para convertir kg/m <sup>2</sup> a t/ha                        |

### 3.3.3.4. Estimación del contenido de carbono en la biomasa herbácea, hojarasca y radicular

Para conocer el carbono en cada sistema, según la metodología del ICRAF (Rügnitz et al., 2009) se ha multiplicado por el factor 0,5. Se aplicó la siguiente formula:

$$\text{Carbono herbáceo (t/ha) (CH)} = \text{biomasa herbácea (t/ha)} * 0.5$$

$$\text{Carbono hojarasca (t/ha) (Ch)} = \text{biomasa hojarasca (t/ha)} * 0.5$$

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

### 3.3.3.5. Estimación del carbono del suelo

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

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

Dónde:

|           |   |
|-----------|---|
| 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/m <sup>3</sup> ) | : densidad aparente de la profundidad (t/m <sup>3</sup> ) |
| Ps(m)                   | : profundidad del suelo muestreado (m)                    |
| 10000                   | : área (m <sup>2</sup> )                                  |

La densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro. Y para estimar el carbono orgánico del suelo se utilizó la metodología de Walkley y Black (1938), citada por Rügntz et al., (2009) conociendo el contenido de materia orgánica. Tomando en cuenta la muestra por cada estrato de suelo y se determinó en laboratorio su contenido de materia orgánica (Tabla 2).

**Tabla 2.** Propiedades del suelo y su respectiva metodología.

| Indicadores del suelo             | Método                             |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Densidad aparente                 | Vol., peso húmedo y seco del suelo |
| Materia orgánica (C y N orgánico) | Método de Walkley y Black          |

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

### 3.3.3.6. Estimación del almacenamiento de carbono por sistema de pastura

La estimación de la cantidad de carbono almacenado por sistema para pastura se desarrolló de la siguiente manera.

$$\text{CAS (t/ha)} = \text{CH} + \text{Ch} + \text{CR} + \text{COS}$$

Dónde:

CAS : Carbono almacenado por sistema (t/ha).

CH : Carbono herbáceo (t/ha).

Ch : Carbono hojarasca (t/ha).

CR : Carbono radicular (t/ha).

COS : Carbono orgánico de suelo (t/ha).

### 3.3.3.7. Análisis estadístico

Se desarrollaron primero, en la tabulación de los datos obtenidos, luego utilizamos la herramienta de estadística descriptiva, porque se describió las características de cada sistema de uso de pastura, para encontrar las diferencias se utilizó la prueba estadística t de students. Para la presentación de tablas y figuras se utilizó Microsoft Excel 2016, finalmente se analizó e interpretó los resultados para presentar el informe final del estudio.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

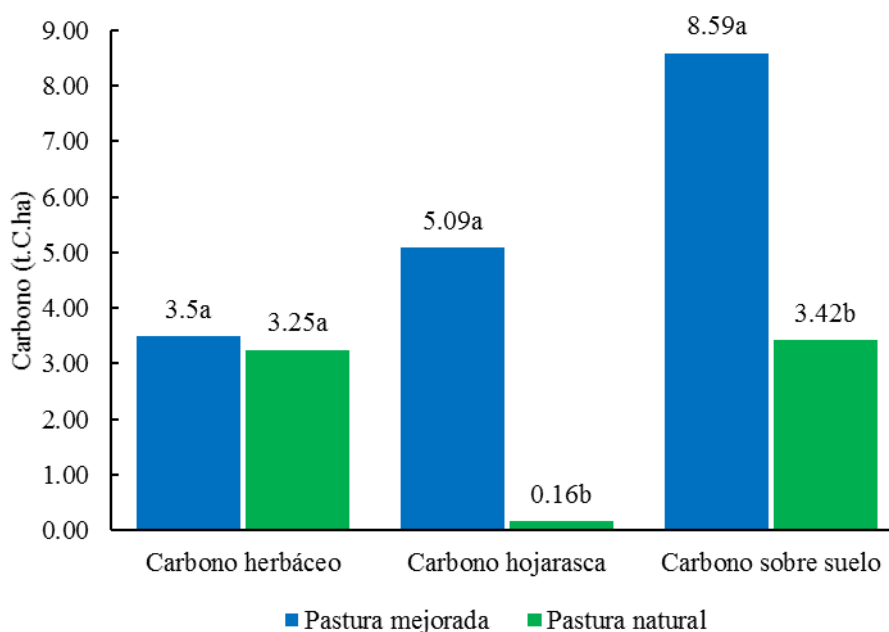
### 4.1. Carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura natural y mejorada

Para el comparador de medias o prueba T, para el carbono herbáceo, son iguales a un nivel de 5 % de significancia estadística entre los sistemas de uso de la tierra con pastizal natural y mejorada, a pesar de poseer medias diferentes (3,50 t C/ha y 3,25 t C/ha). Respecto al segundo variable de C de hojarasca, existe diferencia entre el sistema mejorado y pastizal con una probabilidad de (p-valor < 0,0001) entre ambas sistemas, por su parte en el sistema de pastizal mejorado con (5,09 t.C.ha<sup>-1</sup>) y en el sistema de pastizal natural con (0,16 t.C.ha<sup>-1</sup>). La sumatoria de ambos sistemas, así como mejorado y natural siendo esto como carbono sobre el suelo (Tabla 3 y Figura 4).

**Tabla 3.** Carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura mejorada y natural (t.C.ha<sup>-1</sup>).

| Pastura  | N  | Carbono herbáceo | Carbono hojarasca | Carbono sobre suelo |
|----------|----|------------------|-------------------|---------------------|
| Mejorada | 10 | 3,50a            | 5,09a             | 8,59a               |
| Natural  | 10 | 3,25a            | 0,16b             | 3,42b               |
| p-valor  |    | 0,5645           | 0,0001            | 0,0001              |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p<= 0,05), según prueba de LSD Fisher.



**Figura 4.** Carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura mejorada y pastura natural.

En el estudio se tomaron dos componentes, primero el componente de carbono herbáceo y el segundo el componente de carbono hojarasca, sin la existencia de diferencias entre ambos componentes, Este comportamiento se atribuye a varios factores uno de ellos podría darse de una producción elevada por estar en áreas libres un aproximado de un año. estos datos en estudio son muy altos en comparación por Andrade (1999), con 2,5 t.C.ha<sup>-1</sup>, en pastizales de ganaderas. El aumento de carbono ayuda por la cantidad en abundancia en el sistema herbáceo cuando el pastizal aprovechada (Da Cruz, 2006).

La pastura mejorada se diferencia por tener características intrínsecas propias del clon mejorada características propias de *Brachiaria decumbens* en formar colchones de hojas cuando no es cosechada (Da Cruz, 2006; Rodríguez et al., 2008) en este caso a diferencia del sistema de pastizal natural.

Asimismo, el componente carbono sobre el suelo hallado en pastizales se diferencia del pastizal mejorado llevado en un contraste estadístico, logrando ser mejor ubicado la pastura mejorada (Da Cruz, 2006; Andrade, 1999) con un promedio de 8,590 t.C. ha<sup>-1</sup> a que el sistema de pastizal natural cuenta con un promedio de 3,420 t.C.ha<sup>-1</sup>. Estos resultados encontrados son similares de materia seca en pastizales indicadas por Cárdenas (1992).

## **4.2. Carbono bajo suelo en pastura natural y mejorada**

### **4.2.1. Carbono radicular**

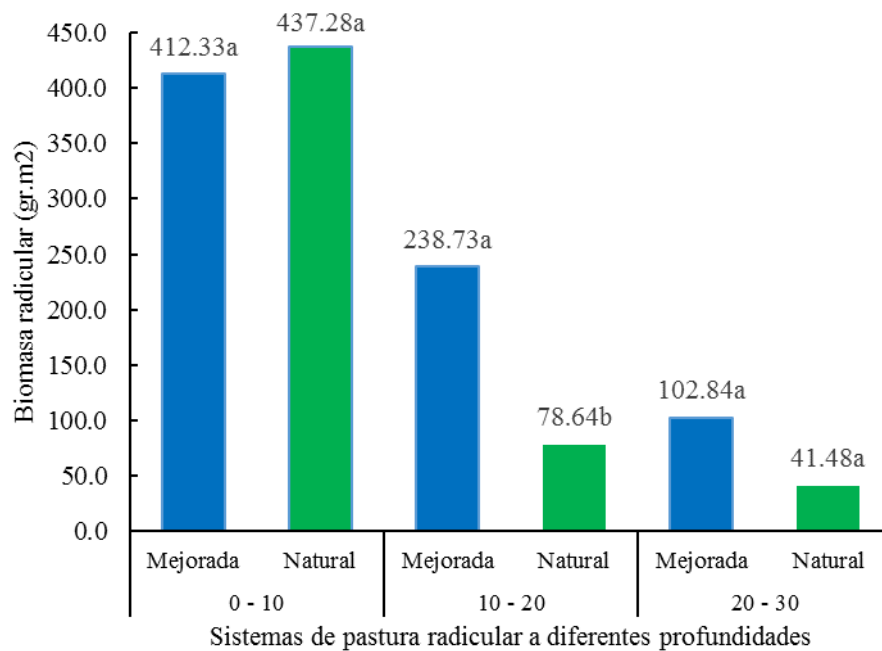
El estudio realizado en pasturas, para conocer su profundidad que abarca radicalmente en dos sistemas como pastura natural y pastura mejorada. La muestra de los valores biomasa y carbono radicular por las profundidades de 10 (0 - 10), (10 - 20) y (20 - 30) en las pasturas, apreciándose al inicio de 0,1 metros de muestra en profundidad son similares, en su contenido por ambos sistemas, a medida que se profundiza a 0,2 metros ya se muestra la diferencia a favor del sistema en pastizal mejorada, sin embargo, el sistema de pastizal natural es reducido sobre su contenido, en los primeros horizontes se desarrolla mucho mejor dicho sistema radicular.

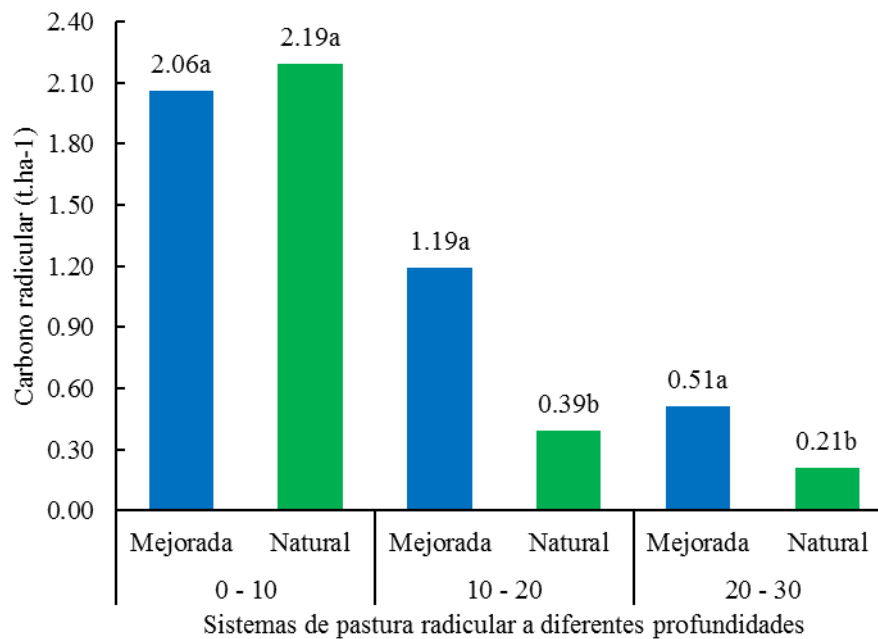
Cada una de las profundidades del horizonte en estudio se comportan distintamente en el sistema radicular su manifiesto es distinto. A una profundidad de 20 – 30 cm el contenido de biomasa es distinto, existe disminución, podemos mencionar que ambos sistemas en estudio disminuyen como sistema de pastura mejorada y natural. Es decir que el desarrollo de la biomasa radicular en sistema de pastura mejorada abarca o necesita más profundidad que el sistema de pastura natural (Tabla 4 y Figura 5, 6).

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

| P. del horizonte (cm) | Pastura  | Biomasa radicular<br>(gr.m <sup>-2</sup> ) | Carbono radicular<br>(t.ha <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------|----------|--|--|
| 0 - 10                | Mejorada | 412,33a                                    | 2,06a                                      |
|                       | Natural  | 437,28a                                    | 2,19a                                      |
|                       | P-valor  | 0,5309                                     | 0,5305                                     |
| 10 - 20               | Mejorada | 238,73a                                    | 1,19a                                      |
|                       | Natural  | 78,64b                                     | 0,39b                                      |
|                       | P-valor  | 0,0025                                     | 0,0025                                     |
| 20 - 30               | Mejorada | 102,84a                                    | 0,51a                                      |
|                       | Natural  | 41,48a                                     | 0,21a                                      |
|                       | P-valor  | 0,1045                                     | 0,1043                                     |

P.: Profundidad, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), según prueba de LSD Fisher.

**Figura 5.** Biomasa radicular por profundidad de horizonte en las pasturas.



**Figura 6.** Carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas.

La investigación realizada por Rao et al. (2001) demuestran una distribución de raíces del sistema de pastizal muy concentrada en los primeros 0,3 metros profundidad del suelo. Este perfil tiene características de gramíneas desarrolladas en pastoreo, desarrolladas en suelos degradadas de nutrientes en perfiles inferiores del suelo (Rügnitz et al., 2009). En los primeros 0,3 metros de horizonte no existió diferencia significativa en la biomasa radicular entre ambos sistemas de pastizales, con resultandos promedias de 753,900 y 557,410 gr.m<sup>2</sup> en pastizal *B. decumbens* y también en pastizal natural. Los datos obtenidos son similares a los estudios realizados por Rao et al. (2001) en la región amazónica donde se reportó biomasa radicular en 700 gr.m<sup>2</sup> de MS (materia seca) para suelos de morfología planicie y 640,00 gr.m<sup>2</sup> de Materia seca en suelos inclinados. Estos reportes difieren por los encontrados por Zhiping et al. (2004) el cual encontró producciones de 930 gr.m<sup>-2</sup> de MS de raíces en plantas C4 como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*); así mismo, reportó de *Axonopus* con 420 gr.m<sup>-2</sup> de MS de raíces.

En el sistema de carbono radicular son iguales en ambas sistemas. Esto se debe a la compatibilidad de asociación entre ambos (Amézquita et al., 2008). Los contenidos de carbono son iguales entre las dos pasturas. Por lo tanto, el sistema natural (*Axonopus compressus*) posee características de adaptarse a suelos pobres, su rusticidad y resistencia al sobrepastoreo (Cardenas, 1992), resistencia radicular en las capas superficiales del suelo permitiendo capacidad de resiliencia que supera a la pastura mejorada (Pezo y Ospina, 2009).

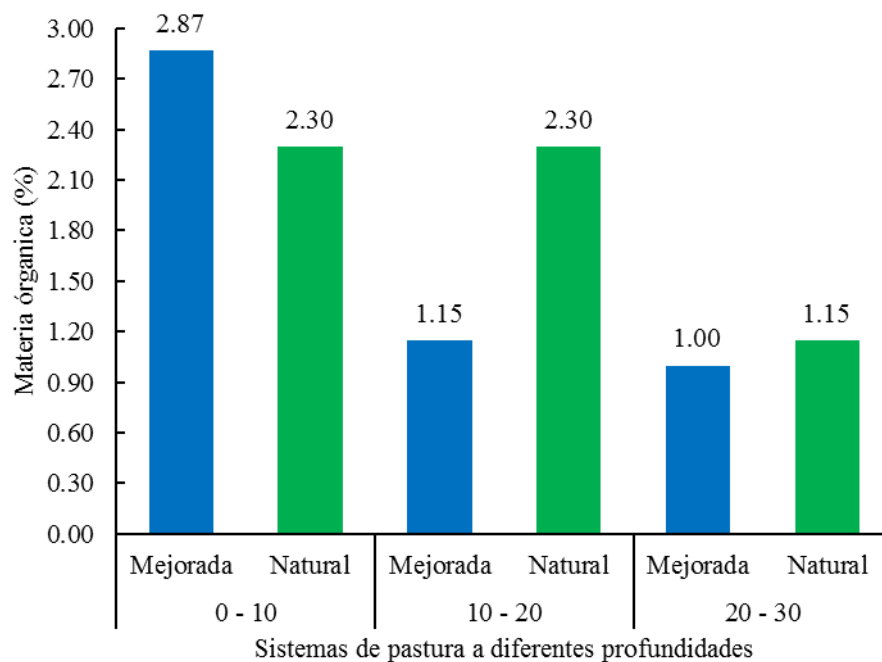
#### 4.2.2. Carbono orgánico del suelo (COS)

Sobre el carbono orgánico del suelo, se menciona que la pastura mejorada da mayor aporte al suelo (cantidad de hojarasca). El pastizal mejorado posee elevado carbono orgánico en los primeros horizontes a 0,1 metros, en cambio el sistema de pastura natural posee mayor cobertura de sistema radicular a una profundidad hasta los 30 cm, pero la pastura mejorada no solo en los 10 cm de profundidad (Tabla 5 y Figura 7, 8, 9).

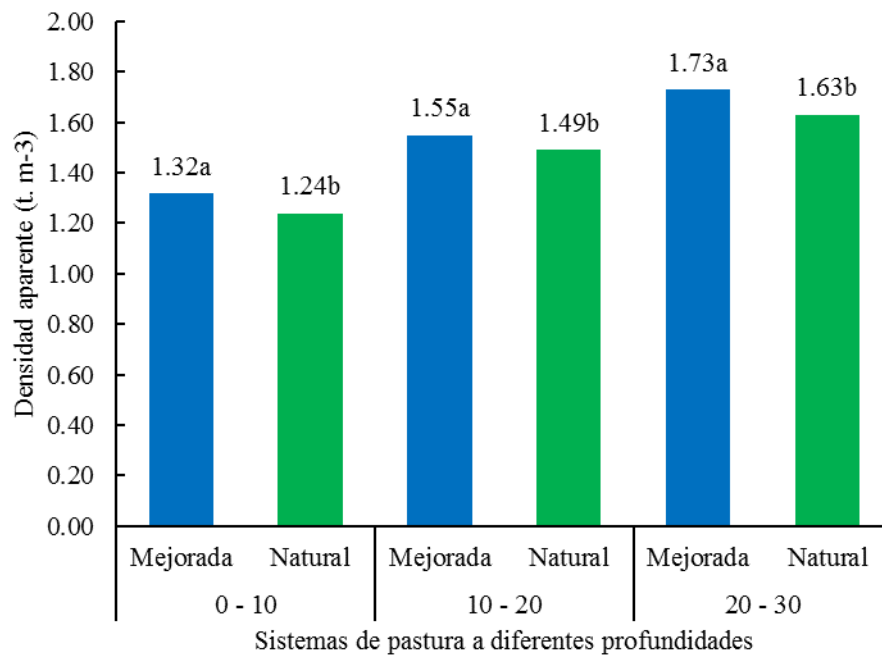
**Tabla 5.** Carbono orgánico del suelo por profundidad de horizonte en las pasturas.

| Profundidad del horizonte (cm) | Pastura  | MO (%) | DA (t. m <sup>-3</sup> ) | COS (t.ha <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------|----------|--------|--------------------------|---------------------------|
| 0 - 10                         | Mejorada | 2,87   | 1,32a                    | 22,01a                    |
|                                | Natural  | 2,30   | 1,24b                    | 16,48b                    |
|                                | P-valor  |        | 0,0062                   | 0,0001                    |
| 10 - 20                        | Mejorada | 1,15   | 1,55a                    | 10,35b                    |
|                                | Natural  | 2,30   | 1,49b                    | 19,84a                    |
|                                | P-valor  |        | 0,0182                   | 0,0001                    |
| 20 - 30                        | Mejorada | 1,00   | 1,73a                    | 10,02b                    |
|                                | Natural  | 1,15   | 1,63b                    | 10,88a                    |
|                                | P-valor  |        | 0,0003                   | 0,0001                    |

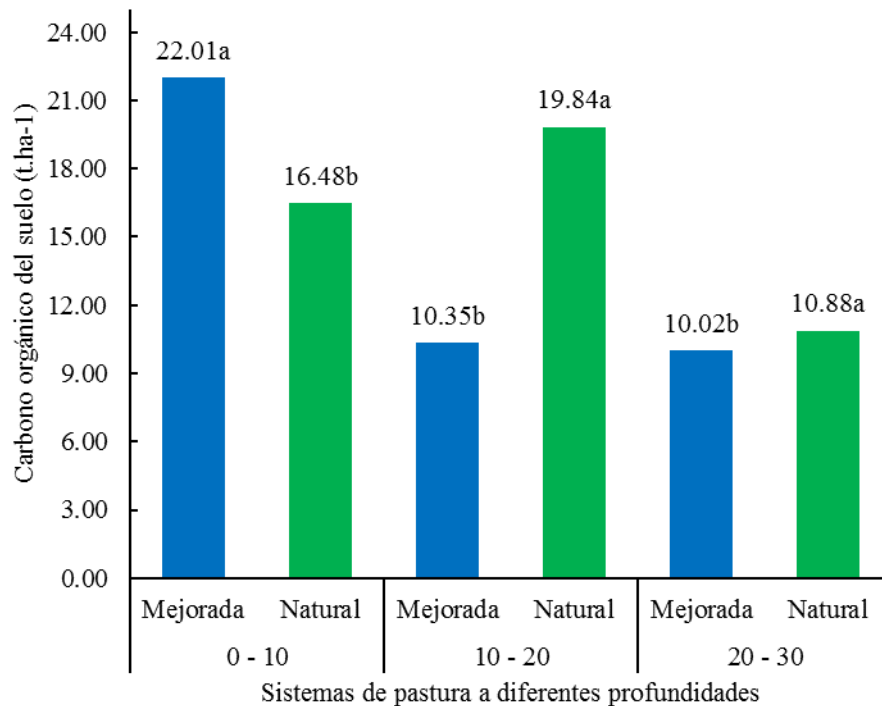
MO: Materia orgánica, DA: Densidad aparente, COS: Carbono orgánico del suelo, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de LSD Fisher.



**Figura 7.** Materia orgánica por profundidad de horizonte en las pasturas.



**Figura 8.** Densidad aparente por profundidad de horizonte en las pasturas.



**Figura 9.** Carbono orgánico del suelo por profundidad de horizonte en las pasturas.

Los resultados muestran que son diferentes, entre ambos contenidos de sistemas en profundidad de carbono orgánico del suelo. Los valores encontrados son inferiores a los encontrados por Polidoro et al. (2008); Amézquita et al. (2008); y Macdiken (1997) este

resultado es porque existe suelo degradado con nutrientes que van entre el rango de bajo a medio. El sistema de pastizal natural posee una materia orgánica superior en profundidad 10 a 20 cm, en cambio el sistema de pastura mejorada no, debido a una mayor presencia radicular sobre todo en las capas superficiales que permite una oferta de materia orgánica de raíces muertas, argumento que justifica la rusticidad y la resistencia de la pastura natural sobre condiciones adversas (Pezo et al., 2009).

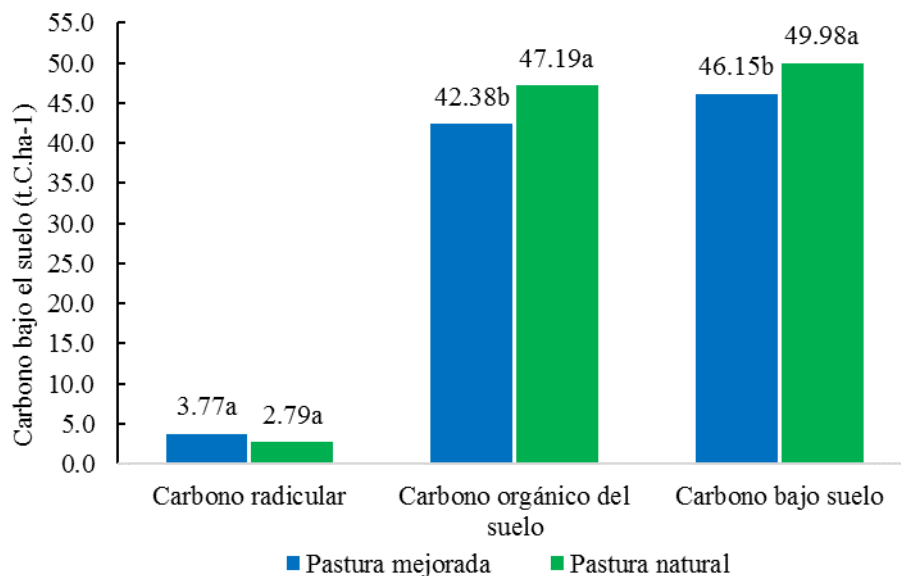
#### 4.2.3. Carbono bajo suelo

No existe diferencia en carbono radicular ( $p$ -valor= 0,0582), con promedios de 3,77 y 2,79 t.C.ha<sup>-1</sup>. En cuanto al contenido de carbono orgánico del suelo, existe diferencia ( $p$ -valor 0,0001), siendo mayor la pastura natural con (47,19 t.C.ha<sup>-1</sup>). Suma de ambos componentes genera el carbono bajo suelo, siendo mayor la pastura natural (Tabla 6 y Figura 10).

**Tabla 6.** Carbono bajo suelo en pastura mejorada y natural, expresadas en t.C.ha<sup>-1</sup>.

| Pastura  | N  | Carbono radicular | COS    | Carbono bajo suelo |
|----------|----|-------------------|--------|--------------------|
| Mejorada | 10 | 3,77a             | 42,38b | 46,15b             |
| Natural  | 10 | 2,79a             | 47,19a | 49,98a             |
| p-valor  |    | 0,0582            | 0,0001 | 0,0005             |
| CV%      |    | 23,12             | 3,24   | 4,24               |

COS: Carbono orgánico del suelo, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), según prueba de LSD Fisher.



**Figura 10.** Carbono bajo suelo en pastura mejorada y natural.

Las reservas de carbono bajo suelo incluyen los componentes de carbono radicular y del carbono orgánico del suelo. Suma de estos componentes muestran una diferencia significativa entre la pastura natural de la mejorada. Estas cantidades son menores a las reportadas por Andrade (1999) y FAO (2002), que oscila entre 70 t.C.ha<sup>-1</sup>. Esto debido principalmente por la condición de suelos pobres en materia orgánica.

El contenido de carbono entre ambas pasturas se debe por el contenido radicular y la materia orgánica del suelo. La labranza cero tiene una relación directa con el contenido de la materia orgánica, tal como lo demuestran los trabajos de Monnier et al. (1994); Reicosky y Lindstrom (1995).

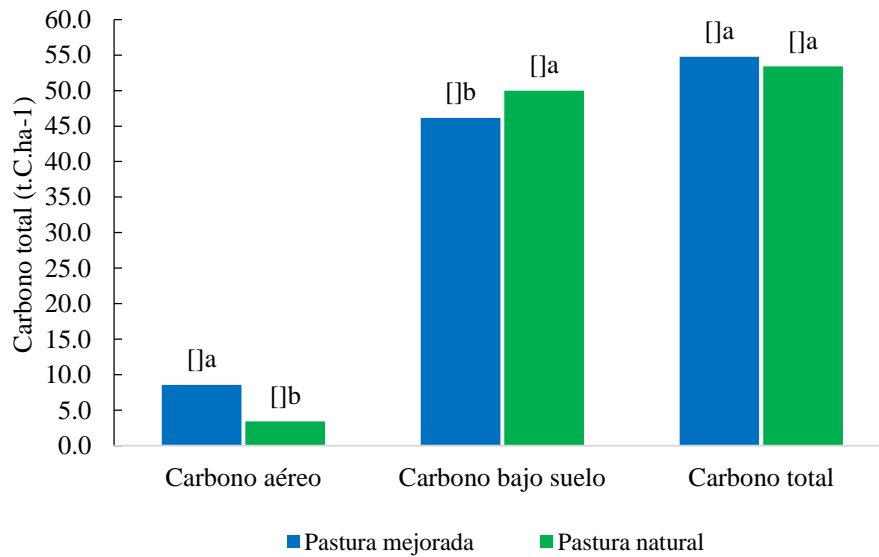
### 4.3. Carbono total de los sistemas de pasturas

Los sistemas de pastura mejorada y pastura natural poseen diferencias en el contenido de carbono aéreo y carbono bajo el suelo. En el carbono aéreo se tomaron (carbono herbáceo y carbono hojarasca) en sistema de pastura mejorada con 8,59 t.C.ha<sup>-1</sup> y en el sistema de pastura natural con 3,42 t.C.ha<sup>-1</sup>, con un variabilidad de 25,01%. En el caso de carbono bajo suelo se consideraron (carbono radicular y carbono orgánico del suelo) en sistemas de pastura natural con 46,15 t.C.ha<sup>-1</sup> y en el sistema de pastura natural con 49,98 t.C.ha<sup>-1</sup>, finalmente el carbono aéreo y carbono bajo el suelo suman carbono total. En el sistema de pastura mejorada suma un total de 54,75 t.C.ha<sup>-1</sup> y en el sistema de pastura natural suma un total de 53,39 t.C.ha<sup>-1</sup> (Tabla 7 y Figura 11).

**Tabla 7.** Carbono total en dos sistemas de pastura.

| Pastura  | N  | Carbono aéreo | Carbono bajo suelo | Carbono total |
|----------|----|---------------|--------------------|---------------|
| Mejorada | 10 | 8,59a         | 46,15b             | 54,75a        |
| Natural  | 10 | 3,42b         | 49,98a             | 53,39a        |
| p-valor  |    | 0,0001        | 0,0005             | 0,2114        |
| CV%      |    | 25,01         | 4,24               | 4,31          |

CV: Coeficiente de variación, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ),



**Figura 11.** Carbono aéreo, bajo suelo y total en sistemas de pastura.

En el estudio realizado en los sistemas de pastura mejorada y pastura natural no existe una diferencia significativa entre ambas pasturas con respecto al contenido de carbono total, los resultados muestran para el sistema pastura mejorada  $54,75 \text{ t.C.ha}^{-1}$  y para pastura natural  $53,39 \text{ t.C.ha}^{-1}$ . Estos resultados no están muy lejos realizados por Andrade (1999) y Amézquita et al. (2008) con  $68$  y  $72 \text{ t.C.ha}^{-1}$  respectivamente. La igualdad estadística que muestran estos dos sistemas se debe por el contenido de la materia orgánica en el sistema con pastura natural es superior, mejor, sobresaliente comprando con el sistema con pastura mejorada.

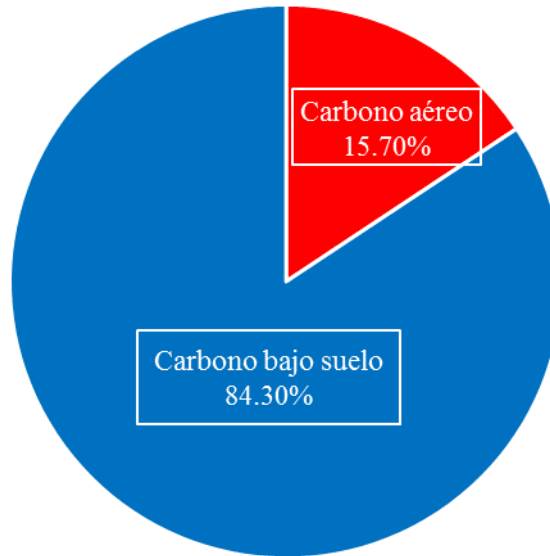
#### 4.4. Diferencia entre carbono aéreo y carbono bajo el suelo

Los sistemas de pastura natural y pastura mejorada en el estudio mostraron una diferencia de carbono. Sistema de pastura mejorada carbono aéreo con  $15,70\%$  y en el contenido de carbono bajo el suelo con un porcentaje de  $84,30\%$ .

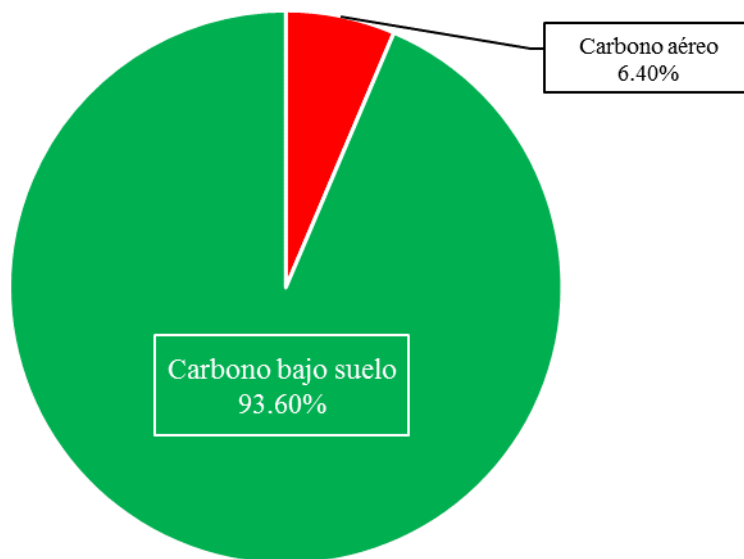
En el sistema de pastura natural, el carbono aéreo con  $6,40\%$ , sin embargo, el carbono bajo el suelo resulto con un porcentaje de  $93,60\%$ . Respecto a los resultados, podemos mencionar, el que aporta más carbono es por el medio subterráneo en los sistemas de pastura, sin generalizar otros sistemas. Otra diferencia que se puede notar es, el carbono que posee casi en su totalidad en el suelo es el sistema de pastura natural respecto a la pastura mejorada (Tabla 8 y Figura 12, 13).

**Tabla 8.** Contenido de carbono aéreo y carbono bajo el suelo en sistemas de pastura.

| Pastura  | N  | Carbono aéreo | Porcentaje | Carbono bajo suelo | Porcentaje |
|----------|----|---------------|------------|--------------------|------------|
| Mejorada | 10 | 8,59          | 15,70      | 46,15              | 84,30      |
| Natural  | 10 | 3,42          | 6,40       | 49,98              | 93,60      |



Pastura mejorada

**Figura 12.** Contenido de carbono aéreo y carbono bajo el suelo en pastura mejorada.

Pastura natural

**Figura 13.** Contenido de carbono aéreo y carbono bajo el suelo en pastura natural.

Los sistemas de pastura natural y pastura mejorada en el estudio mostraron una diferencia en el contenido de carbono. El sistema de pastura mejorada de carbono aéreo con 15,70% y en el carbono bajo el suelo con un porcentaje de 84,30% y en el sistema de pastura natural, el carbono aéreo con 6,40%, y el carbono bajo el suelo con 93,60%. Sin embargo, los valores son muy altos en el estudio de realizado por la FAO (2002) y Macdiken (1997) en donde mencionan que el carbono aéreo es de 30 a 40 % en pasturas. La diferencia mayor que muestra estos resultados se debe a que en condiciones de suelos degradados la biomasa aérea producida es reducida (FAO, 2002), mientras que la mayor reserva de carbono en estos sistemas degradados se da en el suelo (López et al., 2005; Guo et al., 2002).

## V. CONCLUSIONES

1. El sistema con pastura mejorada presento, carbono herbáceo de 3,50, carbono hojarasca de 5,09 y carbono sobre el suelo de 8,59 t.C.ha<sup>-1</sup>. El sistema con pastura natural presento, carbono herbáceo de 3,25, carbono hojarasca de 0,16 y carbono sobre el suelo de 3,42 t.C.ha<sup>-1</sup>.
2. La cantidad de carbono bajo el suelo, evaluados en las variables de carbono radicular y carbono orgánico del suelo, en pastura mejorada y natural presenta diferencia entre ambos sistemas.
3. La cantidad de carbono aéreo y bajo el suelo presentó, en pastura mejorada con 54,75 t.C.ha<sup>-1</sup> y en pastura natural con 53,39 t.C.ha<sup>-1</sup>.
4. El contenido de carbono aéreo presento con 15,70% y en carbono bajo el suelo con 84,30% en pastura mejorada. El contenido de carbono aéreo presento 6,40% y el carbono bajo el suelo con 93,60% en pastura natural.

## **VI. PROPUESTA A FUTURO**

1. Realizar mayores trabajos de investigación que permitan valorar los sistemas con pasturas naturales y su potencial de almacenamiento de carbono.
2. Continuar con el monitoreo de este trabajo de investigación para determinar la captura de carbono de los sistemas con pastura natural y mejorada considerándose este trabajo como datos del año 0.
3. Definir el trabajo de investigación como protocolo estándar de medición de carbono en sistemas ganaderos, incluyendo los sistemas silvopastoriles.
4. Valorar los sistemas ganaderos como potenciales reservas de carbono mediante mayores trabajos de investigación que permitan definir las reservas y capturas de carbono en sistemas ganaderos tradicionales y silvopastoriles.

## VII. REFERENCIAS

- AGRORURAL (Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural). (2020). San Martín: reactivan actividades ganaderas con instalación de pastos cultivados en más de 3 000 hectáreas de 8 provincias. RSS Noticias. <https://www.agrorural.gob.pe/san-martin-reactivan-actividades-ganaderas-con-instalacion-de-pastos-cultivados-en-mas-de-3-000-hectareas-de-8-provincias/>
- Andrade, H. J. (1999). *Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con Acacia mangium y Eucalyptus deglupta en el trópico húmedo*. [Tesis de postgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE]. Repositorio. CATIE. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11552e/A11552e.pdf>
- Amézquita, E, Thomas, R. J., Rao, J. M., Molina, D. L., Hoyos, P. (2004). Use of deep-rooted tropical pastures to build- up an arable layer through improved soil properties of an Oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. *Agric. Ecosyst. Environ*, 103:269.
- 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*. Wageningen academic publishers. The Netherland. 52 p.
- Arnold, R. W., Szabolcs, I., Targulian, V. O. (1990). *Global soil change: report of an International Institute for Applied System Analysis, International Society of Soil Science, United Nations. Environmental Programme: task force on the role of soil in global change*. International Society of Soil Science, UNEP. Laxenburg, Austria. 110 p. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/3458/1/CP-90-002.pdf>
- Arshad, M. A., Coen, G. M. (1992). Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture*, 7:25.
- Arreaga, D. (2002). *Fauna do solo em diferentes sistemas de plantio e manejo no planalto medio do Rio Grande do Sul*. Biodinâmica do solo.
- Beheshti, A., Raiesi, F., Golchin, A. (2012). Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 121–133.

- Bengough, A. G. (1991). *The penetrometer in relation to mechanical resistance to root growth*, In: Soil Analysis. Physical Methods. Marcel Dekker, Inc. New York, USA, 431-445 p.
- Blanco-Sepúlveda, R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*, 43, 231-239.
- Bóhm, W. (1979). *Methods of studying root system*. Berlin, GE, Springer Verlag, 179 p.
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer*. Roma, IT, FAO, 55 p.
- Busscher, W. J., Sojka, R. E. (1987). Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservation tillage. *Transactions of the ASAE*, 30, 888-892.
- Cárdenas, E. (1992). *Introducción al establecimiento y producción de las pasturas tropicales*. Tingo María, Huánuco Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 303 p.
- Crespo, G. (2011). Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(4), 343-347.
- Da Cruz, W. (2006). *Manejo de pasturas tropicales*. Tingo María, Huánuco Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 188 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 Oliviera, O. C., De Oliveira, I. P., Alvers, B. J. R., Urquiaga, S., Baddeley, R. M. (2004). Chemical and biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. *Agric. Ecosyst. Environ*, 103:289.
- Delaney, K., Correia, M. E. F., Oliveira, L. C. M. (1997). *De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos*. Seropedica. Embrapa. Agrobiologica. 112 p.
- Doran, J. W., Parkin, B. T. (1994). Defining and assessing soil quality, In: *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Special Publication 35. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA, 3-21 p.
- Dubeux Jr, J. C. B., Sollenberger, L. E., Comford, N. B., Scholberg, J. M., Ruppieri, A. C., Vendramini, J. M. B. (2006). Management intensity affects fractions of soil organic matter from grazed bahiagrass swards. *Soil Biol. Biochem*, 38:2705.

- Escudero Berián, A., García Criado, B., Alonso Peloche, H. (1985). El ciclo del potasio en dehesas de *Quercus rotundifolia* y *Quercus pyrenaica*. Mediterránea. *Serie de Estudios Biológicos*, 8, 103-123.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la Tierra*. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Roma. 60 p.
- 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, N. K., Moreira, A. (2011). The role of mineral nutrition on root growth plants. *Adv. Agron*, 110:251.
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, J., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., Caravaca, F. (2010). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 109(2), 110–115.
- Gerrard, A. J. (1982). *The use of hand-operated soil penetrometers*. *Area*, 14, 227-234.
- Greacen, E. L., Sands, R. (1980). Compaction of forest soils. A review. *Australian Journal of Soil Research*, 18, 163-189.
- Greacen, E. L. (1986). Root response to soil mechanical properties. *Transactions of the 13 th Congress of the International Society of Soil Science*, 5, 20-47.
- Greenwood, K. L., McKenzie, B. M. (2001). Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41, 1231-1250.
- Guo, L., Gifford, R. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. In: *Global Change Biology*, 8(1), 345-360.
- Haynes, R. J. (2000). Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem*, 32:211.
- Hazelton, P., Murphy, B. (2007). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?*, CSIRO Publishing, Collingwood Victoria, Australia.

- Hernández, N. (2003). Caracterización de los componentes de la fitomasa de un pastizal tradicional y cuatro ecosistemas derivados de éste. Trabajo de Diploma. Fac. de Biología. Universidad de La Habana- Instituto de Ecología y Sistemática CITMA, 38 p.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. P. (2014). Metodología de la investigación. 6 ed. México. 600 p.
- Ibrahim, M., Pezo, D. (2003). Monitoreo del secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería de las Americas*, 10(39-40), 109-116.
- 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), 1110-1117.
- INRENA (Instituto Nacional de los Recursos Naturales). (1995). *Mapa Ecológico del Perú*. Guía explicativa, gráficos. Talleres de INRENA. Lima, Perú. 221 p.
- Jiménez, A. M., Reyes, J. T., Silveira, M. L. (2021). Secuestro y distribución de carbono orgánico del suelo bajo diferentes sistemas de manejo de pasturas. UF, IFAS Extensión, University of Florida, 3p. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SS564>
- Knops, J. M. H., Tilman, D. (2000). Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. *Ecology*, 81(1), 88–98.
- Lal, R., Blum, W. H., Valentine, C., Stewart, B. A. (1997). Methods for assessment of soil degradation, Boca Ratón, Florida, Estados Unidos.
- Lagos, P., Venegas, J. (2003). Almacenamiento de carbono en Bosques – El Papel del suelo. *Revista Forestal Iberoamericana*, 1(1). Centro de Investigación Forestal. Viena. Austria. <http://www.google.com.pe/search?q=carbono+en+el+suelo&hl=es&Start=40&sa=N>
- Larson, W. E., Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality In: Dumanski, J. (Eds.), *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*. Proceedings of the International Workshop, Chiang Rai, Thailand, 15– 21 Sept. 1991. Technical papers, vol. 2. International Board for Soil Resource and Management. Bangkok, Thailand, pp. 175-203.
- López, U., Veldkamp, E., Koning, G. (2005). Soil carbon stabilization in converted tropical pastures and forests depends on soil type. In: *Soil Science Society of America Journal*, 69(4), 1110-1117.

- Maddiken, K. (1997). *A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry Projects*. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
- McLaughlan, K. K. (2006). The Nature and Longevity of Agricultural Impacts on Soil Carbon and Nutrients: A Review. *Ecosystems*, 9(8), 1364–1382.
- Monier, G., Thevenet, G., Lesaffre, B. (1994). *Simplification of the soil*. In: Colloques INRA N° 65. 172 p.
- Morris, L. R., Monaco, T., Leger, E., Blank, R., Sheley, R. (2013). Cultivation legacies alter soil nutrients and differentially affect plant species performance nearly a century after abandonment. *Plant Ecology*, 214(6), 831–844.
- 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, M. M., Guimaraes, M. F., Desjardins, T., Mitja, D. (2004). The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian Amazon: a case study. *Agric. Ecosyst. Environ*, 103:279.
- Pellant, M., Shover, P., Pyke, D., Herrick, J. E. (2005). *Interpreting indicators of rangeland health*. Version 4. Interagency Technical Reference. 1734-6, Bureau of Land Management, Denver, Colorado, USA.
- Pezo, D., Ospina, S. (2009). *Rol de los pastizales seminaturales en las fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua percepciones de productores e investigadores*. En: Agroforestería de las Américas N° 47. 7-11 p.
- Polidoro, B., Winowiecki, L., Maynard, J., Mcdaniel, P., Morra, M. (2008). *Suelos del valle y del piedemonte en Talamanca: un paisaje dinámico para el almacenamiento de carbono*. En: Agroforestería de las Américas N° 46 2008. 40-44 p.
- Potthast, K., Hamer, U., Makeschin, F. (2010). *Impact of litter quality on mineralization processes in managed and abandoned pasture soils in Southern Ecuador*. *Soil Biol. Biochem*, 42-56.
- Post, W. M., Kwon, K. C. (2000). Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. *Global Change Biology*, 6, 317-327.
- Pulido Fernández, M. (2014). *Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo*. [Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura]. [https://dehesa.unex.es:8443/bitstream/10662/1621/1/TDUEx\\_2014\\_Pulido\\_Fernandez.pdf](https://dehesa.unex.es:8443/bitstream/10662/1621/1/TDUEx_2014_Pulido_Fernandez.pdf)

- Rao, I., Rippstein, G., Escobar, G., Ricaurte, J. (2001). *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, 124-145 p.
- Reicosky, D., Lindstrom, M. (1995). Impact of fall tillage on short-term carbón dioxide flux. In: *Soils and Global Change*. CRC Press. 132 p.
- Raiesi, F. (2012). Soil properties and C dynamics in abandoned and cultivated farmlands in a semi-arid ecosystem. *Plant and soil*, 351(1-2), 161–175.
- Rodriguez, A., Rada, F., Colmenares, M. (2008). Comportamiento ecofisiológico de *Brachiaria decumbens* en monocultivo y en asociación con *Leucaena leucocéphala*. *Revista Pastos y Forrajes*, 31(3), 217-227.
- Rügnitz, M., Chacón, M., Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consortio 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.
- Schnabel, S., Dahlgren, R. A., Moreno-Marcos, G. (2013). Soil and water dynamics. In: *Mediterranean Oak Woodland Working Landscapes: Dehesas of Spain and Ranchlands of California*, Landscape Series 16. Springer-Verlag. New York, USA. 91-121 pp.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denet, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79:7.
- Supo, J., Zacarías, H. (2020). *Metodología de la investigación científica* (3ra ed.). Bioestadístico EEDU EIRL.
- Taylor, H. M., Roberson, G. M., Parker Jr., J. J. (1966). Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, 102, 18-22.
- Trujillo, W., Fisher, M. J., Lal, R. (2006). Root dynamics of native savanna and introduced pastures in the Eastern Plains of Colombia. *Soil Tillage Res.* 87:28.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). (1999). *Soil Quality Test Kit Guide*, United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service and

Natural Resources Conservation Service-Soil Quality Institute, Disponible on-line en: [http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/test\\_kit\\_complete.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/test_kit_complete.pdf).

Verdal Perú SAC. (2012). *Caracterización del departamento de San Martín*. Características socioeconómicas. 1-6 p. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Iquitos/San-Martin-Caracterizacion.pdf>

Voorhees, W. B. (1983). Relative effectiveness of tillage and natural forces alleviating wheel induced soil compaction. *Soil Science Society of America Journal*, 47, 129-133.

Waldrop, M. P., Balsler, T. C., Firestone, M. K. (2000). Linking microbial community composition to function in a tropical soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 1837–1846.

Wang, B., Liu, G., Xue, S., Zhu, B. (2011). Changes in soil physico-chemical and microbiological properties during natural succession on abandoned farmland in the Loess Plateau. *Environmental Earth Sciences*, 62(5), 915–925.

Whalley, W. R., Watts, C. W., Gregory, A. S., Mooney, S. J., Clark, L. J., Whitemore, A. P. (2008). The effect of soil strength on the yield of wheat. *Plant and Soil*, 306, 237-247.

Wei, Ch., Gao, M., Shao, X., Pan, G. (2006). Soil aggregate and its response to land management practices. *China Particuology*, 4:211.

Yong, R. M., Warkentin, B. P. (1975). *Soil properties and behaviour*. Developments in Geotechnical Engineering, Elsevier Scientific Publishing Company, Ámsterdam, Holanda.

Zhiping, Q., Rao, I., Ricaurte, J., Amézquita, E., Sanz, J., Kerridge, P. (2004). Root distribution and nutrient uptake in crop-forage systems on Andean hillsides. *Journal of Sustainable Agriculture*, 23(4), 39-50.

**ANEXOS**

## Anexo 1. Panel fotográfico



**Figura 14.** Área de pastura en estudio.



**Figura 15.** Recolección de biomasa aérea



**Figura 16.** Recolección de biomasa bajo suelo