

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE ZOOTECNIA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS PECUARIAS



---

CARBONO ALMACENADO EN CUATRO SISTEMAS GANADEROS EN EL  
DISTRITO DE PALCAZÚ, ISCOZACÍN

---

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

MACHUCA TRUJILLO, MARIBEL

TINGO MARÍA, PERÚ

2013



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE ZOOTECNIA  
Av. Universitaria Km. 2 Teléfono: (062) 561280  
TINGO MARÍA

"Año de la Promoción de la Industria y del Compromiso Climático"

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 14 de enero de 2014, a horas 12:00 m. para calificar la tesis titulada:

**"CARBONO ALMACENADO EN CUATRO SISTEMAS GANADEROS EN EL DISTRITO DE PALCAZÚ, ISCOZACÍN"**.

Presentada por la Bachiller **MARIBEL MACHUCA TRUJILLO**; después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobada con el calificativo de **"EXCELENTE"**.

En consecuencia, la sustentante queda apta para optar el **TÍTULO DE INGENIERO ZOOTECNISTA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título, de conformidad con lo establecido en el Artículo 95, inciso "i" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 28 de enero de 2014

Dr. JORGE RÍOS ALVARADO  
Presidente



MSc. EBER CÁRDENAS RIVERA  
Miembro

MSc. JUAN CHOQUE TICACALA  
Miembro

MSc. RAFAEL ROBLES RODRÍGUEZ  
Miembro - Asesor

## ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades del carbono.....	4
2.2. El dióxido de carbono.....	5
2.3. Almacenamiento de carbono.....	6
2.4. Relación de la ganadería con el CO <sub>2</sub> .....	8
2.5. Sistemas silvopastoriles y secuestro de carbono.....	9
2.6. Inventarios y contabilidad de carbono.....	11
2.7. Monitoreo y evaluación de almacenamiento de carbono.....	12
2.8. Componentes del almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles.....	13
2.9. Estudios de estimaciones de almacenamiento de carbono.....	16
III. MATERIALES Y METODOS.....	19
3.1. Lugar y fecha de ejecución.....	19
3.2. Tipo de investigación.....	19
3.3. Metodología.....	19
3.3.1. Selección de sistemas ganaderos.....	20
3.3.2. Demarcación del área de estudio.....	21
3.3.3. Determinación del carbono aéreo.....	22

3.3.3.1. Determinación de la biomasa arbórea.....	22
3.3.3.2. Determinación de la biomasa herbácea.....	23
3.3.3.3. Determinación de la biomasa hojarasca.....	25
3.3.3.4. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea (arbórea, herbácea y hojarasca).....	26
3.3.4. Determinación del carbono bajo suelo.....	26
3.3.4.1. Determinación de la biomasa radicular herbáceo....	26
3.3.4.2. Estimación del carbono orgánico del suelo.....	28
3.3.4.3. Estimación del carbono bajo suelo (radicular, carbono orgánico del suelo).....	30
3.3.5. Estimación del almacenamiento del carbono total en los sistemas.....	30
3.4. Variables independientes.....	31
3.5. Variables dependientes.....	31
3.6. Análisis estadístico.....	31
IV. RESULTADOS.....	33
4.1. Carbono de la biomasa aérea en cuatro sistemas ganaderos.....	33
4.2. Carbono bajo suelo entre los sistemas ganaderos evaluados.....	37
4.2.1. Carbono radicular.....	37
4.2.2. Carbono orgánico del suelo (COS).....	41
4.2.3. Carbono bajo suelo.....	46
4.3. Reserva total de carbono en los sistemas ganaderos evaluados..	47
4.4. Relación entre carbono aéreo y carbono bajo suelo.....	49
V. DISCUSION.....	52

5.1. Carbono de la biomasa sobre suelo en cuatro sistemas ganaderos.....	52
5.2. Carbono bajo suelo entre sistemas ganaderos evaluados.....	55
5.2.1. Carbono radicular.....	55
5.2.2. Carbono orgánico del suelo (COS).....	56
5.2.3. Carbono bajo suelo.....	57
5.3. Carbono total de los sistemas ganaderos.....	58
5.4. Relación entre carbono aéreo y bajo suelo.....	59
VI. CONCLUSIONES.....	61
VII. RECOMENDACIONES.....	63
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	64
ANEXO.....	74

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Fuentes de variación y grados de libertad .....	32
2. Carbono de la biomasa aérea en cuatro sistemas ganaderos, expresadas en t.C.ha <sup>-1</sup> (media ± error estándar).....	33
3. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte entre los cuatro sistemas evaluados (Media ± error estándar).....	37
4. Materia orgánica, densidad aparente y carbono orgánico del suelo por profundidad de horizonte en las pasturas (Media ± error estándar).....	42
5. Carbono bajo suelo en los sistemas ganaderos evaluados y expresadas en t C ha <sup>-1</sup> (n=10; media ± error estándar).....	46
6. Carbono total en cuatro sistemas evaluados, expresadas en t.C.ha <sup>-1</sup> (n=10; media ± error estándar).....	48
7. Relación del contenido de carbono aéreo y carbono bajo suelo en cuatro sistemas ganaderos, expresadas en t C ha <sup>-1</sup> (n=10; media ± error estándar).....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema de la parcela y sus medidas en estudio.....	22
2. Gráfico de barras para el contenido de carbono aéreo entre sistemas ganaderos.....	35
3. Contenido de carbono ( $t.C.ha^{-1}$ ) por componentes herbáceo (CH) y hojarasca (Ch) entre sistemas ganaderos.....	36
4. Biomasa radicular ( $g.m^{-2}$ ) por sistemas ganaderos evaluados.....	39
5. Biomasa radicular por estrato ( $g.m^{-2}$ ).....	39
6. Carbono radicular ( $t C ha^{-1}$ ) por sistema ganadero evaluado.....	40
7. Carbono radicular por estrato ( $t/ha$ ).....	41
8. Materia orgánica (%) evaluada a tres profundidades (a); Densidad aparente a tres profundidades ( $t ha^{-3}$ ) (b) en cuatro sistemas ganaderos.....	43
9. Grafico Boxplot del carbono orgánico del suelo ( $t.ha^{-1}$ ) en cuatro sistemas ganaderos (a). Carbono orgánico del suelo ( $t.ha^{-1}$ ) en tres profundidades (b).....	45
10. Gráfico de boxplot para el contenido de carbono bajo suelo ( $t.C.ha^{-1}$ ) entre sistemas ganaderos .....	47
11. Gráfico de boxplot para la reserva total de carbono ( $t.C.ha^{-1}$ ) entre los sistemas evaluados.....	49

12. Proporción del carbono aéreo y bajo suelo de los sistemas ganaderos evaluados.....	51
--	----



## I. INTRODUCCION

En las últimas décadas se han realizado esfuerzos por buscar soluciones al problema del cambio climático global. El cambio climático, es el cambio distorsionado del clima a nivel del planeta, debido principalmente al aumento en la atmósfera de gases de efecto invernadero, siendo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el principal causante. El aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se da por dos razones principales, la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de la tierra de bosques a áreas agrícolas y urbanas (deforestación).

La ganadería ha sido expuesta a críticas y concepciones negativas respecto a su impacto en el medio ambiente y actualmente a lo que se refiere al cambio climático; especialmente los sistemas ganaderos tradicionales que han sido culpados de aportar grandes cantidades de metano a la atmosfera. Sin embargo, no se ha realizado una reflexión consciente del rol de la ganadería como una expresión cultural, un medio de vida para millones de familias campesinas y el potencial que tiene para brindar servicios ecosistémicos.

Los sistemas forestales y agroforestales acumulan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo (leñoso y herbáceo), hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo. Por lo tanto el uso y la adaptación de

prácticas agroforestales en la crianza de animales en pastoreo ha mostrado ser útil tanto para aumentar la producción pecuaria como para el brindar servicios, como la fijación de carbono en los suelos y la vegetación, e incrementar su biodiversidad biológica y ayudar a conservar las fuentes de agua; sin embargo, la cantidad de trabajos de investigación realizados en este tema es escasa comparada a otros sistemas de uso como bosques y plantaciones forestales.

Por todo ello, se tiene como problema de investigación: ¿Cuál de los cuatro sistemas ganaderos; sistema tradicional con pastura natural (*Axonopus compressus*), sistema silvopastoril con pastura natural (*Axonopus compressus*), sistema tradicional con pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) y sistema silvopastoril con pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*), almacenará mayor carbono?; para ello, formulamos la hipótesis: que el sistema silvopastoril con pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) almacena mayor carbono que los otros tres sistemas; ya que cuenta con una mayor producción de biomasa herbácea, hojarasca, aporte de la biomasa arbórea y por la deposición de materia orgánica en el suelo por estos tres componentes.

Para lo cual planteamos los siguientes objetivos:

#### Objetivo General

Estimar las reservas de carbono almacenado en cuatro sistemas ganaderos sistema tradicional con pastura natural (*Axonopus compressus*), sistema silvopastoril con pastura natural (*Axonopus compressus*), sistema

tradicional con pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) y sistema silvopastoril con pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) en el distrito de Palcazú, Iscozacán.

#### Objetivos Específicos

- Determinar el carbono de la biomasa sobre el suelo (herbáceo, hojarasca y arbóreo) en cuatro sistemas ganaderos.

- Determinar el carbono almacenado bajo el suelo (sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) en cuatro sistemas ganaderos.

- Estimar el potencial de almacenamiento de carbono en los cuatro sistemas ganaderos.

- Estimar la relación de carbono almacenado aéreo y bajo suelo en los cuatro sistemas ganaderos.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del Carbono

El carbono es la unidad principal de la vida del planeta y su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos (Bolin *et al.*, 2000, citado por CASANOVA *et al.*, 2010).

El carbono, un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, se obtiene de la atmósfera por medio de la fotosíntesis. Sin embargo, cuando las plantas mueren, sus tejidos ricos en carbono vuelven al suelo y son descompuestos por los organismos vivos. El carbono del suelo no se acumula para siempre, se libera del suelo cuando la materia orgánica es descompuesta por varios tipos de organismos aerobios que usan el carbono para su propio crecimiento (LESSARD *et al.*, 2009).

El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Jackson, 1964; citado por MARTINEZ *et al.*, 2008).

## 2.2. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

SCHLEGEL (2001) el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el gas de efecto invernadero más importante producido por las actividades humanas. KANNINEN (2001) menciona que una fuente importante de incremento de CO<sub>2</sub> emitido proviene de los cambios en el uso de la tierra, fundamentalmente la deforestación. El IPCC (1996) estima que entre el 15 y 20% del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera proviene del resultado de estos cambios en el uso de la tierra, la detención de la deforestación y la reversión a través de la reforestación y manejo sustentable, implica recapturar el CO<sub>2</sub>, disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y reducir el calentamiento global.

Una forma de mitigar los problemas de CO<sub>2</sub> además de reducir las emisiones, es "secuestrarlo", o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos. En el primero; se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Los bosques son el principal sumidero de CO<sub>2</sub>, sin embargo, según algunos estudios la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, principalmente por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad (ALBRECHT y KANDJI, 2003).

Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie de la tierra. PINEDA, ORTIZ Y

SANCHEZ (2005) indican que los bosques almacenan una importante cantidad de carbono, tanto a nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de  $\text{CO}_2$  entre la biosfera y la atmósfera. Estos ecosistemas funcionan como sumideros si capturan  $\text{CO}_2$  y lo convierten en carbohidratos (mediante el proceso de la fotosíntesis), o como una fuente emisora de  $\text{CO}$  si es liberado a la atmósfera a través de la quema.

Los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres. Contienen cuatro veces la cantidad de carbono que la vegetación. Por eso merecen atención cuando se buscan mecanismos del almacenamiento de carbono. Aumentar el nivel de carbono en el suelo podría ser un servicio ambiental (JANDL, 2003).

Una de las funciones de los pastos y los sistemas silvopastoriles es como sumidero de carbono, reduciendo la concentración del  $\text{CO}_2$  atmosférico (MORA, 2001).

### 2.3. Almacenamiento de carbono

RONDA Y COREA (2007) el carbono se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono y es removido de ésta durante la fotosíntesis para la formación principalmente de carbohidratos (a esta acción se le conoce como captura, almacenamiento o secuestro).

CIELSA (1996) el ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados; la atmósfera, la biósfera terrestre, los

océanos y los sedimentos (incluso los combustibles fósiles). Los mecanismos principales de intercambio son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación. ORTIZ Y RIASCOS (2006) este ciclo comienza con la fijación del anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el  $\text{CO}_2$  y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta y el  $\text{CO}_2$  así formado, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan  $\text{CO}_2$ . Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo lo que da como resultados que el carbono de sus tejidos se oxide en  $\text{CO}_2$  y regrese a la atmósfera.

GAYOSO (2006) indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque. El potencial de los sistemas agroforestales (suelos y biomasa) para almacenar carbono puede variar entre 20 y 204 t C ha<sup>-1</sup>., estando la mayoría de este carbono almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que pueden variar entre 1,8 y 5,2 t ha<sup>-1</sup>. (IBRAHIM *et al.*, 2005), mientras tanto, GAYOSO (2006) indica que el carbono del suelo por sí solo representa más que el carbono de la biomasa forestal; YQUISE, 2008; encontró que en los SUT de tres 3 a 10 años de edad (SAF "cacao" *Theobroma cacao* L y SSP "pastura" *Paspalum conjugatum* Berg con especies forestales), el mayor aporte de carbono corresponde al edáfico mientras que en los SUT mayores a 10 años de edad superan el 50 % de carbono

en la biomasa vegetal; es decir, conforme la biomasa aérea se incrementa se va equilibrando con el carbono del suelo hasta que lo supera.

BROWN (1997) los principales componentes de almacenamiento de carbono en el uso de la tierra son el carbono orgánico del suelo (COS) y la biomasa arriba del suelo. Se ha estimado que el carbono (C) en la biomasa de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 - 230; y entre 25 - 190 t C ha<sup>-1</sup> respectivamente, y que el C en el suelo puede variar entre 60 y 115 t C ha<sup>-1</sup> (CATRIONA, 1998).

#### 2.4. Relación de la ganadería con el CO<sub>2</sub>

Los sistemas ganaderos tradicionales han sido culpados de aportar grandes cantidades de metano a la atmosfera (FAO, 2002). Asimismo la degradación de las pasturas ha contribuido de manera significativa al aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico, ya que en estos sistemas hay una rápida descomposición del carbono de la materia orgánica y, por ende, mayor emisión.

GAMMA (2010) menciona que la actividad ganadera presenta dos aspectos de importancia global; la deforestación y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) provenientes del sistema ganadero, mientras tanto SUAREZ, 2004, indica que cerca de un tercio del calentamiento de la atmosfera y el cambio climático proviene de la agricultura, sobre todo de la deforestación, quema y descomposición de la materia orgánica.

La deforestación contribuye al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico y promoviendo la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida la materia orgánica del suelo (PEREZ *et al.*, 2005).

## 2.5. Sistemas silvopastoriles y secuestro de carbono

De acuerdo a RADULOVICH (1994) los sistemas silvopastoriles son una alternativa para disminuir el efecto invernadero dado que al establecerse árboles y pasturas en las grandes extensiones de los potreros, en forma conjunta, contribuyen a la captura de carbono y a incrementar la productividad ganadera en forma sostenible.

El propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible (SCHROTH *et al.*, 2001). Además, ofrecen múltiples bondades, no sólo al ambiente sino también al productor, puesto que protegen al suelo de la erosión y adicionan materia orgánica, proveen de alimento y sombra para los animales todo el año, y mantienen una alta biodiversidad (RONCAL *et al.*, 2008). Asimismo, la integración de especies leñosas dentro de estos sistemas, promueven la recuperación de áreas degradadas (RAZZ Y CLAVERO, 2006), así como también la captura de dióxido de carbono, el cual es uno de los principales gases causantes del efecto invernadero (IBRAHIM *et al.*, 2007).

En los pastos el carbono almacenado se incrementa cuando se incorpora el componente arbóreo, en muchos casos, superando a los bosques

secundarios puesto que la madera producida almacena el carbono por muchos años y, a la vez, se reduce la presión sobre el carbono almacenado en la madera de los bosques naturales, y además genera ingresos económicos para el productor por la venta de madera (LOPEZ *et al.*, 1999).

MONTENEGRO Y ABARCA (1999) afirman que recientemente se ha reconocido el papel de las pasturas en el ciclo del carbono; en este sentido, las gramíneas seleccionadas con altos rendimientos de biomasa y bien adaptadas tienen un rol importante en la reducción y retención de la emisión de carbono en la atmósfera mediante la producción de biomasa aérea y como de raíces, y por la deposición de materia orgánica en el suelo. Por lo tanto, la combinación de pasturas y árboles es un sistema efectivo para incrementar el potencial de los recursos (ciclaje de nutrientes e interacciones) y contribuir al almacenamiento de carbono.

El carbono, se deposita en el follaje, tallos y sistema radicular y principalmente en el tejido leñoso de los troncos y ramas principales de los árboles. Por esta razón los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) (RONDA Y COREA, 2007).

Asimismo GAMMA (2010) menciona que durante el pastoreo una porción de pasto ofrecido no es consumido, parte de estos residuos son incorporados como materia orgánica en el suelo e incrementa la cantidad de carbono en el mismo. El suelo juega un rol importante en la acumulación del carbono, y es el resultado de la descomposición de la materia orgánica

proveniente de la hojarasca, las raíces de los pastos, los árboles, y el aporte de las excretas de los animales. Los sistemas silvopastoriles con un buen manejo apropiado pueden ser sumideros de carbono.

## 2.6. Inventarios y contabilidad de carbono

Uno de los aspectos importantes de la captación y el almacenamiento de carbono (C) son el desarrollo y la aplicación de métodos para estimar y notificar las cantidades en que las emisiones de CO<sub>2</sub> son reducidas, evitadas o eliminadas de la atmósfera. Los dos elementos que forman parte de ello son, la estimación y notificación en sí de las emisiones para los inventarios nacionales de los gases de efecto invernadero, y la contabilidad en relación con la captura y almacenamiento de carbono en el marco de los acuerdos internacionales para limitar las emisiones netas (IPCC, 2003).

Los inventarios de carbono son una fotografía del estado actual de cada componente de carbono (biomasa, hojarasca, raíces y suelo) en términos de cantidad. Esta metodología debería permitir la comparación entre sitios, sistemas y periodos (MACDIKEN, 1997) y dependerá de la relación costo-beneficio.

ANDRADE e IBRAHIM (2003), afirman que la gran variabilidad espacial de los sistemas silvopastoriles hace que los muestreos estratificados sean los más convenientes. El sistema total debe ser dividido en estratos (vegetación, suelo o topografía), los cuales se pueden definir empleando

imágenes satelitales, fotografías aéreas, y mapas de vegetación, suelos o topografía.

## 2.7. Monitoreo y evaluación de almacenamiento de carbono

En el monitoreo del almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales, las parcelas permanentes de muestro (PPM) son una herramienta estadística importante para evaluar los cambios temporales, principalmente porque proveen datos más reales y fácilmente verificables del crecimiento de la vegetación (MACDIKEN, 1997).

La información sobre la cobertura del suelo y su uso es esencial, ya que la cantidad de carbono almacenado en un sitio dado depende del clima (precipitación y temperatura) y las condiciones del suelo, pero también de las actividades desarrolladas por el hombre (ALBRETCH Y KANDJI, 2003).

GAMMA (2010) menciona que la mayor parte de trabajos para determinar carbono en SSP, provienen de modelos ideados para bosques, lo que representa una limitante por las adaptaciones y modificaciones que debe realizarse de los mismos. Además, hasta el momento las investigaciones no han considerado el secuestro de carbono por parte del componente animal, que representa un eslabón muy importante dentro de SSP. En un análisis presentado por FISCHER y TRUJILLO (1999) en las sabanas del neotrópico, se encontró que las pasturas mejoradas almacenan la mayor parte del carbono en las capas más profundas del perfil del suelo (30 – 80 cm de profundidad) y que las gramíneas introducidas podrían estar fijando en el suelo de 100 a 500 M t C año<sup>-1</sup>.

MACDIKEN (1997) considera que las características de las parcelas permanentes de muestreo (forma, tamaño y número) constituyen un aspecto clave del monitoreo. La forma de las parcelas depende enteramente de la distribución espacial de los árboles. En plantaciones lineales se debería usar parcelas con la misma forma; mientras que si los árboles se distribuyen al azar (dispersos), la forma más aconsejable es la circular; en sistemas con árboles de distribución sistemática, recomienda las parcelas permanentes de muestreo rectangulares.

## 2.8. Componentes del almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles

SNOWDON *et al* (2001) los sistemas agroforestales y forestales acumulan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca, sistemas radiculares (raíces) y carbono orgánico en el suelo; la biomasa sobre el suelo se divide principalmente en biomasa leñosa y biomasa del estrato herbáceo: pastos, leguminosas, hierbas, estados juveniles y otros. Y el mayor porcentaje de carbono almacenado se presenta en la biomasa sobre el suelo presente en usos del suelo como árboles, arbustos, palmas y herbáceas, ellos determinan el carbono sobre el suelo en los árboles y en la vegetación herbácea presentes en las fincas ganaderas (GAMMA, 2010).

SALGADO (2004) manifiesta que la capacidad de captura y almacenamiento de carbono en un SSP depende de las especies utilizadas, densidad de los árboles, manejo silvicultural, condiciones ecológicas, calidad de sitio y posibles fugas, asimismo YQUISE (2008) menciona que la concentración

de carbono en el suelo se reduce con la profundidad, es decir, el porcentaje de carbono es mayor en el primer horizonte, luego disminuye progresivamente.

ORTIZ y RIASCOS (2006) indican que la capacidad de secuestrar carbono de cualquier ecosistema terrestre depende principalmente de dos componentes: el área total de esos ecosistemas y el número de árboles por unidad de área. Esto está influenciado por el cambio en biomasa en bosques y plantaciones, la conversión de bosques a pasturas y el manejo que puedan influir en el contenido de carbono en el suelo (GAMMA, 2010).

LOPEZ *et al.*, (1999) menciona que la pastura es el principal componente herbáceo de los sistemas silvopastoriles. Los muestreos deben capturar toda la variabilidad de la biomasa herbácea, lo cual se logra localizando los puntos de muestreo a diferentes distancias de los árboles. La biomasa herbácea puede cuantificarse mediante marcos de muestreo (50x50 cm). ANDRADE (1999) reporta  $2.5 \text{ t ha}^{-1}$  en pasturas en pastoreo. El carbono aumenta cuando existe un mayor desarrollo herbáceo cuando la pastura no es defoliada (DA CRUZ, 2006).

La hojarasca comprende todos los residuos orgánicos (hojas, ramas, frutos y semillas) de la superficie del suelo. La *Brachiaria decumbens* tiene características propias de formar colchones cuando no es pastoreada a diferencia de las pasturas naturales (DA CRUZ, 2006; RODRÍGUEZ *et al.*, 2008). La pastura mejorada tiene mayor capacidad de almacenamiento de carbono en comparación a una pastura natural. El incremento de almacenamiento de carbono en pasturas

está relacionado con la producción de materia seca (ANDRADE, 1999). La cuantificación de este componente es similar a la descrita en el caso del componente herbáceo.

Los sistemas radiculares muestran una distribución de raíces de pasturas concentrada en los primeros 30 centímetros del perfil del suelo. Esta distribución de las raíces en las capas superficiales, es característica de gramíneas pastoreadas intensamente, que crecen en suelos pobres con reducción de nutrientes en las capas profundas (CARDENAS, 1992); y según RÚGNITZ *et al.* (2009) representan la biomasa bajo suelo y constituye otro sumidero de carbono.

La pastura natural (*Axonopus compressus*) presenta características propias para adaptarse a suelos pobres, por su rusticidad y resistencia al sobrepastoreo (CARDENAS, 1992); sin embargo, muestra una resistente biomasa radicular sobre todo en las capas superficiales del suelo que permiten su capacidad de resiliencia que supera a la pastura mejorada, debido a la mayor densidad radicular, sobre todo en las capas superficiales, que permiten mayor oferta de materia orgánica, producto de raíces muertas, dándole con ello, una mayor resistencia a la pastura natural sobre condiciones adversas (PEZO *et al.*, 2009).

En proyectos de fijación de carbono el componente herbáceo es importante, ya que corresponde a entre 30 y un 40% de carbono aéreo total en pasturas (MACDIKEN, 1997 y FAO, 2002). En suelos degradados la biomasa

aérea producida es reducida (FAO, 2002); mientras que la mayor reserva de carbono almacenado, en estos sistemas degradados se da en el suelo (GUO *et al.*, 2002 y LOPEZ *et al.*, 2005).

El carbono orgánico en suelos tiene también real importancia, ya que el suelo es un gran sumidero de carbono y la labranza cero tiene una relación directa con el contenido de la materia orgánica (MONNIER *et al.*, 1994 y REICOSKY y LINDSTROM, 1995). La materia orgánica del suelo está directamente relacionada con el contenido del carbono orgánico del suelo (MACDIKEN, 1997; AMÉZQUITA, *et al.*, 2008 y POLIDORO *et al.*, 2008). El cambio en el carbono orgánico del suelo debe ser medido a lo largo del sitio del proyecto, a una profundidad de 30 cm, ya que el cambio del uso del suelo ejerce el mayor efecto en las capas superiores (IPCC, 1996).

## 2.9. Estudios de estimaciones de almacenamiento de carbono

Según ANDRADE (1999) en sistemas con pastos, el carbono almacenado fue mayor en los sistemas silvopastoriles ( $95 \text{ t C.ha}^{-1}$ ); con respecto a las pasturas en monocultivo  $68 \text{ t C.ha}^{-1}$  para *Brachiaria* y  $84 \text{ t C.ha}^{-1}$  para ratana; mientras que para AMÉZQUITA *et al.*, (2008) determinó  $72 \text{ t C.ha}^{-1}$  para *Brachiaria*.

BERAÚN (2009) en sistemas con pastura natural y mejorada obtiene los siguientes resultados: carbono sobre suelo  $8.59 \text{ t.C.ha}^{-1}$  para pastura mejorada mientras que para pastura natural  $3.42 \text{ t.C.ha}^{-1}$ , carbono bajo suelo,

46.15 t.C.ha<sup>-1</sup> y 49.98 t.C.ha<sup>-1</sup> respectivamente, carbono total 54.75 t.C.ha<sup>-1</sup> y 53.39 t.C.ha<sup>-1</sup> para los dos sistemas.

El carbono total del sistema (pasturas, árboles y suelos), pastos mejorados con árboles 170.2 t.C.ha<sup>-1</sup>, pastos nativos con árboles 164.4 t C ha<sup>-1</sup>, pasto mejorado a pleno sol 157 t.C.ha<sup>-1</sup> y pastos naturales a pleno sol 153,4 t.C.ha<sup>-1</sup> (RUIZ, 2002).

Mientras tanto, CALLO *et al.*, 2002, encontró que para la pastura, casi el 96% del carbono es contribuido por el suelo, reportando resultados de carbono para un sistema con Silvopastura: arbóreo 25.38 t ha<sup>-1</sup>, árboles caídos muertos 1.17 t ha<sup>-1</sup>, arbustivo-herbáceo 0.76 t ha<sup>-1</sup>, hojarasca 0.54 t ha<sup>-1</sup>, edáfico 72.1 t ha<sup>-1</sup> y carbono total 119.80 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en un sistema con pastura: arbóreo 2.36 t ha<sup>-1</sup>, arbustivo-herbáceo 1.32 t ha<sup>-1</sup>, hojarasca 0.72 t ha<sup>-1</sup>, edáfico 95.59 t ha<sup>-1</sup>, total 97.30 t ha<sup>-1</sup>.respectivamente.

LOPEZ (1998), en un estudio realizado en la zona Norte de Costa Rica, obtuvo en el suelo de un potrero con pasto guinea (*Panicum maximum*), almacenaron 233 t.C.ha<sup>-1</sup>.; mientras que en el suelo de un sistema silvopastoril con laurel (*Cordia alliodora*) se almacenó de 180 – 200 t.C.ha<sup>-1</sup>.

AVILA (2000) encontró que la biomasa de la pastura bajo árboles fue de 4.90 t.C.ha<sup>-1</sup> y de 4.29 t.C.ha<sup>-1</sup> para los sistemas Brizantha – eucalipto y Brizantha – mangium, al mismo tiempo

Mientras tanto HUAMANCAYO (2012) evaluó tres sistemas; la primera, establecida con *B. decumbens*, *C. spruceanum*, y *E. fusca*, que corresponde a un sistema silvopastoril multiestrato; la segunda con *P. plicatulum*, y *M. flexuosa*, sistema silvopastoril con aguaje y el tercer sistema con *Axonopus compressus* y *Paspalum conjugatum*, que corresponde a un sistema tradicional con pastura natural, obteniendo los siguientes resultados de Carbono aéreo, Carbono bajo suelo y Carbono total: sistema silvopastoril multiestrato (11.38, 44.28, 55.65 t.C.ha<sup>-1</sup>) sistema silvopastoril con aguaje (9.64, 46.19, 55.83 t.C.ha<sup>-1</sup>), sistema con pastura natural (3.51, 53.45, 56.96 t.C.ha<sup>-1</sup>) respectivamente.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar y fecha de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en el fundo ganadero “EL PORVENIR”, ubicado en la ciudad de Iscozacín, Distrito de Palcazú, Provincia de Oxapampa, Región Pasco. Geográficamente se encuentra ubicado entre las coordenadas 11°12'30" Latitud sur y 74°41'15" Longitud oeste en referencia al meridiano de Greenwich a una altitud promedio de 330 m.s.n.m., con una temperatura promedio anual de 25°C, humedad relativa promedio de 81% y precipitación pluvial de 6351mm<sup>3</sup>. Ecológicamente se encuentra ubicada en la zona de vida de bosque húmedo - tropical. El presente trabajo tuvo una duración de seis meses; de julio a diciembre del 2013.

#### 3.2. Tipo de investigación

La investigación es exploratoria.

#### 3.3. Metodología

La metodología que se empleó para la determinación de carbono en los sistemas ganaderos, fue una mixtura de la propuesta por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) (RÜGNITZ *et al.*, 2009), y las propuestas por el grupo Ganadería y Medio Ambiente (GAMMA) (IBRAHIM y PEZO, 2003).

### 3.3.1. Selección de los sistemas ganaderos

Se seleccionaron cuatro sistemas ganaderos del fundo "EL PORVENIR".

ST1: Sistema tradicional con pastura natural *Axonopus compressus* (torurco), establecida hace más de 50 años y tiene una extensión de 10ha. Con una carga animal de 2.5 U.A; ubicado a la margen derecha en la ribera del río Palcazú, de suelo arenoso inundado por este río en el año 2001, donde cada 15 años aproximadamente es inundado por este río.

SSP1: Sistema silvopastoril con pastura natural *Axonopus compressus* (torurco) establecida hace 50 años, silvopastura con árboles de regeneración natural establecido hace seis años, 180 árboles por hectárea; 18 árboles de *Psidium guajava* (Guayaba).dentro de la extensión evaluada. Cuenta con una extensión de 10 hectáreas. Se encuentra ubicado a la margen izquierda de la ribera del río Palcazú, y cuenta con una carga animal de 0.5 U.A.

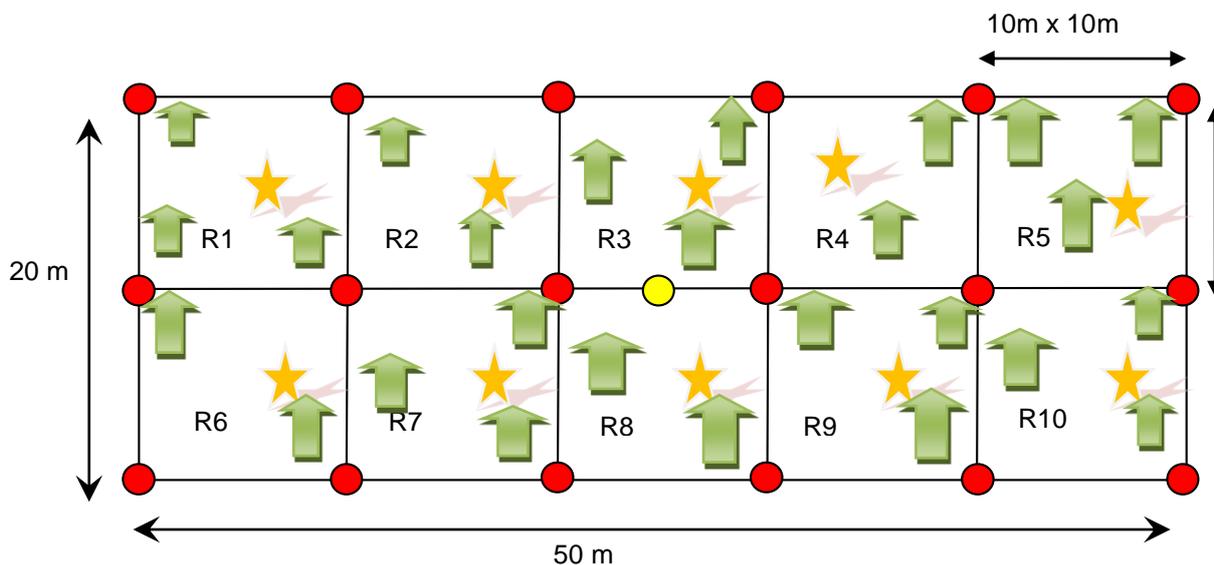
ST2: Sistema tradicional con pastura mejorada *Brachiaria brizantha*. Ubicado a la margen derecha de la carretera marginal de la selva, este potrero fue establecido hace 15 años con la pastura mejorada, el uso anterior del suelo fue con pastura natural para lo cual para hacer el mejoramiento de pastos se empleó el arado. Cuenta con una extensión de 2.5 hectáreas y soporta una carga animal de 1.5 U.A.

SSP2: Sistema silvopastoril con pastura mejorada *Brachiaria brizantha*, establecido hace 12 años, con árboles de *Miconia calvescens* (Palo

gusano ó palo pajarito) con una densidad arbórea de 150 árboles por hectárea, dentro del área de muestreo cuenta con 15 árboles. Ubicado a la margen izquierdo de la carretera marginal de la selva, el terreno es accidentado; el uso anterior del suelo fue purma de 10 años; con una carga animal de 1.2 U.A. cuenta con 3 hectáreas de extensión

### 3.3.2. Demarcación del área de estudio

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



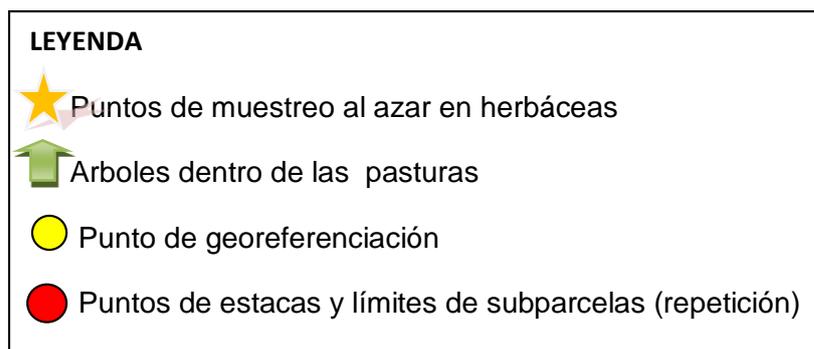


Figura 1. Esquema de la parcela y sus medidas en estudio.

Cada subparcela (repetición) tuvo 10 m. x 10 m. y se delimitó utilizando rafia de color. Los puntos naranjas (estrella) indican los puntos de muestreo, seleccionados al azar, de la biomasa sobre el suelo (herbáceo y hojarasca) y la biomasa bajo suelo (raíces); los puntos verdes indican la biomasa arbórea en las parcelas, los puntos rojos, los límites de cada subparcela; y el punto amarillo corresponde al punto de georeferenciación de cada parcela.

### 3.3.3. Determinación del carbono aéreo

El contenido del carbono aéreo en sistemas silvopastoriles se debe a la suma de los componentes de la biomasa arbórea (árboles), biomasa del estrato herbáceo (gramíneas, leguminosas, malezas) y biomasa de la hojarasca (o necromasa).

#### 3.3.3.1. Determinación de la biomasa arbórea

Para la evaluación de la biomasa arbórea de la guayaba, Palo gusano ó palo pajarito, se utilizó la ecuación alométrica para maderas duras de zonas tropicales muy húmedas (IPCC, 2003).

$$Y = 21,297 - 6,953 * (dap) + 0,740 * (dap)^2$$

Donde:

Y = materia seca sobre el suelo, en kg de materia seca por árbol

dap = diámetro a la altura del pecho, en cm

Para determinar el carbono contenido en la biomasa arbórea de la guayaba, palo gusano ó palo pajarito, se multiplicó por el factor 0,5 según la metodología del ICRAF (RÜGNITZ *et al.*, 2009). Se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Carbono arbóreo (t ha}^{-1}\text{)} = \text{biomasa arbórea (t ha}^{-1}\text{)} * 0,5$$

#### 3.3.3.2. Determinación de la biomasa herbácea

Con el uso del cuadrante de madera de 1m. x 1 m., se seleccionó al azar el punto de muestreo en cada una de las subparcelas de 10 m. x 10 m. En estas subparcelas se utilizó una tijera podadora para coleccionar toda la biomasa aérea (herbácea) al ras del suelo (2 cm sobre la superficie), y se registró como materia verde (MV). La materia verde de cada sub parcela se pesó en el campo con el uso de una balanza de reloj de capacidad de 10 kg. Del componente herbáceo se tuvo 10 repeticiones por parcela (sistema).

Para la determinación de la materia seca (MS) se tomó una submuestra de biomasa herbácea (aproximadamente de 200 gramos) en bolsas codificadas. En el laboratorio de pastos, la submuestra se pesó en balanza digital, colocada en bolsa de papel codificada y puesta en la estufa por tres días a 70° C

hasta obtener el peso seco constante. La submuestra seca fue pesada con la misma balanza digital, determinando el porcentaje de materia seca de cada submuestra. Posteriormente por regla tres simple se determinó la biomasa en materia seca del metro cuadrado y se extrapola a toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ). Se utilizaron las fórmulas usadas por BERAUN (2011).

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

Donde:

%MS: Porcentaje de la materia seca (valor en %)

MS submuestra: Peso de la submuestra seca (kg)

MV submuestra: Peso de la submuestra en verde (Kg)

100: Factor para obtener el porcentaje

$$\text{Biomasa herbácea (t ha}^{-1}\text{)} = MVH_{\text{muestra}} * (\% MS) * 10$$

Donde:

Biomasa herbácea ( $t\ ha^{-1}$ ): Biomasa herbácea (materia seca)

MVH muestra: Materia verde herbácea de la muestra expresada en  $kg\ m^{-2}$

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

10: Factor para convertir  $kg\ m^{-2}$  a  $t\ ha^{-1}$

### 3.3.3.3. Determinación de la biomasa hojarasca

Se determinó con base a la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas) en cuadrantes de 0,5 m. x 0,5 m. colocados dentro de cada uno del cuadrante de 1m x 1m. Del componente hojarasca se obtuvo 10 repeticiones por parcela (sistema). Estas muestras fueron puestas en bolsas codificadas, se registró su peso con una balanza digital, luego se llevó las muestras al laboratorio de pastos y se colocaron en la estufa por tres días a 70° C hasta obtener el peso seco constante. El peso de materia seca de la hojarasca, se extrapoló a toneladas por hectárea (t.ha<sup>-1</sup>). Se utilizaron las fórmulas usadas por BERAUN (2011).

$$\text{Biomasa hojarasca (t ha}^{-1}\text{)} = \text{MVh}_{\text{muestra}} * (\% \text{MS}) * 10$$

Donde:

Biomasa hojarasca (t ha<sup>-1</sup>) : Biomasa hojarasca (materia seca)

MVh muestra: Materia verde hojarasca de la muestra expresada en kg m<sup>-2</sup>

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

10: Factor para convertir kg m<sup>-2</sup> a t ha<sup>-1</sup>

### 3.3.3.4. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea (arbórea, herbácea y hojarasca)

Para determinar el carbono contenido en cada componente, se usó la metodología del ICRAF (RÜGNITZ *et al.*, 2009) donde se multiplicó por el factor 0,5. Se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Carbono arbórea (t ha}^{-1}\text{) (CH) = biomasa arbórea (t ha}^{-1}\text{)*0,5}$$

$$\text{Carbono herbácea (t ha}^{-1}\text{) (Ch) = biomasa herbácea (t ha}^{-1}\text{)*0,5}$$

$$\text{Carbono hojarasca (t ha}^{-1}\text{) (CR) = biomasa hojarasca (t ha}^{-1}\text{)*0,5}$$

$$\text{Carbono biomasa aérea = Carbono arbórea+ Carbono herbácea+ Carbono hojarasca}$$

### 3.3.4. Determinación del carbono bajo suelo

El carbono bajo suelo en sistemas silvopastoriles es producto de la biomasa radicular (herbáceo) y del carbono orgánico del suelo.

#### 3.3.4.1. Determinación de la biomasa radicular herbáceo

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

Para determinar la biomasa radicular, se construyó una mini calicata de 50 cm. de largo y 30 cm. de ancho por 50 cm. de profundidad como

punto de muestreo. Se utilizó el método de medición directa de biomasa de raíces sugerida por BÖHM (1979), que consiste en la toma de muestras de suelo con un barreno de volumen conocido (159.04 cm<sup>3</sup>). Tal como sugiere RÜGNITZ *et al.*, (2009), se tomaron muestras de raíces a tres profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, y de 20-30 cm, por la predominancia de raíces en los primeros 30 centímetros. Cada muestra de suelo con raíces se colocó en bolsas codificadas indicando su profundidad. Posteriormente en el laboratorio se procedió al lavado y tamizado (tamiz de 2 mm) de las raíces finas manualmente.

Las raíces encontradas se secaron con papel toalla y se pesaron como materia verde con una balanza digital. Posteriormente, al igual que la biomasa herbácea, se determinó la materia seca por el método de la estufa.

Este peso de biomasa radicular se extrapoló a toneladas por hectárea (t ha<sup>-1</sup>), para dicha evaluación se utilizó la ecuación usada por BERAUN (2011).

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

Dónde:

i = Profundidad evaluada

n = tres profundidades

Biomasa radicular (t ha<sup>-1</sup>) = Biomasa radicular (materia seca)

$MV_{\text{muestra}}$  = Materia verde radicular de la muestra expresada en  $\text{kg m}^{-2}$

% MS = Porcentaje de la materia de la muestra

10 = Factor para convertir  $\text{kg m}^{-2}$  a  $\text{t ha}^{-1}$

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

Carbono radicular ( $\text{t ha}^{-1}$ ) (CR) = biomasa radicular ( $\text{t ha}^{-1}$ )\*0,5

#### 3.3.4.2. Estimación del carbono orgánico del suelo

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

Para la estimación del carbono orgánico del suelo en cada estrato de evaluación (0-10 cm, 10-20 cm, y 20-30 cm), se utilizó la fórmula sugerida por MACDICKEN (1997). El carbono almacenado en el suelo es calculado por medio de la sumatoria del carbono almacenado en cada horizonte definido. Se utilizó la fórmula usada por BERAÚN (2011).

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

Donde:

COS (t h<sup>-1</sup>): 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 evaluada (t m<sup>-3</sup>)

Ps(m): profundidad de muestreo (m)

10000: área m<sup>-2</sup>

La estimación de la densidad aparente fue determinada por el método del cilindro, que consistió en introducir un cilindro metálico al suelo para extraer una muestra de volumen conocido (159.04 cm<sup>-3</sup>) y secar al horno a 105°C por 72 horas, para determinar su peso seco (PS). Posteriormente, el peso seco se dividió entre el volumen del suelo (volumen interno del cilindro).

$$\text{Da} = \text{PS}/V_{\text{cilindro}}$$

Donde:

Da: Densidad aparente

PS: Peso seco

$V_{\text{cilindro}}$ : Volumen del cilindro

### 3.3.4.3. Estimación del carbono bajo suelo (radicular, carbono orgánico del suelo)

Para estimar el carbono bajo suelo se procedió a la suma de los componentes de la biomasa radicular y del carbono orgánico del suelo.

### 3.3.5. Estimación del almacenamiento del carbono total en los sistemas

Para determinar la cantidad de carbono total almacenado en el sistema se procedió a desarrollar la siguiente ecuación:

$$\text{CAS (t ha}^{-1}\text{)} = \text{CA} + \text{CH} + \text{Ch} + \text{CR} + \text{COS}$$

Dónde:

CAS: Carbono almacenado por sistema (t ha<sup>-1</sup>)

CA: Carbono arbóreo (t ha<sup>-1</sup>)

CH: Carbono herbáceo (t ha<sup>-1</sup>)

Ch: Carbono hojarasca (t ha<sup>-1</sup>)

CR: Carbono radicular (t ha<sup>-1</sup>)

COS: Carbono orgánico de suelo (t ha<sup>-1</sup>)

### 3.4. Variables independientes

Las variables independientes serán los sistemas en estudio: sistema tradicional con pastura natural *Axonopus compressus* (ST1), sistema silvopastoril con pastura natural *Axonopus compressus* (SSP1), sistema tradicional con pastura mejorada *Brachiaria brizantha* (ST2) y sistema silvopastoril con pastura mejorada *Brachiaria brizantha* (SSP2).

### 3.5. Variables dependientes

- Carbono arbóreo
- Carbono herbáceo
- Carbono de hojarasca
- Carbono radicular herbáceo
- Carbono orgánico de suelo
- Carbono total almacenado por el sistema

### 3.6. Análisis estadístico

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con 4 sistemas y 10 repeticiones por cada sistema.

El modelo aditivo lineal usado es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + e_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  : Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo sistema

$\mu$  : Media general de las observaciones.

$S_i$  : Efecto del i-ésimo sistema.

$e_{ij}$  : Error aleatorio.

Cuadro 1. Fuentes de variación y grados de libertad

Fuentes de variación	Grados de libertad
Sistema de uso de la tierra (SUT)	3
Error	16
Total	39

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se usó el paquete estadístico INFO STAT 2010, se realizó el análisis de varianza, con una confiabilidad del 95%, los datos se presentan como: promedio  $\pm$  error estándar ( $\bar{X} \pm E.E.$ ), asimismo, se añaden gráficos que ilustran con mayor detalle los resultados obtenidos.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Carbono de la biomasa aérea en cuatro sistemas ganaderos

Las reservas de carbono de la biomasa aérea de los cuatro sistemas en estudio se detallan en el cuadro 2. Esta biomasa comprende la existente en el componente herbáceo, la hojarasca y el arbóreo, del cual esta última solo está presente en el segundo y cuarto sistema.

Cuadro 2. Carbono de la biomasa aérea en cuatro sistemas ganaderos, expresadas en t.C.ha<sup>-1</sup> (media ± error estándar).

Sistema	n	Carbono Herbáceo	Carbono Hojarasca	Carbono arbóreo	Carbono sobre suelo
ST1	10	0.46 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.19 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.00 ± 0.00	0.65 ± 0.01 <sup>c</sup>
SSP1	10	1.62 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.62 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.95 ± 0.21 <sup>b</sup>	4.19 ± 0.2 <sup>b</sup>
ST2	10	1.83 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.65 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00	4.48 ± 0.04 <sup>b</sup>
SSP2	10	1.03 ± 0.03 <sup>c</sup>	4.07 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.95 ± 1.22 <sup>a</sup>	10.04 ± 1.23 <sup>a</sup>
CV	7		3.19	132	40.70
p - valor		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05)

ST1: Sistema tradicional con pastura natural  
SSP1: Sistema silvopastoril con pastura natural  
ST2: Sistema tradicional con pastura mejorada  
SSP2: Sistema silvopastoril con pastura mejorada

De acuerdo a los resultados se puede observar que existe clara evidencia para considerar que los sistemas ganaderos en estudio contienen distintas reservas de carbono aéreo. Con respecto al carbono arbóreo solo los sistemas silvopastoriles (SSP1 y SSP2), fueron comparados; de ello resultó que el SSP1 supera estadísticamente al SSP2 ( $p < 0.05$ ) que va de 4.95 a 0.95 t.C ha<sup>-1</sup> respectivamente. Con respecto al carbono herbáceo y hojarasca existen diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre los sistemas evaluados, resultando el ST1 con menores reservas de carbono a comparación con los otros tres sistemas. Para el total de carbono aéreo se observa diferencias significativas entre los sistemas ( $p < 0.05$ ), resultando con mayor reserva de carbono aéreo el sistema silvopastoril con pastura mejorada (SSP2), seguido del sistema tradicional con pastura mejorada (ST2) y el sistema silvopastoril con pastura natural (SSP1) (10.04, 4.48 y 4.19 t.C ha<sup>-1</sup> respectivamente); mientras que el sistema tradicional con pastura natural solo obtuvo una reserva de 0.65 t.C ha<sup>-1</sup>.

Las reservas de carbono aéreo se detallan gráficamente en la figura 2.

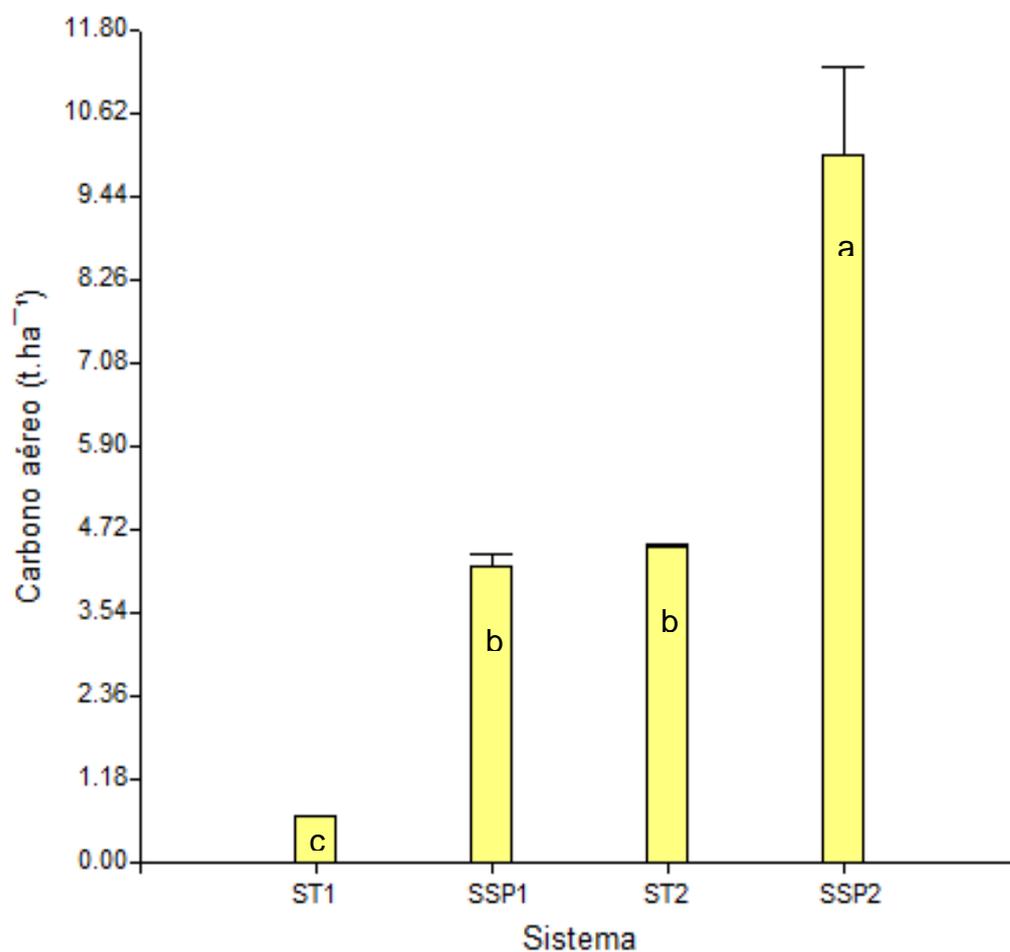


Figura 2. Gráfico de barras para el contenido de carbono aéreo entre sistemas ganaderos.

La siguiente figura (Figura 3), detalla el contenido de carbono por componente herbáceo (CH) y hojarasca (Ch).

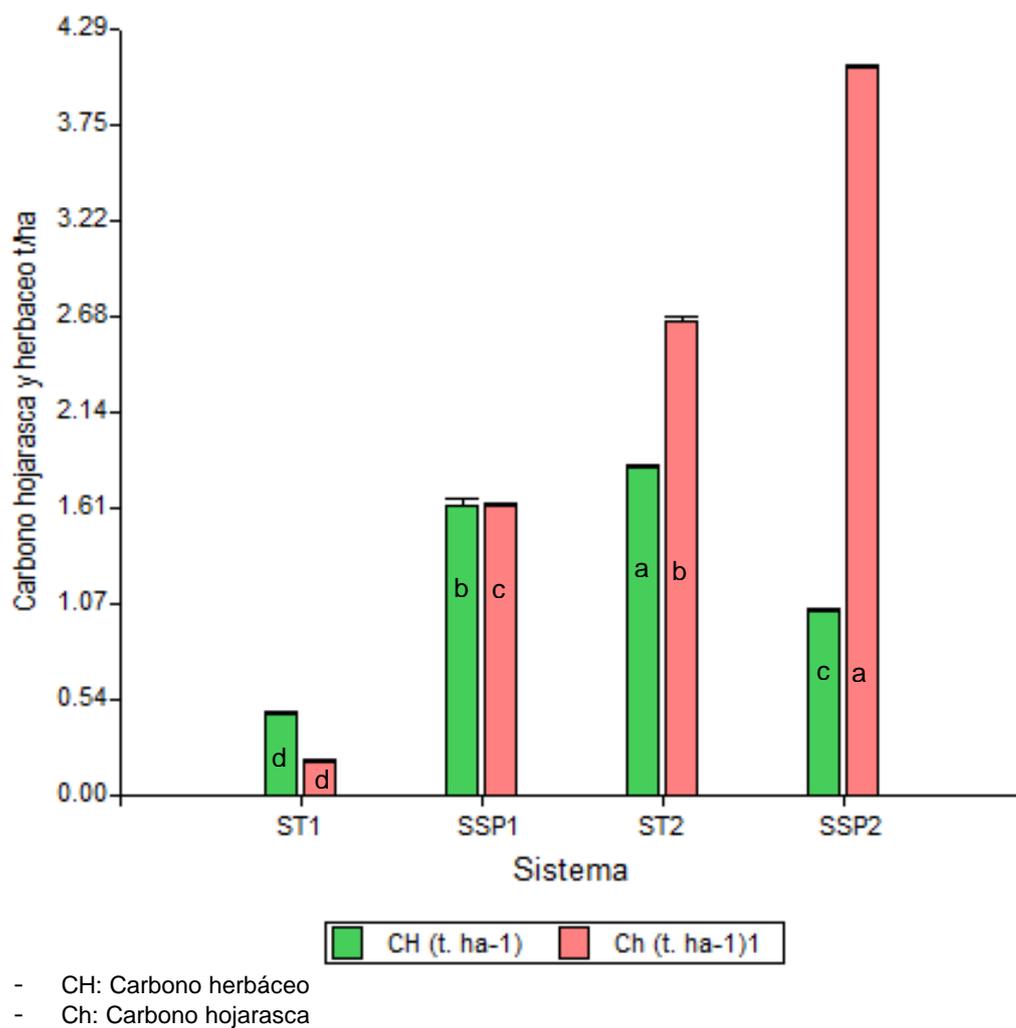


Figura 3. Contenido de carbono (t.C.ha<sup>-1</sup>) por componentes herbáceo (CH) y hojarasca (Ch) entre sistemas ganaderos.

## 4.2. Carbono bajo suelo entre los sistemas ganaderos evaluados

## 4.2.1. Carbono radicular

Cuadro 3. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte entre los cuatro sistemas evaluados (Media  $\pm$  error estándar).

Profundidad del horizonte (cm)	Sistema	Biomasa radicular (gr. m <sup>2</sup> )	Carbono radicular (t.ha <sup>-1</sup> )
0 - 10	ST1	339.6 $\pm$ 4.25 <sup>b</sup>	1.70 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>
	SSP1	479.56 $\pm$ 12.94 <sup>a</sup>	2.40 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>
	ST2	121.19 $\pm$ 2.75 <sup>c</sup>	0.61 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
	SSP2	70.39 $\pm$ 2.59 <sup>d</sup>	0.35 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>
	CV	8.85	8.85
	P - valor	<0.0001	<0.0001
10 - 20	ST1	90.0 $\pm$ 7.21 <sup>a</sup>	0.45 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>
	SSP1	67.8 $\pm$ 3.37 <sup>b</sup>	0.34 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>
	ST2	42.6 $\pm$ 2.50 <sup>c</sup>	0.21 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
	SSP2	29.4 $\pm$ 2.80 <sup>c</sup>	0.15 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
	CV	24.23	24.23
	P - valor	<0.0001	<0.0001
20 - 30	ST1	20.0 $\pm$ 3.30 <sup>a</sup>	0.10 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
	SSP1	18.9 $\pm$ 2.31 <sup>a</sup>	0.09 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
	ST2	14.55 $\pm$ 1.05 <sup>b</sup>	0.07 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
	SSP2	9.80 $\pm$ 0.98 <sup>b</sup>	0.05 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
	CV	42.80	42.78
	P - valor	0.0071	0.0071
0 - 30	ST1	449.6 $\pm$ 11.84 <sup>b</sup>	2.25 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>
	SSP1	566.26 $\pm$ 14.6 <sup>a</sup>	2.83 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>
	ST2	178.34 $\pm$ 2.24 <sup>c</sup>	0.89 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
	SSP2	109.59 $\pm$ 4.49 <sup>d</sup>	0.55 $\pm$ 0.02 <sup>d</sup>
	CV	9.44	9.44
	P - valor	<0.0001	<0.0001

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05)

ST1: Sistema tradicional con pastura natural  
 SSP1: Sistema silvopastoril con pastura natural  
 ST2: Sistema tradicional con pastura mejorada  
 SSP2: Sistema silvopastoril con pastura mejorada

Tal como muestra el Cuadro 3, en los primeros 10 centímetros existe una clara evidencia estadística ( $p < 0.05$ ) SSP1 seguido del ST1 contienen mayores reservas de biomasa radicular por metro cuadrado ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) que el SSP2 y ST2, trayendo consigo mayor reserva de carbono los sistemas con pastura natural. A mayores profundidades (10 a 20 y 20 a 30 centímetros), los sistemas con pasturas naturales (ST1 y SSP1), incrementan su biomasa radicular estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) a los sistemas con pasturas mejoradas (ST2 y SSP2). Es importante indicar que si bien es cierto, en cada estrato de evaluación existen diferencias estadísticas entre los sistemas evaluados, observándose las mismas diferencias estadísticas entre los sistemas ( $p > 0.05$ ) cuando se toma de 0 a 30 centímetros de profundidad, en cuanto al contenido de biomasa radicular y de carbono radicular.

El contenido de biomasa radicular total y por estrato de profundidad es detallado en las siguientes figuras.

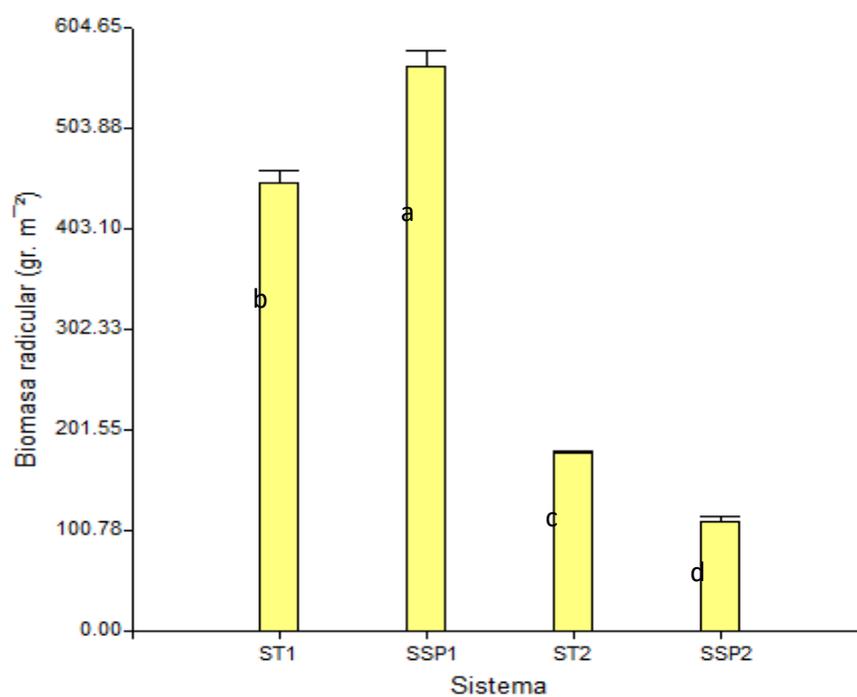


Figura 4. Biomasa radicular ( $\text{g.m}^{-2}$ ) por sistemas ganaderos evaluados.

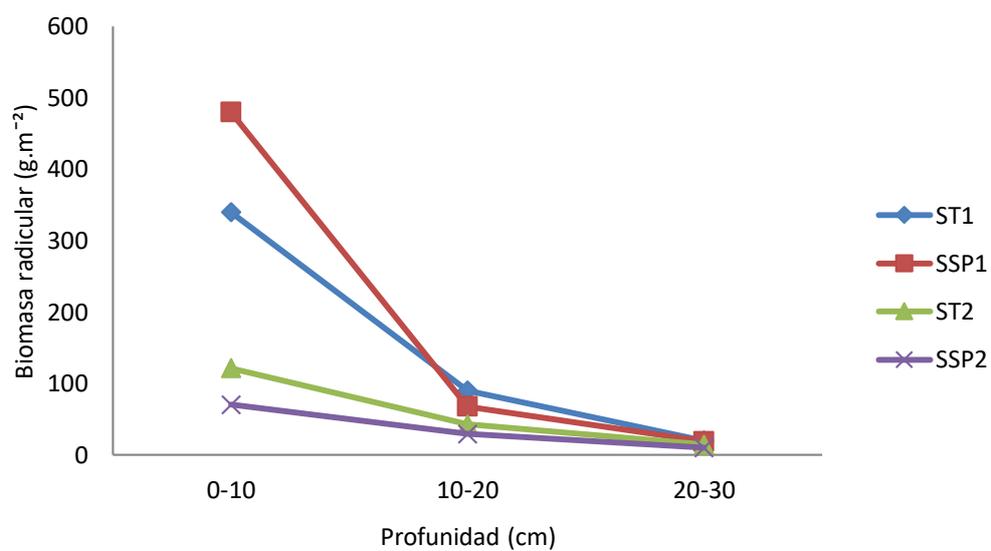


Figura 5. Biomasa radicular por estrato ( $\text{g.m}^{-2}$ ).

La Figura 4 muestra diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) entre los sistemas evaluados, observándose que el SSP1 y el ST1 contienen mayor biomasa radicular comparado a ST2 y SSP2. Al mismo tiempo la figura 5, muestra que a mayor profundidad de evaluación se reduce el contenido de la biomasa radicular, estando en los primeros 10 centímetros la mayor biomasa en todos los sistemas.

El contenido del carbono radicular por sistema y por estratos se detalla en las siguientes figuras.

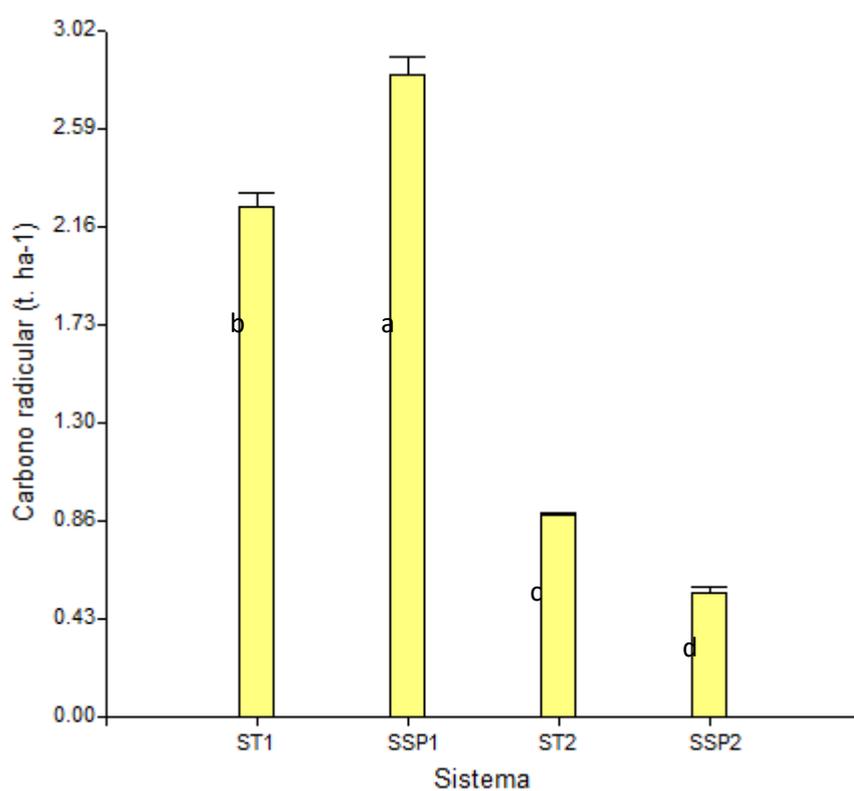


Figura 6. Carbono radicular ( $t C ha^{-1}$ ) por sistema ganadero evaluado

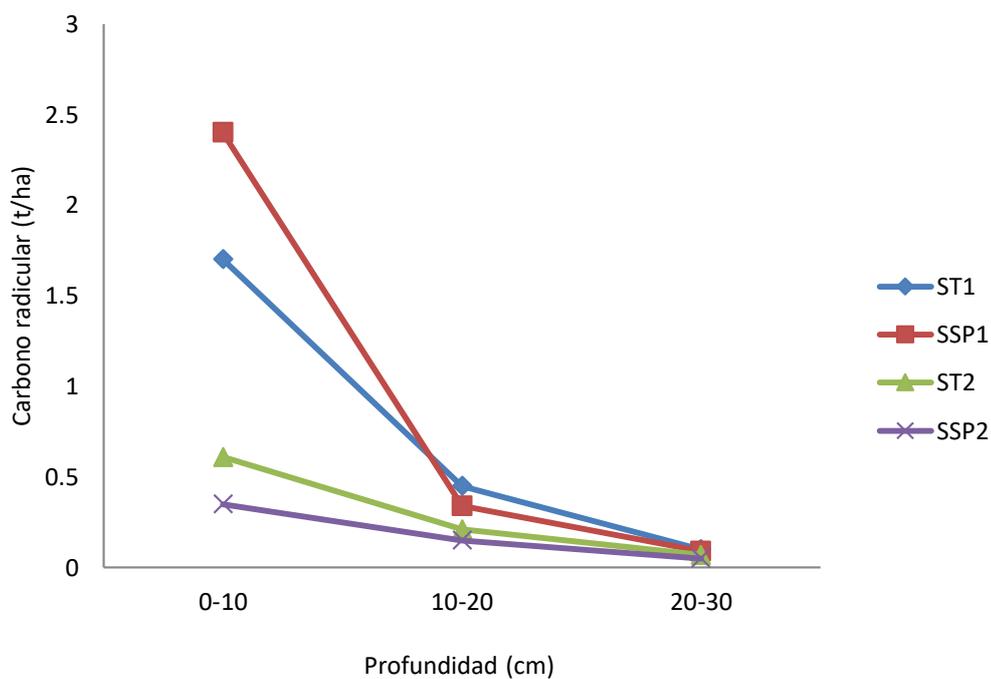


Figura 7. Carbono radicular por estrato (t/ha).

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

El Cuadro 4 muestra los resultados de la evaluación del carbono orgánico del suelo en los tres niveles de evaluación. La Figura 8 detalla el comportamiento del contenido de la materia orgánica y de la densidad aparente del suelo.

Cuadro 4. Materia orgánica, densidad aparente y carbono orgánico del suelo por profundidad de horizonte en las pasturas (Media  $\pm$  error estándar).

Profundidad del horizonte (cm)	Sistema	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (t.m <sup>-3</sup> )	Carbono orgánico del suelo (t.ha <sup>-1</sup> )
0 - 10	ST1	3.73	0.96 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	20.83 $\pm$ 1.00 <sup>a</sup>
	SSP1	2.24	1.13 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	14.66 $\pm$ 0.47 <sup>b</sup>
	ST2	2.99	0.91 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	15.78 $\pm$ 0.68 <sup>b</sup>
	SSP2	3.73	0.63 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	13.56 $\pm$ 0.47 <sup>b</sup>
	CV		12.88	13.44
	p - valor		<0.0001	<0.0001
10 - 20	ST1	0.75	1.04 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	4.50 $\pm$ 0.190 <sup>d</sup>
	SSP1	2.99	1.18 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	20.47 $\pm$ 0.55 <sup>b</sup>
	ST2	3.73	1.08 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	23.42 $\pm$ 0.77 <sup>a</sup>
	SSP2	3.73	0.7 $\pm$ 0.010 <sup>c</sup>	15.11 $\pm$ 0.31 <sup>c</sup>
	CV		10.60	10.10
	p - valor		<0.0001	<0.0001
20 - 30	ST1	0.75	1.02 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	4.43 $\pm$ 0.22 <sup>d</sup>
	SSP1	2.24	1.24 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	16.16 $\pm$ 0.48 <sup>a</sup>
	ST2	1.49	1.11 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	9.59 $\pm$ 0.11 <sup>c</sup>
	SSP2	2.99	0.73 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	12.6 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>
	CV		10.40	9.45
	p - valor		<0.0001	<0.0001
0 - 30	ST1			29.77 $\pm$ 1.12 <sup>c</sup>
	SSP1			51.29 $\pm$ 1.01 <sup>a</sup>
	ST2			48.79 $\pm$ 0.95 <sup>a</sup>
	SSP2			41.27 $\pm$ 0.79 <sup>b</sup>
	CV			7.21
	p - valor			<0.0001

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05)

ST1: Sistema tradicional con pastura natural  
 SSP1: Sistema silvopastoril con pastura natural  
 ST2: Sistema tradicional con pastura mejorada  
 SSP2: Sistema silvopastoril con pastura mejorada

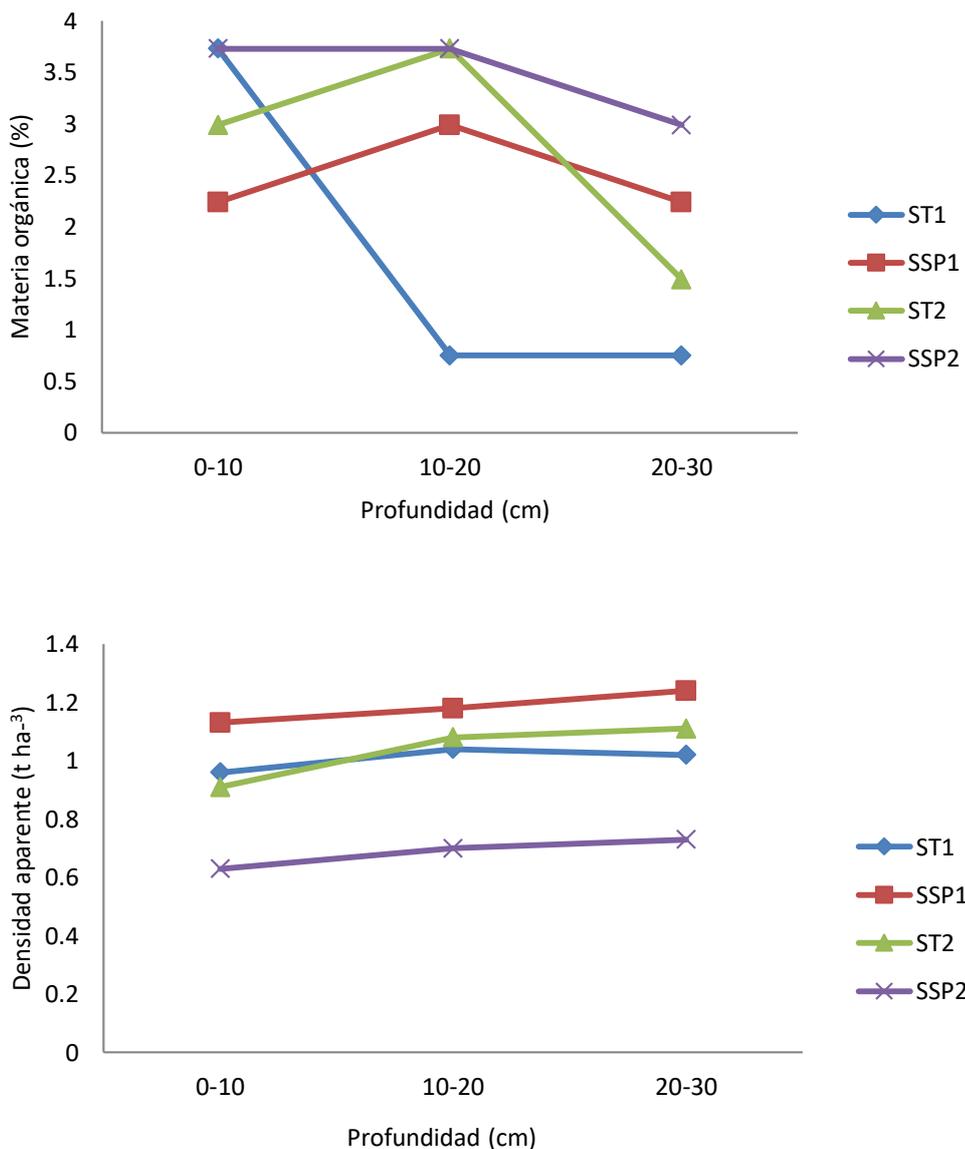
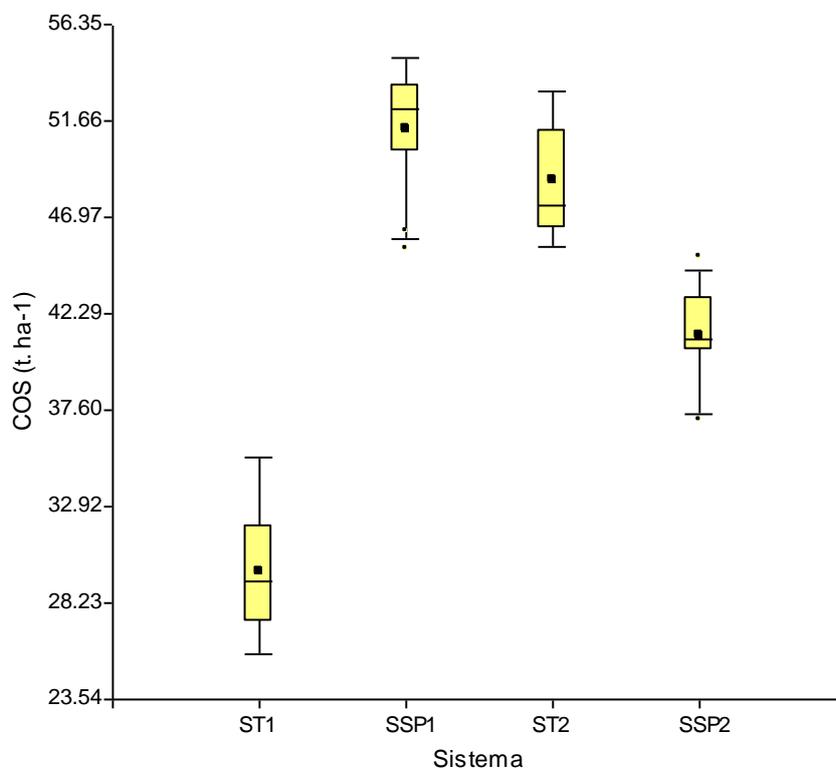


Figura 8. Materia orgánica (%) evaluada a tres profundidades (a); Densidad aparente a tres profundidades (t ha<sup>-3</sup>) (b) en cuatro sistemas ganaderos.

En cuanto al contenido de materia orgánica en los cuatro sistemas evaluados; se observa una disminución a mayores profundidades en el caso del ST1 muy diferente al caso de los otros tres sistemas (ST2, SSP1 y SSP2) que se observa un incremento de la materia orgánica en el horizonte 10 – 20 y

posteriormente su disminución en el horizonte 20 – 30 cm. Sin embargo, el sistema tradicional (ST) es la que contienen menores reservas de carbono orgánico del suelo que los otros sistemas (ST2, SSP1 y SSP2). Con respecto a la densidad aparente se observa similar comportamiento entre los cuatro sistemas evaluados, a mayor profundidad aumenta la densidad aparente, por lo tanto menor compactación.

La Figura 9, muestra el Gráfico Boxplot del carbono orgánico del suelo ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en cuatro sistemas ganaderos y el contenido de carbono orgánico del suelo a tres niveles de profundidad.



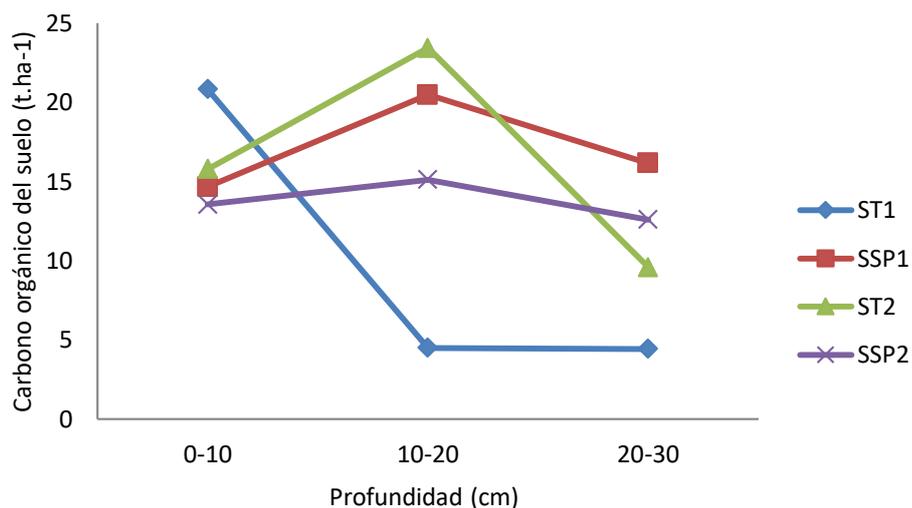


Figura 9. Grafico Boxplot del carbono orgánico del suelo (t.ha<sup>-1</sup>) en cuatro sistemas ganaderos (a). Carbono orgánico del suelo (t.ha<sup>-1</sup>) en tres profundidades (b).

Figura 9 a, las cajas de boxplot muestran que a los primeros 30 centímetros de profundidad existe mayores reservas de carbono orgánico del suelo en los sistemas: sistema silvopastoril con pastura natural (SSP1) y el sistema tradicional con pastura mejorada (ST2) con respecto al sistema silvopastoril con pastura mejorada (SSP2) y por último el sistema tradicional con pastura natural (ST1) ( $p < 0.05$ ).

En la Figura 9 b, se puede apreciar el comportamiento de las reservas de carbono orgánico del suelo a tres profundidades, resultando con mayores reservas el ST1 a profundidades de 10 y 20 centímetros para luego disminuir su carbono orgánico a mayores profundidades. El SSP1 y el ST2 aumentan su carbono orgánico a mayores profundidades (10 – 30 cm).

## 4.2.3. Carbono bajo suelo

Cuadro 5. Carbono bajo suelo en los sistemas ganaderos evaluados y expresadas en t C ha<sup>-1</sup> (n=10; media ± error estándar).

Sistema	n	Carbono radicular	Carbono orgánico del suelo	Carbono bajo suelo
ST1	10	2.25 ± 0.06 <sup>b</sup>	29.77 ± 1.12 <sup>c</sup>	32.02 ± 1.15 <sup>d</sup>
SSP1	10	2.83 ± 0.07 <sup>a</sup>	51.29 ± 1.01 <sup>a</sup>	54.12 ± 0.99 <sup>a</sup>
ST2	10	0.89 ± 0.01 <sup>c</sup>	48.79 ± 0.95 <sup>a</sup>	49.69 ± 0.95 <sup>b</sup>
SSP2	10	0.55 ± 0.02 <sup>d</sup>	41.27 ± 0.79 <sup>b</sup>	41.82 ± 0.78 <sup>c</sup>
	CV	9.44	7.21	6.97
	p - valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05)

ST1: Sistema tradicional con pastura natural  
 SSP1: Sistema silvopastoril con pastura natural  
 ST2: Sistema tradicional con pastura mejorada  
 SSP2: Sistema silvopastoril con pastura mejorada

Según el Cuadro 5, existe clara evidencia para afirmar que existe diferencia estadística entre los sistemas evaluados con respecto a las reserva de carbono bajo suelo del sistema ( $p < 0.05$ ), demostrando una relación directa con respecto al contenido del carbono radicular que también muestra la existencia de diferencia significativas entre sistemas ( $p > 0.05$ ), el carbono orgánico del suelo (COS) nos muestra como mejores sistemas al SSP1 y ST2 marcando una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con respecto al SSP2 y ST1. El SSP1 contiene mayor reserva de carbono bajo suelo (54.12 t C ha<sup>-1</sup>) que ST2, SSP2 y ST1 (49.69, 41.82 y 32.02 t C ha<sup>-1</sup> respectivamente). El gráfico de boxplot detalla mejor este comportamiento (Figura 10).

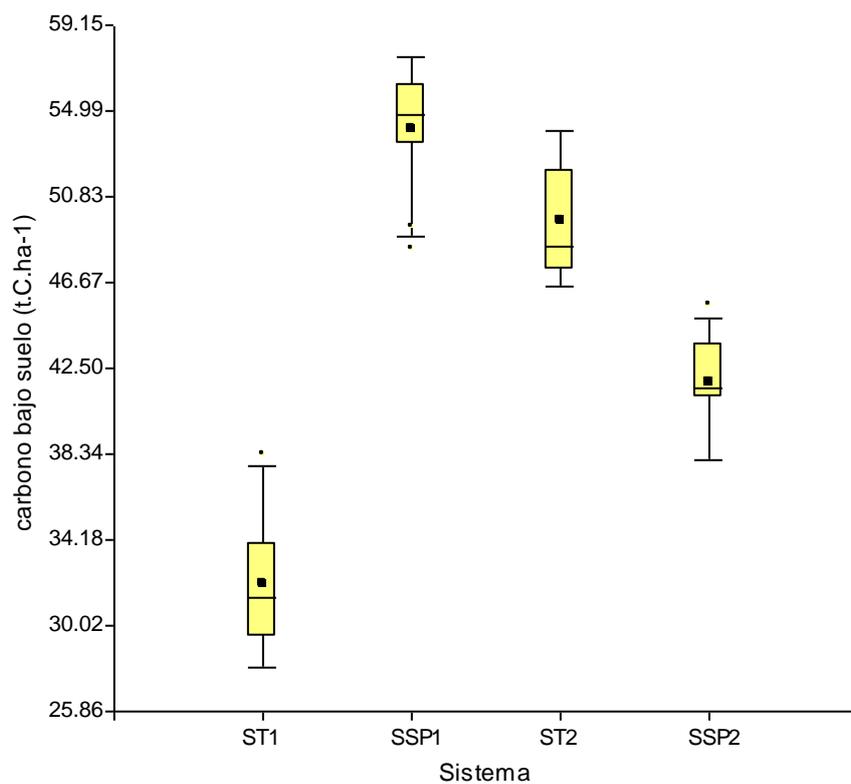


Figura 10. Gráfico de boxplot para el contenido de carbono bajo suelo (t.C.ha<sup>-1</sup>) entre sistemas ganaderos.

#### 4.3. Reserva total de carbono en los sistemas ganaderos evaluados

La reserva total de carbono en los cuatro sistemas ganaderos involucra el carbono aéreo y el carbono bajo suelo. El Cuadro 6 muestra los resultados.

Cuadro 6. Carbono total en cuatro sistemas evaluados, expresadas en t.C.ha<sup>-1</sup> (n=10; media ± error estándar).

Sistema	N	Carbono aéreo	Carbono bajo suelo	Carbono total
ST1	10	0.65 ± 0.01 <sup>c</sup>	32.02 ± 1.15 <sup>d</sup>	32.68 ± 1.16 <sup>c</sup>
SSP1	10	4.19 ± 0.20 <sup>b</sup>	54.12 ± 0.99 <sup>a</sup>	58.31 ± 1.06 <sup>a</sup>
ST2	10	4.48 ± 0.04 <sup>b</sup>	49.69 ± 0.95 <sup>b</sup>	54.17 ± 0.94 <sup>b</sup>
SSP2	10	10.04 ± 1.23 <sup>a</sup>	41.82 ± 0.78 <sup>c</sup>	51.86 ± 1.72 <sup>b</sup>
	CV	40.70	6.97	8.07
	p – valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05)

ST1: Sistema tradicional con pastura natural  
 SSP1: Sistema silvopastoril con pastura natural  
 ST2: Sistema tradicional con pastura mejorada  
 SSP2: Sistema silvopastoril con pastura mejorada

Los resultados que muestra el Cuadro 6 indican que en cuanto al contenido de carbono aéreo existen diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) a favor del SSP2 (10.04 t C ha<sup>-1</sup>) frente a los otros sistemas; el ST2 y SSP1 muestran igualdad estadística ( $p > 0.05$ ) (4.48 y 4.19 t C ha<sup>-1</sup>), mientras que el ST1 contiene la menor reserva de carbono aéreo (0.65 t C ha<sup>-1</sup>). En cuanto al carbono bajo suelo el sistema que logró almacenar menor cantidad de carbono fue el ST1 (32.02 t C ha<sup>-1</sup>); sin embargo, se invierten los resultados para el SSP2, quien muestra una de las menores reservas de carbono bajo suelo (41.82 t C ha<sup>-1</sup>) comparado al SSP1 y ST2 (54.12 y 49.69 t C ha<sup>-1</sup> respectivamente) ( $p < 0.05$ ). Estas reservas de carbono agrupadas para la reserva total de carbono muestra diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) para los sistemas evaluados pero al mismo

tiempo no logra mostrar diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) entre los sistemas ST2 y SSP2.

La Figura 11 muestra la diferencia e igualdad estadística entre los sistemas evaluados.

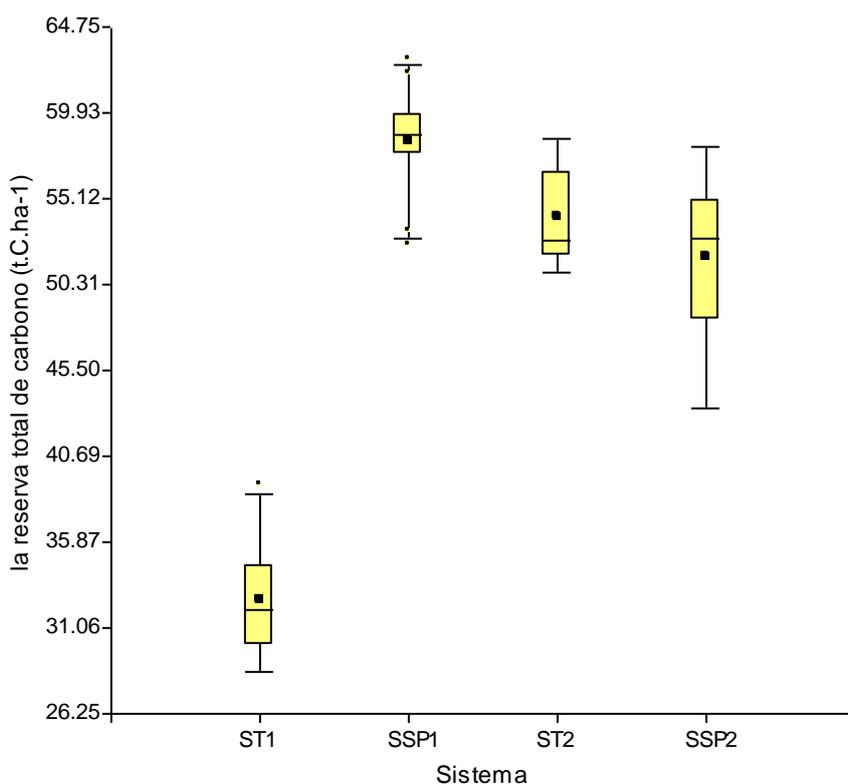


Figura 11. Gráfico de boxplot para la reserva total de carbono ( $t.C.ha^{-1}$ ) entre los sistemas evaluados.

#### 4.4. Relación entre carbono aéreo y carbono bajo suelo

El Cuadro 7 muestra las proporciones porcentuales de carbono aéreo y bajo suelo en los cuatro sistemas ganaderos evaluados.

Cuadro 7. Relación del contenido de carbono aéreo y carbono bajo suelo en cuatro sistemas ganaderos, expresadas en t C ha<sup>-1</sup> (n=10; media ± error estándar).

Sistema	n	Carbono aéreo	Carbono bajo suelo
ST1	10	0.65 ± 0.01	32.02 ± 1.15
Porcentaje		2.02 %	97.98 %
SSP1	10	4.19 ± 0.2	54.12 ± 0.99
Porcentaje		7.19 %	92.81 %
ST2	10	4.48 ± 0.04	49.69 ± 0.95
Porcentaje		8.27 %	91.73 %
SSP2	10	10.04 ± 1.23	41.82 ± 0.78
Porcentaje		19.36 %	80.64 %

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05)

ST1: Sistema tradicional con pastura natural  
 SSP1: Sistema silvopastoril con pastura natural  
 ST2: Sistema tradicional con pastura mejorada  
 SSP2: Sistema silvopastoril con pastura mejorada

La proporción porcentual de las reservas de carbono en los sistemas de acuerdo al contenido de carbono aéreo y bajo suelo muestran que el ST1 de la reserva total de carbono almacenado solo el 2.02 % corresponde al carbono aéreo, mientras que el 97.98 % se encuentra bajo suelo, algo muy parecido nos muestra el SSP1 y ST2 donde el 7.19 y 8.27 % corresponde al carbono aéreo, y el 92.81 y 91.73 % se encuentra bajo suelo respectivamente. Por su parte, el SSP2 muestra 19.36 % como carbono aéreo y 80.64 % corresponde al carbono bajo suelo de la reserva total de carbono.

La Figura 12 muestra las proporciones de carbono aéreo y bajo suelo de los sistemas evaluados.

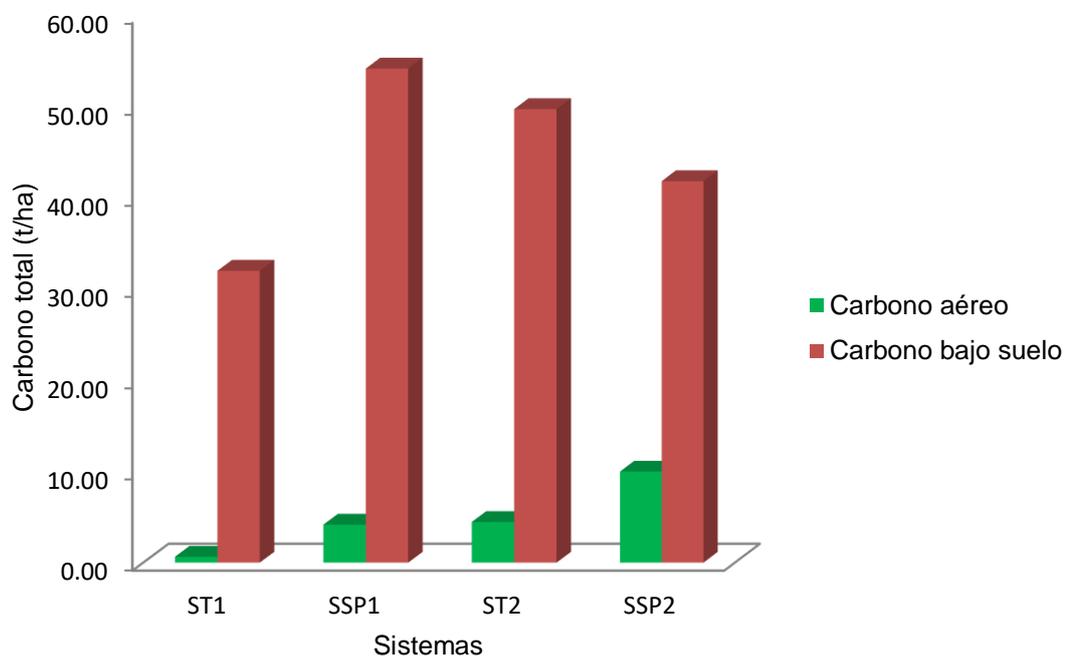


Figura 12. Proporción del carbono aéreo y bajo suelo de los sistemas ganaderos evaluados.

Se puede observar en la Figura 12 con respecto al carbono aéreo los sistemas con pastura natural (ST1 y SSP1) contienen menores reservas que los sistemas con pasturas mejoradas (ST2 y SSP2); sin embargo, esta situación se invierte con respecto a carbono bajo suelo, siendo el sistema silvopastoril con pastura natural la que muestra mayores reservas bajo suelo.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Carbono de la biomasa sobre el suelo en cuatro sistemas ganaderos.

El carbono aéreo está compuesto de tres componentes: el carbono arbóreo, el carbono herbáceo y el carbono de hojarasca. Con respecto al primer componente, el cuadro 2, muestra los resultados de la estimación de carbono solo para los sistemas silvopastoriles (SSP1 Y SSP2), puesto que los sistemas tradicionales (ST1 y ST2) no cuenta con este componente. Los resultados estadísticos muestran que el sistema silvopastoril con árboles de *Miconia calvescens* (SSP2) contiene mayores reservas de carbono ( $p < 0.05$ ) que el sistema silvopastoril con árboles de *Psidium guajava* (SSP1) (4.95 y 0.95 t C ha<sup>-1</sup> respectivamente). Estos resultados se deben principalmente a que el SSP1 cuenta con menores diámetro de altura de pecho (dap) comparado a los arboles del SSP2. Resultados similares son reportados por HUAMANCAYO (2012) quien obtuvo carbono arbóreo en sistema silvopastoril multiestrato y sistema silvopastoril con aguaje de 2.82 y 2.25 t C ha<sup>-1</sup> Aunque ANDRADE (1999) indica que para sistemas silvopastoriles el aporte del carbono aéreo dependerá de la densidad de siembra y la especie, indica reservas de carbono arbóreo que va desde 11 a 27 t C ha<sup>-1</sup>, la cual, los resultados obtenidos aún son relativamente bajos.

Con respecto al segundo componente, el carbono herbáceo, la comparación entre sistemas básicamente es la comparación entre pasturas mejorada (*Brachiaria brizantha*) y la natural (*Axonopus compressus*), correspondiendo el primero al sistema tradicional (ST2) y sistemas silvopastoril (SSP2) y la pastura natural al sistema tradicional (ST1) y sistema silvopastoril (SSP1). El Cuadro 1, indica diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre sistemas resultando mejor el sistema tradicional con pastura mejorada ( $1.83 \text{ t C ha}^{-1}$ ) quien cuenta con un periodo de descanso de la pastura de aproximadamente un mes, seguido del sistema silvopastoril con pastura natural ( $1.62 \text{ t C ha}^{-1}$ ) quien cuenta con un manejo adecuado de carga animal ( $0.5/\text{ha}$ ) y el sistema silvopastoril con pastura mejorada ( $1.03 \text{ t C ha}^{-1}$ ) quien también cuenta con un periodo de descanso de aproximadamente un mes, mientras que el sistema tradicional con pastura natural muestra la menor reserva ( $0.46 \text{ t C ha}^{-1}$ ) esto puede asumirse al constante sobrepastoreo y a la alta carga animal que soporta este sistema. ANDRADE (1999), encontró resultados muy cercanos al presente estudio,  $2.5 \text{ t C ha}^{-1}$ , en pasturas en pastoreo. Pero diferentes resultados son reportados por HUAMANCAYO (2012) quien encontró un total de carbono herbáceo de  $3.84$  a  $3.99 \text{ t C ha}^{-1}$  para sistemas silvopastoriles con pastura mejorada, mientras que para un sistema tradicional con pastura natural reporta una menor reserva ( $3.01 \text{ t C ha}$ ), Al mismo tiempo BERAÚN (2011), reporta de  $3.50$  y  $3.25 \text{ t C ha}^{-1}$ , para pasturas mejoradas y naturales respectivamente, resaltando que ambas investigaciones fueron realizadas en sistemas sin pastoreo por más de dos años. Siendo este hecho, el pastoreo, la razón principal de la mayor biomasa

encontrada. Por ello, el incremento de carbono encontrado se justifica por un mayor desarrollo herbáceo cuando la pastura no es defoliada (DA CRUZ, 2006).

Con respecto al tercer componente, el carbono de hojarasca, los resultados indican alta diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre los sistemas evaluados, resultando claramente diferenciados los cuatro sistemas. Mayor reserva de carbono en este componente la tiene el SSP2 con *B. brizantha* ( $4.07 \text{ t C ha}^{-1}$ ), seguido del ST2 con *B. brizantha* ( $2.65 \text{ t C ha}^{-1}$ ), el SSP1 con pastura natural ( $1.62 \text{ t C ha}^{-1}$ ) y reportando las reservas más bajas en este componente el ST1 con pastura natural ( $0.19 \text{ t C ha}^{-1}$ ). Similares resultados obtuvo BERAÚN (2011) quien obtuvo para un sistema con pastura mejorada ( $5.09 \text{ t C ha}^{-1}$ ) y sistema con pastura natural ( $0.16 \text{ t C ha}^{-1}$ ).

Por último en términos generales, el carbono aéreo encontrado en estos sistemas resultan estadísticamente distintos ( $p < 0.0001$ ), siendo el SSP2 la que reporta mayor carbono aéreo ( $10.04 \text{ t C ha}^{-1}$ ) seguido del ST2 ( $4.48 \text{ t C ha}^{-1}$ ) que muestra igualdad significativa ( $p > 0.05$ ) con el SSP1 ( $4.19 \text{ t C ha}^{-1}$ ) y con menor contenido de carbono aéreo el ST ( $0.65 \text{ t C ha}^{-1}$ ). Los resultados coinciden con el trabajo de HUAMANCAYO (2012) quien reporta como contenido de carbono aéreo en sistemas silvopastoriles con pastura mejorada de 9.64 a 11.38. Al mismo tiempo los resultados obtenidos no coincide con BERAÚN (2011) en cuanto al sistema tradicional con pastura natural quien reporta una reserva aérea de  $3.42 \text{ t C ha}^{-1}$ .

## 5.2. Carbono bajo suelo entre los sistemas ganaderos evaluados

### 5.2.1. Carbono radicular

Estudios efectuados por RAO *et al.*, (2001) muestran una distribución de raíces de pasturas concentrada en los primeros 30 centímetros del perfil del suelo. Esta distribución de las raíces en las capas superficiales, es característica de gramíneas pastoreadas intensamente, que crecen en suelos pobres con reducción de nutrientes en las capas profundas (RÜGNITZ *et al.*, 2009). Según el Cuadro 3, para los primeros 30 centímetros de profundidad se determinó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) de la biomasa radicular entre los cuatro sistemas resultando con medias de 109.59, 178.34, 449.6 y 566.26 gr.m<sup>-2</sup> de materia seca (MS) para los SSP2, ST2, ST1 y SSP1 respectivamente, mostrándose claramente los mayores valores para sistemas con pastura natural comparada a sistemas con pastura mejorada. Los resultados encontrados son menores a los reportados en trabajos realizados por RAO *et al.* (2001) en la región amazónica donde se reportó biomasa radicular en 700 gr.m<sup>-2</sup> de MS para suelos de topografía plana y 640 gr.m<sup>-2</sup> de MS para suelos de pendientes. Estos reportes difieren por los encontrados por ZHIPING *et al.* (2004) el cual encontró producciones de 420 gr.m<sup>-2</sup> de MS para *Axonopus compressus*. BERAÚN (2011) reporta mayores contenidos de MS radicular, con 753 gr.m<sup>-2</sup> para *B. decumbens* y resultados cercanos a este estudio en cuanto a MS radicular para sistemas con pastura natural 557 gr.m<sup>-2</sup>. Al igual que HUAMANCAYO (2012) encontró para sistema silvopastoril con pastura mejorada 369. gr.m<sup>-2</sup>, sistema silvopastoril con pastura natural 428 gr.m<sup>-2</sup>, y para sistema tradicional con pastura natural 449 gr.m<sup>-2</sup>.

El carbono radicular muestra (Cuadro 3) asimismo diferencia estadística entre los sistemas ( $p < 0.05$ ) debido a que el contenido de raíces finas muestra una fuerte asociación con el stock de carbono (AMÉZQUITA *et al.*, 2008), pero es importante indicar que los sistemas con pastura natural (ST1 y SSP1) contienen mayor carbono radicular que los sistemas con pasturas mejoradas (ST2 y SSP2). El carbono radicular estimado va de 0.55, 0.89, 2.25 y 2.83 t ha<sup>-1</sup>, para los sistemas SSP2, ST22, ST1 y SSP1 respectivamente. Sin embargo, si observamos el contenido de carbono a nivel de estratos se observa diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) en los tres niveles (0-10, 10-20 y 20-30 cm); asimismo, se puede observar que en los primeros 10 centímetros de profundidad los sistemas con pastura natural (ST1 y SSP1) muestran la mayor reserva de carbono (1.70 y 2.40 t ha<sup>-1</sup>) que los sistemas con pastos mejorados (0.35 y 0.61 t ha<sup>-1</sup>) para SSP2 y ST2 respectivamente, esta característica propia de las pasturas naturales les permiten permanencia y la resistencia en sistemas ganaderos sobrepastoreados (ANDRADE, 1999). Por una parte la pastura natural (*Axonopus compressus*) por sus propias características de adaptarse a suelos pobres, su rusticidad y resistencia al sobrepastoreo (CARDENAS, 1992), muestra una resistente biomasa radicular sobre todo en las capas superficiales del suelo que permiten su capacidad de resiliencia que supera a la pastura mejorada (PEZO *et al.*, 2009).

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

La materia orgánica del suelo está directamente relacionada con el contenido del carbono orgánico del suelo. Por ello, los resultados muestran una relación directa del contenido de carbono con el contenido de la materia orgánica,

así como la densidad aparente. El Cuadro 4 indica que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el contenido de carbono orgánico del suelo en los cuatro sistemas, tanto a nivel de estratos como en forma completa. Los resultados indican que el sistema tradicional con pastura mejorada (ST2) y el sistema silvopastoril con pastura natural (SSP1) son estadísticamente iguales ( $P < 0.05$ ) presentando reservas de carbono orgánico del suelo (COS) ( $48.79$  y  $51.29 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente) superior al sistema silvopastoril con pastura mejorada (SSP2) y sistema tradicional con pastura natural (ST1) con reserva de carbono orgánico de  $41.27$  y  $29.77 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente. Estos resultados coinciden con los reportados por HUAMANCAYO (2012) reporta resultados similares; sistemas silvopastoriles con pasturas mejoradas ( $42.43$  y  $44.05 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente) y para ST con pastura natural encontró una reserva de carbono orgánico del suelo (COS) ( $51.20 \text{ t ha}^{-1}$ ). BERAÚN (2011) encontró resultados similares al presente estudio para un sistema tradicional con pastura mejorada ( $48.79 \text{ t ha}^{-1}$ ) mientras que para un sistema tradicional con pastura natural los resultados son elevados ( $47.19 \text{ t ha}^{-1}$ ). En cuanto a la densidad aparente se observó para el ST1 una disminución brusca a mayor profundidad, mientras que para los otros tres sistemas, en especial el sistema tradicional con pastura mejorada, el porcentaje de materia orgánica aumenta a profundidad de  $10 - 20$  centímetros y vuelve a disminuir en el horizonte de  $20 - 30$  centímetros.

### 5.2.3. Carbono bajo suelo

Las reservas de carbono bajo suelo incluyen los componentes de carbono radicular y del carbono orgánico del suelo. Según el Cuadro 5, la suma

de estos componentes muestran una alta diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre el sistema silvopastoril con pastura natural (SSP1) ( $54.12 \text{ t ha}^{-1}$ ) de los otros sistemas con pasturas mejoradas ( $49.69$  y  $41.82 \text{ t ha}^{-1}$  para ST2 y SSP2 respectivamente) mientras que el sistema tradicional con pastura natural muestra menores reservas de carbono bajo suelo ( $32.02 \text{ t ha}^{-1}$ ). BERAÚN (2011) coincide con el presente estudio al reportar para pasturas mejoradas  $46.15 \text{ t ha}^{-1}$ , pero no con el valor obtenido para sistema tradicional con pastura natural ( $49.98 \text{ t ha}^{-1}$ ). HUAMANCAYO (2012) obtuvo para el sistema tradicional con pastura natural ( $53.45 \text{ t ha}^{-1}$ ) y para sistemas silvopastoriles con pasturas mejoradas ( $44.28$  y  $46.19 \text{ t ha}^{-1}$ ). Sin embargo, estas cantidades son menores a las reportadas por ANDRADE (1999) y FAO (2002), que oscila entre  $70 \text{ t ha}^{-1}$ , esta diferencia se debe principalmente por que los sistemas se ubican en suelos pobres en materia orgánica.

### 5.3. Carbono total de los sistemas ganaderos

El Cuadro 6 muestra los resultados finales de la estimación del carbono almacenado en los tres sistemas ganaderos evaluados. Se observa las diferencias estadísticas entre sistemas ( $p < 0.05$ ) para el carbono aéreo y para el carbono bajo suelo, al mismo tiempo existe diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) en el contenido del carbono total entre sistemas. Las reservas de carbono total de los sistemas van de  $32.68$ ,  $51.86$ ,  $54.17$  y  $58.31 \text{ t ha}^{-1}$  para los sistemas ST1, SSP2, ST2 y SSP1 respectivamente. Para el caso del SSP2 que contiene la mayor reserva de carbono aéreo los papeles se invierten en el contenido de carbono bajo suelo. Es indicado mencionar que las diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) de

carbono total se atribuyen al componente arbóreo presente únicamente en los sistemas SSP1 y SSP2, mostrando superioridad el sistema silvopastoril con pastura natural que el sistema con pastura mejorada.. Las reservas totales de carbono encontrado en esta investigación no distan mucho de lo reportado por BERAÚN (2011), quien reporta para sistema tradicional con pasturas mejoradas ( $54.75 \text{ t C ha}^{-1}$ ) pero difiere con respecto al sistema tradicional con pastura natural ( $53.39 \text{ t C ha}^{-1}$ ). HUAMANCAYO (2012) encontró valores de reserva total de carbono para sistemas silvopastoriles ( $55.65$  y  $55.83 \text{ t C ha}^{-1}$ ) y para sistema tradicional con pastura natural ( $56.96 \text{ t C ha}^{-1}$ ). Por otra parte, los reportes hechos por ANDRADE (1999) y AMÉZQUITA *et al.* (2008) indican reservas con  $68$  y  $72 \text{ t.C.ha}^{-1}$  respectivamente, el cual son mayores a los encontrados. RUIZ (2002) encontró resultados superiores al presente; el carbono total del sistema, para pastos mejorados con árboles  $170.2 \text{ t. C ha}^{-1}$ , pastos nativos con árboles  $164.4 \text{ t C ha}^{-1}$ , pasto mejorado a pleno sol  $157 \text{ t C ha}^{-1}$  y pastos naturales a pleno sol  $153,4 \text{ t C ha}^{-1}$

#### 5.4. Relación entre carbono aéreo y bajo suelo

Según el Cuadro 7, la relación existente entre el contenido de carbono aéreo y bajo suelo en los sistemas evaluados muestran cierta peculiaridad. Los sistemas con pastura mejorada que corresponden a los sistemas (ST2 y SPP2) el carbono aéreo va del  $8.27$  a  $19.36 \%$  de las reservas totales de carbono del sistema, correspondiendo entre  $80.64$  a  $91.73\%$  el carbono bajo suelo en estos sistemas. Contrariamente los sistemas con pastura natural (ST1 y SSP1) el carbono aéreo solo representa el  $2.02$  a  $7.19 \%$  del carbono total, siendo  $97.98$  a

92.81 % el carbono bajo suelo. HUAMANCAYO (2012) reporta resultados diferentes al presente estudio, donde encontró que para sistemas silvopastoriles con pastura mejorada el carbono aéreo va del 20.4 a 17.3 % de las reservas totales de carbono del sistema, correspondiendo entre 80% el carbono bajo suelo en estos sistemas, pero si coincide respecto al sistema tradicional con pastura natural el carbono aéreo solo representa el 6.2% del carbono total, siendo más de 90% el carbono bajo suelo su mayor proporción. BERAÚN (2011), el cual indica que para sistemas con pastura mejorada el carbono aéreo corresponde al 15.7% (sin componente arbóreo), mientras que el sistema con pastura natural el carbono aéreo solo representa el 6.4% del carbono total, superando también el 90% de carbono bajo suelo. Sin embargo, para la FAO (2002) y MACDIKEN (1997) las proporciones de carbono aéreo van de 30 a 40% del carbono total 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 (LOPEZ *et al.* 2005; GUO *et al.* 2002).

## VI. CONCLUSIONES

- El sistema silvopastoril con pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) no contiene mayor reserva de carbono que los otros tres sistemas.
- En cuanto al contenido de carbono aéreo el sistema silvopastoril con pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) presenta mayor carbono almacenado ( $10.04 \text{ t C ha}^{-1}$ ) que el sistema silvopastoril con pastura natural (*Axonopus compressus*) ( $4.19 \text{ t C ha}^{-1}$ ) y el sistema tradicional con pastura mejorada ( $4.48 \text{ t C ha}^{-1}$ ) siendo el sistema tradicional con pastura natural ( $0.65 \text{ t C ha}^{-1}$ ) con menor carbono aéreo.
- El sistema silvopastoril con pastura natural presenta mayor contenido de carbono bajo el suelo ( $54.12 \text{ t C ha}^{-1}$ ) que el sistema tradicional con pastura mejorada ( $49.69 \text{ t C ha}^{-1}$ ) y el sistema silvopastoril con pastura mejorada ( $41.82 \text{ t C ha}^{-1}$ ) siendo el sistema tradicional con pastura natural ( $32.02 \text{ t C ha}^{-1}$ ) con menor carbono bajo suelo.
- Las reservas de carbono total por los sistemas ST1, SSP2, ST2 y SSP1 van de 32.68, 51.86, 54.17 y 58.31  $\text{t C ha}^{-1}$  respectivamente, mostrando diferencias estadísticas entre ellas.
- El sistema silvopastoril con pastura natural tiene un potencial de almacenamiento de carbono mayor que los otros tres sistemas ganaderos.
- La relación de carbono aéreo y bajo suelo en sistema tradicional con pastura natural fue de 2.02 y 97.98 %, sistema silvopastoril con pastura natural 7.19 -

92.81 %, sistema tradicional con pastura mejorada 8.27 - 91.73 % y sistema silvopastoril con pastura mejorada 19.36 – 80.64 % respectivamente.

- Los sistemas silvopastoriles generan servicios ambientales en cuanto a la captura de carbono, pudiendo convertirse en estrategias tecnológicas para la adaptación y mitigación al cambio climático.

## VII. RECOMENDACIONES

- Realizar mayores trabajos de investigación que permitan valorar los sistemas silvopastoriles en cuanto al carbono aéreo y los sistemas con pasturas naturales por su potencial almacenamiento de carbono bajo suelo.
- Continuar con evaluaciones anuales de los mismos sistemas para determinar la captura de carbono anual o la tasa de incremento anual de carbono para proyectos de carbono.
- Generar fórmulas alométricas para biomasa arbórea en sistemas ganaderos.
- Establecer el trabajo de investigación como protocolo estándar de medición de carbono en sistemas ganaderos, incluyendo los sistemas silvopastoriles.
- Valorar los sistemas ganaderos como potenciales reservas de carbono.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, A., KANDJI, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry system. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 99(1-3): 15-27.
- AMÉZQUITA, M; CASASOLA, F; RAMÍREZ, B; GIRALDO, H; GÓMEZ, H; LLANDERAL, T; VELÁSQUEZ, J; IBRAHIM, M. 2008. Stock and sequestration. In: *Carbon sequestration in tropical grassland ecosystem*. ISBN 978-90-8686-026-5. Wageningen academic publishers. The Netherland. 52 p.
- ANDRADE, H. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 83 p.
- ANDRADE, H., IBRAHIM, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los Sistemas Silvopastoriles?. *Agroforestería en las Américas* 10 (39 -40): 109 – 116.
- AVILA, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 99 p.

- BERAUN, D. 2009. Carbono almacenado en sistemas con pastura natural y pastura mejorada (*B. decumbens*) en el distrito de José Crespo y Castillo. Tesis Ing. Zoot. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Zootecnia. 53 p.
- 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.
- CALLO, D., KRISHNAMURTHY, L., ALEGRE, J. 2002. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF'S y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú. [En línea]: ([http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/53\\_Callo\\_Concha.PDF](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/53_Callo_Concha.PDF), 16 de mayo, 2013).
- CÁRDENAS. E. 1992. Introducción al establecimiento y producción de las pasturas tropicales. Tingo María, Huánuco Perú. UNAS. 303 p.
- CASANOVA, F., PETIT, J., SÁNCHEZ, S. 2010. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. Rev. Chapingo vol.17 no.1. [En línea]: ([http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-32312011000100013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-32312011000100013), 15 de mayo, 2013).

CATRIONA, P. 1998. Actualidad Forestal Tropical. Boletín de Manejo Forestal Producido por la Organización de Maderas Tropicales para Fomentar la Conservación y el Manejo Sostenible de los Recursos Forestales tropicales en la región de América Latina y el Caribe (Japón). Volumen 6, Número 4. 31p.

CIELSA, W. 1996. Cambio Climático, Bosques y ordenación forestal, Una visión en conjunto. Roma, IT, FAO. 147 p.

DA CRUZ, W. 2006. Manejo de pasturas tropicales. Tingo María, Huánuco Perú. UNAS. 188 p.

FAO, 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre los recursos mundiales de suelos. Roma. 60 p.

GAMMA, 2010. Determinación del balance de gases efecto invernadero en fincas ganaderas de la región Chorotega, como elemento de referencia para para mejorar la competitividad. [En línea]: (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00202.pdf>, 13 de mayo, 2013).

GAYOSO J. 2006. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. IN Revista Forestal Iberoamericana Vol 1, Nº 1. Universidad Austral de Chile.

GIRALDO, A., ZAPATA, M., MONTOYA, E. 2008. Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. Universidad

Nacional de Colombia Sede Medellín. Departamento de Producción Animal.  
[En línea]: (<http://www.bioline.org.br/pdf?la08033>, 16 de mayo, 2013).

GUO, L; GIFFORD, R. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. In: *Global Change Biology* 8, pp. 345-360.

HUAMANCAYO, G. 2012. Carbono almacenado en tres Sistemas Ganaderos en el Distrito de José Crespo y Castillo, Aucayacu. Tesis Ing. Zoot. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Zootecnia. 65 p.

IBRAHIM, M. CHACÓN, M. CUARTAS, C. NARANJO, J. PONCE, G. VEGA, P. CASASOLA, F. ROJAS, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 45 p.

IBRAHIM, M., CHACÓN, M., MORA, J., ZAMORA, S., GOBBI, J., LLANDERAL, T., HARVEY, A., MURGUEITIO, E., CASASOLA, F., VILLANUEVA, C., RAMIREZ, E. 2005. Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on land scapes dominated by cattle production in Central America. In *Henry A. Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference Series, "Integrated management of environment services in human-dominated tropical landscape"* (4, Costa Rica, 2005). Abstracts. Turrialba, CR, CATIE. Pp27-34.

- IBRAHIM, M; PEZO, D. 2003. Monitoreo del secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería de las Américas* Vol. 10 N° 39-40. Pp 109-116.
- IPCC. 1996. Report of the twelfth session of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Ciudad de México, MX.
- IPCC. 2003. Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and DE vegetation of Other Vegetation Types Penman, J. y colaboradores. *The Institute for Global Environmental Strategies (IGES)*. Pp 472-478.
- JANDL, R., 2003. Almacenamiento de carbono en Bosques – El Papel del suelo, *Revista Forestal Iberoamericana* Vol. 1 N° 1. IUFRO. Centro de Investigación Forestal. Viena, Austria. [EN LINEA] (<http://www.google.com.pe/search?q=carbono+en+el+suelo&hl=es&Start=40&sa=N>; 15 junio, 2013).
- KANNINEN, M. 2001. Sistemas Silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina. En conferencia electrónica en potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. LEAD–CATIE.

- LESSARD, R., GIGNAC, D., ROCHETTE, P. 2009. El ciclo del carbono, midiendo el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo. 7 - 8. [En línea]: (<http://www.greenteacher.com/articles/elciclodelcarbono.pdf>, 20 de mayo, 2011).
- LOPEZ, A. 1998. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. Turrialba. CATIE. Costa Rica. 50 p.
- LOPEZ, A., SCHLÖNVOIGT, A; IBRAHIM, M; KLEINN, C; KANNINEN, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoral en la zona Atlántica de Costa Rica. En: Agroforestería en las Américas 6(23): 51-53.
- LOPEZ, 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), pp. 1110-1117.
- MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry Projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
- MARTINEZ, E., FUENTES, P., ACEVEDO, E. 2008. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. Scielo 8(1): 68-96 p. [En línea]: (<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>, 18 mayo, 2013).
- MONIER, G; THEVENET, G; LESAFFRE, B. 1994. Simplification of the soil. In: Colloques INRA N°65. 172 p.

- MONTENEGRO, J., ABARCA. S. 1999. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. In intensificación de la Ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. Seminario Internacional. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 215 p.
- MORA, V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 92 p.
- ORTIZ, A., RIASCOS, L. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* L y laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica. [En línea]: (<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3706e/A3706e.pdf>, 15 de mayo, 2013).
- PEREZ, E., REYES, F., CALERO, C. 2005. Potencial de Plantaciones Forestales y Fijación de Carbono en Nicaragua. 1ra Edición - Managua, Nicaragua, 178 p.
- PEZO, D; OSPINA, S. 2009. Rol de los pastizales seminaturales en las fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua percepciones de productores en investigadores. En: Agroforestería de las Américas N° 47 2009. Pp 7-11.
- PINEDA. L., ORTIZ, C., SÁNCHEZ, V. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2): 3-14. Veracruz, México.

- 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. Pp. 40-44.
- RADULOVICH, R. 1994. Tecnologías productivas para sistemas agrosilvopecuarios de ladera con sequía estacional. Serie Técnica, Informe Técnico 222, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), Turrialba, Costa Rica, 98 p.
- RAO, I; RIPPSTEIN, G; ESCOBAR, G; RICAURTE, J. 2001. Producción de biomasa vegetal epigea e hipógea en las sabanas nativas. En Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia. CIAT. CIRAD. ISBN 958-694-033-0. Pp 124-145.
- RAZZ, R. CLAVERO, T. 2006. Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ), 331p.
- REICOSKY, D; LINDSTROM, M. 1995. Impact of fall tillage on short-term carbón dioxide flux. In: Soils and Global Change. CRC Press. 132 p.
- RODRIGUEZ, A; RADA, F; COLMENARES, M. 2008. Comportamiento ecofisiológico de *Brachiaria decumbens* en monocultivo y en asociación con *Leucaena leucocéphala*. Revista Pastos y Forrajes Vol. 31 N° 3. 2008. Pp 217-227

- RONCAL, S., SOTO, L., CASTELLANOS, J., RAMÍREZ, N., DE JONG, B. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. Interciencia, 206 p.
- RONDA, C., COREA, C. 2007. Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Universidad Nacional agraria, facultad de recursos naturales y del ambiente. Nanagua – Nicaragua. 72 p.
- RÜGNITZ, M; CHACÓN, M; PORRO, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p
- RUIZ, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. [En línea]: (<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0265E/A0265E.PDF>, 15 de mayo, 2013).
- SALGADO L. 2004. El Mecanismo de Desarrollo Limpio en Actividades de Uso de la Tierra, Cambio de Uso y Forestería (LULUCF) y su Potencial en la Región Latinoamericana. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo. Santiago de Chile. 84 p.
- SCHLEGEL, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Universidad Austral De Chile. Valdivia, Chile. [En

línea]([http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/45\\_schlegel.PDF](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/45_schlegel.PDF), 25 de junio, 2013).

SCHROTH, G., LEHMANN, J., RODRIGUEZ, M., BARROS, E., MACEDO, J. 2001. Plant–soil interactions in multi state agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems*, 102 p.

SNOWDON, P., RAISON, J., KEITH, H., MONTAGU, K., B., K., RITSON, P., GRIERSON, P., ADAMS, M., BURROWS, W., EAMUS, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. Australia, Australian Greenhouse Office. 114 p.

SUAREZ, P. 2004. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica sur, Matagalpa, Nicaragua. CATIE 117 p.

YQUISE, A. 2008. Carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero en recursos naturales renovables mención forestal. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. Tingo María. 175p.

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). Pp. 39-50.

.....  
Bachiller Maribel MACHUCA TRUJILLO

TESISTA

.....  
Ing. M.Sc. Rafael Robles Rodríguez

ASESOR

|