

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS PECUARIAS



TESIS

**CARBONO ALMACENADO EN SISTEMAS CON PASTURA NATURAL
Y PASTURA MEJORADA (*B. decumbens*) EN EL DISTRITO DE JOSE
CRESPO Y CASTILLO**

Denis John BERAUN AVALOS



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE ZOOTECNIA**

Av. Universitaria Km. 2 Teléfono: (062) 561280
TINGO MARÍA

"Año del Centenario de Machu Picchu para el Mundo"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 07 de setiembre de 2011, a horas 8:00 p.m. para calificar la tesis titulada:

CARBONO ALMACENADO EN SISTEMAS CON PASTURA NATURAL Y PASTURA MEJORADA (*Brachiari. decumbes*) EN EL DISTRITO DE JOSE CRESPO Y CASTILLO.

Presentada por el bachiller **Denis John BERAUN AVALOS**; después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobada con el calificativo de **"MUY BUENO"**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el **TÍTULO DE 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, 07 de setiembre de 2011

Dr. JORGE RIOS ALVARADO
Presidente



M.Sc. EBER CARDENAS RIVERA
Miembro

M.Sc. YTAVCLERH VARGAS CLEMENTE
Miembro

M.Sc. RÁFAEL ROBLES RODRIGUEZ
Miembro - Asesor

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1. El Carbono (C).....	8
2.2. El dióxido de carbono (CO ₂).....	8
2.3. Almacenamiento de carbono.....	10
2.4. Inventarios de carbono.....	12
2.5. Monitoreo del almacenamiento de carbono.....	13
2.6. Componentes del almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles.	13
2.7. Estudios de estimaciones de almacenamiento de carbono.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Localización y duración.....	16
3.2. Materiales y equipos.....	17
3.2.1. Materiales.....	17
3.2.2. Equipos.....	17
3.3. Metodología.....	18
3.3.1. Selección de las parcelas experimentales.....	18
3.3.2. Demarcación del área de estudio.....	19
3.3.3. Determinación de la biomasa herbácea.....	20
3.3.4. Determinación de la biomasa hojarasca.....	21
3.3.5. Determinación de la biomasa radicular.....	22
3.3.6. Estimación del contenido de carbono en la biomasa herbácea, hojarasca y radicular.....	23
3.3.7. Estimación del carbono orgánico del suelo.....	23

3.3.8. Estimación del almacenamiento de carbono por los sistemas de pasturas.....	25
3.4. Variable independiente	25
3.5. Variables dependientes	25
3.6. Análisis estadístico	26
IV. RESULTADOS	27
4.1. Carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura natural y mejorada	27
4.2. Carbono bajo suelo en pastura natural y mejorada	29
4.2.1. Carbono radicular	29
4.2.2. Carbono orgánico del suelo (COS).....	31
4.2.3. Carbono bajo suelo	33
4.3. Carbono total de los sistemas de pasturas	35
4.4. Relación entre carbono aéreo y bajo suelo.....	37
V. DISCUSIÓN	38
5.1. Carbono de la biomasa sobre el suelo en pastura natural y mejorada	38
5.2. Carbono bajo suelo en pastura natural y mejorada	39
5.2.1. Carbono radicular	39
5.2.2. Carbono orgánico del suelo (COS).....	40
5.2.3. Carbono bajo suelo	41
5.3. Carbono total de los sistemas de pasturas	41
5.4. Relación entre carbono aéreo y bajo suelo.....	42
VI. CONCLUSIONES	43
VII. RECOMENDACIONES.....	44
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	45

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los principales problemas que enfrenta el mundo de hoy. Algunas manifestaciones de dicho cambio son un incremento de cerca de medio grado centígrado desde el siglo pasado (CIELSA, 1996) y cambios en los regímenes hídricos. La concentración de gases de invernadero (dióxido de carbono, metano y óxidos nitrosos) en la atmósfera ha aumentado considerablemente, con el consecuente sobrecalentamiento del planeta. Los sistemas ganaderos tradicionales han sido culpados de aportar grandes cantidades de metano a la atmósfera (FAO, 2006). Adicionalmente, la degradación de las pasturas ha contribuido de manera significativa al aumento de CO₂ atmosférico, ya que en estos sistemas hay una rápida descomposición del carbono de la materia orgánica y, por ende, mayor emisión.

Los gases de invernadero podrían reducirse a través de la creación o mejoramiento de los sumideros de carbono en la biosfera. Los sistemas forestales y agroforestales acumulan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo (leñoso y herbáceo), hojarascas, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo (SNOWDON *et al.*, 2001). Por ello, los sistemas con pasturas (natural o mejorada) pueden contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante la conservación, captura y almacenamiento de carbono (C) en la biomasa y en el suelo; sin embargo, la cantidad de investigación realizada es poca en comparación con la de otros usos de la

tierra, como bosques y plantaciones forestales, y aún falta conocer mejor el potencial de estos sistemas para secuestrar carbono.

El suelo es un gran sumidero de carbono, pero está influenciado directamente por el uso del mismo; es así que las pasturas mejoradas representan sumideros importantes de carbono que podrían recibir pagos por ser mitigadores del calentamiento global y por otros servicios ambientales; sin embargo, no han sido considerados en el pago de servicios ambientales, debido entre otras razones, a la ausencia de información cuantificada sobre su potencial de almacenamiento, captura y fijación de carbono. Por todo ello, se tiene como problema de investigación:

¿Cuál es la cantidad almacenada de carbono en sistemas ganaderos con pasturas natural y mejorada?; para ello, formulamos la siguiente hipótesis: que los sistemas con pasturas mejoradas almacenan mayor carbono total que los sistemas con pasturas naturales.

Para lo cual planteamos los siguientes objetivos:

Objetivo General

Estimar el potencial de carbono almacenado en sistemas con pastura natural y pastura mejorada (*B. decumbens*) en el distrito de José Crespo y Castillo.

Objetivos Específicos

1. Determinar el carbono de la biomasa sobre el suelo (herbáceo y hojarasca) en sistemas con pastura natural y pastura mejorada de *B. decumbens*.
2. Determinar el carbono almacenado en los sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo en sistemas con pastura natural y pastura mejorada de *B. decumbens*.
3. Estimar la relación de carbono almacenado aéreo y del suelo en sistemas con pastura natural y pastura mejorada de *B. decumbens*.
4. Estimar el potencial de almacenamiento de carbono en los dos sistemas de pasturas, natural y mejorado (*B. decumbens*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Carbono (C)

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. Está relacionado con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos (MARTINEZ *et al.*, 2008).

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 (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas que más contribuye al calentamiento global y es el principal gas de efecto invernadero. Este gas incrementó su concentración de 280 ppm en 1750 a 360 ppm en el 2000, y el uso de combustibles fósiles genera en la actualidad del 80 al 85% del CO₂ emitido (GÓMEZ-ECHEVERRI, 2000).

Una forma de mitigar el calentamiento global y sus efectos es almacenarlos en la biomasa (mediante la fotosíntesis) y en el suelo (a través de

la acumulación de materia orgánica). Los sistemas agroforestales (SAF) representan sumideros importantes de carbono (ANDRADE, 1999).

El cambio climático global, es uno de los problemas ecológicos más severos, que se propician por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los gases que provocan cambios en el clima, son los mismos que actúan como gases de efecto invernadero (GEI) (VENEGAS, 2003).

Una forma de mitigar los problemas de CO₂ 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 CO₂, 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-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 SÁNCHEZ (2005) indican que, los bosques almacenan una importante cantidad de carbono, tanto al nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de CO₂ entre la biosfera y la atmósfera.

Estos ecosistemas funcionan como sumideros si capturan CO₂ y lo convierten en carbohidratos (mediante el proceso de la fotosíntesis), o como una fuente emisora de CO si es liberado a la atmósfera a través de su quema.

De Acuerdo a SENAYAKE Y GAMBOA (2003), el carbono es un hecho viviente en nuestro sistema, y consecuentemente una parte viviente de la biosfera, el ciclo del carbono rota en alrededor de 10 mil años. Este ciclo consiste en que los árboles crecen, fijan el carbono, luego mueren y el carbono vuelve a la atmósfera.

JANDL (2003) reporta que, 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 C en el suelo podría ser un servicio ambiental. El carbono del suelo se encuentra en la hojarasca, en el sistema radicular vivo y muerto, y el “carbono negro”. En promedio, las moléculas orgánicas son mineralizadas en cuatro años; una parte de ellas es extremadamente recalcitrante y su tasa de mineralización es baja. La edad de esta fracción de la materia orgánica, ligada a óxidos y arcillas, es de algunos cientos a miles de años. Es necesario entender los procesos claves en el suelo y su relación con otros factores como la temperatura, la humedad del suelo, y los nutrientes particularmente nitrógenos.

2.3. Almacenamiento de carbono

FAO (1999) menciona que los bosques desempeñan una función importante en la moderación del flujo neto de gas de efecto invernadero (GEI)

entre la tierra y la atmósfera. Los bosques actúan como depósitos, almacenando carbono en la biomasa y los suelos. Actúan como sumideros de carbono cuando se aumenta su superficie o su productividad, dando origen a un incremento de la absorción de CO₂ atmosférico. Por el contrario, actúan como fuente de GEI cuando la quema y la descomposición de la biomasa y las alteraciones del suelo dan origen a emisiones de CO₂ y otros GEI. En la actualidad, el 20 por ciento aproximadamente de las emisiones antropógenas mundiales de CO₂ se deben a cambios en el uso de la tierra y sobre todo a la deforestación que tiene lugar principalmente en las zonas tropicales.

GAYOSO (2006) indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque. Destacan los bosques siempre verdes adultos, donde el carbono total alcanza 606,80 Mg C.ha⁻¹, con la siguiente distribución: 283,75 Mg C.ha⁻¹ en la biomasa aérea; 79,92 Mg C.ha⁻¹ en raíces (diámetro >5 mm); 2,79 Mg C.ha⁻¹ en el sotobosque; 53,56 Mg C.ha⁻¹ en la necromasa; 5,87 Mg C.ha⁻¹ en la hojarasca; y 180,91 Mg C.ha⁻¹ en los primeros 30 cm de suelo. El carbono acumulado en los suelos supera en todos los casos estudiados 140 Mg C.ha⁻¹ tomando en cuenta que se consideraron los primeros 30 centímetros de profundidad de suelo ya que aunque se encuentra materia orgánica hasta los 120 cm se estima que los cambios que se puedan producir más allá de los 30 cm no son significativos.

GAYOSO (2006) sostiene que los principales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales)

capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo.

Según SEGURA Y KANNINEN (2002) los sistemas forestales y agroforestales (SAF) pueden funcionar como sumideros de CO₂ almacenando en promedio 95 Mg C.ha⁻¹ en zonas tropicales, para un total de 2,1 billones de Mg C por año en estas áreas; sin embargo, hay pocos estudios de estimación de C en la parte subterránea (raíz y suelo), mantillo y árboles muertos debido a la complejidad de los sistemas (BROWN, 1997).

2.4. Inventarios de carbono

El impacto de cualquier proyecto de almacenamiento de carbono debe estimar la diferencia del carbono almacenado en sitios con proyecto y sin él (línea de base) en un tiempo determinado. En proyectos agroforestales, el caso de referencia es el sistema existente de uso de la tierra (POWELL Y DELANEY, 1998).

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.

Según MACDIKEN (1997), 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.

2.5. Monitoreo del almacenamiento de carbono

En el monitoreo del almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales, las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son una herramienta estadística importante para evaluar los cambios temporales, principalmente por que proveen datos más reales y fácilmente verificables del crecimiento de la vegetación (MACDIKEN, 1997). Los cambios temporales de almacenamiento de carbono en las PPM pueden ser considerados como flujos de carbono.

Este mismo autor considera que las características de las PPM (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 PPM rectangulares.

2.6. Componentes del almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles

Los sistemas forestales y agroforestales acumulan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo (SNOWDON *et al.*, 2001).

También señala que la biomasa sobre el suelo se divide principalmente en biomasa leñosa y biomasa del estrato herbáceo: pastos, leguminosas, hierbas, estados juveniles y otros.

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) (LOPEZ *et al.*, 1999).

Sobre la hojarasca indica que comprende todos los residuos orgánicos (hojas, ramas, frutos y semillas) de la superficie del suelo. La cuantificación de este componente es similar a la descrita en el caso del componente herbáceo.

Los sistemas radiculares representan la biomasa bajo el suelo y constituyen otro sumidero de carbono. En proyectos de fijación de carbono este componente es importante, ya que corresponde a entre un 10 y un 40% de biomasa total (MACDIKEN, 1997). El método más usado es el de muestreo con barreno de golpe, el cual consiste en la toma de muestras de suelo con un barreno de volumen conocido. Posteriormente, se deben separar las raíces del suelo y por especies estimar su biomasa. También indica que es importante realizar una estratificación del suelo según la profundidad, ya que generalmente, la mayor densidad de raíces finas se encuentra en los horizontes superficiales del suelo. La estimación de la biomasa de raíces estructurales se realiza por medios destructivos (BÖHM, 1979).

La estimación del almacenamiento de carbono se realiza a partir de los inventarios de la biomasa del ecosistema, empleando la fracción del carbono, que representa el porcentaje de carbono en la biomasa. Las estimaciones del carbono almacenado en sistemas arbóreos asumen, en su mayoría, un valor de 0,5 (LOPEZ, 1999). La fracción del carbono puede variar típicamente entre 0,42 y 0,47 en el fuste de los árboles en sistemas silvopastoriles (ANDRADE, 1999).

El carbono orgánico en suelos tiene también real importancia, ya que el suelo es un gran sumidero de carbono; sin embargo, los proyectos de carbono no le prestan atención requerida, ya que las negociaciones de carbono actuales no incluyen este componente, debido a que no es tan visible como la biomasa aérea. 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).

2.7. Estudios de estimaciones de almacenamiento de carbono

Según ANDRADE (1999) en sistemas con pastos, el C almacenado fue mayor en los sistemas silvopastoriles (95 t ha^{-1}), con respecto a las pasturas en monocultivo (68 para *Brachiaria* y 84 t ha^{-1} para ratana). TROUVE *et al.*, (1994) obtuvieron un almacenamiento de C de 63 a 76 t ha^{-1} en sistemas silvopastoriles con *E. deglupta* en el Congo. El aporte de las pasturas en el almacenamiento de C fue inferior a 2.5 t C ha^{-1} . ANDRADE (1999) obtuvo un almacenamiento de C en las pasturas de $0,35$ y $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ para *B. brizantha* asociada a *E. deglupta* o *A. mangium*, respectivamente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y duración

El presente trabajo de investigación se desarrolló en los potreros del Módulo lechero de la Facultad de Zootecnia, que se encuentra en el distrito de José Crespo y Castillo (Aucayacu) (Figura 1).

Geográficamente se encuentra ubicado a $09^{\circ} 09' 07''$ latitud sur, $75^{\circ} 73'07''$ longitud oeste; a una altitud de 580 m.s.n.m. Presenta una temperatura media anual de 24°C , temperatura máxima de 30.9°C y mínima de 18°C ; con una precipitación media anual de 3,179 mm y una humedad relativa media anual del 80% (UNAS, 2000). Está considerada como Bosque Tropical Húmedo pre-montano.

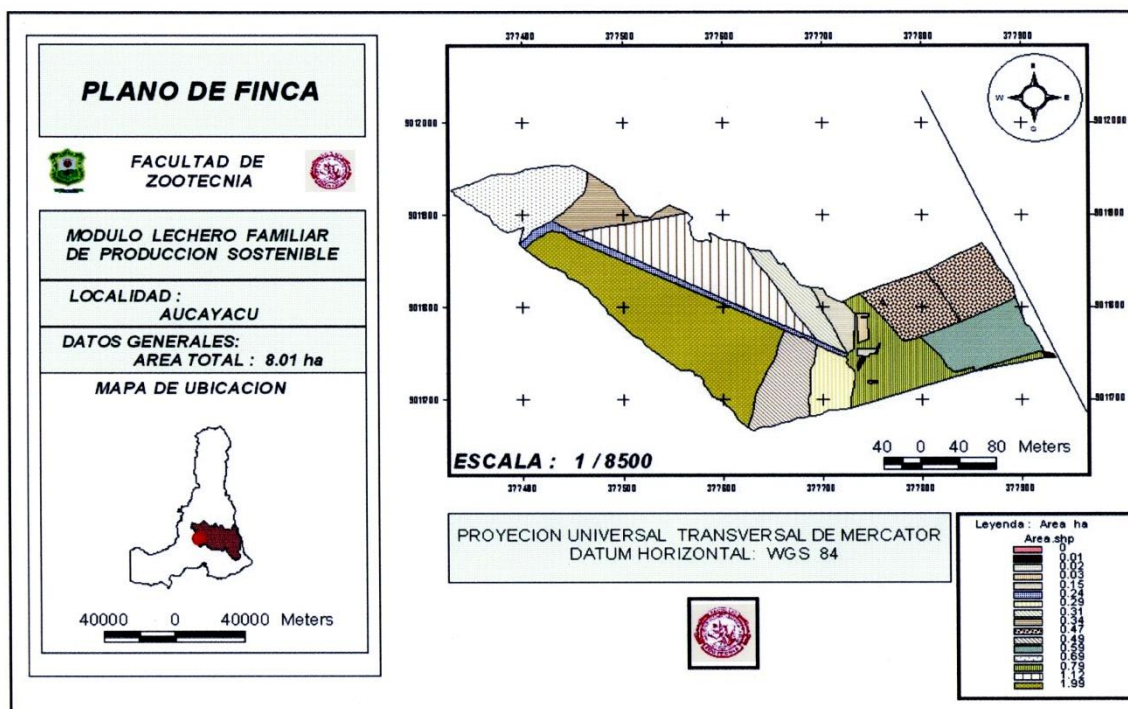


Figura 1. Plano de ubicación del módulo lechero de la Facultad de Zootecnia.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

- Palana
- Wincha de 50 m.
- Machete
- Cilindro de densidad aparente
- Bolsas de papel
- Libreta de apuntes
- Lapicero
- Metro de madera
- Regla
- Bolsas plásticas de 10x20
- Metro cuadrado
- Cuadrante de 0,50x0,50m
- Tijera
- Rafia

3.2.2. Equipos

- Balanza de 10 kg
- Balanza de precisión digital
- Estufa
- Tijera podadora.

- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Computadora
- Impresora
- GPS

3.3. Metodología

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

3.3.1. Selección de las parcelas experimentales

Para el desarrollo del trabajo se seleccionaron dos potreros del módulo lechero; la primera, establecida con pastura natural (asociación de *Axonopus compressus* y *Paspalum conjugatum*) y la segunda, con pastura mejorada (*B. decumbens*). Estos potreros con ambas pasturas fueron establecidas hace más de 20 años. El uso del suelo anterior a la pastura, fueron cultivos anuales y el cultivo de coca, por lo que la característica principal eran pasturas establecidas en suelos pobres o degradados. Actualmente se encuentran libres de pastoreo.

Ambas potreros presentan características uniformes por cuanto se encuentran una a continuación de otra, de pendiente moderada (plana) y moderadamente drenables.

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 2).

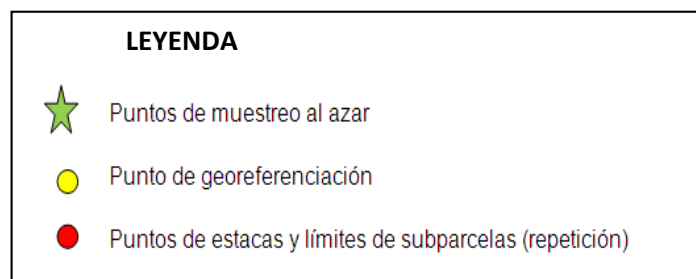
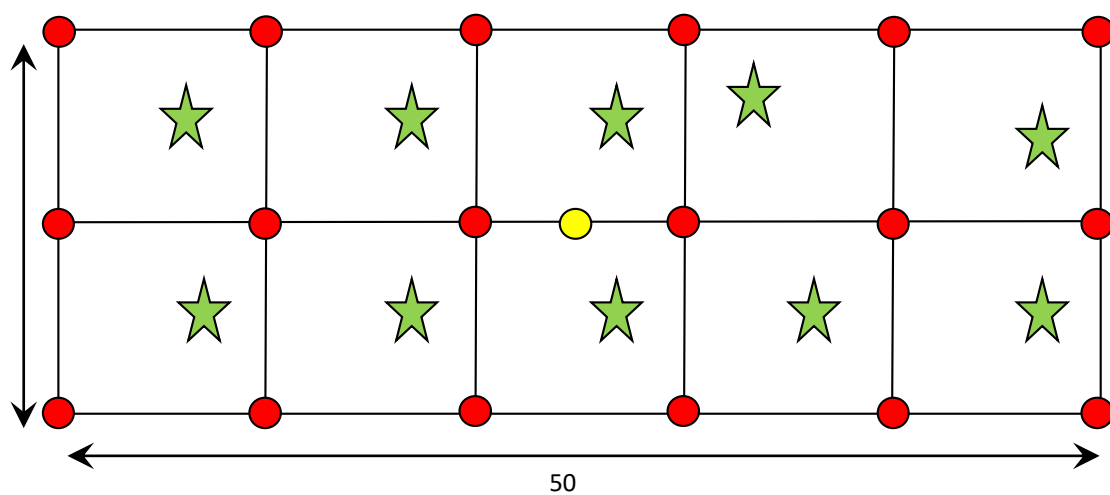


Figura 2. Croquis de la parcela en estudio.

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

Se ubicó sobre pendientes similares y no se registró alguna variación topográfica.

3.3.3. Determinación de la biomasa herbácea

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

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 fue pesada 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 al 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 extrapoló a toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), utilizando las siguientes fórmulas:

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

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 $t\ ha^{-1}$

3.3.4. Determinación de la biomasa hojarasca

En el metro cuadrado donde fue muestreado la biomasa herbácea, se sobrepuso un nuevo cuadrante de $0.25\ m^2$ ($0.50\ m. \times 0.50\ m.$) para colectar toda la materia orgánica muerta (hojas secas, tallos, ramas). Del componente hojarasca se tuvo 10 repeticiones por parcela (pastura). Estas muestras fueron puestas en bolsas codificadas, para luego ser pesadas en laboratorio, por el poco peso que registraba, el cual requería de una balanza digital. En el laboratorio, se procedió de igual forma que la biomasa herbácea, para determinar la materia seca. Una vez obtenido el peso de la materia seca de la

hojarasca, se extrapoló a toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

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

MVh muestra: Materia verde hojarasca 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 $t\ ha^{-1}$

3.3.5. Determinación de la biomasa radicular

Para determinar la biomasa radicular de las herbáceas, 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 (área de $20.25\ cm^2$ y 10 cm de largo). Tal como sugiere el 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 fue colocada en bolsas codificadas indicando su profundidad. Posteriormente en el laboratorio se procedió al tamizado (tamiz de 2 mm) y lavado de las raíces finas realizadas manualmente. Las raíces encontradas se secaron con papel toalla y se pesó como materia verde con una balanza digital. Posteriormente, 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 ($t\ ha^{-1}$), utilizando la siguiente fórmula:

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

Dónde:

i: profundidad evaluada.

n: tres profundidades

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

MFr muestra: Materia fresca radicular de la muestra expresada en $kg\ m^{-2}$

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

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

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

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

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Carbono herbáceo (t ha}^{-1}\text{) (CH)} &= \text{biomasa herbácea (t ha}^{-1}\text{)} * 0,5 \\ \text{Carbono hojarasca (t ha}^{-1}\text{) (Ch)} &= \text{biomasa hojarasca (t ha}^{-1}\text{)} * 0,5 \\ \text{Carbono radicular (t ha}^{-1}\text{) (CR)} &= \text{biomasa radicular (t ha}^{-1}\text{)} * 0,5 \end{aligned}$$

3.3.7. Estimación del carbono orgánico del suelo

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).

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

Dónde:

COS (t h⁻¹): Carbono orgánico del suelo

i: profundidad evaluada.

n: tres profundidades

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

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

Dap (t m⁻³): densidad Parente de la profundidad evaluada (t m⁻³)

Ps(m): profundidad de muestreo (m)

10000: área m⁻²

La estimación de la densidad aparente fue determinada por el método del cilindro, que consistió en introducir un cilindro metálico al suelo para extraer una muestra de volumen conocido (502.66 cm³) y secado al horno a 105°C por 72 horas, para determinar su peso seco (ms). Posteriormente, el peso seco se dividió entre el volumen del suelo (volumen interno del cilindro). Se tuvo 10 repeticiones por sistema.

Para estimar el contenido de carbono orgánico, se utilizó la conversión sugerida por Walkley y Black (1938), citada por RÜGNTZ *et al.*, (2009) conociendo el contenido de materia orgánica. Se tomaron muestras por cada estrato de suelo (0-10cm.; 10-20cm.; y 20-30cm.) 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 pastura y profundidad de muestra, y se envió al laboratorio de suelos para obtener los datos de materia orgánica por profundidad.

3.3.8. Estimación del almacenamiento de carbono por los sistemas de pasturas

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

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

Dónde:

CAS: Carbono almacenado por sistema (t ha⁻¹)

CH: Carbono herbáceo (t ha⁻¹)

Ch: Carbono hojarasca (t ha⁻¹)

CR: Carbono radicular (t ha⁻¹)

COS: Carbono orgánico de suelo (t ha⁻¹)

3.4. Variable independiente

Las variables independientes son los sistemas en estudio: un sistema con pastura natural y un sistema con pastura mejorada (*B. decumbens*).

3.5. Variables dependientes

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

3.6. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron aplicando estadística descriptiva en un inicio para evaluar su comportamiento entre los dos sistemas de pasturas. Para encontrar diferencias estadísticas entre ambas pasturas con respecto a las variables dependientes se utilizó la prueba t para la inferencia basadas en dos muestras.

Para describir los resultados se utilizaron cuadros y graficas de distribución, así como el diagrama de cajas (boxplot) como graficas descriptivas de los resultados.

IV. RESULTADOS

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

En cumplimiento con el primer objetivo específico, se consideran los componentes herbáceo y hojarasca, y la suma de ellas como carbono sobre suelo. Los resultados se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Carbono de la biomasa sobre suelo en pastura mejorada y pastura natural, expresadas en t.C.ha⁻¹ (n=10; media ± error estándar).

Pastura	n	Carbono Herbáceo	Carbono Hojarasca	Carbono sobre suelo
Mejorada	10	3.50 ± 0.39 a	5.09 ± 0.76 a	8.59 ± 0.65 a
Natural	10	3.25 ± 0.17 a	0.16 ± 0.01 b	3.42 ± 0.17 b
	p-valor	0.5645	< 0.0001	< 0.0001
	CV%	28.15	24.62	25.01

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

Los resultados de la prueba T para el carbono herbáceo, muestra que no existe diferencia significativa (p-valor=0.5645) a un 5% de nivel de significancia entre la pastura mejorada y la pastura natural, a pesar de tener promedios distintos (3.50 y 3.25 t.C.ha⁻¹ respectivamente). En cuanto al carbono de hojarasca se encontraron pruebas suficientes para confirmar que existe alta diferencia significativa (p-valor < 0.0001) entre la pastura mejorada y la pastura natural, con su mayor contenido de carbono de la pastura mejorada (5.09 t.C.ha⁻¹) que de la pastura natural (0.16 t.C.ha⁻¹). La suma de ambos

contenidos de carbono hace el total del carbono sobre suelo. Realizado la prueba estadística resultó mostrando diferencia significativa entre pasturas (p -valor < 0.0001). Por lo tanto, el sistema con mayor contenido de carbono resultó la pastura mejorada que la pastura natural (8.59 y 3.42 $t.C.ha^{-1}$ respectivamente) que difieren estadísticamente. Por otra parte, el carbono encontrado en los componentes en estudio presentan una variabilidad moderada que van entre 24.62 a 28.15% de coeficiente de variabilidad.

El comportamiento de los componentes estudiados se detalla mejor gráficamente (figura 3).

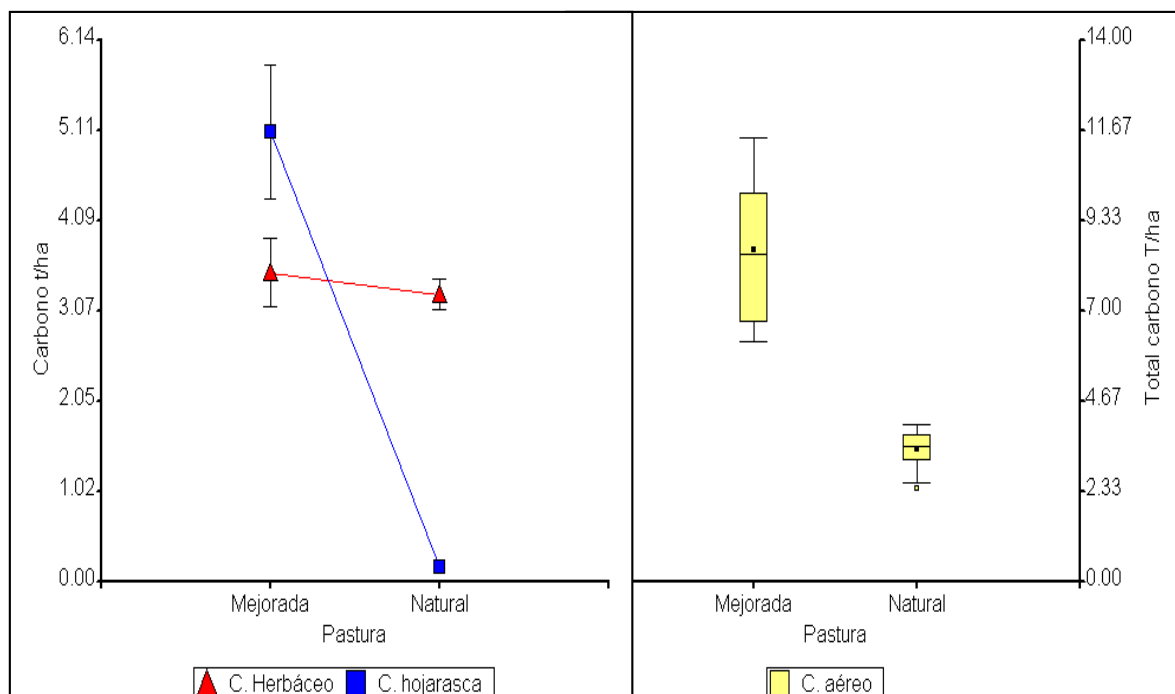


Figura 3. Contenido de carbono ($t.C.ha^{-1}$) por componentes entre las pasturas (a); gráfico de boxplot para el contenido de carbono sobre suelo entre pasturas (b).

La figura 3 a, muestra la diferencia estadística entre las pasturas con respecto al carbono de hojarasca y el carbono sobre suelo. Asimismo, muestra la igualdad estadística entre las pasturas sobre el carbono herbáceo. La figura 3 b, muestra las cajas de boxplot del carbono sobre suelo con respecto a cada pastura. Para la pastura mejorada muestra una distribución uniforme, coincidiendo la media con la mediana y con una ligera distribución asintota a la derecha. En cambio, para la pastura natural se observa que la media es menor que la mediana, y con una clara distribución de la asintota a la izquierda; asimismo, se denota un valor extremo izquierdo.

4.2. Carbono bajo suelo en pastura natural y mejorada

4.2.1. Carbono radicular

Cuadro 2. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas (Media \pm error estándar).

Profundidad del horizonte (cm)	Pastura	Biomasa radicular (gr.m ⁻²)	Carbono radicular (t.ha ⁻¹)
0 - 10	Mejorada	412,33 \pm 37,84 a	2,06 \pm 0,19 a
	Natural	437,28 \pm 9,66 a	2,19 \pm 0,05 a
	P-valor	0,5309	0,5305
10 - 20	Mejorada	238,73 \pm 43,18 a	1,19 \pm 0,22 a
	Natural	78,64 \pm 14,99 b	0,39 \pm 0,07 b
	P-valor	0,0025	0,0025
20 - 30	Mejorada	102,84 \pm 31,73 a	0,51 \pm 0,16 a
	Natural	41,48 \pm 16,79 a	0,21 \pm 0,08 a
	P-valor	0,1045	0,1043
0 - 30	Mejorada	753,90 \pm 91,40 a	3,77 \pm 0,46 a
	Natural	557,41 \pm 32,89 a	2,79 \pm 0,16 a
	P-valor	0,0582	0,0582

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

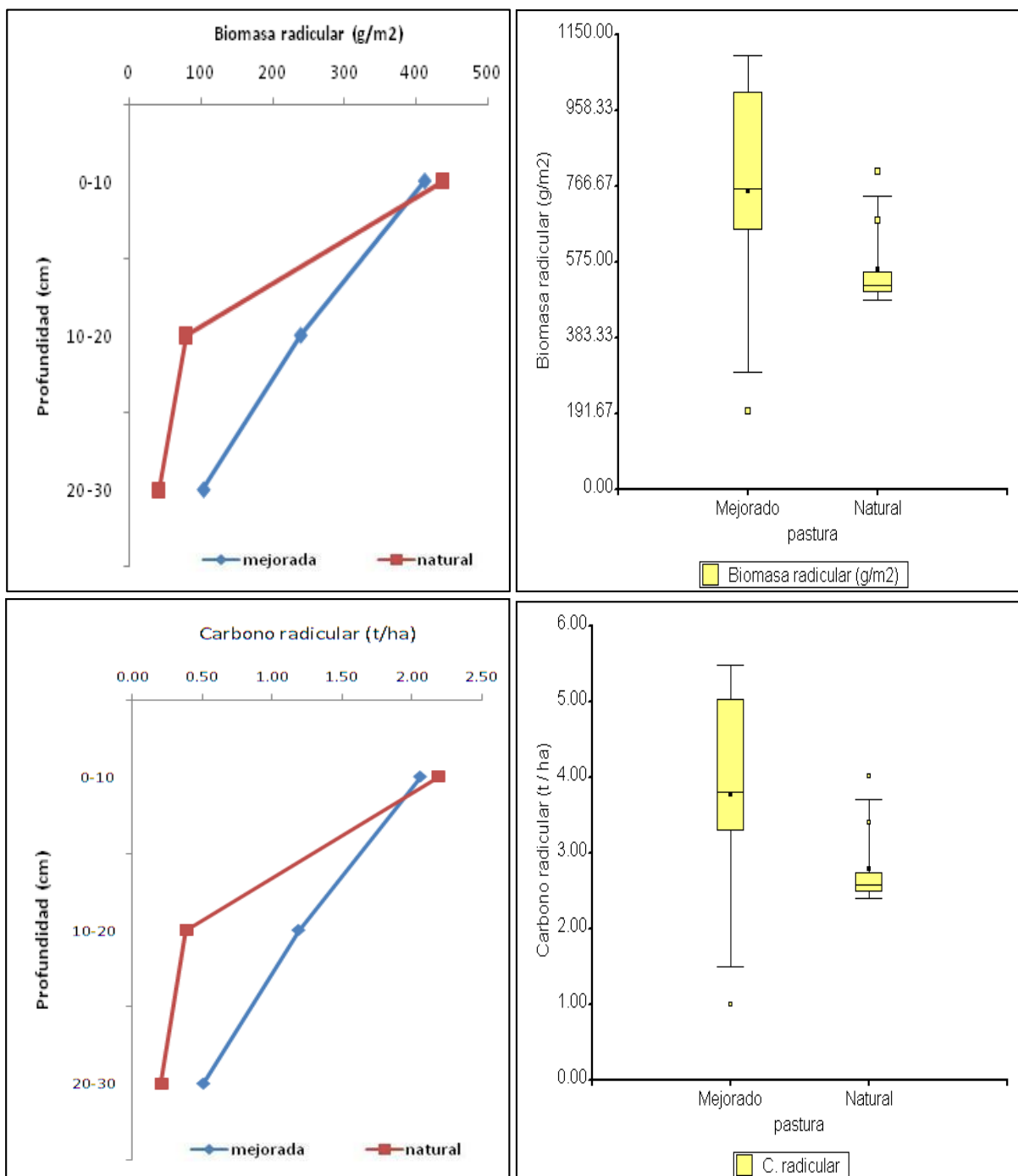


Figura 3. Biomasa radicular (g.m⁻²) evaluada a tres profundidades en dos pasturas (a); Boxplot de la biomasa radicular (g.m⁻²) en dos pasturas (b); carbono radicular (t.ha⁻¹) evaluada a tres profundidades en dos pasturas (c); carbono radicular (t.ha⁻¹) en dos pasturas (d).

La figura 3 ilustra el contenido de la biomasa radicular y el carbono radicular en tres profundidades en las dos pasturas evaluadas. Las cajas boxplot muestran el contenido de biomasa radicular (g.m^{-2}) y carbono radicular (t.ha^{-1}) en los sistemas evaluados. Como se podrá apreciar en los primeros 10 centímetros de profundidad existe igualdad estadística en el contenido de biomasa radicular y carbono en ambos sistemas; a medida que se incrementa la profundidad (20 cm) resalta una diferencia significativa a favor de la pastura mejorada, mientras que la pastura natural reduce su contenido de biomasa y carbono radicular. A los 30 centímetros de profundidad, nuevamente el contenido de biomasa y carbono radicular encuentran igualdad estadística.

4.2.2. Carbono orgánico del suelo (COS)

Cuadro 3. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas (Media \pm error estándar).

Profundidad del horizonte (cm)	Pastura	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (t. m^{-3})	Carbono orgánico del suelo (t.ha^{-1})
0 - 10	Mejorada	2,87	$1,32 \pm 0,02$ a	$22,01 \pm 0,36$ a
	Natural	2,30	$1,24 \pm 0,02$ b	$16,48 \pm 0,24$ b
	P-valor		0,0062	<0,0001
10 - 20	Mejorada	1,15	$1,55 \pm 0,02$ a	$10,35 \pm 0,12$ b
	Natural	2,30	$1,49 \pm 0,02$ b	$19,84 \pm 0,24$ a
	P-valor		0,0182	<0,0001
20 - 30	Mejorada	1,00	$1,73 \pm 0,01$ a	$10,02 \pm 0,09$ b
	Natural	1,15	$1,63 \pm 0,02$ b	$10,88 \pm 0,11$ a
	P-valor		0,0003	<0,0001
0 - 30	Mejorada			$42,38 \pm 0,44$ b
	Natural			$47,19 \pm 0,48$ a
	P-valor			<0,0001

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

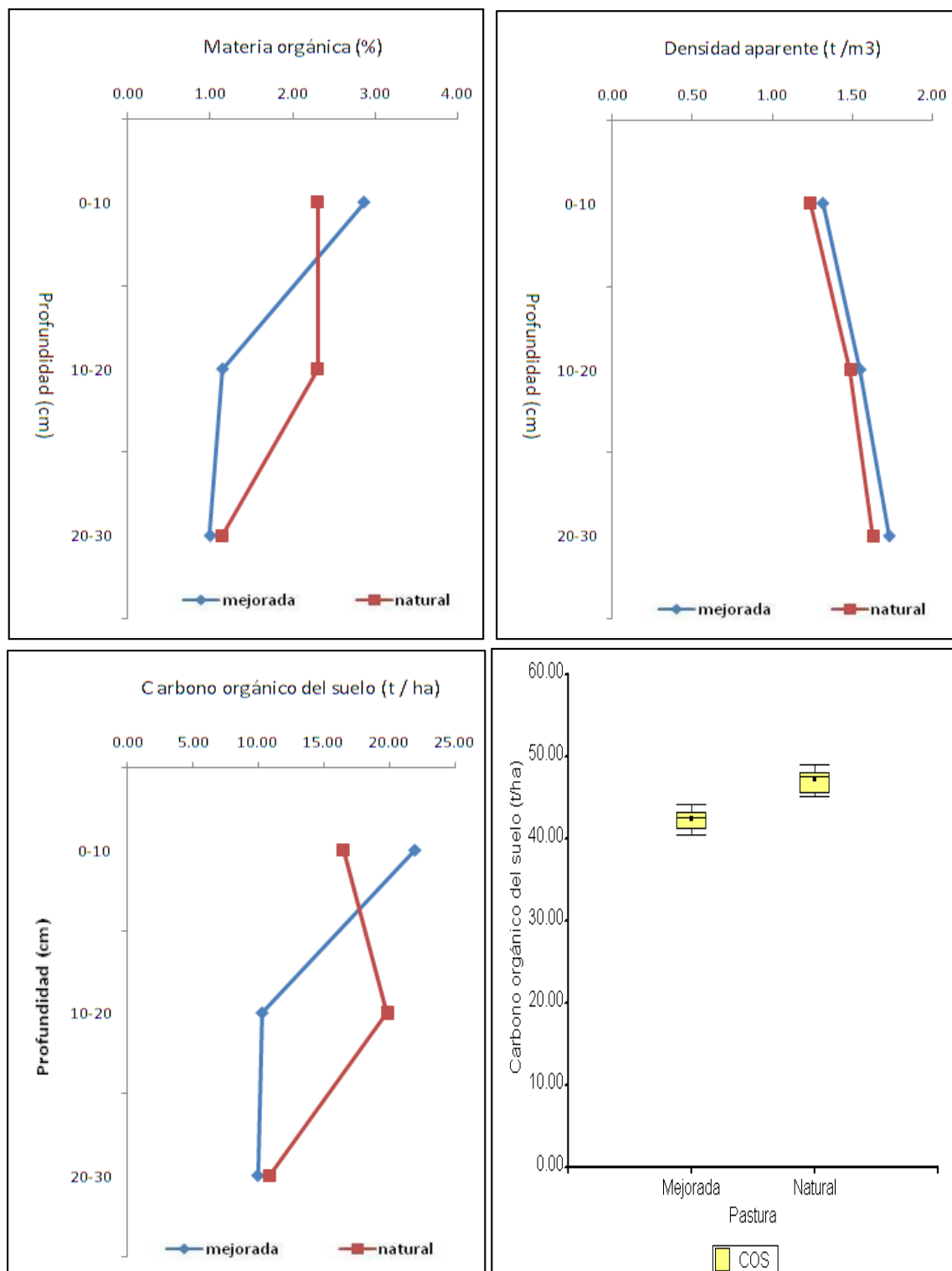


Figura 4. Materia orgánica del suelo (%) evaluada a tres profundidades (a); densidad aparente ($t \cdot m^{-3}$) en tres profundidades (b); Carbono orgánico del suelo ($t \cdot ha^{-1}$) en tres profundidades (c); boxplot del carbono orgánico del suelo ($t \cdot ha^{-1}$) en dos pasturas (d).

Como se puede apreciar el cuadro 3 y la figura 4, existe una correlación positiva con el contenido de materia orgánica (%) y el carbono orgánico del suelo ($t\cdot ha^{-1}$). La pastura mejorada contiene mayor carbono orgánico en los primeros 10 centímetros de profundidad con respecto a la pastura natural; esta situación se revierte significativamente hacia los 20 y 30 centímetros de profundidad.

4.2.3. Carbono bajo suelo

Cuadro 4. Carbono bajo suelo en pastura mejorada y pastura natural, expresadas en $t\cdot C\cdot ha^{-1}$ ($n=10$; media \pm error estándar).

Pastura	n	Carbono radicular	Carbono orgánico del suelo	Carbono bajo suelo
Mejorada	10	3,77 \pm 0,46 a	42,38 \pm 0,44 b	46,15 \pm 0,78 b
Natural	10	2,79 \pm 0,16 a	47,19 \pm 0,48 a	49,98 \pm 0,47 a
	p-valor	0,0582	< 0,0001	0,0005
	CV%	23,12	3,24	4,24

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

Según el cuadro 4, no se encuentra diferencia significativa entre la pastura mejorada y la pastura natural con respecto al contenido de carbono radicular (p -valor= 0.0582), con medias de 3.77 y 2.79 $t\cdot C\cdot ha^{-1}$ respectivamente. En cuanto al contenido de carbono orgánico del suelo, si se encuentra diferencias estadísticas entre las pasturas ($p < 0.0001$), siendo mayor el contenido de carbono orgánico del suelo en la pastura natural (47.19

t.C.ha⁻¹) que la pastura mejorada (42.38 t.C.ha⁻¹). La suma de ambos componentes genera el carbono bajo suelo, el cual resulta, de igual manera significativo entre las pasturas (p-valor= 0.0005), siendo mayor el contenido de carbono bajo suelo en la pastura natural (49.98 t.C.ha⁻¹) que la mejorada (46.15 t.C.ha⁻¹). Existe alta variabilidad de las muestras en el carbono radicular (23.12% CV), mientras que en el carbono orgánico del suelo, así como el carbono bajo suelo muestran una mínima variabilidad entre las observaciones (3.24 a 4.24% de CV).

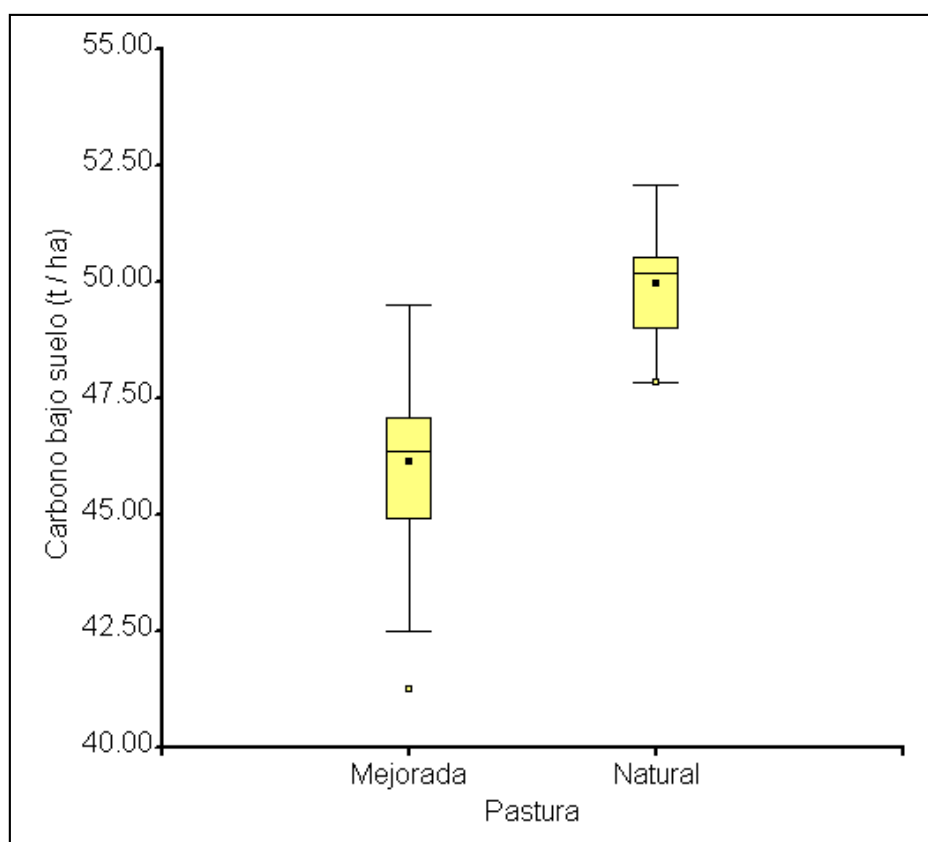


Figura 5. Gráfico de boxplot para el contenido de carbono bajo suelo (t.C.ha⁻¹) entre pasturas.

La figura 5 muestra el comportamiento muestral del contenido de carbono bajo suelo con respecto a los sistemas de pasturas, donde ambas pasturas, presentan similar comportamiento; la media no supera a la mediana de su distribución; ambos presentan valores extremos a la izquierda, que la hace con presentar con asíntota hacia la izquierda.

4.3. Carbono total de los sistemas de pasturas

Cuadro 5. Carbono total en dos sistemas de pasturas, expresadas en t.C.ha⁻¹ (n=10; media \pm error estándar).

Pastura	n	Carbono aéreo	Carbono bajo suelo	Carbono total
Mejorada	10	8,59 \pm 0,65 a	46,15 \pm 0,78 b	54,75 \pm 0,98 a
Natural	10	3,42 \pm 0,17 b	49,98 \pm 0,47 a	53,39 \pm 0,37 a
	p-valor	<0,0001	0,0005	0,2114
	CV%	25,01	4,24	4,31

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

Según el cuadro 5, no existe razones suficientes para aceptar diferencias estadísticas (p-valor=0,2114) con respecto al contenido de carbono total de los sistemas de pasturas mejorada y natural (54,75 y 53,39 t.C.ha⁻¹ respectivamente), a pesar que la pastura mejorada marcó diferencias estadísticas (p-valor < 0,0001) en el contenido de carbono aéreo con la pastura natural; sin embargo, al evaluar el carbono bajo suelo se revierte esta diferencia significativa a favor de la pastura natural mostrando mayor contenido

de carbono bajo suelo que la pastura mejorada (49,98 y 46,15 t.C.ha⁻¹ respectivamente). La figura 6 muestra la igualdad estadística entre los dos sistemas de pasturas con respecto al contenido total de carbono.

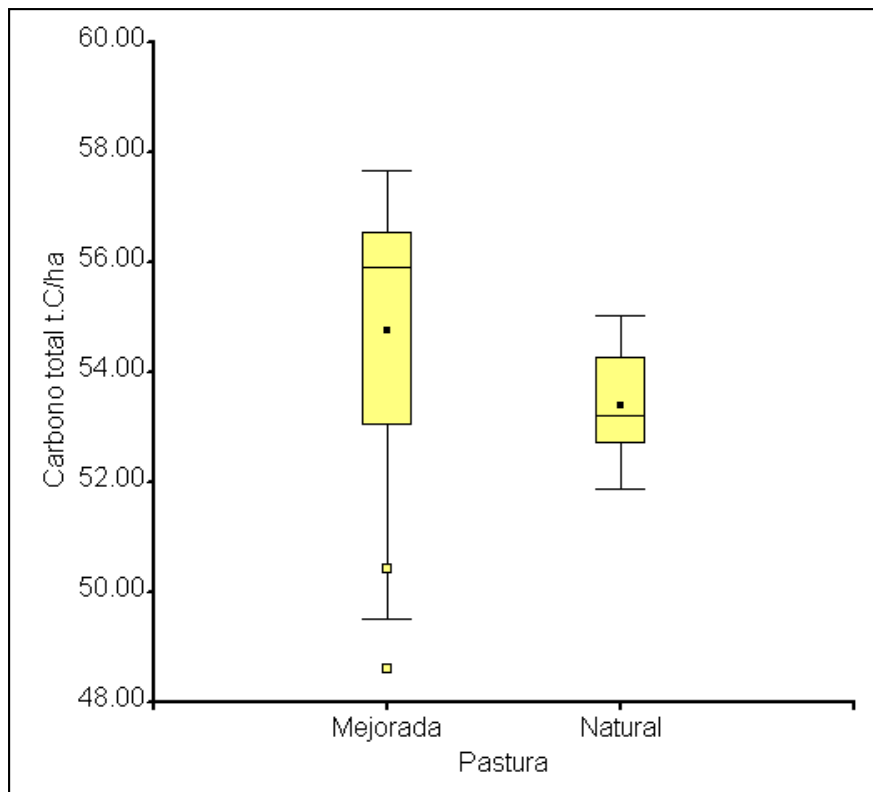


Figura 6. Gráfico de boxplot para el contenido de carbono total (t.C.ha⁻¹) entre pasturas.

La figura 6 grafica la distribución muestral del contenido de carbono total de los sistemas de pasturas, las cuales señalan una igualdad estadística entre la pastura mejorada y la natural. Por una parte la pastura mejorada muestra una asíntota pronunciada hacia la izquierda con valores extremos inferiores, llevando con ello a una mayor variabilidad de las observaciones que la

distribución de las observaciones de la pastura natural que muestra un comportamiento homogéneo.

4.4. Relación entre carbono aéreo y bajo suelo

Cuadro 6. Relación del contenido de carbono aéreo y bajo suelo en dos sistemas de pasturas, expresadas en t.C.ha⁻¹ (n=10; media ± error estándar).

Pastura	n	Carbono aéreo	Carbono bajo suelo
Mejorada	10	8,59 ± 0,65	46,15 ± 0,78
Porcentaje		15,7 %	84,3 %
Natural	10	3,42 ± 0,17	49,98 ± 0,47
Porcentaje		6,40 %	93,60 %

Como indica el cuadro 6, el contenido de carbono aéreo representa un 15.7 % del contenido total de carbono en la pastura mejorada, mientras que para la pastura natural solo representa un 6.40% del carbono total. El mayor porcentaje de carbono de ambos sistemas se encuentra bajo suelo, en forma de carbono radicular y carbono orgánico del suelo que va desde 84,3 % a 93,60 % del carbono total de las pasturas mejorada y natural respectivamente.

V. DISCUSIÓN

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

El carbono sobre el suelo consta de dos componentes, herbáceo y hojarasca. Los resultados muestran una igualdad estadística del carbono herbáceo entre la pastura mejorada y la natural (con una media y error estándar de 3.50 ± 0.39 y 3.25 ± 0.17 t.C.ha⁻¹, respectivamente). Esta igualdad se debe por la elevada producción de materia verde debido a que son pasturas libres de pastoreo por cerca de un año. Estas cantidades superan a las reportadas por ANDRADE (1999), que reportó 2.5 t. C.ha⁻¹, en pasturas en pastoreo. El incremento de carbono se justifica por un mayor desarrollo herbáceo cuando la pastura no es defoliada (DA CRUZ, 2006). El carbono existente en la hojarasca, muestra que la pastura mejorada contiene mayor carbono que la pastura natural (con media y error estándar de 5.09 ± 0.76 y 0.16 ± 0.01 respectivamente) logrando marcar significancia. Esta diferencia de hojarasca entre la pastura mejorada y la natural se debe principalmente por las características propias de la *Brachiaria decumbens* de formar colchones de hojarasca cuando no es pastoreada (DA CRUZ, 2006; RODRÍGUEZ *et al.*, 2008) a diferencia de la pastura natural.

En términos generales, el carbono sobre el suelo encontrado en estas pasturas son estadísticamente distintas, siendo mayor para la pastura mejorada (DA CRUZ, 2006; ANDRADE, 1999) con una media de 8.59 t. C. ha⁻¹, a comparación de la pastura natural con una media de 3.42 t.C.ha⁻¹. Los

resultados coinciden con la producción de materia seca entre ambas pasturas claramente descritas por CARDENAS (1992).

5.2. Carbono bajo suelo en pastura natural y mejorada

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). Para los primeros 30 centímetros de profundidad no se determinó diferencia significativa de la biomasa radicular entre ambas pasturas, resultando con medias de 753.90 y 557.41 gr.m⁻² en pastura *B. decumbens* y la pastura natural respectivamente. Los resultados mostrados concuerdan con trabajos realizados por RAO *et al.*, (2001) en la región amazónica donde se reportó biomasa radicular en 700 gr.m⁻² de MS para suelos de topografía plana y 640 gr.m⁻² de MS para suelos de pendientes. Estos reportes difieren por los encontrados por ZHIPING *et al.*, (2004) el cual encontró producciones de 930 gr.m⁻² de MS de raíces en plantas C4 como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*); así mismo, reportó para especies de *Axonopus* con 420 gr.m⁻² de MS de raíces.

El carbono radicular muestra una igualdad estadística entre las dos pasturas. Debido a que el contenido de raíces finas muestra una fuerte asociación con el stock de carbono (AMÉZQUITA *et al.*, 2008). El contenido de carbono no muestra diferencias estadísticas entre las dos pasturas evaluadas, con medias de 3.77 y 2.79 t.C.ha⁻¹ respectivamente. 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 resultado indica que existe diferencia significativa en el contenido de carbono orgánico del suelo en las dos pasturas, siendo la pastura natural superior que la pastura mejorada (con medias de 47.19 y 42.38 t.C.ha⁻¹ respectivamente). Estos valores son menores a los reportados por POLIDORO *et al.*, (2008); AMÉZQUITA *et al.*, (2008); y MACDIKEN (1997) debido a que los suelos son pobres y con contenidos de materia orgánica que van de bajo a medio. La pastura natural contiene mayor materia orgánica de 10 a 20 centímetros de profundidad que la pastura mejorada (2.30 y 1.15 % respectivamente), debido a una mayor presencia

radicular sobre todo en las capas superficiales que permite una oferta de materia orgánica de raíces muertas, argumento que justifica la rusticidad y la resistencia de la pastura natural sobre condiciones adversas (PEZO *et al.*, 2009).

5.2.3. Carbono bajo suelo

Las reservas de carbono bajo suelo incluyen los componentes de carbono radicular y del carbono orgánico del suelo. La suma de estos componentes muestran una diferencia significativa entre la pastura natural de la mejorada (con media de 49.98 y 46.15 t.C.ha⁻¹ respectivamente). Estas cantidades son menores a las reportadas por ANDRADE (1999) y FAO (2002), que oscila entre 70 t.C.ha⁻¹. Esto debido principalmente por la condición de suelos pobres en materia orgánica.

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

5.3. Carbono total de los sistemas de pasturas

Los sistemas de pastura mejorada y natural no muestra diferencia significativa con respecto al contenido total de carbono en el sistema (con medias de 54.75 y 53.39 t.C.ha⁻¹ respectivamente). Estas cantidades no distan mucho de las reportadas por ANDRADE (1999) y AMÉZQUITA *et al.*, (2008)

con 68 y 72 t.C.ha⁻¹ respectivamente. La igualdad estadística que muestran estos dos sistemas se debe por el contenido de la materia orgánica donde en el sistema con pastura natural es superior a la del sistema con pastura mejorada.

5.4. Relación entre carbono aéreo y bajo suelo

La relación existente entre el contenido de carbono en los sistemas evaluados con respecto al aéreo y subterráneo son diferentes; mientras que la pastura mejorada (*B. decumbens*) el carbono aéreo representa el 15.7% del carbono total del sistema, en la pastura natural solo representa el 6.4%. Los mayores porcentajes de carbono se encuentran en el suelo, con el 84.3% y el 93.60% del carbono total de la pastura mejorada y la natural respectivamente. Estos valores son altos respecto a los reportados por la FAO (2002) y MACDIKEN (1997) donde reportan para el contenido de carbono aéreo porcentajes de 30 a 40% en pasturas. La diferencia mayor que muestra estos resultados se debe a que en condiciones de suelos degradados la biomasa aérea producida es reducida (FAO, 2002), mientras que la mayor reserva de carbono en estos sistemas degradados se da en el suelo (LOPEZ *et al.*, (2005); GUO *et al.*, (2002)).

VI. CONCLUSIONES

La pastura mejorada (*B. decumbens*) presenta mayor contenido de carbono sobre el suelo estadísticamente diferenciable con la pastura natural, debido a que las pasturas mejoradas presentan mayor producción de biomasa.

El contenido de biomasa radicular está en relación directa con la producción de biomasa aérea. A pesar de ello, la pastura mejorada (*B. decumbens*) no difiere estadísticamente de la pastura natural.

La pastura natural contiene mayor contenido de carbono bajo el suelo que la pastura mejorada estadísticamente diferenciable.

El contenido del carbono total por el sistema de pastura natural aunque es menor ($53.39 \text{ t.C.ha}^{-1}$) no muestra diferencia significativa con el sistema de pastura mejorada (*B. decumbens*) ($54.75 \text{ t.C.ha}^{-1}$).

Los sistemas con pastura natural tienen un potencial de almacenamiento de carbono al igual que los sistemas con pasturas mejoradas, lo cual permite una real atención y valoración de estos sistemas considerándose que son el principal piso forrajero de nuestros sistemas ganaderos de nuestra región.

Los sistemas ganaderos con pasturas naturales también generan servicios ambientales en cuanto a la captura de carbono, pudiendo incrementar y convertirse en reales sumideros si se incluyen prácticas silvopastoriles.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar mayores trabajos de investigación que permitan valorar los sistemas con pasturas naturales y su potencial de almacenamiento de carbono.
- Continuar con el monitoreo de este trabajo de investigación para determinar la captura de carbono de los sistemas con pastura natural y mejorada considerándose este trabajo como datos del año 0.
- Definir 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 mediante mayores trabajos de investigación que permitan definir las reservas y capturas de carbono en sistemas ganaderos tradicionales y silvopastoriles.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ALBRECHT, A.; KANDJI, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry system. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 99(1-3): 15-27
2. ANDRADE, H. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc: Turrialba, CR, CATIE. 70 p.
3. 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.
4. BENJAMIN, A.; MASERA, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1):3-12. [En línea]: (<http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumeness/7.1/pdf>, 15 Junio. 2010)
5. BÓHM, W. 1979. Methods of studying root system. Berlin, GE, Springer Verlag, 179 p.
6. BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer. Roma, IT, FAO. 55 p.
7. CÁRDENAS. E. 1992. Introducción al establecimiento y producción de las pasturas tropicales. Tingo María, Huánuco Perú. UNAS. 303 p.
8. CIELSA, WM. 1996. Cambio Climático, Bosques y ordenación forestal, Una visión en conjunto. Roma, IT, FAO. 147 p.
9. DA CRUZ, W. 2006. Manejo de pasturas tropicales. Tingo María, Huánuco Perú. UNAS. 188 p.
10. FAO (1999). Desafíos Y Oportunidades para el Sector Forestal en Virtud Del Protocolo De Kyoto. Roma. 156 p.

11. FAO (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la Tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Roma. 60 p.
12. GAYOSO J. (2006). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. IN Revista Forestal Iberoamericana Vol 1, N° 1. Universidad Austral de Chile.
13. GOMEZ-ECHEVERRI, L. 2000. Cambio Climático y desarrollo. San José, CR. PNUD-Yale School of Forestry and Environment Studies, 465 p.
14. GUO, L; GIFFORD, R. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. In: Global Change Biology 8, pp. 345-360.
15. 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.
16. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 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.
17. 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>; 05 junio, 2010).
18. LOPEZ, A.; SCHLÖNVOIGT, A; IBRAHIM, M; KLEIN, 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.
19. 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.

20. MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry Projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
21. MARTINEZ, E.; FUENTES, P.; ACEVEDO, E. 2008. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. Scielo 8(1): 68-96. [En línea]: (<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>, 01 julio , 2010).
22. MONIER, G; THEVENET, G; LESAFFRE, B. 1994. Simplification of the soil. In: Colloques INRA N°65. 172 p.
23. ORDÓÑEZ J. Y MASERA O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques 7(1), 2001:3-12. Veracruz, México.
24. 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.
25. PINEDA L., ORTIZ C. Y 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.
26. 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.
27. POWELL, M; DELANEY, M. 1998. Carbon sequestration and sustainable coffee in Guatemala. Final report. Arlington, VA, US, Winrock International, 14 p.
28. RAO, I; RIPPSTEIN, G; ESCOBAR, G; RICAURTE, J. 2001. Producción de biomasa vegetal epígea e hipógea en las sabanas nativas. En Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia. CIAT. CIRAD. ISBN 958-694-033-0. Pp 124-145.

29. REICOSKY, D; LINDSTROM, M. 1995. Impact of fall tillage on short-term carbón dioxide flux. In: Soils and Global Change. CRC Press. 132 p.
30. RODRIGUEZ, A; RADA, F; COLMENARES, M. 2008. Comportamiento ecofisiológico de *Brachiaria decumbens* en monocultvo y en asociación con *Leucaena leucocéphala*. Revista Pastos y Forrajes Vol. 31 N° 3. 2008. Pp 217-227.
31. 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.
32. SEGURA, M; KANNINEN, M. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In Orozco, L; Brumer, C. eds. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. CATIE. p. 202-212. (Serie Técnica, Manual Técnico N° 50).
33. SENAYAKE R. GAMBOA L. 2003. Fortaleciendo de Relaciones Comunitarias: Intercambio Internacional para el Manejo de los Recursos Naturales. Taller de Desarrollo en la Economía Local desde un enfoque de Forestaría Análoga: Sri Lanka y Ecuador. Santa María Huatulco, México, 9 -15 de Noviembre 2003. 41 p.
34. SNOWDON, P; RAISON, J; KEITH, H; MONTAGU, K; BI, 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.
35. TROUVE, C; MARIOTTI, A; SCHWARETZ, D; GUILLET, B. 1994. Soil organic carbon dynamics under eucaliptus and pinus plante don savannas in congo. Soil Biol. Biochem. 26:287-295.
36. VENEGAS S. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada. Universidad Centroamérica, Facultad de ciencia, Tecnología y ambiente. Managua – Nicaragua. 37 p.

37. 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 Denis John BERAUN AVALOS

TESISTA

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

ASESOR