

Contenido de carbono en un sistema silvopastoril del Chaco central paraguayo

Carbon content in a silvopastoril system of the Paraguayan central Chaco

Conteúdo de carbono num sistema silvopastoril no Chaco central paraguaio

Maura Isabel Díaz Lezcano^{1*}  <https://orcid.org/0000-0003-4629-8255>

Julio Rafael Ríos Robles¹  <https://orcid.org/0000-0001-8852-3196>

Higinio Moreno Resquín¹  <https://orcid.org/0000-0003-0058-0351>

Mirtha Lucía Vera de Ortiz¹  <https://orcid.org/0000-0002-4381-2610>

¹Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.

*Autor para la correspondencia: maura.diaz@agr.una.py

Recibido: 22 de mayo de 2020.

Aprobado: 26 de junio de 2020.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar del contenido de carbono en una parcela bajo manejo silvopastoril en un período de un año. Este trabajo fue realizado en el Chaco central paraguayo, en una parcela permanente bajo sistema silvopastoril, debido al interés en estimar el almacenamiento de carbono con la utilización de este manejo. La metodología consistió en el establecimiento de una parcela en el año 2015 y su revaluación en el 2016. Se identificaron las especies arbóreas y se determinó su diámetro (DPA) y altura; se identificaron y extrajeron muestras de pasturas. Las muestras de suelos fueron tomadas a dos profundidades: de 0-10 cm y de 10-30 cm, para un análisis físico y químico. Se determinó la diferencia del área basal, el volumen, la biomasa arbórea total y el carbono acumulado. El componente arbóreo estaba compuesto por 24 ejemplares de *Prosopis alba*. El área basal, el volumen, la biomasa arbórea total y el carbono arbóreo total presentaron un incremento de 0,029 m² ha⁻¹, 0,101 m³ ha⁻¹, de 0,094 t ha⁻¹ y 0,047 t C ha⁻¹, entre la primera y la segunda medición. La pastura identificada fue *Digitaria decumbens*, cuya diferencia de biomasa total y carbono total presentó un incremento de 12,02 t ha⁻¹ y 6,01 t ha⁻¹ durante el periodo analizado; la diferencia del carbono acumulado en el suelo fue de -20,09 t ha⁻¹. El balance de carbono dio una diferencia de -13,77 t ha⁻¹.

Palabras clave: Área basal; Biomasa arbórea; Contenido de carbono; Sistema silvopastoril.



ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the carbon content in a plot under silvopastoral management in a period of one year. This study was carried out in the Paraguayan central Chaco, in a permanent plot under silvopastoral system, due to the interest in estimating carbon storage with the use of this management. The methodology consisted in the establishment of a plot in the year 2015 and its revaluation in 2016. Tree species were identified and their diameter (DPA) and height were determined; pasture samples were identified and extracted. Soil samples were taken at two depths: 0-10 cm and 10-30 cm, for physical and chemical analysis. The difference in basal area, volume, total tree biomass and retained carbon were determined. The tree component was composed of 24 specimens of *Prosopis alba*. The basal area, volume, total tree biomass and total tree carbon showed an increase of $0.029 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, $0.101 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, 0.094 t ha^{-1} and $0.047 \text{ t C ha}^{-1}$, between the first and second measurement. The identified pasture was *Digitaria decumbens*, whose difference in total biomass and total carbon presented an increase of 12.02 t ha^{-1} and 6.01 t ha^{-1} during the period analyzed; the difference in accumulated carbon in the soil was -20.09 t ha^{-1} . The carbon balance gave a difference of -13.77 t ha^{-1} .

Keywords: Basal area; Tree biomass; Carbon content; Silvopastoral system.

RESUMO

O objectivo desta investigação era avaliar o conteúdo de carbono numa parcela sob gestão silvopastoril num período de um ano. Este trabalho foi realizado no Chaco central do Paraguai, numa parcela permanente sob o sistema silvopastoril, devido ao interesse em estimar a armazenagem de carbono com a utilização desta gestão. A metodologia consistiu no estabelecimento de uma parcela no ano 2015 e a sua revalorização em 2016. Foram identificadas espécies arbóreas e o seu diâmetro (DPA) e altura foram determinados; foram identificadas e extraídas amostras de pastagens. Foram recolhidas amostras de solo a duas profundidades: 0-10 cm e 10-30 cm, para análises físicas e químicas. A diferença em área basal, volume, biomassa arbórea total e carbono acumulado foram determinados. A componente de árvore era composta por 24 espécimes de *Prosopis alba*. A área basal, volume, biomassa arbórea total e carbono arbóreo total mostraram um aumento de $0,029 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, $0,101 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $0,094 \text{ t ha}^{-1}$ e $0,047 \text{ t C ha}^{-1}$, entre a primeira e a segunda medição. A pastagem identificada foi *Digitaria decumbens*, cuja diferença em biomassa total e carbono total apresentou um aumento de $12,02 \text{ t ha}^{-1}$ e $6,01 \text{ t ha}^{-1}$ durante o período analisado; a diferença em carbono acumulado no solo foi de $-20,09 \text{ t ha}^{-1}$. O balanço de carbono deu uma diferença de $-13,77 \text{ t ha}^{-1}$.

Palavras-chave: Área basal; Biomassa de árvores; Teor de carbono; Sistema silvopastoril.

INTRODUCCIÓN

El cambio de uso del suelo se ha ido incrementando en los últimos tiempos debido a que la frontera agrícola ha avanzado, registrándose un cambio de bosque por pastos implantados. Esto ha causado severos problemas al ambiente, ya que se han degradado pastos, ha habido pérdidas de suelos por erosión, el nivel de fertilidad del suelo ha disminuido y la contaminación de aguas ha aumentado.



Los sistemas silvopastoriles constituyen una forma de uso de la tierra en donde árboles, arbustos, pastos y animales interactúan para diversificar y optimizar la producción en terrenos pequeños, de los cuales se obtienen diversos productos como maderas, forrajes y leñas. Estos sistemas no son considerados como bosques, pero tienen un componente arbóreo importante que debe ser considerado para las estimaciones de las reservas de carbono (López, 2010). Este sistema es una alternativa que permite mejorar la calidad del suelo mediante la combinación de árboles, pastos y ganado.

El sistema silvopastoril, además de beneficiar al medio ambiente, aportar materia orgánica al suelo y captar dióxido de carbono (CO_2), también provee al animal de sombra y protección contra heladas y puede contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante el secuestro y almacenamiento de carbono, ya que las especies arbóreas pueden retener carbono por un tiempo prolongado, principalmente en su madera y el suelo.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el contenido de carbono en una parcela bajo sistema silvopastoril del Chaco central paraguayo en un período de un año.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada en una finca bajo manejo sustentable de suelos con prácticas de silvopastura desarrolladas en el distrito de Filadelfia en el departamento de Boquerón, Región Occidental de la República del Paraguay. La parcela de medición permanente está ubicada entre los paralelos 20°05' y 23°48' latitud Sur y 62°40' y 59°20' de longitud al Oeste.

Se estableció una parcela de monitoreo permanente de 100 x 100 m (10 000 m²) en el año 2015, reevaluándose en el 2016, donde se evaluaron el componente arbóreo, el ganado, la pastura y el suelo.

Los árboles fueron marcados, georreferenciados y medidos en diámetro (DPA) y altura (ht) total de los individuos. Además, fueron calculadas las variables dasométricas de área basal y volumen y se estimó la biomasa total y el carbono almacenado en el componente arbóreo, siguiendo las siguientes fórmulas (Ecuación 1) y (Ecuación 2):

$$G = \frac{\pi \cdot DPA^2}{4} \quad (1)$$

Donde:

G = área basal (m²)

δ = 3,1416

DAP = Diámetro a 1,3 m (cm)

$$V = G * f * ht \quad (2)$$



Donde

V = volumen del fuste (m^3)

G = área basal (m^2)

f = factor de forma (0,811) para diferentes especies en el Chaco (Quinteros 2001)

ht = altura total (m)

En cuanto a la determinación de la Biomasa Total (BT) del componente arbóreo se procedió a la aplicación de la ecuación alométrica de *Sato et al., (2015)* (Ecuación 3):

$$BT = 0,0609 * (DPA^2 * ht)(DPA^2 * ht)^{0,9932} \quad (3)$$

Para determinar la biomasa de las pasturas se procedió a identificar los pastos presentes, luego se extrajeron ocho muestras representativas mediante un bastidor de $1 m^2$ y posteriormente fueron secadas en estufa a $65 ^\circ C$ hasta llegar a peso constante; finalmente, se obtuvo el peso seco mediante una báscula.

La biomasa total, tanto arbórea como de la pastura, se multiplicó por 0,5 debido a que la materia seca contiene en promedio un 50 % de carbono almacenado, utilizando la fórmula según el *IPCC (2006)*.

Se caracterizó el componente animal con la determinación del tipo de manejo y de la capacidad de carga.

Las variables del suelo evaluadas fueron las propiedades físicas como: la densidad aparente (mediante el Método del cilindro metálico) y la textura (Método de Bouyucos) y propiedades químicas: pH, fósforo, nitrógeno, materia orgánica y carbono en el suelo.

Se tomaron ocho muestras compuestas de suelo, a dos profundidades: de 0-10 cm y de 10-30 cm, totalizando 16 muestras. Se determinó la cantidad de carbono orgánico (CO) y la materia orgánica (MO) de cada muestra mediante el método de Walkley y Black, según *Tedesco et al., (1985)* utilizando la siguiente fórmula (Ecuación 4):

$$\% CO = \% MO \div 1,72 \quad (4)$$

El fósforo fue determinado por el Método de Bray y Kurtz, según *Tedesco et al., (1985)*. El contenido de nitrógeno total en el suelo, se determinó a través de la siguiente fórmula (Ecuación 5):

$$\% N = \% MO * 0,05 \quad (5) \quad (\text{Plaster 2000})$$

Para la determinación el carbono acumulado en el sistema se procedió a sumar todos los depósitos (carbono arbóreo, herbáceo y suelo) y para establecer el almacenamiento de carbono se determinó la diferencia de los depósitos entre los años estudiados.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la parcela

La parcela estudiada estaba destinada a un sistema silvopastoril con fines de producción de carne, bajo un régimen rotativo y asignación variable. La misma fue instalada en noviembre de 2015, estando en régimen de clausura, sin presencia animal, en tanto que, en la remediación de la parcela en octubre de 2016, el potrero contó con carga animal.

Las razas de bovino encontradas en esta parcela fueron: Santa Gertrudis, Hereford y Brangus, con una capacidad de carga de una unidad ganadera por hectárea, constituida por terneros y vaquillonas.

Los resultados obtenidos son próximos a los valores reportados por *Alvarenga et al.*, (1998), quienes bajo similares condiciones en el Chaco central paraguayo reportan una carga animal de 0,70 unidad ganadera/ha.

La investigación de *Griffith (2016)* reportó una carga animal de 1,01 unidad ganadera por hectárea en los potreros bajo estudio en el Chaco central paraguayo. En cuanto a la caracterización de la composición florística de la parcela estudiada, se identificaron los individuos arbóreos presentes, siendo *Prosopis alba* la única especie encontrada.

Se registró un total de 24 individuos de la especie *Prosopis alba* en la parcela, con diámetro promedio de 4,9 cm, la altura promedio fue de 2,5 m y un distanciamiento medio de 12 metros entre cada árbol; además, fueron inventariados individuos pertenecientes a la categoría de brinzales y latizales con un diámetro de entre 2,4 y 9 cm. En la Tabla 1, se presenta el listado florístico de los renovales registrados en la primera medición y en la segunda se observó una pérdida de 11 individuos correspondientes a los renovales registrados en la primera medición, quedando en pie solo los ejemplares de *Prosopis alba* (algarrobo blanco).

En la primera medición se registró la presencia de brinzales y latizales de *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco) y *Cercidium praecox* (verde olivo), los cuales no fueron encontrados en la segunda medición presumiblemente por eliminación mecánica; se verificó, además, la presencia de *Sorghum vulgare* (sorgo forrajero) distribuida en toda la superficie, durante la segunda medición.

Asociado al algarrobo blanco se identificó la pastura *Digitaria decumbens* (pangola); la altura de este componente herbáceo en la parcela varió de 40 a 60 cm, entre la primera y la segunda medición (Tabla 1).



Tabla 1. - Composición florística de renovales presente en la primera medición de la parcela permanente bajo un sistema silvopastoril, Chaco central, Paraguay

Familia	Especie	Nombre común
Apocynaceae	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schltdl.	quebracho blanco
Fabaceae	<i>Prosopis alba</i> (Griseb.)	algarrobo blanco
Fabaceae	<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz y Pav.)	verde olivo

De acuerdo con Griffith (2016), en su estudio de estimación del contenido de carbono en tres componentes (arbóreo, pastura y suelo) de un sistema silvopastoril del Chaco paraguayo, en las parcelas de estudio fueron encontrados arboles de la especie *P. alba*, con una altura promedio de 5,6 m por individuo y un volumen total de 0,438 m³ ha⁻¹ y las pasturas encontradas en las parcelas fueron *Gatton panic* y *Digitaria decumbens*, con una altura promedio de 12,5 cm.

Según Gamarra (2016), en su estudio de análisis de la relación carbono/nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco Paraguayo, se registró un total de 31 individuos arbóreos por hectárea, de los cuales 53 % tenía un diámetro menor a 10 cm y los individuos restantes (47 %) tenían en promedio de 16 cm de diámetro.

Carbono en el componente arbóreo

Área basal

El área basal presentó una diferencia de 0,029 m² ha⁻¹ entre la primera y la segunda medición. La Tabla 2 muestra el área basal total por hectárea de cada medición (Tabla 2).

Tabla 2. - Área basal en hectárea de la parcela permanente bajo un sistema silvopastoril, Chaco central, Paraguay

	Especie	Área basal total (m ² ha ⁻¹)
Medición 1	<i>Prosopis alba</i>	0,022
Medición 2	<i>Prosopis alba</i>	0,051
Diferencia	<i>Prosopis alba</i>	0,029

Gamarra (2016) menciona que el promedio del área basal fue de 0,34 m² ha⁻¹, así como Leguizamón (2016), que en su estudio de estimación de contenido de carbono en el Chaco central el área basal obtuvo un promedio de 0,3 m² ha⁻¹.

Volumen total

La diferencia de volumen de los árboles registró un promedio de 0,101 m³ ha⁻¹ entre las dos mediciones efectuadas. En la Tabla 3, se observa el volumen promedio de la parcela por hectárea (Tabla 3).



Tabla 3. - Volumen total de la parcela permanente bajo un sistema silvopastoril, Chaco central, Paraguay

	Especie	Volumen total (m³ ha⁻¹)
Medición 1	<i>Prosopis alba</i>	0,032
Medición 2	<i>Prosopis alba</i>	0,133
Diferencia	<i>Prosopis alba</i>	0,101

Griffith (2016) realizó un estudio de estimación de contenido de carbono en los tres componentes (arbóreo, pastura y suelo) en el Chaco central en el cual obtuvo un promedio en el volumen total de *Prosopis* spp. de 0,438 m³ ha⁻¹, en tanto que Gamarra (2016) en similares condiciones obtuvo un volumen total en promedio de 1,59 m³ ha⁻¹.

Biomasa arbórea total

La diferencia de las estimaciones de biomasa total entre las mediciones realizadas en el año 2015 y 2016 fue de 0,094 t ha⁻¹ en la parcela, debido al incremento, tanto en diámetro como en altura de cada uno de los individuos inventariados. En la Tabla 4, se observa el promedio total de la biomasa (Tabla 4).

Tabla 4. - Biomasa total en la parcela permanente bajo un sistema silvopastoril, Chaco central, Paraguay

	Especie	Biomasa (t ha⁻¹)
Medición 1	<i>Prosopis alba</i>	0,031
Medición 2	<i>Prosopis alba</i>	0,125
Diferencia	<i>Prosopis alba</i>	0,094

Los valores de biomasa total estimados en esta investigación son similares a los que Brítez (2015) reportó en un estudio sobre un sistema integrado de producción realizado en el Chaco paraguayo, donde la biomasa acumulada fue de 0,07 t ha⁻¹, en tanto que Leguizamón (2016) en su estudio de estimación de contenido de carbono en el Chaco central, informa que el promedio la biomasa total fue de 2,3 t ha⁻¹.

Carbono arbóreo total

Para considerar el almacenamiento de carbono en la biomasa forestal se asume que los árboles vivos contienen aproximadamente el 50 % de carbono. Por tanto, se sugiere usar el factor de 0,5 para transformar la biomasa a carbono (Mac Dicken, 1997). La diferencia entre las estimaciones del carbono arbóreo total en la parcela fue de 0,047 t C ha⁻¹. En la Tabla 5, se puede observar el carbono arbóreo estimado en cada una de las mediciones y la diferencia entre ellas (Tabla 5).



Tabla 5. - Carbono total en el componente arbóreo en la parcela permanente bajo un sistema silvopastoril, Chaco central, Paraguay

	Especie	Carbono total (t ha⁻¹)
Medición 1	<i>Prosopis alba</i>	0,015
Medición 2	<i>Prosopis alba</i>	0,062
Diferencia	<i>Prosopis alba</i>	0,047

Leguizamón (2016) obtuvo un promedio de 2 t ha⁻¹ de biomasa total de *Prosopis spp.* y el carbono equivalente arrojó un promedio de 153 t ha⁻¹. Griffith (2016) comenta en su estudio de estimación de contenido de carbono en los tres componentes (arbóreo, pastura y suelo) en el Chaco central, que obtuvo un promedio de 36,72 t ha⁻¹ y el carbono equivalente arrojó un promedio de 134,65 t ha⁻¹.

Carbono en pastura

En la Tabla 6 se observa que, en la primera medición, la biomasa herbácea total fue de 610 kg ha⁻¹, donde la cobertura de la pastura fue del 50 % del suelo de la parcela, estando la altura de la misma comprendida entre 20 y 30 cm, no registrándose otro tipo de oferta forrajera herbácea y en la segunda medición se registró un total de 12,630 kg ha⁻¹, donde la cobertura fue del 100 % del suelo, siendo la altura de la misma 40 y 60 cm. Además, se registró la presencia de *Sorgum spp.* (sorgo forrajero) de una altura promedio de 2 m.

La estimación de la diferencia de la biomasa herbácea fue de 12.020 kg ha⁻¹ entre un año y otro. Esto puede atribuirse a que en la primera medición la parcela estaba en clausura y en la segunda medición se notó que la biomasa presentó un valor más elevado, evidenciándose la preparación de suelo (arado, subsolado y rastroneada), notándose el aumento de materia fresca de la pastura.

Se estimó una diferencia de almacenamiento total de carbono en la pastura de 6,01 t ha⁻¹ entre los años 2015 y 2016 (Tabla 6).

Tabla 6. - Biomasa y carbono total en pastura en la parcela permanente bajo un sistema silvopastoril, Chaco central, Paraguay

	Especie	Biomasa total (t ha⁻¹)	Carbono total (t ha⁻¹)
Medición 1	<i>Digitaria decumbens</i>	0,61	0,305
Medición 2	<i>Digitaria decumbens</i>	12,63	6,315
Diferencia	<i>Digitaria decumbens</i>	12,02	6,01

Leguizamón (2016) obtuvo para el género *Prosopis*, valores totales de biomasa y el carbono de 0,61 t ha⁻¹ y 0,305 t ha⁻¹, respectivamente.



Propiedades físicas y químicas del suelo

Densidad aparente del suelo y textura

Los resultados de densidad aparente registraron un promedio de 1 490 kg m³ en las profundidades de 0-10 cm, y de 10-30 cm se reconoció un promedio de 1 433 kg m³, que según Fuentes (1999) se asocia a suelos arenosos.

La textura del suelo analizado en las profundidades de muestreo fue franco arcillo arenosa y arcillo arenosa. Gamarra *et al.*, (2018) manifiestan que la densidad del suelo fue de 1 240 kg m³ y 1 250 kg m³ para las profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm, respectivamente, en su investigación relacionada a relación carbono/nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del chaco paraguayo, cuyo muestreo de suelos se registró en el área del presente estudio.

Un efecto del pastoreo es el aumento de la densidad aparente de los suelos por el pisoteo de los animales, y se debe tener muy en cuenta para la oportunidad de descanso al pasto para su recuperación (Kunst *et al.*, 2015).

Determinación de pH

En las dos profundidades, de 0-10 cm y 10-30 cm, el pH fue de neutro y ligeramente ácido, con un promedio de 6,62 y 6,8 respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Griffith (2016) quien registró valores de pH de 6,2 a 6,4 en su estudio de contenido de carbono en un sistema silvopastoril en el Chaco central, Paraguay.

De acuerdo con Thompson y Troeh (2015), el pH del suelo óptimo oscila entre 6,0 y 7,5 ya que todos los nutrientes se muestran razonablemente accesibles, y los valores de pH que oscilan entre 6,5 y 7,5 suelen ser los mejores en la disponibilidad del fósforo.

Determinación de materia orgánica, fósforo, carbono orgánico y nitrógeno total del suelo

En la Tabla 7 se observan los valores de materia orgánica, fósforo, carbono orgánico y nitrógeno total del suelo (Tabla 7).

Tabla 7. - Valores de materia orgánica, fósforo, carbono orgánico y nitrógeno en la parcela bajo manejo sustentable en la localidad de Filadelfia Chaco, Paraguay

Muestra	Profundidad de muestras	Materia orgánica (%)	Fósforo (mg kg ⁻¹)	COS (%)	COS (t C ha ⁻¹)	N (%)	N (kg ha ⁻¹)
1	0-10 cm	1,73	82,78	0,8	11,2	0,08	1 120
2	0-10 cm	0,35	118,42	0,2	2,8	0,01	140
Promedio	0-10 cm	1,04	100,6	0,5	7	0,045	630
3	10-30 cm	1,38	63,62	0,8	11,2	0,06	840
4	10-30 cm	1,38	50,97	1	14	0,06	840
Promedio	10-30 cm	1,38	57,295	0,9	12,6	0,06	840

La materia orgánica obtenida fue de un nivel bajo, el fósforo presentó un contenido alto y el nitrógeno total almacenado en el suelo en todas las profundidades fue bajo, según los valores establecidos por Criollo (2013).



Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con los resultados de investigaciones similares realizadas en el Gran Chaco Sudamericano por **Ledesma (1995)**, **Griffith (2016)** y **Díaz Lezcano et al., (2017)**. De acuerdo con Ledesma (1995), en un estudio del suelo en una estación experimental agropecuaria Colonia Benítez, provincia del Chaco argentino, los resultados del laboratorio presentan 63,6 ppm de fósforo a una profundidad de 0-23 cm, lo que indica un alto contenido de fósforo en un suelo con niveles de pH neutro y ligeramente ácido. Según **Griffith (2016)**, la materia orgánica que se obtuvo en esta investigación en un sistema silvopastoril en el Chaco central fue de 0,72 %, y de acuerdo al análisis químico presentó un alto contenido Mg, al igual que el K y Al, mientras que el Ca estuvo en un nivel medio.

Según **Gamarra et al., (2018)**, en su trabajo de relación carbono: nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco Central, el contenido de carbono orgánico estimado en el suelo, fuera de la influencia directa de la copa del algarrobo en los primeros 30 cm del suelo, fue de 34,03 t ha⁻¹ (0-10 cm: 18,60 t ha⁻¹ y 10-30 cm: 15,43 t ha⁻¹); bajo la influencia de la copa fue de 44,84 t ha⁻¹ (de 0-10 cm: 24,48 t ha⁻¹ y de 10-30 cm: 20,36 t ha⁻¹), considerando una densidad aparente del suelo de 1 240 kg cm⁻³ y 1 250 kg cm⁻³ para la profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm, respectivamente. Según **Gamarra (2016)**, en un estudio realizado en una parcela en sistema silvopastoril, el contenido de nitrógeno total en promedio fue de 0,12 % (1 516,85 kg ha⁻¹).

Almacenamiento de carbono en el suelo

En la Tabla 8, se observa una diferencia de COS de -1,2 % en los 10 primeros centímetros de profundidad, y de 10 a 30 cm una diferencia de 0,17 %, habiendo así una pérdida total de 20,09 t ha⁻¹ de 0 a 30 cm. Otros factores a ser considerados son la emisión de gas metano procedente de las deposiciones bovinas y la sanitación de los animales con desparasitarios, que pueden alterar la velocidad de descomposición de las heces, así como la microflora de su superficie de contacto en el suelo. También influyó la utilización de maquinarias pesadas en la preparación del sitio para la siembra de pasto, en donde hubo un cambio en la estructura del suelo (Tabla 8).

Tabla 8. - Contenido de carbono en el suelo de una parcela bajo sistema silvopastoril en el Chaco central, Paraguay

Medición	MO %	MO %	COS %	COS %	COS (t ha ⁻¹)	COS (t ha ⁻¹)	COS (t ha ⁻¹)
	0-10 cm	10-30 cm	0-10 cm	10-30 cm	0-10 cm	10-30 cm	0-30cm
2015	2,93	1,26	1,7	0,73	21,15	18,54	39,69
2016	1,04	1,38	0,5	0,9	7	12,6	19,6
	-1,89	0,12	-1,2	0,17	-14,15	-5,94	-20,09

La diferencia obtenida entre las remediciones de la parcela reporta una pérdida de COS en los 30 primeros centímetros del suelo, lo que indica que hubo más emisión que captación de este compuesto. La presente estimación de carbono orgánico, la cual podría considerarse precoz, indica pérdidas en el balance de gases de efecto invernadero, lo cual podría constituir un diagnóstico de la finca para posteriormente buscar alternativas correctivas de manejos culturales.



Los valores reportados en el presente estudio muestran un balance negativo en sistemas silvopastoriles para producción de carne, los cuales difieren de los presentados por Messa (2003), Moreno y Lara (2003), quienes revelan un balance de carbono positivo en sistemas silvopastoriles intensivos, en Venezuela y Colombia, respectivamente.

Según Messa (2009), otro factor importante a ser considerado en este tipo de estudio es la variabilidad de las características de los suelos bajo estudio, así como también el origen del suelo (procesos formadores), historia de manejo, uso y manejo actual, que influyen en el comportamiento del carbono orgánico en el suelo.

Moreno y Lara (2003) señalan que el suelo es un cuerpo natural más dinámico e inestable de lo que parece y por lo tanto se justifica la investigación continua de sus procesos, con la finalidad de comprender mejor su papel en el ciclo del carbono.

Almacenamiento de carbono en un sistema silvopastoril

El sistema de pastoreo utilizado no resultó ser efectivo en cuanto a la captura de CO_2 del ambiente en un período de un año de monitoreo bajo régimen de producción de carne con preparación de sitio para siembra de pastos implantados. En la Tabla 9, se observa el resultado de almacenamiento de carbono en los tres componentes estudiados, dando un valor $-13,77 \text{ t C ha}^{-1}$ (Tabla 9).

Tabla 9. - Almacenamiento de carbono en los tres componentes del Sistema Silvopastoril (SSP) monitoreado en el Chaco central, Paraguay

Medición	Carbono en vegetación arbórea (t C ha^{-1})	Carbono en Pastura (t C ha^{-1})	Carbono en suelo (t C ha^{-1})	Carbono SSP (t C ha^{-1})
2015	0,01	0,03	39,69	39,73
2016	0,06	6,3	19,6	25,96
Diferencia	0,05	6,27	-20,09	-13,77

Según Messa (2009), las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los bovinos, como emisiones de metano y óxido nitroso procedentes de la fermentación entérica de los rumiantes, son afectadas por factores como: raza del animal, estado fisiológico, estado de salud, composición de la dieta animal, calidad del procesamiento del alimento, manejo alimenticio, manejo de las excretas de los rumiantes y condiciones ambientales, factores que inciden en los procesos digestivos y determinan el balance de sus productos finales de emisiones de carbono.

El sistema silvopastoril integrado por *Prosopis alba* asociado con *Digitaria decumbens* presentó un ligero aumento de área basal, volumen, biomasa arbórea, carbono total y carbono equivalente del componente arbóreo entre las dos evaluaciones hechas, pese a la disminución de individuos arbóreos en el sitio de estudio.



En el componente pastura, la biomasa total, el carbono total y carbono equivalente presentaron un aumento en la segunda medición lo que pudiera atribuirse al descanso en el potrero.

En cuanto al balance de carbono total, en el sistema silvopastoril se ha registrado una pérdida de 13,77 t ha⁻¹ de carbono orgánico, lo cual indica que hubo más emisión que captación de este compuesto en el período estudiado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, D.F., BARBOZA, H., BENDER, A., CARLINI, R., DEGEN, F., FRACCHIA, M., GEYH, R., HOFFMANN, W., KRUCK, A., MEDINA, N., F., MERELLES, H., MOLLSY, M., NITSH, T., PORTILLO, P., L., RAIDÁN, G., ROJAS, C. y WIENS, F., 1998. *Proyecto sistema ambiental del Chaco: inventario, evaluación y recomendaciones para la protección de los espacios naturales en la Región Occidental del Paraguay* [en línea]. 1998. S.l.: San Lorenzo, PY, MAG. Disponible en: <http://www.geologiadelparaguay.com.py/PSAC-TomoI.PDF>.
- BRÍTEZ F, C.N., 2015. *Estimación de contenido de carbono en sistema integrado de producción en el Dpto. de Presidentes Hayes, Chaco Paraguayo*. San Lorenzo, Paraguay: CIF, FCA. UNA.
- CRIOLLO, N. 2013. Evaluación de alternativas silvopastoriles que promuevan la intensificación y recuperación de pasturas degradadas y contribuyan a reducir el impacto ambiental de la actividad ganadera en la amazonia ecuatoriana al segundo año de establecimiento (en línea). Consultado: 3 ago. 2016 Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2806/1/13T0772%20CRIOLLO%20NANCY.pdf>
- GAMARRA LEZCANO, C.C., DÍAZ LEZCANO, M.I., VERA DE ORTÍZ, M., GALEANO, M. del P., CABRERA CARDÚS, A.J.N., GAMARRA LEZCANO, C.C., DÍAZ LEZCANO, M.I., VERA DE ORTÍZ, M., GALEANO, M. del P. y CABRERA CARDÚS, A.J.N., 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista mexicana de ciencias forestales* [en línea], vol. 9, no. 46, pp. 4-26. [Consulta: 28 mayo 2020]. ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v9i46.134. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322018000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- GAMARRA LEZCANO, L.C., 2016. *Análisis de la relación carbono/nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco Central*. San Lorenzo, Paraguay: CIF, FCA. UNA.
- GRIFFITH, M., 2016. *Estimación de contenido de Carbono en los tres componentes (arbóreo, pastura y suelo) de un sistema silvopastoril del Chaco Central*. San Lorenzo, Paraguay: CIF, FCA. UNA.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) JP, 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. JP, IGES [en línea], vol. 4. Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>.



- KUNST, C.M., NAVAL, R.D., CORIA, R., LEDESMA, P., TOMSIC, A., GONZALEZ, A. y FEUILLADE, D., 2015. *Guía de prácticas recomendables para sistemas silvopastoriles*. Argentina: Santiago del Estero INTA.
- LEGUIZAMÓN, L., 2016. *Estimación del contenido de carbono en sistemas silvopastoriles de Prosopis spp en el Chaco Central*. San Lorenzo, Paraguay: CIF, FCA. UNA.
- LÓPEZ, P.J., 2010. *Manual de sistemas agroforestales para el desarrollo rural sostenible; agroforestería- silvopastoril- agrosilvopastoril*. San Lorenzo, Paraguay: FCA, UNA. Disponible en: https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/manual_guideline/manual_guideline-_-42.pdf
- MAC DICKEN, K.G., 1997. *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects* [en línea]. S.l.: Winrock International Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/A_Guide_to_Monitoring_Carbon_Storage_in.html?id=dVp6PwAACAAJ&redir_esc=y.
- MESSA, A.H.F., 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy. Venezuela. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Disponible en: <http://201.207.189.89/handle/11554/4533>
- MORENO, F. y W. LARA. 2003. Variación del carbono orgánico del suelo en bosques primarios intervenidos y secundarios. In Orrego, SA; Del Valle JI; Moreno, FH. Eds, *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia, contribuciones para la mitigación del cambio climático*. Bogotá, CO. Departamento de Ciencias Forestales/Centro Andino para la Economía del Medio ambiente (CAEMA) Universidad Nacional de Colombia. Pp. 87-120.
- PLASTER, E. 2000. *La ciencia del suelo y su manejo*. Madrid, ES. Paraninfo. 419 p. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=184363>
- QUINTEROS, M., 2001. *Determinación de factor de forma para las principales especies forestales del Chaco*. San Lorenzo, Paraguay: PY. CIF/FCA/UNA.
- SATO, T., SAITO, M., RAMÍREZ, D., MOLAS, L.F.P.D., TORIYAMA, J., MONDA, Y., KIYONO, Y., HEREBIA, E., DUBIE, N., VERA, E.D., ORTEGA, J.D.R. y ORTIZ, M.V.D., 2015. Development of Allometric Equations for Tree Biomass in Forest Ecosystems in Paraguay. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, vol. 49, no. 3, pp. 281-291. DOI 10.6090/jarq.49.281. Disponible en: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/49/3/49_281/_article
- TEDESCO, M.J., 1985. *Análises de solo, plantas e outros materiais* [en línea]. S.l.: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Departamento Solos. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/Analises_de_solo_plantas_e_outros_materi.html?id=yifkZwEACAAJ&redir_esc=y.



THOMPSON, L. M. y F. R. THROE. 2015. Los suelos y su fertilidad. 4ed. Reverte. Barcelona, España. 649 p. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/Los_suelos_y_su_fertilidad.html?id=AegjDhEIVAQC&redir_esc=y

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2020 Maura Isabel Díaz Lezcano, Julio Rafael Ríos Robles, Higinio Moreno Resquín, Mirtha Lucía Vera de Ortiz

