

NOTA TÉCNICA

Estimación del contenido de carbono en sistemas silvopastoriles de *Prosopis* spp en el chaco central paraguayo

Estimating carbon content in sylvopastoral systems of Prosopis spp in the Paraguayan central chaco

Díaz Lezcano, M. I.¹; L. Leguizamón¹; C. C. Gamarra Lezcano¹;
M. Vera de Ortíz¹; M. P. Galeano Samaniego¹

Recibido en abril de 2018; aceptado en octubre de 2019

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles pueden contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante el secuestro y almacenamiento de carbono. Esta investigación fue realizada en la Región Occidental del Paraguay, en los Departamentos de Boquerón y Presidente Hayes, en áreas destinadas al silvopastoreo. El objetivo de la investigación fue estimar el contenido de carbono de sistemas silvopastoriles. Se instalaron 8 parcelas de 1 ha cada una. Para la determinación de la biomasa arbórea fueron realizados censos registrándose todos los individuos incluyendo la regeneración. Los parámetros evaluados fueron la composición florística, el diámetro, el área basal, volumen total de las especies forestales; biomasa y carbono arbóreo; biomasa y carbono herbáceo, carbono en el suelo y carbono total contenido en el sistema. La estimación de biomasa y carbono arbóreo fueron determinados a través de ecuaciones alométricas. Fueron registrados un total de 247 individuos, correspondientes al género *Prosopis* y un promedio de 31 individuos por hectárea. El área basal fue de 0,3 m²/ha y el volumen total 1,5 m³/ha. El contenido de carbono en el componente forestal fue de 1,1 tC/ha y 1 tC/ha según el IPCC y la ecuación de Sato, respectivamente. La prueba T Student realizada permitió corroborar que no existen diferencias significativas entre las metodologías utilizadas. El contenido de carbono en la pastura fue 0,9 tC/ha bajo sombra y 0,3 tC/ha bajo sol. El carbono en el suelo fue 39,69 tC/ha. El promedio de carbono en el sistema silvopastoril fue de 41,7 tC/ha.

Palabras clave: carbono, silvopastoril, algarrobo, pastura, suelo, *Prosopis*.

ABSTRACT

Sylvopastoral systems can contribute to mitigate global warming through carbon sequestration and storage. This work was carried out in the Western Region of Paraguay, in areas of the Boquerón and Presidente Hayes Departments for silvopastoral systems. The objective of this work was to estimate the carbon content of silvopastoral systems. For the study, eight 1 ha plots each were set. To determine the tree biomass, censuses were carried out by registering all the individuals including the regeneration. Flower composition, diameter, basal area, total volume of forest species; biomass and tree carbon; biomass and herbaceous carbon, soil carbon and the total carbon of the system were the parameters evaluated. Biomass and tree carbon were determined through allometric equations. A total of 247 individuals belonging to the *Prosopis* genus were registered, i.e. 31 individuals per hectare in average. The basal area was of 0.3 m² ha⁻¹ and the total volume was of 1.5 m³ ha⁻¹. The carbon content in the forest component was of 1.1 tC ha⁻¹ and 1 tC ha⁻¹ according to the IPCC and the Sato's equation, respectively. The Student T test allowed to corroborate that there are no significant differences between the methodologies used. The carbon content in the pasture was 0.9 tC ha⁻¹ under shade and of 0.3 tC ha⁻¹ under the sun. The soil carbon was of 39.69 tC ha⁻¹. The average carbon in the silvopastoral system was of 41.7 tC ha⁻¹.

Key words: carbon, silvopastoril, carob, pasture, soil, *Prosopis*.

¹ Universidad Nacional de Asunción, Campus de San Lorenzo. Km 10,5 Ruta Mariscal Estigarribia, San Lorenzo. Paraguay. E-mail: maura.diaz@agr.una.py

1. INTRODUCCIÓN

El cambio más importante en el uso del suelo en las últimas décadas ha sido la conversión de bosques a pasturas (FAO, 2009), se estima que las áreas dedicadas al pastoreo aumentarán en los próximos años en aproximadamente 20 % ejerciendo mayor presión sobre los bosques (Díaz y Piedrahita, 2007).

Esto ha generado inevitablemente la degradación de las pasturas y problemas ambientales relacionados con la erosión del suelo, pérdida de fuentes de agua, fertilidad de suelos, emisión de gases de efecto invernadero (Kaimowitz, 2001 citado por Harvey *et al.*, 2003).

Es por esto que se han buscado alternativas de producción amigables y sostenibles con el ambiente, para promover la protección y conservación de la biodiversidad, minimizar la degradación de tierras y los cambios de uso. Entre las alternativas para el Chaco Americano, se encuentran los sistemas silvopastoriles.

Los sistemas silvopastoriles son métodos de uso de la tierra donde coexisten en la misma unidad productiva la ganadería y la actividad forestal, aprovechando las interacciones positivas y minimizando las negativas que se establecen entre los componentes animal, vegetal y suelo (Carranza y Ledesma, 2009).

La cantidad de carbono que cualquier ecosistema vegetal puede inmovilizar está relacionada con la productividad primaria neta. En este sentido, los ecosistemas tropicales y entre ellos las pasturas tienen un gran potencial, comparado con los ecosistemas templados.

Las gramíneas utilizadas en la producción animal tropical generalmente son de metabolismo C₄, lo cual les da mayor capacidad de integrar el gas en la materia orgánica (MO) de las plantas. Esta MO puede ser consumida por los animales y gran parte de ella (30 - 70 por ciento) regresa al suelo como heces y orina. Parte de las plantas se hacen senescentes y son incorporadas directamente al suelo (Fisher *et al.* 1994).

En terrenos dedicados a actividades de pastoreo, es común encontrar árboles dispersos, que fueron dejados en el sitio para dar sombra al ganado. En este caso, y cuando se desarrollan proyectos de tipo forestal que desean obtener beneficios por captura o almacenamiento de carbono, es necesario estimar las cantidades de ese elemento en estos árboles (Yepes *et al.* 2011).

La hipótesis del presente estudio sostiene que no existen diferencias significativas con la aplicación de la fórmula regional recomendada por el IPCC (2003) y la ecuación alométrica desarrollada en Paraguay, Sato *et al.* (2015).

Ante ello, el objetivo del trabajo fue estimar el contenido de carbono en sistemas silvopastoriles de *Prosopis spp* en el Chaco Central.

Los objetivos específicos fueron determinar la composición florística, el número de individuos del área en estudio, los parámetros dasométricos del componente arbóreo y su clasificación diamétrica, la biomasa total del componente arbóreo, comparar las estimaciones de los valores de carbono del componente arbóreo aplicando dos ecuaciones alométricas determinar el carbono equivalente del componente arbóreo, el almacenamiento de carbono en la pastura bajo dos condiciones: sol y sombra, y estimar el contenido de carbono en el suelo.

Esta investigación se realizó en el marco del Proyecto Manejo Sustentable de bosques en el ecosistema transfronterizo del Gran Chaco Americano y constituye uno de los primeros estudios en cuanto a captura y almacenamiento de carbono en sistema silvopastoril en el Paraguay.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del área de estudio

El trabajo se realizó en las localidades de Pirizal, Buena Vista, Loma Plata y Filadelfia de los Departamentos de Boquerón y Presidente Hayes de la República del Paraguay, ubicados a más de 430 km de la ciudad de Asunción; situados en las coordenadas 22° 35' 06,5" de Latitud Sur y 59° 44' 33,9" de Longitud Oeste.

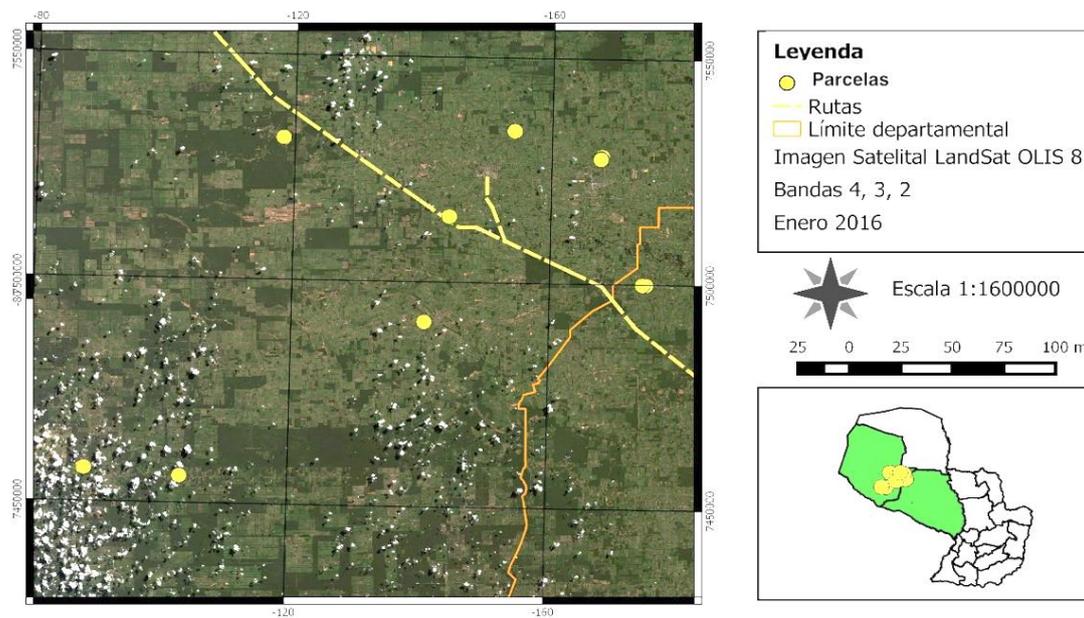


Figura 1. Localización del área de muestreo. Mapa de identificación de parcelas de sistemas silvopastoriles asociados a algarrobos.

Fuente: Ruiz Díaz (2016).

Según la clasificación climática de Köppen el área de estudio presenta un clima estepario o estepa tropical, por otra parte Thornthwaite lo clasifica como semiárido megatérmico. La cantidad anual media de precipitación es 800 mm, la temperatura media diaria anual es de 24 °C, la temperatura mínima diaria media anual es 21 °C, la temperatura máxima diaria media anual es 33 °C.

Los suelos en esta zona son Luvisoles, entre los 30 cm y 70 cm de profundidad. Están enriquecidos con arcillas, debido a la dislocación de arcilla con el agua de infiltración, con pH neutro o ligeramente alcalino y que se hace más alcalino a medida que aumenta la profundidad. Normalmente son ricos en fósforo, potasio y magnesio (Glatzle 1999).

El tipo de suelo es un mezcla de suelos residuales compuesto de arcilla limosa y arena limosa. Cabe mencionar que tiene una alta fertilidad, pedregosidad nula, una topografía ondulada suave y es propicio para la ganadería y en algunos casos la agricultura está siendo implementada.

Las parcelas estudiadas estaban destinadas a un sistema silvopastoril con fines de producción de leche. La utilización de dicho sistema en la zona es muy habitual ya que son zonas aptas para la utilización de pasturas implantadas. Las parcelas eran utilizadas con una carga animal alta y rotaciones diarias, con un sistema de asignación variable. Fueron seleccionados 8 parcelas en función al sistema de manejo y el distanciamiento relativamente próximo unas de otras la cual estaba comprendida en un rango de 85 a 100 km.

Las razas registradas en los potreros de estudio fueron Brangus, Jersey, Holanda y Cebú, con una capacidad de carga promedio de 1,01 unidad ganadera, con sistema de pastoreo rotativo bajo régimen de asignación variable.

Las parcelas estudiadas cuentan con manejo de la regeneración natural de especies forestales asociadas principalmente con la familia Fabaceae.

2.2 Población de unidades y variables de medición

Se establecieron 8 parcelas permanentes de 100 m x 100 m, de manera representativa a los sistemas silvopastoriles asociados con el género *Prosopis* del Chaco Central paraguayo. Estas parcelas fueron seleccionadas conforme al manejo silvopastoril con fines de producción de leche y al tipo de especies forestales asociadas las cuales corresponden al género *Prosopis*. Se realizó un censo forestal en donde se registraron los siguientes datos de las especies, composición florística de la parcela, diámetro a la altura del cuello de la regeneración natural, diámetro a la altura del pecho (DAP) de individuos mayores o igual a 10 cm y altura total. Los datos se registraron en una planilla de campo elaborada a tal efecto.

En subparcelas de 1 m x 1 m ubicadas en sitios representativos de cada una de las parcelas, se identificaron y extrajeron muestras de pasturas para su posterior medición, midiéndose desde la raíz hasta el ápice. Cuatro subparcelas fueron ubicadas bajo sombra y otras cuatro a pleno sol, excavando el suelo para el efecto. Se registraron los datos obtenidos y posteriormente se almacenaron en bolsas con sus respectivas etiquetas. Se determinó el peso fresco de cada una de las muestras utilizando una báscula manual para determinar el contenido de humedad de las pasturas. Posteriormente las muestras fueron secadas en una estufa a 65 °C hasta llegar a peso constante y finalmente fueron pesadas con la misma báscula para determinar la materia seca.

En cuanto al muestreo de suelo, se realizó la extracción de 8 muestras simples en cada una de las parcelas, en sitios representativos. Fueron extraídas 4 muestras bajo sol y 4 bajo sombra y a dos profundidades, de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm, utilizando una pala de punta. Luego se procedió a la mezcla de las mismas obteniendo 4 muestras compuestas por parcela, totalizando 32 muestras compuestas. El mismo procedimiento se realizó en las 8 parcelas. Posteriormente las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción para su análisis.

En la Tabla 1 se presentan las fórmulas empleadas en los cálculos dasométricos y en la estimación del carbono.

Tabla 1. Fórmulas empleadas en los cálculos dasométricos y la estimación de carbono.

Variables	Fórmulas	Referencias
Área Basal (m ² /ha)	$G = \frac{\pi \times DAP^2}{4}$	G = área basal (m ²) π= 3,1416 DAP= diámetro a la altura del pecho (1,30 m)
Volumen (m ³ /ha)	V = G * f (*) * h	V= volumen (m ³) F= factor de forma (0,811) Quinteros (2001) H=altura
Ajuste de la densidad de la madera (Reyes et al 1992)	Y= 0,0134 + 0,8 * X	Y= densidad de la madera seca en kg/m ³ X= densidad de la madera a 12 % de contenido de humedad <i>Prosopis alba</i> (Griseb.) densidad ajustada 523 Kg/m ³ <i>Prosopis kuntzei</i> (Harms) densidad ajustada 928 Kg/m ³ <i>Prosopis nigra</i> (Griseb.) Hieron. densidad ajustada 720 Kg/m ³

Tabla 1. (Cont.)

Variables	Fórmulas	Referencias
Biomasa de fuste (t/ha) (Brown 1997)	$BF = (V * Pe)/1000$	BF= biomasa de fuste (t) Pe= densidad aparente de la madera (kg/m ³)
Biomasa aérea (t/ha) (IPCC 2006)	$BA = BF * FEB$	BA= biomasa aérea (t) FEB= factor de expansión de biomasa (2,4) (Wolf 2004)
Biomasa radicular (t/ha)	$BR = BF * 0,24$	BR= biomasa radicular (t) 0,24= relación media entre biomasa bajo/sobre el suelo para bosque semiárido (IPCC 2003)
Biomasa total (IPCC 2006) (t/ha)	$BT = BA + BR$	BT= biomasa total (t)
Biomasa total (Sato <i>et al</i> 2015) (t/ha)	$BT = 0,069 * (DAP^2 * h) * 0,9932$	
Carbono total	$CT = BT * 0,5$	CT= carbono total (tC) 0,5 = Factor de conversión (debido a que la materia seca contiene en promedio 50 % de carbono almacenado, según IPCC 2003)
Carbono equivalente	$CO_2e = CT * 3,667$	CO ₂ e = dióxido de carbono extraído de la atmósfera 3,667 = factor basado en la razón de las masas atómicas de carbono (12) y de oxígeno (16), utilizado por el IPCC
Carbono en el suelo	$CO = \% MO \div 1,72$	CO = Carbono Orgánico MO = Materia Orgánica
Carbono en la pastura	$CT = BT * 0,5$	CT= carbono total BT= biomasa total
Sturges	$NC = 1 + 1,3 * \log(N)$ $AT = Dm - dm$ $RD = AT / NC$	NC= número de clases N= número de individuos AP= amplitud total Dm= diámetro mayor dm= diámetro menor RD= rango diamétrico

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Composición florística, área basal, volumen y biomasa forestal

Se registraron un total de 247 individuos en una superficie de 8 ha. En promedio representan 31 individuos por ha, con una abundancia del 100 % de árboles adultos (con DAP iguales o mayores a 10 cm) pertenecientes al género *Prosopis*. Autores como Uribe *et al.* (2011) y Díaz y Piedrahita (2007) recomiendan una densidad de 30-50 árboles por ha en sistemas silvopastoriles.

En la Tabla 2, se presenta el listado florístico de las especies relevadas, siendo la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae la más representativa.

Tabla 2. Composición florística del área en estudio

Familia	Clase: Dicotyledonae Especie	Nombre común
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schltdl.	Quebracho blanco
BIGNONACEAE	<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb	Labón
CAPPARACEAE	<i>Capparis speciosa</i> Griseb	Sacha naranja
FABACEAE	<i>Prosopis alba</i> (Griseb.)	Algarrobo blanco
FABACEAE	<i>Prosopis nigra</i> (Griseb.) Hieron.	Algarrobo negro
FABACEAE	<i>Prosopis kuntzei</i> (Harms)	Karandá
FABACEAE	<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz y Pav.)	Verde olivo
RHAMNACEAE	<i>Ziziphus mistol</i> Griseb	Mistol
SAPOTACEAE	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D. Penn.	Guajaivi rai
ZYGOPHYLLACEAE	<i>Bulnesia sarmientoi</i> Lorentz ex Griseb.	Palo santo

Según Luccerini (2008) en la región chaqueña el género *Prosopis* se encuentra entre las diversas especies nativas de alto valor comercial, utilizadas especialmente en sistemas silvopastoriles.

El algarrobo blanco forma importantes asociaciones con el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), coronillo (*Schinopsis lorentzii*) y samu'u (*Ceiba chodatii*) (López et al., 2002.; Missouri Botanical Garden, 2016). En cuanto al algarrobo negro indican que crece junto con vinalillo (*Prosopis vinalillo*)

En las parcelas establecidas el género *Prosopis* fue el más abundante, frecuente y dominante, lo que indica que es la especie de mayor peso ecológico de los sistemas silvopastoriles estudiados. La Tabla 3 muestra la cantidad de individuos, área basal, volumen y biomasa de los individuos arbóreos con un diámetro igual o mayor a 10 cm de DAP.

Los resultados obtenidos en relación al área basal, reflejan un rango comprendido entre 0,02 m²/ha y 0,6 m²/ha, y un promedio de 0,3 m²/ha. El error de muestreo fue de ±0,17 m²/ha con un nivel de confianza de 95 %.

Los valores obtenidos del volumen total, mostraron un valor máximo de 2,7 m³/ha y valor mínimo de 0,03 m³/ha. Esto puede deberse a que los individuos presentan un escaso porte formando parte de la regeneración. El promedio fue de 1,5 m³/ha. El error de muestreo fue de ± 0,81 m³/ha con un nivel de confianza de 95 %.

En la ecorregión Chaco seco paraguayo, Santacruz (2015) reportó un promedio de área basal de individuos forestales adultos de 4,10 m²/ha y un volumen de 6,47 m³/ha en cobertura vegetal de formación forestal no intervenida.

Tabla 3. Cantidad de individuos, área basal, volumen, biomasa total del área de estudio

Parcela	Cantidad de individuos	Área basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa total IPCC (t)	Biomasa total Sato (t)
1	31	0,23	0,03	1,70	1,29
2	31	0,50	0,09	3,70	3,40
3	22	0,40	0,08	2,49	2,31
4	32	0,58	0,08	3,32	3,11
5	30	0,64	0,09	3,61	3,36
6	35	0,02	0,00	0,07	0,09
7	36	0,17	0,02	1,57	1,00
8	30	0,28	0,03	1,78	1,40

En censo forestal de las parcelas bajo investigación permitió estudiar la distribución diamétrica de los renovales mediante la fórmula de Sturges, en donde se obtuvieron 7 clases con un rango diamétrico de 1,2 cm. Dicha clasificación se realizó de acuerdo a los individuos encontrados en la superficie total del muestreo (8 ha). Este análisis reviste importancia considerando que los brinzales y latizales constituyen la regeneración natural de los sistemas estudiados los cuales podrían sufrir una amenaza por el pisoteo animal.

La biomasa total por hectárea, según las ecuaciones del IPCC (2006) presentaron un valor promedio de biomasa total de 2,3 t/ha. El error de muestreo fue de ±1,03 tC/ha con un nivel de confianza de 95 %. Mediante la ecuación alométrica de Sato et al., (2015) el promedio de biomasa total fue de 2 t/ha. El error de muestreo fue de ±1,04 tC/ha con un nivel de confianza de 95 %. Aplicando la estadística comparativa, con un nivel de confianza del 99 % los resultados permitieron confirmar que no existen diferencias significativas entre las metodologías utilizadas para el sitio de estudio.

Los valores obtenidos en los sistemas silvopastoriles estudiados son superiores a los reportados por Brítez (2015) quien menciona que la biomasa acumulada en el sistema integrado de producción en el Chaco Paraguayo fue de 0,07 t/ha.

La Figura 2 refleja la cantidad de individuos menores a 10 cm de diámetro en cada clase diamétrica. El promedio de individuos de regeneración fue de 17 renovales por ha.

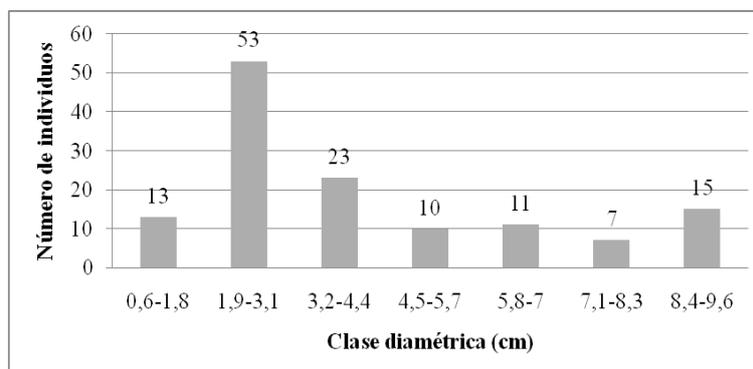


Figura 2. Clasificación diamétrica de individuos menores a 10 cm.

La cantidad de individuos pertenecientes a la categoría de regeneración natural es mucho menor a los reportados por Viana *et al.* (2002) quien, en su estudio sobre manejo de la regeneración natural de especies arbóreas nativas para la formación de sistemas silvopastoriles en bosques secos del sureste de Brasil, encontraron 206 árboles menores a 10 cm por ha.

En la Figura 3 se presenta la distribución por clase diamétrica de los individuos igual o mayores a 10 cm lo que permitió obtener 5 clases diamétricas con un rango de 4,9 cm. Adoptando una distribución de “J invertida”. El promedio de individuos fue de 14 árboles por ha.

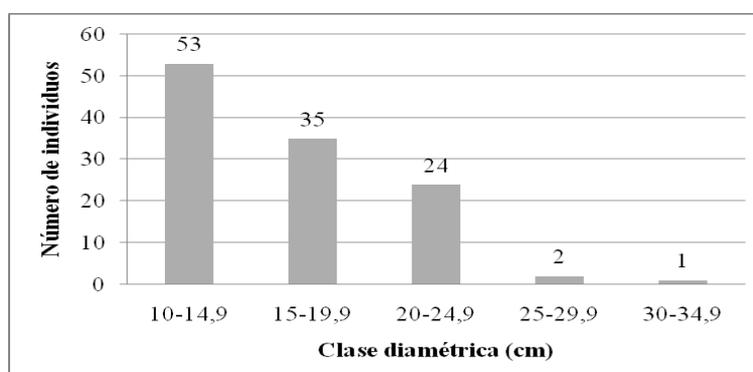


Figura 3. Clasificación diamétrica de individuos igual o mayores a 10 cm.

Ivancich *et al.* (2011) en bosques de *Nothofagus antarctica* para el manejo silvopastoril en Tierra del Fuego, Argentina concluyen que la mayoría de los árboles fueron menores a 17 cm de DAP, siendo el mayor de 29,1 cm. La estructura presentó características similares a las de un bosque secundario.

Según Gamarra *et al.* (2018) el estudio de la distribución diamétrica de los individuos arbóreos es importante porque permite identificar el nivel de influencia de la sombra que brindan las copas sobre los otros componentes del sistema, como el suelo, la pastura y el ganado.

3.2 Carbono total y dióxido de carbono equivalente del componente forestal

Según los cálculos realizados mediante la metodología recomendada por IPCC (2006) el carbono almacenado de 1,1 tC/ha, oscilando entre 0,03 y 1,8 tC/ha. El error de muestreo fue de

$\pm 0,51$ tC/ha con un nivel de confianza de 95 %. Por su parte aplicando la metodología de Sato *et al.*, (2015), se obtuvo un promedio de carbono almacenado de 1 tC/ha, con valores entre 0,05 tC/ha y 1,7 tC/ha. El error de muestreo fue de $\pm 0,52$ tC/ha con un nivel de confianza de 95 %.

Estos valores se asemejan a los obtenidos por Brítez, (2015) quien estimó el carbono total en el componente forestal de un sistema integrado de producción en el Departamento de Presidente Hayes, Chaco Paraguayo obteniendo un valor de 2,26 tC/ha.

El carbono equivalente en el componente arbóreo, mediante el IPCC (2006), arrojó un valor promedio de 4,2 tCO₂e/ha, el error de muestreo fue de $\pm 1,9$ tCO₂e/ha con un nivel de confianza de 95 %, mientras que el carbono equivalente obtenido según las ecuaciones de Sato *et al.*, (2015) arrojó un promedio de 3,6 tCO₂e/ha. El error de muestreo fue de $\pm 1,9$ tCO₂e/ha con un nivel de confianza de 95 %. La Tabla 4 describe los valores de carbono total y dióxido de carbono equivalente calculados mediante la fórmula recomendada por el IPCC y la ecuación de Sato.

Santacruz (2015) estimó valores de carbono equivalente obteniendo un valor de 22,50 tCO₂/ha aplicando la metodología del IPCC (2006), mientras que con la ecuación de Sato *et al.* (2015) el valor fue de 34,35 tCO₂/ha. En tanto que para una formación mesoxerofítica en el Chaco paraguayo, Camperchioli (2015) estimó el carbono equivalente obteniendo 64,15 tCO₂/ha.

Tabla 4. Carbono total y dióxido de carbono almacenado en el estrato arbóreo.

Parcela	CT (IPCC) t	CT (Sato) t	CO ₂ equivalente (IPCC)t	CO ₂ equivalente (Sato)t
1	0,9	0,6	3,1	2,4
2	1,8	1,7	6,7	6,3
3	1,2	1,2	4,6	4,2
4	1,7	1,6	6,1	5,7
5	1,8	1,7	6,6	6,2
6	0,03	0,05	0,12	0,17
7	0,8	0,5	2,9	1,7
8	0,9	0,7	3,3	2,5

3.3 Carbono en la pastura

Las pasturas relevadas en el sitio de estudio fueron: *Gatton panic*, *Buffel grass*, *Brachiaria decumbens*, *Digitaria eriantha*, *Cynodon sp*, *Desmanthus virgatus*. El promedio de longitud total de la pastura fue de 23,92 cm bajo sol y 37,70 cm bajo sombra, esto pudo deberse a que el ganado mayor por lo general pastorea a pleno sol.

El promedio de biomasa en pastura fue de 1,8 t/ha bajo sombra y 0,6 t/ha bajo sol. En la Parcela 1 el suelo se encontró totalmente descubierto, sin presencia de pasturas (Figura 4). También pudo observarse en las demás parcelas que el contenido de carbono bajo sombra fue mayor al contenido de carbono bajo sol. Esto podría deberse a que en la condición bajo sombra, se encuentra una mayor cantidad de biomasa acumulada.

Valores superiores fueron obtenidos por Brítez (2015), quien estimó el contenido de carbono en un sistema integrado de producción en el Chaco paraguayo, obteniendo un valor promedio de 2,76 tC/ha.

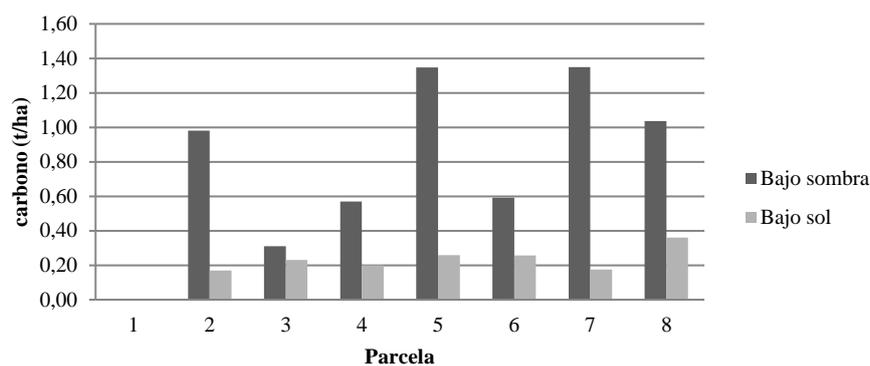


Figura 4. Carbono en pastura, Chaco Central.

La estadística comparativa, mediante la prueba T de Student, con un nivel de confianza del 99 %, indicaron que existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la pastura bajo sol y bajo sombra.

Ríos (2014), sostiene que la producción de biomasa de tres gramíneas bajo diferentes niveles de sombra, concluyendo que el nivel de sombra ejerció influencia en la producción de biomasa, siendo mayor la producción de biomasa a mayor nivel de sombra.

3.4 Carbono en el suelo

El contenido de materia orgánica acumulado en el suelo es significativamente mayor en la condición bajo sombra de árboles, presentado un promedio de 3,6 % considerado como alto, frente a un promedio de 2,3 % (contenido medio) en condiciones de pleno sol, en los primeros 10 centímetros del suelo. Al mismo tiempo tal como se observa en la Tabla 5, el contenido de materia orgánica disminuye conforme aumenta la profundidad, de 10 a 30 cm. En la condición de cielo abierto la media fue de 1,1 % (contenido bajo) y bajo los árboles 1,4 % (contenido medio).

Estos resultados se relacionan con el contenido de biomasa en pastura bajo sombra el cual fue mayor que a pleno sol.

Asimismo, el contenido de carbono orgánico disminuye con la profundidad, y es mayor en la condición de sombra.

Tabla 5. Porcentaje de la Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico (CO)

Condición	MO (%)	MO (%)	CO (%)	CO (%)
	0-10 cm	10-30 cm	0-10 cm	10-30 cm
Sol	1,78	1,08	1,04	0,63
Sol	1,57	0,83	0,91	0,48
Sol	1,38	0,53	0,81	0,31
Sol	4,47	1,94	2,6	1,13
Sombra	3,24	1,77	1,89	1,03
Sombra	4,05	1,63	2,36	0,95
Sombra	3,72	1,52	2,16	0,89
Sombra	3,2	0,79	1,86	0,46

Según Gamarra *et al.* (2018) en su estudio de relación del contenido de carbono/nitrógeno en suelos del Chaco Central paraguayo, el contenido de materia orgánica del suelo no presenta diferencias significativas entre condiciones de sol y sombra, pero las diferencias son significativas cuando se comparan las profundidades de muestreo.

En la condición bajo sombra, se encontraron los mayores contenidos de carbono (Figura 8). Ibrahim y Pezo (1999), mencionan que las concentraciones de C en el suelo disminuyen con la profundidad y con la distancia a los árboles. Esto pudo corroborarse (Tabla 4) puesto que una mayor cantidad de carbono se concentró en los primeros 10 cm, mientras que a partir de los 10 cm a 30 cm el contenido de carbono se redujo prácticamente a la mitad.

Brítez (2015) estimó el contenido de carbono en un sistema integrado de producción en el Departamento de Presidente Hayes en el Chaco paraguayo obteniendo un contenido de carbono en el suelo de 42,14 tC/ha en los primeros 30 cm.

3.5 Contenido de Carbono en el sistema silvopastoril

Aplicando la estadística comparativa T de Student, con un nivel de confianza del 99 % los resultados demostraron que no existen diferencias significativas entre las metodologías utilizadas para el sitio bajo estudio.

Brítez (2015) estimó el aporte de carbono de los componentes de un sistema silvopastoril (carbono aéreo forestal, pastura, suelo) obteniendo como resultado 65,95 tC/ha.

SEAM (2016) para el Chaco seco en un sistema silvopastoril constituido por pastos de las especies *Panicum maximum cv Gatton* (Gatton panic) y árboles de *Prosopis alba* obtuvo valores de 1,86 tC/ha en carbono sobre el suelo y radicular (biomasa arbórea viva, biomasa arbustiva y herbácea) y 81,81 tC/ha en el suelo.

En la se observa que en promedio el suelo es el componente que mayor contenido de carbono aporta al sistema con 95 %, seguido por el componente arbóreo con 4 % y por último la pastura con apenas 1 % (Figura 5).

Resultados similares fueron obtuvieron por Orrala y Guiracocha (2009) en sistemas silvopastoriles de Ecuador donde el 95,75 % se encontró en el suelo, el 3,99 % en el pasto y solo el 0,26 % en los árboles, mientras que SEAM, (2016) considerando dichos reservorios de carbono, los mayores valores fueron encontrados en el suelo, representando una proporción promedio del 95 %.

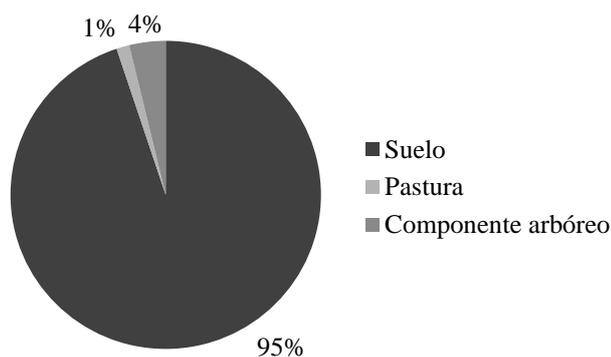


Figura 5. Porcentaje del aporte de carbono de los componentes al sistema silvopastoril, Chaco Central.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a la metodología aplicada se puede concluir que la cantidad de individuos fue de 31 individuos por ha. Las especies encontradas fueron en su mayoría *Prosopis alba* y *Prosopis nigra*, y en menor medida *Prosopis kuntzei*.

El área basal para el sistema estudiado fue de 0,3 m²/ha, con un volumen de 1,5 m³/ha. Con respecto a la biomasa total, se obtuvo aproximadamente 2 t/ha mediante la aplicación de la metodología del IPCC (2006) y la ecuación alométrica de Sato *et al.*, (2015) no encontrándose diferencias significativas entre ambas.

La prueba T de Student permitió corroborar que no existen diferencias significativas entre los valores de carbono para el componente arbóreo mediante la utilización de ambas metodologías, obteniéndose un valor de carbono almacenado de aproximadamente 1 tC/ha.

Tanto la biomasa como el carbono almacenado en las pasturas y suelo fue mayor bajo sombra que a pleno sol. El suelo es el componente que mayor aporte realiza al sistema.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brítez, C. 2015. *Estimación de contenido de carbono en un sistema integrado de producción en el Departamento de Presidente Hayes, Chaco paraguayo*. Tesis. San Lorenzo, PY. Facultad de Ciencias Agrarias. UNA. 81 p.
- Brown, S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer: FAO forestry paper - 134* [en línea]. Roma. [fecha de consulta: marzo 2016]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm>
- Camperchioli, P. 2015. *Estimación del contenido de carbono en la cobertura vegetal y en el suelo de una formación mesoxerófitica, Chaco paraguayo*. Tesis Ing. For. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Forestal, FCA. UNA. 126 p.
- Carranza, C.A.; M. Ledesma. 2009. *Bases para el manejo de sistemas silvopastoriles* [en línea]. [fecha de consulta: setiembre 2015]. Disponible en: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/ManejoSistemasSilvopastoriles.pdf>
- Díaz, Z; L. Piedrahita. 2007. Como diseñar estrategias para el manejo de plantas de interés para la conservación en paisajes ganaderos. *Agroforestería en las Américas* (45):117-122.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2009. *The State of Food and Agriculture - Livestock in the Balance*. Food and Agriculture Organization of the United.
- Fisher, M. J.; I. M. Rao; C. E. Ayarza; C. E. Lascano; J. I. Sanz; R. J. Thomas; R. R. Vera. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*. 238p.
- Gamarra, C.; M. Díaz Lezcano; M. Vera de Ortíz; M. Galeano y A. Cabrera Cardús 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- Glatzle, A. 1999 *Compendio para el manejo de pasturas en el Chaco*. Asunción PY, El lector. 188p.
- Harvey, C. A; C. Villanueva; J. Villacís; M. Chacón; D. Muñoz; *et al.* 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería de las Américas* 10 (39-40): 30-39.
- Ibrahim, M.; D. Pezo. 1999. *Sistemas Silvopastoriles*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 276 p. (Materiales de enseñanza, N° 44).
- IPCC 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.

- Ivancich, H; P. Martínez; P. Peri; E. Soler; M. Lencinas. 2011. *Primeros resultados de raleos en bosques de Nothofagus antarctica para el manejo silvopastoril en tierra del fuego. Argentina* [en línea]. [Fecha de consulta: septiembre 2016]. Disponible en: <http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/26807-2.pdf>
- López, J. A.; E. L. Little E Junior; J. G. F. Ritz; J. S. Rombold; W. Hahn. 2002. *Árboles comunes del Paraguay. Nandeyvyramatakuéra*. 2^{da} ed. Paraguay: Cuerpo de Paz / Colección e Intercambio de Información. 458 p.
- Luccerini, S; E. Subovsky; E. Borodowski. 2008. *Sistemas silvopastoriles: una alternativa productiva para nuestro país*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. [en línea]. [fecha de consulta: septiembre 2016]. Disponible en: http://www.agro.uba.ar/apuntes/no_8/sistemas.htm
- Missouri Botanical Garden. 2016. *Plant Science* [en línea]. [fecha de consulta: noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.missouribotanicalgarden.org>
- Orrala, B; G. Guiracocha. 2009. *Almacenamiento de Carbono en dos sistemas silvopastoriles instalados en Quevedo provincia de los ríos* [en línea]. [fecha de consulta: septiembre 2015]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/859?mode=full>
- Reyes, G; S. Brown; J. Chapman; A. Lugo. 1992. *Wood densities of tropical tree species*. Southern Forest Experiment Station. New Orleans, USA: United States of Department of Agriculture. 18p.
- Ríos, J. 2014. *Implementación de una unidad familiar de producción sostenible para el trópico húmedo*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 189 p.
- Santacruz, C. 2015. *Estimación de carbono en cobertura vegetal en la ecorregión Chaco seco del departamento de Presidente Hayes*. Tesis Ing. For. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Forestal, FCA. UNA. 56 p.
- SEAM (Secretaría del Ambiente). Elizeche, K (coord.); Mandelburger, D; Fariña, D; Estigarribia, E; Monges, C; González, D; De Lemos, R; Bogado, K (colab). 2016. *Desarrollo de capacidades para mejorar la toma de decisiones relacionadas con el medio ambiente*. Paraguay. SEAM. 122 p.
- Sato, T; M. Saito; D. Ramírez; L. Molas; J. Toriyama; et al. 2015. *Development of allometric equation for tree biomass in forest ecosystem in Paraguay*. Paraguay. FFPRI, FCA-UNA, INFONA. 25p.
- Uribe F.; A. F. Zuluaga; L. Valencia; E. Murgueitio; A. Zapata; L. Solarte. 2011. *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles*. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, Banco Mundial, FEDEGAN, CIPAV, Fondo Acción, TNC. Bogotá, Colombia. 78p. ISBN 978-958-8498-35-5.
- Viana, V; M. Maurício; R. Machado; I. Pimenta. 2002. *Manejo de la regeneración natural de especies arbóreas nativas para la formación de sistemas silvopastoriles en las zonas de bosques secos del sureste del Brasil* [en línea]. [fecha de consulta: octubre 2016]. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6362s/x6362s00.pdf>
- Wolf, A. 2004. Fifty-year record of change in tree spatial patterns within a mixed deciduous forest. *For Ecol Manage* 215: 212-223
- Yepes, A. P.; D. A. Navarrete; A. J. Duque. 2011. *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbón en Colombia*. Bogotá, Co. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM. 162p.

