



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>

Artículo

Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo

Carbon/nitrogen ratio in soils of silvopastoral systems in the Paraguayan Chaco

Cynthia Carolina Gamarra Lezcano^{1*}, Maura Isabel Díaz Lezcano¹, Mirtha Vera de Ortíz¹, María del Pilar Galeano¹ y Antero José Nicolás Cabrera Cardús¹

Abstract:

The silvopastoral system renders the livestock production more sustainable because the interaction between its components brings benefits to the soil, to the grassland, livestock and trees; furthermore, it enhances the productivity and the diversification of production. To know the characteristics of these systems, a study was carried out in private properties located in the Paraguayan Chaco, where eight permanent plots of 1 ha each were established in which all *Prosopis* spp. (carob) individuals were measured and identified, and samples were drawn from grasslands of subplots located beneath the canopy of the trees and beyond to compare their biomass; soil samples were also obtained under the same conditions, at two different depths —0 to 10 cm and 10 to 30 cm— with the purpose of comparing the content of organic matter and carbon/nitrogen ratio (C/N). The arboreal component consisted of *Prosopis alba* (white carob tree) and *Prosopis nigra* (black carob tree), in association with cultivated grassland composed mostly by *Panicum maximum* cv *Gatton panic* (Gatton Panic), *Digitaria decumbens* (Pangola grass), and *Cenchrus ciliaris* (Buffel grass). The presence of the carob trees influenced the biomass of the grassland, which was more abundant beneath the tree crowns than outside of them. The organic matter in the soil exhibited no significant differences between the conditions of sun and shade, but it differed between depths; in contrast, the C/N ratio did not change under any of the conditions.

Key words: Carbon/Nitrogen ratio, organic carbon, Paraguayan Chaco, organic matter, silvopastoral system, soil.

Resumen:

El sistema silvopastoril permite que la producción ganadera sea más sustentable, porque la interacción entre sus componentes aporta beneficios al suelo, a la pastura, al ganado y a los árboles; además de, un aumento en la productividad y la diversificación de la producción. Para conocer las características de dichos sistemas, se llevó a cabo un estudio en propiedades privadas ubicadas en el Chaco Paraguayo, donde se instalaron ocho parcelas permanentes de 1 ha cada una, en las que se midieron todos los individuos de *Prosopis* spp. (algarrobo), se identificaron y extrajeron muestras de pastura de subparcelas situadas bajo la copa de los árboles y fuera de ella para comparar su biomasa; también se obtuvieron muestras de suelo en las mismas condiciones, a dos profundidades: de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm, con el propósito de comparar el contenido de materia orgánica y la Relación Carbono/Nitrógeno (C/N). El componente arbóreo estaba integrado por *Prosopis alba* (algarrobo blanco) y *Prosopis nigra* (algarrobo negro) asociados a pastura cultivada compuesta en forma mayoritaria por *Panicum maximum* cv *Gatton panic* (*Gatton panic*), *Digitaria decumbens* (pasto pangola) y *Cenchrus ciliaris* (pasto buffel). La presencia de los algarrobos influyó sobre la biomasa de la pastura, pues sus registros fueron mayores bajo las copas que fuera de estas. La materia orgánica en el suelo no presentó diferencias significativas entre condición de sol y de sombra, pero sí al variar la profundidad; en cambio, la Relación C/N no varió en ninguna de las condiciones.

Palabras Clave: Carbono/nitrógeno, carbono orgánico, Chaco Paraguayo, materia orgánica, sistema silvopastoril, suelo.

Fecha de recepción/Reception date: 25 de julio de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 15 de diciembre de 2017.

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Campus de San Lorenzo. Paraguay.

*Autor por correspondencia, correo-e: cynthiag_011@hotmail.es

Introducción

El cambio de uso del suelo para la expansión de cultivos y pastoreo es la principal causa de deforestación en América Latina. Con la remoción de la cobertura boscosa, los suelos quedan expuestos a la erosión y pueden ser estériles en menos de 10 años (Steinfeld, 2009).

A nivel nacional, en el Chaco Paraguayo se consolidó el modelo ganadero semintensivo. Debido a las condiciones edafoclimáticas de esta región es importante un manejo cuidadoso de sus recursos para lograr el aumento de la productividad; por lo anterior, los sistemas silvopastoriles representan una estrategia sustentable de aprovechamiento (Laneri 1993; Jobbágy *et al.*, 2011; Bazoberry, 2012).

El sistema silvopastoril ayuda a mejorar la productividad, la rentabilidad y la sustentabilidad de la explotación, al combinar especies leñosas con pastura y animales de producción, ya que aportan condiciones que permiten el bienestar animal, así como la protección del suelo contra la erosión y la compactación; mejora su fertilidad a través del ciclaje y transporte de nutrientes, desde el subsuelo hasta la copa; y la acumulación de materia orgánica superficial.

Los sistemas silvopastoriles del Chaco Paraguayo incluyen a *Prosopis* spp., componente de gran importancia en la estructura arbórea y arbustiva de zonas áridas y semiáridas. Es una leguminosa capaz de fijar nitrógeno atmosférico, gracias a la asociación que se produce entre las bacterias del género *Rhizobium* y sus raíces, este factor produce un impacto positivo en la digestibilidad y contenido de proteína de las pasturas (Sammartino, 2011).

En cuanto al contenido de materia orgánica, es más importante la velocidad y el equilibrio entre procesos de mineralización y humificación que está condicionado por la actividad microbiana en el suelo que el contenido total de esta. Para conocer la velocidad de proliferación de microorganismos y la rapidez con que la materia orgánica se mineraliza, se utiliza la relación entre el carbono orgánico y nitrógeno total (Fuentes, 1999).

La Relación C/N es un índice de la calidad del sustrato orgánico del suelo. Indica la tasa de nitrógeno disponible para las plantas; valores altos implican que la materia orgánica se descompone lentamente, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, por lo que no puede ser utilizado por los vegetales; en cambio, valores entre 10 y 14 corresponden a una mineralización y ruptura de tejidos rápida, ya que la actividad microbiana se estimula, hay nutrientes suficientes para los microorganismos y para los vegetales. Además, la Relación C/N de bacterias y hongos del suelo es menor a 15, lo que implica que con valores bajos de C/N los microorganismos serán más eficientes en la descomposición de la materia orgánica.

La importancia del presente trabajo radica en que en el Chaco paraguayo las experiencias de beneficios del manejo de esta especie en sistemas silvopastoriles son escasas y aisladas. La investigación constituye una de las primeras aproximaciones al conocimiento sobre fertilidad de suelos en sistemas silvopastoriles del Chaco Central.

El objetivo fue analizar la Relación C/N en suelos bajo sistemas silvopastoriles asociados a *Prosopis* spp. del Chaco Central Paraguayo, y para ello se caracterizó la composición arbórea y de la pastura dentro del sistema, se evaluó el efecto de dos condiciones de insolación sobre la biomasa de la pastura, se comparó el contenido de materia orgánica y la relación carbono nitrógeno bajo dos condiciones de insolación y a dos profundidades; además, se evaluó la velocidad de descomposición de la materia orgánica a través de la Relación C/N. La hipótesis planteada fue que existen diferencias significativas entre la Relación C/N en el sistema silvopastoril bajo diferentes condiciones de insolación y de profundidad.

Materiales y Métodos

El área de estudio está situada en los distritos Pirizal, Buena Vista y Teniente Primero Manuel Irala Fernández del departamento de Presidente Hayes; Filadelfia y Loma Plata del departamento de Boquerón de la Región Occidental del Paraguay, ubicada entre los paralelos 20°05' y 23°48' de latitud sur y 62°40' y 59°20' de longitud al oeste de *Greenwich*. Se localiza a 420 km de la ciudad de Asunción; limita al noreste con Alto Paraguay, al sur con la Región Oriental del país y al suroeste con la República Argentina, su límite natural es el río Pilcomayo, que baña la región sur del departamento con afluentes no navegables, pero importantes para el riego. Constituye un área de campos abiertos de vegetación espinosa y de tunas (DGEEC, 2002).

La temperatura media es de 26 °C y lluvias de verano (de diciembre a marzo), en forma de chaparrones localizados y muy intensos, la precipitación media mensual más alta ocurre en diciembre (115 mm) y la más baja en julio (15 mm) (Vera et al., 2000; Naumann, 2004).

De acuerdo a la clasificación de suelos de la FAO (1988), en esta zona son luvisoles, entre los 30 y 70 cm de profundidad están enriquecidos con arcillas, pH neutro o ligeramente alcalino, cuya alcalinidad aumenta con la profundidad; normalmente son ricos en fósforo (78 ppm), potasio(1.4 mval 100 g⁻¹) y magnesio (3.1 mval 100 g⁻¹) (Glatzle, 1999).

El trabajo consistió en la determinación del aporte del algarrobo a la materia orgánica del suelo a través del análisis de la Relación C/N; para ello, se instalaron ocho parcelas permanentes en diferentes propiedades con potreros bajo manejo silvopastoril. Cada parcela cuenta con una superficie de 1 ha, en las que se identificaron todas las especies arbóreas y de pastura presentes. Se midieron todos los individuos de algarrobo, desde brinzales y latizales (a partir de 1 m de altura) hasta los individuos adultos (DAP>10) y la pastura.

Para la extracción de las muestras de pasto, se establecieron al azar ocho subparcelas de 1 m × 1 m dentro de cada parcela: cuatro bajo influencia directa de la copa de algarrobos y cuatro fuera de su influencia directa.

Para el análisis de suelo, se obtuvieron cuatro muestras compuestas por condición (bajo la influencia de la copa de los algarrobos y fuera de ella), a dos profundidades (de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm), estas fueron embolsadas, etiquetadas y llevadas al laboratorio del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción para la determinación de carbono orgánico. Los resultados se utilizaron para calcular materia orgánica, contenido de nitrógeno total y la Relación C/N, con la finalidad de estimar la fertilidad del suelo.

Una vez instaladas las parcelas, se procedió a etiquetar con chapas metálicas los algarrobos presentes, a los que se les midió el DAP o DAC: DAP a 1.30 m del suelo, en individuos adultos y DAC en regeneraciones <10 cm; y la altura total. Los datos se registraron en una planilla, y la ubicación de cada individuo fue georreferenciada con un GPS *Garmin*® *GPSMAP*® 62ac. En el Cuadro 1 se exponen los cálculos para el componente leñoso.

Cuadro 1. Variables dasométricas calculadas.

Variable	Fórmula	Referencias
Área Basal (m ²)	$g = (\pi D^2) \div 4$	$\pi = 3.1415$ $D = \text{Diámetro(m)}$
Volumen total (m ³)	$VT = g * h * ff$	$g = \text{Área basal(m}^2\text{)}$ $h = \text{Altura(m)}$
Biomasa total (t ha ⁻¹)	$**_{BT} = 0.2733 * (h * D^2)^{0.8379}$	$ff = \text{Factor de forma (0.8389)*}$

* = Factor de forma para algarrobo propuesto por Quinteros (2001);

** = Ecuación alométrica propuesta por Sato *et al.* (2015) para el Chaco Seco.

El contenido de carbono orgánico se determinó a través del método *Walkley -Black*, para calcular el contenido de materia orgánica, nitrógeno total y la Relación Carbono/Nitrógeno, con las fórmulas propuestas en la literatura (Plaster, 2000; Thompson y Troeh 2002; Porta et al., 2014). En el Cuadro 2 se presentan las variables calculadas a partir del resultado del análisis de laboratorio

El muestreo de pastura dentro de cada parcela de 1 ha, se hizo en subparcelas de 1 m × 1 m: cuatro bajo copa del algarrobo, a 1 m del fuste; cuatro fuera de la influencia directa de la copa de los árboles; se procedió a medir y registrar la altura total, longitud de raíz y peso fresco de las muestras extraídas.

Cuadro 2. Variables calculadas a partir del análisis de suelo.

Variable	Fórmula	Referencias
C.O (T.ha ⁻¹)	$C.O = (V * Da * CO.(\%))/1000$	$V = \text{Volumen de suelo}$
Materia orgánica (%)	$M.O = C.O(\%) * 1.72$	$Da = \text{Densidad aparente}$
Nitrógeno total (%)	$N.T = M.O * 0.05$	$C.O = \text{Carbono orgánico}$
Nitrógeno total(T.ha ⁻¹)	$Nt = (V * Da * Nt (\%))/1000$	$M.O = \text{Materia orgánica}$
Relación C/N	$C/N = C.O/N.T$	

•=Porta et al., 2014; ** = Se considera que el contenido de nitrógeno es 5 % del contenido de materia orgánica (Plaster, 2000); *** = Densidad aparente considerada: 1 243 kg m⁻³ (de 0 a 10 cm de profundidad) 1 225 kg m⁻³ (de 10 a 30 cm de profundidad).

El estudio implementado fue de tipo exploratorio, el cual es descrito para adquirir conocimientos sobre un tema poco investigado, obtener información para realizar una investigación más completa y establecer prioridades para investigaciones futuras (Hernández, 2010).

Resultados y Discusión

Caracterización del área de estudio

Una herramienta importante para la toma de decisiones sobre el manejo de los árboles es el conocimiento sobre la distribución diamétrica de la población en estudio (Cao, 2004).

Para conocer la composición florística y la distribución diamétrica en las parcelas analizadas, a continuación se presenta una descripción de todos los árboles existentes, la distribución diamétrica de los individuos medidos, las especies de pasto registradas; además de, una descripción general de las características observadas.

Las copas de los algarrobos cubren, en promedio 13 % de la superficie total de cada parcela; la distribución espacial de los individuos fue aleatoria con tendencia a formar conglomerados con un distanciamiento promedio de 9 m. Estos datos son importantes porque permiten 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.

Las clases diamétricas para indicar la distribución de los individuos son las siguientes: Clase 1: $DAP < 10$; Clase 2: de 10 a 19 cm DAP; Clase 3: de 20 a 29 cm; Clase 4: 30 a 39. En la Figura 1 se muestra la distribución diamétrica de los 246 individuos medidos.

De los algarrobos registrados (245 individuos en total), 130 individuos (53 %) corresponden a la categoría de regeneración, con un $DAP < 10$ cm, y los 115 restantes (47 %) tuvieron en promedio 16 cm de DAP, por parcela se midieron, en promedio, 31 ejemplares.

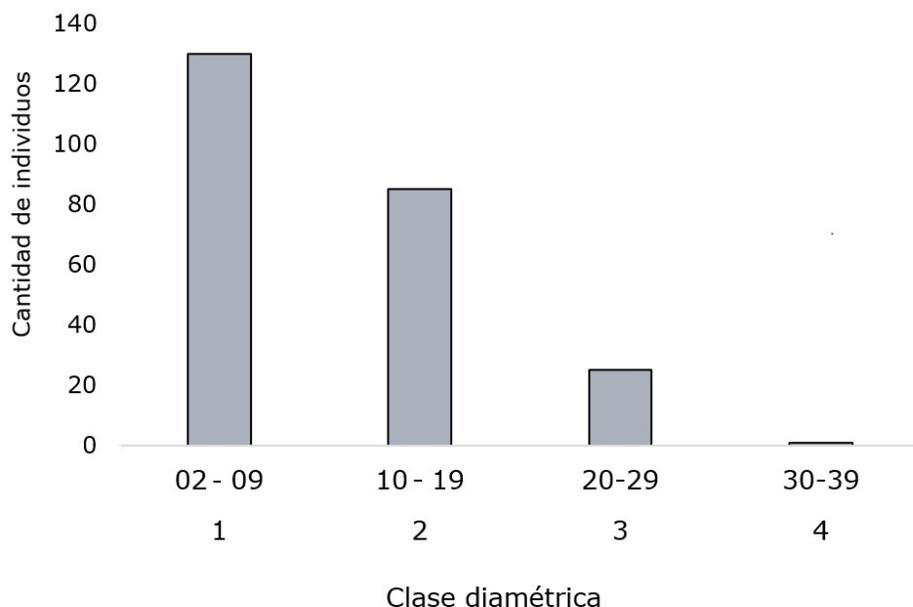


Figura 1. Distribución diamétrica de todos los algarrobos medidos. Chaco Central (diciembre 2015).

En coincidencia con lo expresado por Glatzle (2004), quien dice que el establecimiento de regeneraciones de algarrobos (*Prosopis alba* Griseb., *P. nigra* Hieron. o *Prosopis kuntzei* Harms) con una densidad de 20 hasta 50 árboles por hectárea, en pasturas degradadas puede tener beneficios ecológicos, pues la mayor acumulación de materia orgánica bajo sus copas contribuye a incrementar el rendimiento de las pasturas para el ganado.

Área basal. De Arruda Veiga (1984) indica que el conocimiento del área basal de una población es primordial para estimar el volumen y determinar la densidad de la población; al respecto, las parcelas instaladas tenían, al momento de la medición, en promedio 31 individuos de *Prosopis* spp. por hectárea, entre las cuales destacó con más presencia *Prosopis alba* (algarrobo blanco), seguido por *Prosopis nigra* (algarrobo negro). En la Figura 2 se exhiben los valores de área basal, con un promedio de $0.34 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, el valor mínimo de $0.02 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$

correspondió a la parcela 6 y el máximo, de $0.64 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ a la parcela 5. En la Figura 2 se presenta el promedio de área basal de algarrobos por hectárea.

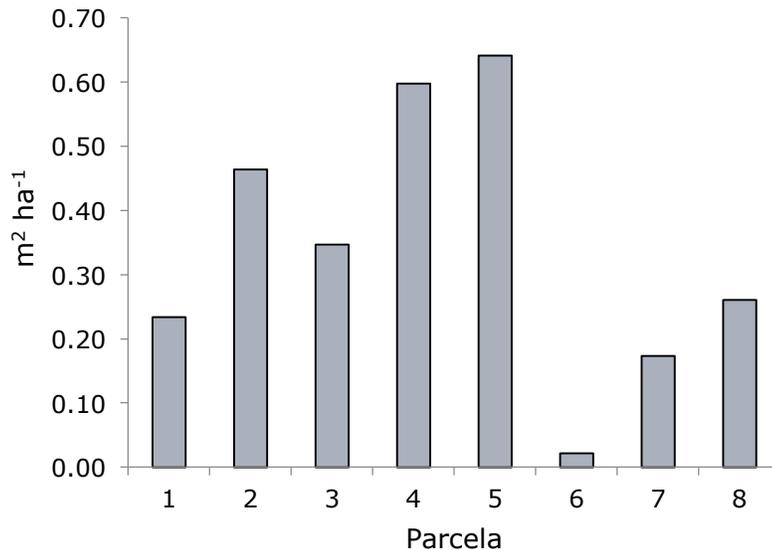


Figura 2. Promedio de área basal de los algarrobos por hectárea. Chaco Central (diciembre 2015).

En la parcela 6 se midieron 35 algarrobos, en su totalidad fueron regeneraciones que, en promedio, tenían 2.6 cm de DAC. En cambio, los 30 individuos de la parcela 5 registraron un DAP de 16 cm; es decir, eran árboles adultos.

Valores similares estimaron Senilliani y Navall (2005) en una plantación de *Prosopis alba* de 4.5 años de edad, con una densidad de 555 árboles por hectárea, y área basal de $0.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

Kees *et al.* (2015) citan valores superiores en el Chaco Argentino en un sistema silvopastoril compuesto por una plantación de algarrobos, con una densidad de 150 árboles por ha; asociada a *Panicum maximum* Jacq., el área basal de los árboles de 10 años de edad fue, en promedio, $5.62 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y a los 14 años de $8.07 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

Volumen. Es importante conocer el volumen de madera producido en potreros, bosques o plantaciones para adquirir conocimientos técnicos forestales sobre el desarrollo de los individuos y para que los productores conozcan la cantidad de madera que pueden obtener y comercializar (Ordoñez *et al.*, 2012).

El volumen estimado en las parcelas de estudio fue, en promedio, de $1.59 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; el valor máximo se obtuvo en la parcela 2, conformada por individuos de algarrobo blanco en su totalidad, con un DAP promedio de 13.15 cm, 6 m de altura y un volumen de $2.75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; el valor mínimo se estimó en la parcela 6, con $0.035 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, formada por regeneraciones de algarrobo negro, con un DAP y altura promedio de 2.66 cm y 1.76 m, respectivamente (Figura 3).

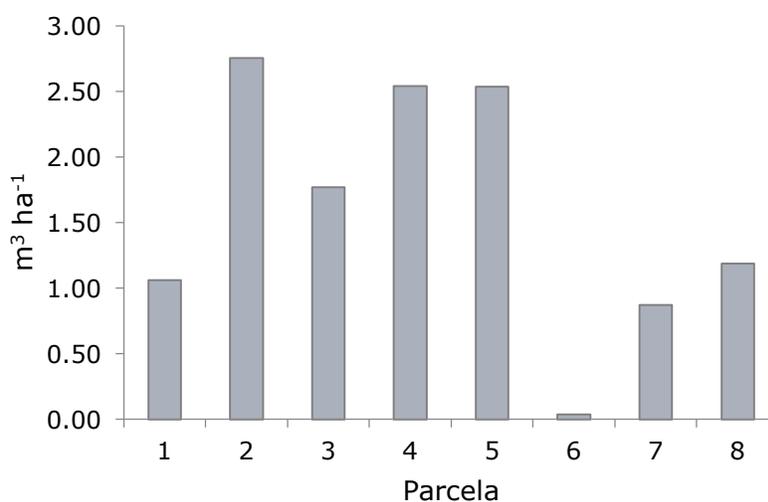


Figura 3. Volumen de algarrobos por hectárea. Chaco Central (diciembre 2015).

En una evaluación de sistemas silvopastoriles con tres especies de algarrobo (*Prosopis nigra*, *Prosopis affinis* Spreng. y *Prosopis vinalillo* Stuck.) implementados en el Chaco Húmedo, departamento Presidente Hayes, en la estancia Maroma, en una parcela de 125 m × 80 m, el volumen calculado fue en promedio $2.79 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Arano y De Egea, 2014).

Biomasa total del estrato arbóreo. La biomasa aérea incluye todo lo que se encuentre sobre el suelo, como fuste, ramas y hojas (Yepes *et al.*, 2011). En ese sentido, la biomasa del componente arbóreo del sistema fue de 2 t ha^{-1} , en promedio (Figura 4), valor superior al registrado por Ibrahim *et al.* (2007), en árboles con $\text{DAP} \geq 5$ con menos de 30 individuos presentes por hectárea,.

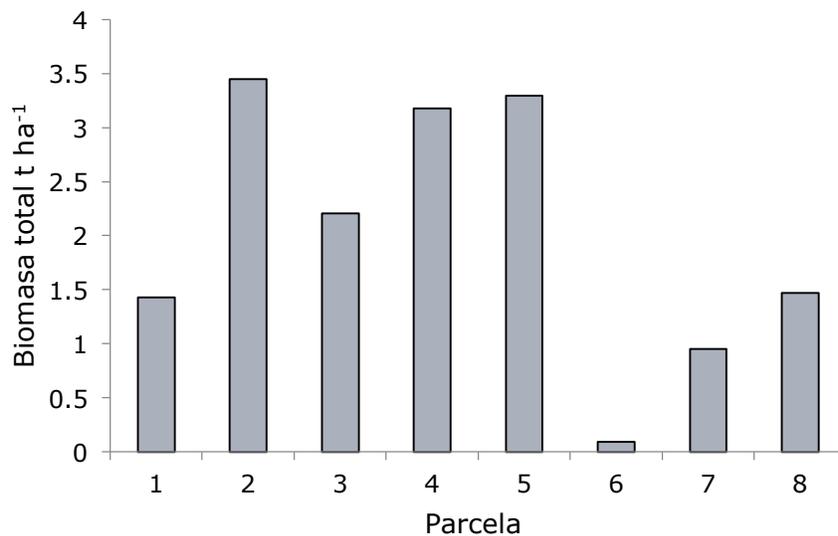


Figura 4. Biomasa total del componente arbóreo. Chaco Central (2015).

Biomasa de la pastura

Los valores variaron según su exposición a la insolación, esto referido a la cobertura de copa de los árboles de algarrobo.

Los pastos identificados con mayor frecuencia fueron *Gatton panic*, *Pangola* y *Buffel*, en menor proporción se registraron el pasto Estrella y *Urochloa*.

Los algarrobos influyeron en el desarrollo de la biomasa de la pastura, ya que hubo diferencias significativas entre las muestras extraídas bajo la copa del algarrobo y las que se localizaban fuera de la copa, según la comparación por el método *t* de *Student* con datos de parcelas no apareadas, a un nivel de confianza de 95 %.

La biomasa de la pastura localizada fuera de la proyección de la copa del algarrobo tuvo un valor promedio de 0.46 t ha^{-1} ; en cambio, la media de la biomasa de la pastura bajo la copa equivale a 1.65 t ha^{-1} , en promedio (Figura 5).

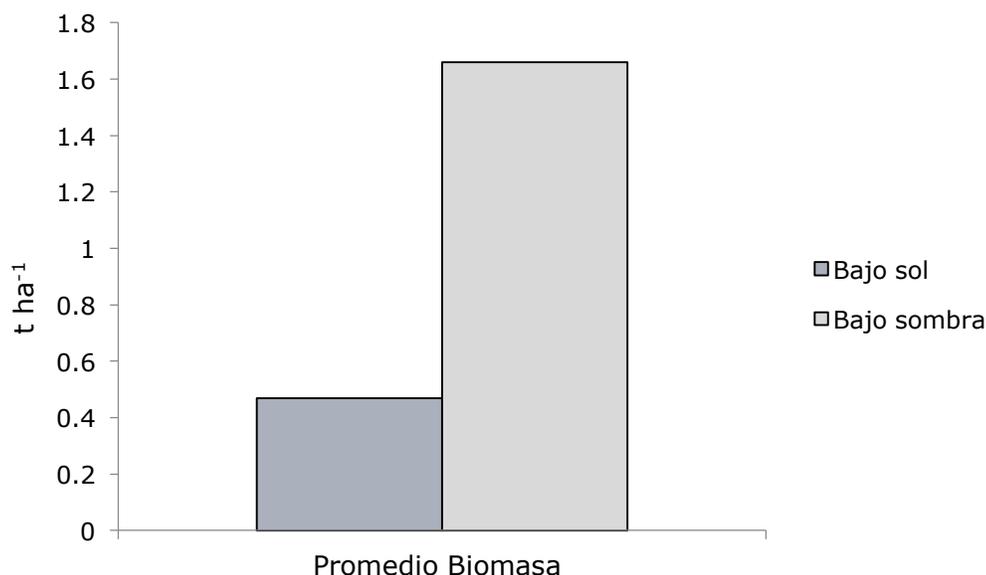


Figura 5. Biomasa de pastura en promedio bajo dos condiciones de insolación. Chaco Central (diciembre 2015).

Valle *et al.* (2004) señalan valores mayores (3.5 t ha^{-1}) de biomasa en pasto *Buffel* de 3.5 meses de edad, asociadas a *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth (árbol perteneciente a la familia de las leguminosas) en una parcela de 500 m^2 ubicada en Miacatlán, Morelos, México.

Ibrahim *et al.* (2001) expusieron que *Panicum maximum* tuvo mayor contenido de biomasa (2.98 t ha^{-1}) al asociarse con *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F.Cook, comparada a 2.07 t ha^{-1} de biomasa producida por la pastura, cuando no está asociada a dicha especie leñosa.

Propiedades químicas del suelo

Contenido de materia orgánica. La materia orgánica está constituida por restos de animales y plantas (provenientes de hojas caídas, troncos muertos, raíces de árboles o hierbas y residuos de cosecha) en varios estados de descomposición y cumple importantes funciones, además es un indicador de la calidad de los suelos pues condiciona sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Plaster, 2000; Porta *et al.*, 2014).

El contenido de materia orgánica del suelo en las parcelas estudiadas no presenta diferencias significativas entre condiciones de sol y sombra, pero las diferencias son significativas cuando se comparan las profundidades de muestreo (prueba *t* de Student a un nivel de confianza de 95 %). El promedio de biomasa con ambas condiciones de insolación se presenta en la Figura 6.

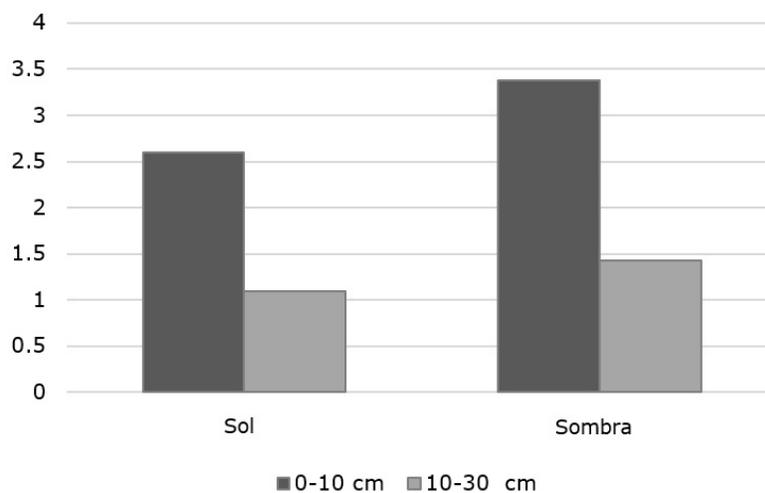


Figura 6. Promedio del contenido de materia orgánica en porcentaje bajo dos condiciones de insolación y a dos profundidades en sistemas silvopastoriles del Chaco Central (2015).

El valor promedio más elevado se dio en las muestras bajo sombra, en los 10 primeros centímetros del suelo, donde el valor fue de 3.38 % que se interpreta como un contenido alto de materia orgánica; bajo sol, fue de 2.6 % en los primeros 10 cm, el contenido de materia orgánica disminuyó bajo sol y en sombra a profundidades de 10-30 cm a 1.09 % y 1.43 %, respectivamente; el contenido de materia orgánica paso de ser medio y bajo a medida que aumentó la profundidad.

Esto coincide con la descripción de Thompson y Throeh (2013) quienes indican que la materia orgánica cubre la superficie del suelo, luego se descompone y se mezcla e incorpora a los 5-15 cm del suelo mineral, por la acción de la mesofauna que allí habita.

En cuanto al contenido porcentual de materia orgánica, valores cercanos fueron expuestos por Glatzle (1999) quien expuso que el contenido de materia orgánica bajo la copa del algarrobo fue 3.3 % y descendió a 2.4 % en zonas despejadas, sin cobertura de algarrobo, en un estudio realizado en el Chaco Central paraguayo.

Carbono orgánico. El suelo es un gran reservorio de carbono, su concentración presenta altas variaciones incluso en áreas de tamaño pequeño debido a la heterogeneidad de los suelos, condiciones climáticas, elementos geomórficos (Yepes et al., 2014).

El contenido de carbono orgánico total fue determinado en laboratorio a través del método *Walkley-Black*, el valor porcentual fue extrapolado a kilogramos y toneladas, considerando una densidad aparente del suelo de 1.24 g cm⁻³ y 1.25 g cm⁻³ para las profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm, respectivamente. En el Cuadro 3 se exponen los valores promedios hallados bajo las diferentes condiciones.



Cuadro 3. Contenido de carbono orgánico total.

Carbono orgánico total				
	Sol	Sombra	Sol	Sombra
	0-10 cm	0-10 cm	10-30 cm	10-30 cm
C.O (%)	1.5	1.97	0.63	0.83125
C.O (t ha ⁻¹)	18.6	24.4871	15.435	20.365625

El contenido total de carbono orgánico estimado en el suelo bajo la influencia directa de la copa del algarrobo en los primeros 30 cm del suelo fue de 44.85 t ha⁻¹ y fuera de la influencia de 34.03 t ha⁻¹.

Lok *et al.* (2013) consignan valores similares en un sistema silvopastoril con *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit de 8 años, con un contenido de carbono orgánico de 38.8 t ha⁻¹ en los primeros 35 cm del suelo.

Nitrógeno total. El nitrógeno es el principal elemento que aporta la materia orgánica para el crecimiento vegetal y es considerado un macronutriente primario, porque se usa en grandes cantidades por las plantas y su disponibilidad en el suelo no siempre es suficiente para un mejor crecimiento de las mismas (Plaster, 2000).

Se estimó el contenido de nitrógeno considerando que el contenido de este elemento forma 5 % de la materia orgánica. En el Cuadro 4 se presentan los valores promedios para cada condición.



Cuadro 4. Contenido de nitrógeno total en el suelo. Chaco Central (2015).

	Nitrógeno total			
	Sol 0-10 cm	Sombra 0-10 cm	Sol 10-30 cm	Sombra 10-30 cm
N (%)	0.129	0.163	0.0547	0.071
N (t ha ⁻¹)	1.603	2.033	1.34	1.75

El contenido de Nitrógeno total en los primeros 10 cm de suelo fuera de la influencia de la copa del algarrobo fue de 1.6 t ha⁻¹ y bajo sombra de 2.03 t ha⁻¹ y 1.34 t ha⁻¹ y 1.75 t ha⁻¹ de 10 a 30 cm de profundidad bajo sol y sombra, respectivamente.

Silberman *et al.* (2015) citan un contenido de nitrógeno similar en los primeros 15 cm del suelo con cobertura de *Gatton panic* (0.828 t ha⁻¹), y un valor superior (4.14 t ha⁻¹) en un sistema silvopastoril basado en la asociación de *Ziziphus mistol* Griseb. (mistol) (22 a 27 árboles ha⁻¹) con *Gatton panic*, en un estudio realizado en Santiago del Estero, Chaco árido de Argentina.

Relación Carbono/Nitrógeno. La materia orgánica de las parcelas presentó valores de 11.8 y 12.07 en suelos fuera de la influencia directa de la copa de los algarrobos, a una profundidad de 0-10 cm y 10-30 cm, respectivamente; en cuanto al suelo bajo influencia de los algarrobos, en los primeros 10 cm, se registró un valor de 11.6, y de 10 a 30 cm de profundidad 11.67.

No se obtuvieron diferencias significativas con la prueba *t* de *Student* para parcelas no apareadas (con una confianza de 95 %) entre condiciones de sol y sombra o variación de profundidad. El valor calculado indica que la materia orgánica es estable, de acuerdo con la descripción de Porta *et al.* (2014) para la materia orgánica, cuando el valor de la Relación C/N corresponde al intervalo de 10 a 14 (Figura 7).

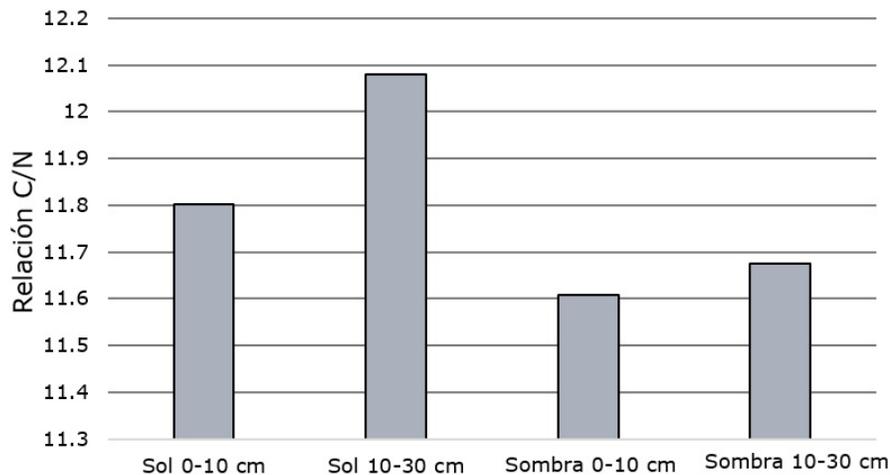


Figura 7. Relación C/N en las parcelas a dos profundidades y bajo dos condiciones de insolación. Chaco Central (2015).

Cuando la Relación C/N es de 10 a 14, se favorece la proliferación de microorganismos descomponedores de la materia orgánica, porque cuentan con suficiente carbono para utilizarlo como fuente de energía y nitrógeno para sintetizar sus proteínas, lo que estimula la mineralización de dicho elemento para ser aprovechado por los componentes vegetales del sistema.

Estos resultados concuerdan con los registros de East y Felker (1993), para la Relación C/N bajo *Prosopis glandulosa* Torr. var. *glandulosa*, de 12 a 14 en suelos abiertos; el primero puede atribuirse al incremento de la actividad microbiana que llevó a una mayor liberación de nitratos.

De acuerdo a lo indicado por González (2009), no se registraron diferencias significativas en la Relación C/N entre sistemas silvopastoriles y praderas naturales, ubicados en la Provincia de Chimborazo, Ecuador, la Relación fue de 11.6 y 11.3, respectivamente.

Conclusiones

El valor de la Relación C/N indica que la tasa de la mineralización es buena, ya que estimula la proliferación de microorganismos que mineralizan la materia orgánica, y en consecuencia, los nutrientes están disponibles para la pastura y el componente arbóreo del sistema.

Las condiciones de insolación y profundidad no causan variaciones en la descomposición de la materia orgánica, ya que la Relación C/N no presenta diferencias significativas, cuyo promedio es de 11.8 en los primeros 10 cm del suelo fuera de la influencia de la copa del algarrobo y 12.07, en la misma condición de 10 a 30 cm de profundidad, y bajo la influencia de la copa del algarrobo de 11.63 los primeros 10 cm y 11.7 de 10 a 30 cm.

Los valores evidencian que la velocidad a la que se descompone la materia orgánica es media en todas las condiciones analizadas; por lo que la hipótesis planteada se rechaza.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó en el marco del proyecto "Manejo Sustentable de Bosques en el Ecosistema Transfronterizo del Chaco" financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Cynthia Carolina Gamarra Lezcano y Maura Isabel Díaz Lezcano: trabajo de campo, análisis de resultados y redacción del manuscrito; Mirtha Vera de Ortíz y María del Pilar Galeano: análisis de resultados y discusión; Antero José Nicolás Cabrera Cardús: apoyo logístico y trabajo de campo.

Referencias

- Arano, F. y J. De Egea. (eds.). 2013. Conjugando producción y conservación en el Chaco paraguayo. Wildlife Conservation Society-AVINA. Asunción, Paraguay. 60 p.
- Arano, F. y J. De Egea. 2014. Experiencias innovadoras de producción sostenible en Paraguay. WCS-AVINA. Asunción, Paraguay. 70 p.
- Bazoberry, O. 2012. Chaco Boliviano Paraguayo: Desafío en perspectiva transfronteriza. <http://legacy.iica.int/Esp/organizacion/LTGC/Documentacion/BibliotecaVenezuela/Documents/Redacci%C3%B3n-Referencias-Bibliogr%C3%A1ficas.htm#Libros> (9 de octubre de 2015).
- Cao, Q. V. 2004. Predicting Parameters of a Weibull Function for Modeling Diameter Distribution. <http://www.rnr.lsu.edu/people/cao/2004%20Cao%20For%20Sci%2050-682-685.pdf> (2 de noviembre de 2016).
- De Arruda Veiga, R. A. 1984. Dendrometría e inventario florestal. Fefap. São Paulo, Brasil. 108 p.
- Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos (DGEEC). 2002. Atlas censal del Paraguay. DGEEC. Fernando de la Mora, Paraguay. 204 p.
- East, R. and P. Felker. 1993. Forage production and quality of 4 perennial grasses grown under and outside canopies of mature *Prosopis glandulosa* Torr. var. *glandulosa* (mesquite). <http://www.bashanfoundation.org/felker/felkergrasses.pdf> (17 de octubre de 2016).
- Fuentes, J. L. 1999. El suelo y los fertilizantes. 5ta ed. Madrid-ES. Mundi-Prensa. 352 p.
- Glatzle, A. 1999. Compendio para el manejo de pastura en el Chaco. El Lector. Asunción, Paraguay. 188 p.

Glatzle, A. 2004. Sistemas productivos en el Chaco Central Paraguayo. Características, particularidades. http://www.chaconet.com.py/inttas/projects/pdf/a_glatzle_sistemas_productivos.pdf (17 de octubre de 2016).

González, J. J. 2009. Evaluación de tres sistemas silvopastoriles para la gestión sostenible de los recursos naturales en la microcuenca del río Chimborazo. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/351/1/13T0645%20GONZALEZ%20JOSE.pdf> (3 de octubre de 2016).

Ibrahim, M., A. Schlonvoigt, J. Camargo and M. Souza. 2001. Multi-strata silvipastoral systems for increasing productivity and conservation of natural resources in Central America. <http://www.internationalgrasslands.org/files/igc/publications/2001/tema18-1.pdf> (17 de octubre de 2016).

Ibrahim, M., M. Chacón, C. Cuartas, J. Naranjo, G. Ponce, P. Vega, F. Casasola y J. Rojas. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45: 27-36.

Jobbágy, E., G. Baldi, J. Noretto, J. Mercau, F. Murray, P. Magliano, R. Giménez y C. Santoni. 2011. Uso de la tierra en el Gran Chaco y el caso de los menonitas en Paraguay. http://www.agrohidrollanuras.unsl.edu.ar/archivos/chaco_menonitas.pdf (2 de noviembre de 2015).

Kees, S., J. L. Chiossone, J. F. Michela, R. Viccini y J. J. Skoko. 2015. Contribución al conocimiento del ingreso bruto de un sistema silvopastoril en la provincia del Chaco. http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_contribucin_ingreso_buto_ssp_algarrobo_gatton.pdf (4 de noviembre de 2016).

- Laneri, J. 1993. Algunos aspectos de la productividad del ganado chaqueño criollo. https://books.google.com.py/books?id=WIx7BGGIT1EC&pg=PA135&dq=laneri+chaque%C3%B1o&hl=es&sa=X&ved=0CBoQ6AEwAGoVChMI8s_sjJHzyAIVxCQmCh38VQVd#v=onepage&q=laneri%20chaque%C3%B1o&f=false (29 de octubre de 2015).
- Lok, S., S. Fraga, A. Noda y M. García. 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación de ganado vacuno. www.redalyc.org/pdf/1930/193028545014.pdf (17 de octubre de 2016).
- Naumann, M., M. Madariaga, J. Adámoli, P. Herrera y S. Torrela (eds.). 2004. Atlas del Gran Chaco Sudamericano. GTZ (Sociedad alemana de cooperación técnica). Buenos Aires, Argentina. 95 p.
- Ordoñez, Y., H. Andrade, D. Quirós y G. Venegas. 2012. Dasometría y cubicación de la madera. *In*: Detlefsen, G. y E. Somarriba (eds.). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp. 27-67
- Plaster, E. J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Paraninfo. Madrid, España. 419 p.
- Porta C., J., M. López-Acevedo R. y R. M. Poch C. 2014. Edafología: Uso y protección de suelos. 3ª edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Quinteros, M. 2001. Determinación de factor de forma para las principales especies forestales del Chaco. CIF/FCA/UNA. San Lorenzo, Paraguay. 33 p.
- Sammartino, F. 2011. El algarrobo: Sombra, madera y carne. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/122-algarrobo.pdf (22 de agosto de 2015).
- Senilliani, M. y M. Navall. 2005. Plantación de *Prosopis alba* griseb. en el área de riego de la provincia Santiago del Estero. <http://fcf.unse.edu.ar/eventos/2-jornadas-forestales/pdfs/Parametros%20Dasometricos%20de%20plantaciones%20de%20Prosopis.pdf> (20 de octubre de 2016).

Silbermann, J. E., A. L. Anriquez, J. Domínguez, C. Kunts y A. S. Albanesi. 2015. La cobertura arbórea en un sistema silvopastoril del Chaco y su contribución diferencial al suelo. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672015000100003 (10 de noviembre de 2016).

Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales y C. de Haan. 2009. La larga sombra del ganado. <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf> (7 de diciembre de 2015).

Thompson, L. M. y F. R. Troeh. 2013. Los suelos y su fertilidad. 4ª edición. Reverté. Barcelona, España. 649 p.

Valle, J. L., J. M. Palma y G. L. Sagines. 2004. Biomasa y composición nutricional de la asociación *Cenchrus ciliaris-Gliricida sepium* al establecimiento. <http://www.ucol.mx/revaia/anteriores/anteriores/2004/VOL.2/Biomasa%20y%20composicion%20nutricional%20de%20la%20asociacion%20Cenchrus%20.pdf> (4 de noviembre de 2016).

Vera, V., O. Camé, F. Barboza, R. Ortiz, G. Terol, F. Fraccia, A. Van Humbeeck y V. Torreani (ed.). 2000. Iniciativa transfronteriza de conservación en el Chaco Paraguayo. TNC/DesdelChaco/USAID. Asunción, Paraguay. 160 p

Yepes, A., D. Navarrete, A. Duque, J. F. Phillips, K. R. Cabrera, E. Álvarez, M. E. García y M. F. Ordoñez (eds.). 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. IDEAM. Bogotá, Colombia. 162 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**—sin excepción— se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.