

Manejo de la regeneración de algarrobos integrados a sistemas silvopastoriles del Chaco Central Paraguay

Management of the regeneration of carob trees integrated into silvopastoral systems of the Paraguayan Central Chaco

Maura Isabel Díaz Lezcano¹, Higinio Moreno Resquín¹, Jorge Daniel Caballero Mascheroni¹, Esteban Isrrael Moreira-Rivas¹, José Manuel Gorostiaga Ovelar¹


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



10.57201/ieuna2413325

Sección: Artículo Original

*Autor correspondiente:
maura.diaz@agr.una.py

Editor de área:
Andrea Alejandra Arrúa Alvarenga 
Universidad Nacional de
Asunción. Centro Multidisciplinario
de Investigaciones Tecnológicas.
San Lorenzo, Paraguay

Editor invitado:

Guillermo Enciso , Centro de
Desarrollo e Innovación
Tecnológica (CEDIT)

Recibido:


20 de abril de 2023

Aceptado:

16 de junio de 2023

Recibido en versión modificada:

20 de junio de 2023

Este es un artículo publicado en
acceso abierto bajo una Licencia
Creative Commons "CC BY
4.0". 

Declaración de conflicto: Los
autores declaran no tener conflicto
de intereses.

e-ISSN 2709 -0817

Como citar: Díaz Lezcano, M. I.,
Resquín, H. M., Caballero
Mascheroni, J. D., Moreira Rivas,
E. I. y Gorostiaga Ovelar, J. M.
(2024). Manejo de la regeneración
de algarrobos integrados a
sistemas silvopastoriles del Chaco
Central Paraguay. *Revista
investigaciones y estudios – UNA*,
15(1), 48-61.

Resumen. El manejo de los sistemas silvopastoriles asociados con los algarrobos (*Neltuma* spp.) como componente arbóreo constituyen un potencial forestal para la ecorregión chaqueña, además de beneficiar al bienestar animal por suministro de sombra, fuente alternativa de forraje, protección contra el viento y los efectos adversos de los extremos de temperatura, y mitigar los efectos del cambio climático por el almacenamiento de carbono tanto en la biomasa como el suelo, por lo que constituye un sistema integrado de producción sustentable para el Chaco paraguayo. El objetivo fue evaluar la regeneración natural de algarrobos (*Neltuma* spp.) integrados a sistemas silvopastoriles del Chaco Central Paraguay como respuesta manejo silvicultural. Para ello, se determinó la sobrevivencia de algarrobos sometidos a tratamientos silviculturales en sistemas silvopastoriles, se evaluó el incremento en diámetro de algarrobos, el área basal, el volumen, la biomasa, el carbono acumulado y dióxido de carbono equivalente, la fenología y el estado sanitario de los individuos arbóreos inventariados, el componente herbáceo y animal, y las propiedades físicas y químicas de los suelos. Los resultados obtenidos refieren una sobrevivencia alta de algarrobos en los sistemas silvopastoriles, siendo los promedios de las variables dasométricas en cuanto a área basal de 11,99 m²/ha, volumen de fuste de 10,93 m³/ha y del volumen total 75,48 m³/ha. Al momento del inventario se registró que 74% de los individuos se encontraban en floración y 68% enfermos. El componente herbáceo estuvo integrado por Gatton panic (*Panicum maximum*) con una carga animal de 0,8 UA y solo uno de los tres potreros presentó suelos compactados. El contenido de anhídrido carbónico acumulado fue similar en los tres potreros. Se concluye que los sistemas silvopastoriles asociados con *Neltuma* spp. como componente arbóreo constituyen un potencial forestal para producción sustentable de la ecorregión chaqueña.

Palabras clave: *Neltuma* spp., algarrobo, chaco paraguayo, sistema silvopastoril, silvicultura.

Abstract. The management of silvopastoral systems associated with carob trees (*Neltuma* spp.) as a tree component constitutes a forestry potential for the Chaco ecoregion, in addition to benefiting animal well-being by providing shade, an alternative source of forage, protection against wind and the effects adverse effects of temperature extremes, and mitigate the effects of climate change by storing carbon in both biomass and soil, thus constituting an integrated sustainable production system for the Paraguayan Chaco. The objective was to evaluate the management of the regeneration of carob trees integrated into silvopastoral systems of the Paraguayan Central Chaco. For this, the survival of carob trees subjected to silvicultural treatments in silvopastoral systems was determined, the increase in diameter of carob trees subjected to silvicultural treatments in silvopastoral systems was evaluated, determining the basal area, volume, biomass, accumulated carbon and carbon dioxide, equivalent carbon in the studied systems, study the phenology and health status of the inventoried tree individuals, characterize the herbaceous animal component and determine the physical and chemical properties of the soils of the paddocks under study. The results obtained refer to a high survival of carob trees in silvopastoral systems, with the averages of the dasometric variables in terms of basal area being 11.99 m²/ha, stem volume being 10.93 m³/ha and total volume being 75.48 m³/ha. At the time of the inventory, it was recorded that 74% of the individuals were in flowering and 68% were sick. The herbaceous component was made up of Gatton panic (*Panicum maximum*) with an animal load of 0.8 AU and only one of the three paddocks had compacted soils. The accumulated carbon dioxide content was similar in the three pastures. It is concluded that the silvopastoral systems associated with *Neltuma* spp. As a tree component, they constitute a forest potential for sustainable production in the Chaco ecoregion.

Keywords: Management, regeneration, carob trees, silvicultural treatments.

Introducción

Los sistemas silvopastoriles, al ser producto de la relación entre la biología, la sociedad y la cultura, poseen carácter histórico; y presentan además una enorme diversidad (Russo, 2015) en los cuales árboles, pasturas y animales de producción se combinan y manejan de manera racional e integral para lograr mejorar a mediano o largo plazo, la productividad, la rentabilidad y la sustentabilidad de la explotación. Implica el conocimiento y el ensamble de todas las variables que afectan a cada uno de sus componentes, sin olvidar los recursos: suelo y agua (Martin y Agüero., 2009).

El componente leñoso del sistema brinda a los animales protección contra el viento, sombra que disminuye 2°C o 3°C las altas temperaturas y la incidencia de radiación solar, factores que también pueden incidir en el crecimiento y la calidad del forraje consumido por los animales en pastoreo como mencionan Ibrahim et al. (2006).

Bajo la copa de los árboles los animales tienen más tiempo dedicado a pastorear y rumiar, por lo tanto, mayor consumo de alimento, mayor ganancia de peso y de producción de leche, además de disminuir la tasa de mortalidad de animales jóvenes (terneros, corderos) debido a una mejor condición y mayor producción de leche de las madres, menores dificultades al parto y mejoras en el peso al nacimiento dicho por Alonso (2011).

Los árboles también brindan beneficios a la pastura; Obispo et al. (2008) demostró que el contenido de proteína cruda y la digestibilidad del pasto Guinea (*Panicum maximum*) aumentó con la densidad del sombreado de árboles, mejorando la calidad como alimento para rumiantes, lo mismo ocurre con el pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) cuya área foliar y niveles de proteína cruda aumentan bajo citada condición (Ribaski y Menezes, 2002).

Los sistemas silvopastoriles en el Chaco paraguayo por lo general cuentan con los algarrobos como componente arbóreo, del mismo modo requieren de forrajes que soporten sombreado y buena calidad nutricional (Piñeros et al., 2011).

Los algarrobos (*Neltuma* spp.) según Fontana et al., (2018) pertenecientes a la familia de Fabaceae, poseen un buen desarrollo en suelos sueltos, bien drenados y profundos, adaptados a la aridez, generando heterogeneidad espacial y modifican el microclima y suelo en zonas áridas y semiáridas (Meloni et al., 2017). Resisten heladas en su etapa adulta y sus raíces son capaces de explorar el suelo a grandes profundidades en busca de agua, además de tener la capacidad de tolerar condiciones edáficas desfavorables como salinidad (Toll Vera et al., 2016) y alcalinidad (Torre, 2006). *Neltuma* ssp. sinónimo del género *Prosopis* según el catálogo de plantas vasculares de la Flora del Conosur del Instituto de Botánica Darwinion.

El algarrobo es uno de los árboles que domina el paisaje chaqueño, por sus adaptaciones especiales al clima, pues cuando se presenta una elevación en el promedio de temperatura, produce hojas nuevas

a partir de su material de reserva, y cuando llegan las lluvias, presenta el follaje plenamente desarrollado y aprovecha mejor el agua para producir sus frutos (Guyra Paraguay, 2012).

Haciendo un manejo de la regeneración con poda, se pueden formar árboles con troncos de 2 a 3 m de altura en pocos años. La capacidad de regeneración de los algarrobos puede ser aprovechada para mejorar la calidad de la pastura y del suelo, y al mismo tiempo crear un ingreso adicional obtenido de la venta de madera y leña (Arano y De Egea., 2013).

Otros beneficios de los algarrobos son: el control de vientos, reducción de evaporación, sombra para animales que les aporta bienestar, refugio para aves, pastura más palatable, producción de madera y protección a pastura en época de heladas (Carranza y Ledesma., 2009; Fraccia, 2010). El Sistema silvopastoril mediante regeneración natural de algarrobos es la estrategia más barata y fácil para introducir árboles en las fincas ganaderas (Murillo-Quiroz, 2021; Peña Bazán, 2021; Lezcano et al., 2020).

Para el establecimiento de este sistema de árboles dispersos en los potreros, se permite el desarrollo controlado de las diferentes especies arbóreas o arbustivas que aparecen en los potreros sin que hayan sido sembradas por el hombre, donde las semillas han sido transportadas por animales, el agua o el viento. Se seleccionan los árboles o arbustos valiosos de acuerdo con su uso: madera, leña, frutos para alimentación humana y/o animal, forrajeros, leguminosos o que dan sombra. También para la protección de fuentes de agua y zonas frágiles.

Según Uribe et al., (2011) para un buen manejo se realiza control manual con machete o sierra, se controla las cepas que quedan de árboles pequeños o arbustos grandes, se deben hacer podas de formación a los árboles durante su desarrollo para estimular su crecimiento vertical y permitir la entrada de luz del sol para los pastos y podas a los árboles maduros para un manejo adecuado de la luz solar. También se deben cortar las ramas a ras del tronco con sierra y aplicar cicatrizante para evitar infecciones y lesiones por hongos.

El objetivo fue evaluar la regeneración natural de algarrobos (*Neltuma* spp.) integrados a sistemas silvopastoriles del Chaco Central Paraguayo como respuesta manejo silvicultural.

Materiales y Métodos

Antecedentes y localización de la investigación:

Esta investigación se llevó a cabo en el marco del Proyecto Monitoreo del manejo de la regeneración de algarrobos integrados a sistemas silvopastoriles del Chaco Central financiado por el Rectorado de la Universidad Nacional de Asunción para el monitoreo de parcelas permanentes de sistemas silvopastoriles establecidas para la medición y evaluación de regeneraciones y arboles adultos de *Neltuma* spp. en el Chaco Central en el año 2021. El trabajo fue realizado en tres localidades del Distrito

de Mariscal Estigarribia, en el Departamento de Boquerón, ubicado a 430 km de la ciudad de Asunción (Figura 1).

Estas parcelas fueron establecidas en el año 2015, las mismas estaban constituidas por una asociación de algarrobos y pasturas con la finalidad de producción ganadera de bovinos para producción de leche.

Se midieron los ejemplares de algarrobos desde brinzales y latizales (a partir de 1 m de altura) hasta árboles adultos ($DAP > 10$) de tres parcelas permanentes establecidas en el año 2015, las cuales fueron georreferenciadas.

Las mismas cuentan con una dimensión de 100 m x 100 m, con una distribución de 30 árboles en cada potrero. Se realizó la identificación de los árboles por las chapas metálicas que fueron colocadas en la primera medición. Las variables remedidas fueron el diámetro a la altura del cuello (DAC), diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de todos los árboles (AT) las cuales fueron anotadas en una planilla de campo diseñada para tal efecto.

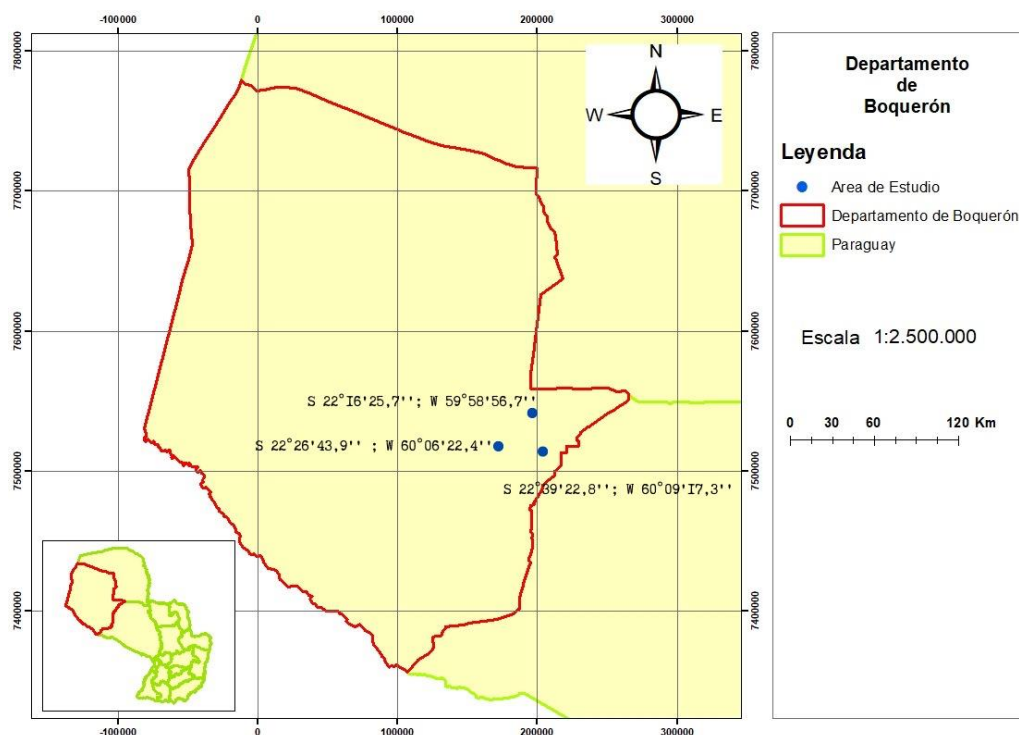


Figura 1. Localización de parcelas de monitoreo de sistemas silvopastoriles en el Departamento de Boquerón, Chaco paraguayo.

Cálculo de incremento en diámetro de los árboles:

Con los datos registrados de la medición de los individuos de algarrobo en regeneración, fue calculado el incremento del diámetro a la altura del cuello (DAC), y en el caso de los individuos adultos el diámetro a la altura del pecho (DAP) mediante las fórmulas (Juarez Félix, 2014):

$$\text{Incremento en diámetro de individuos adultos} = DAP \text{ final} - DAP \text{ inicial}$$

$$\text{Incremento de diámetro de regeneraciones} = DAC \text{ final} - DAC \text{ inicial}$$

Cálculo de variables dasométricas:

Se aplicaron las ecuaciones expuestas en la Tabla 1 para la determinación de las variables dasométricas, almacenamiento de carbono y dióxido de carbono conforme a las recomendaciones del IPCC (2006) y Sato et al., (2015) en cada una de las tres parcelas estudiadas.

El incremento de las variables dasométricas se realizó por diferencia entre los valores finales e iniciales obtenidos en los inventarios forestales llevados a cabo en el 2015 y 2021, respectivamente. En cuanto a la caracterización del componente animal, se procedió a la identificación de las razas bovinas presentes en los potreros y la determinación de la carga animal.

Tabla 1. Fórmulas dasométricas y ecuaciones para la determinación de carbono y dióxido de carbono acumulados.

Variables	Fórmulas	Descripción
Área Basal (m ² /ha) (Juarez Félix, 2014)	$G = \frac{\pi * DAP^2}{4}$	G = área basal (m ²), $\pi = 3,1416$, DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (1,30 m)
Volumen de fuste (m ³ /ha) (Juarez Félix, 2014)	$V = G * f (*) * h$	V = volumen del fuste (m ³), G = área basal (m ²), f * = factor de forma de especies chaqueñas igual a 0,811 (Quinteros, 2001) y h = altura de fuste (m).
Ajuste de la densidad de la madera (Reyes et al., 1992)	$Pe = 0,0134 + 0,8 * X$	Pe= densidad de la madera seca en kg/m ³ X= densidad de la madera a 12% de contenido de humedad
Biomasa (t/ha) (Brown, 1997)	$BF = (V * Pe)/1000$	BF = biomasa del fuste (t) V = volumen del fuste (m ³) Pe = densidad aparente de la madera (kg/m ³)
Biomasa Total (t/ha) (IPCC, 2006)	$BT = BF * FEB$	BT = biomasa total en toneladas (t); BF = biomasa del fuste en toneladas (t); FEB= Factor de expansión de biomasa FEB= (3,4) valor que se utiliza para todas las especies de árboles (Wolf 2004);
Biomasa Total (t/ha) (Sato et al., 2015)	$BT = 0,069 * (DAP^2 * altura total)^{0,9932}$	BT = biomasa total en toneladas (t); DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (1,30 m).
Carbono Aéreo Total (tC/ha)	$CAT = BT * 0,5$	CAT = carbono aéreo total en toneladas de carbono (tC) BT = biomasa total en tonelada (t) Factor de conversión=0,5 (debido a que la materia seca contiene en promedio 50 % de carbono almacenado, según la IPCC, 2003).
Carbono Radicular (tC/ha)	$CR = 0,24 * (CA)$	CR = carbono radicular en tonelada por hectárea CA = carbono aéreo en tonelada por hectárea (t/ha) Relación media entre biomasa bajo/sobre el suelo de 0,24 para bosque semiárido (IPCC, 2003).

Carbono Total (tC/ha) (IPCC, 2003)	$CT = CAT + CR$	CT = carbono total en toneladas de carbono (t _c); CAT = carbono aéreo total en toneladas de carbono (t _c); CR = carbono radicular en tonelada de carbono (t _c).
Carbono equivalente (tC/ha) (IPCC, 2003)	$CO_2e = CT * 3,667$	CO ₂ e: Dióxido de carbono extraído de la atmosfera CT: carbono total 3,667, factor basado en la razón de las masas atómicas de carbono (12) y de oxígeno (16), utilizado por el IPCC en la guía para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Para la determinación de las propiedades físicas de los suelos de los potreros en el estudio se realizó la determinación de la densidad aparente, textura y color, en tanto que para el análisis de las propiedades químicas se determinó el pH, el contenido de materia orgánica, carbono, nitrógeno, potasio, fósforo, aluminio y sodio. Para esta determinación se realizaron 4 muestras compuestas en cada potrero a dos profundidades (0 a 10 cm y 10 a 30 cm). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNA.

Resultados

Fueron registrados un total de 81 individuos, correspondientes al género *Neltuma* y un promedio de 27 individuos por hectárea, además de *Capparis retusa*, *Sideroxylon obtusifolium* y *Aspidosperma quebracho blanco*. Con relación a los individuos de algarrobo (*Neltuma* spp.) vivos, la parcela 2 fue la más afectada por la mortandad o raleo de los individuos considerando la primera medición llevada a cabo en 2015 (Figura 2).

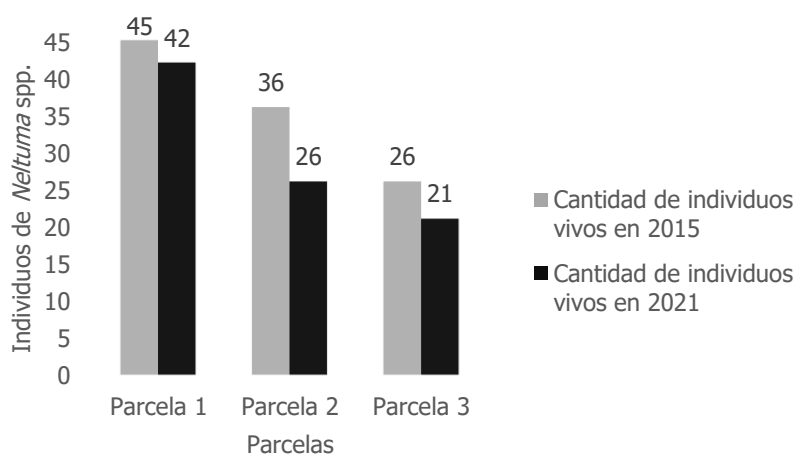


Figura 2. Diferencia de cantidad de individuos en las mediciones de 2015 y 2021.

La parcela 3 presentó la mayor diferencia en incremento diamétrico, esto podría atribuirse a la alta cantidad de individuos muertos o raleados, quedando en pie los de mayor categoría diamétrica, seguido de la parcela 2 y siendo la parcela 1 la que presentó menor crecimiento diamétrico (Figura 3).

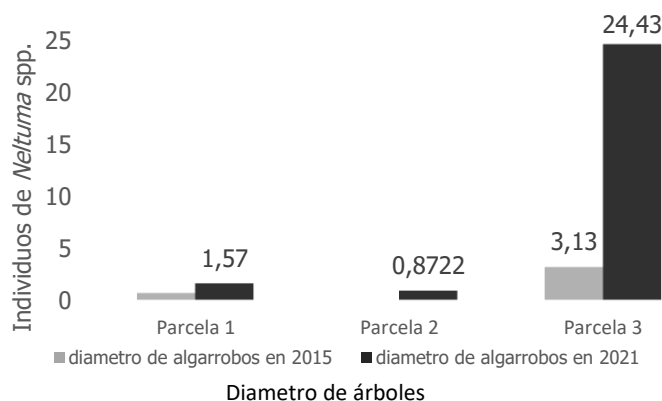


Figura 3. Diferencia en diámetro de individuos en las mediciones de 2015 y 2021.

El promedio de las variables dasométricas de los algarrobos (*Neltuma* spp.) en las tres parcelas estudiadas considerando el área basal fue de 11,99 m²/ha, del volumen de fuste de 10,93 m³/ha y del volumen total 75,48 m³/ha. Tal como se puede ver en la Tabla 2, las parcelas 1 y 3 poseían valores similares entre si y diferentes de la parcela 2.

Tabla 2. Variables dasométricas de algarrobos medidos en el 2021 dentro de potreros en sistemas silvopastoriles.

Variables dasométricas	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Área basal (m ² /ha)	19,29	1,8	14,87
Volumen de fuste (m ³ /ha)	17,06	3,43	12,31
Volumen total (m ³ /ha)	122,47	13,12	90,85

En cuanto a las características fenológicas de los algarrobos presentes en las tres parcelas, cuyos valores se reflejan en la Figura 4, 11% con fruto, 9% con flores y frutos, 6% sin flores ni frutos. Esta información es de suma utilidad al momento de la planificación para la colecta de vainas, considerando que poco más del 10% entra en la etapa de fructificación en el mes de septiembre.

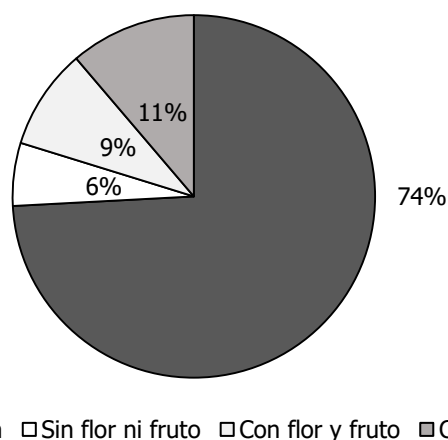


Figura 4. Distribución de estado fenológico de los algarrobos integrados a Sistemas Silvopastoriles del Chaco Central Paraguayo durante el 2021.

A continuación, se detalla la distribución de cantidad de individuos en floración, sin flor ni futo, con flor y fruto, y con frutos. Tal como se aprecia en la Figura 5, la mayor cantidad de los algarrobos en

las tres parcelas se encontraban en etapa de floración al momento del inventario forestal.

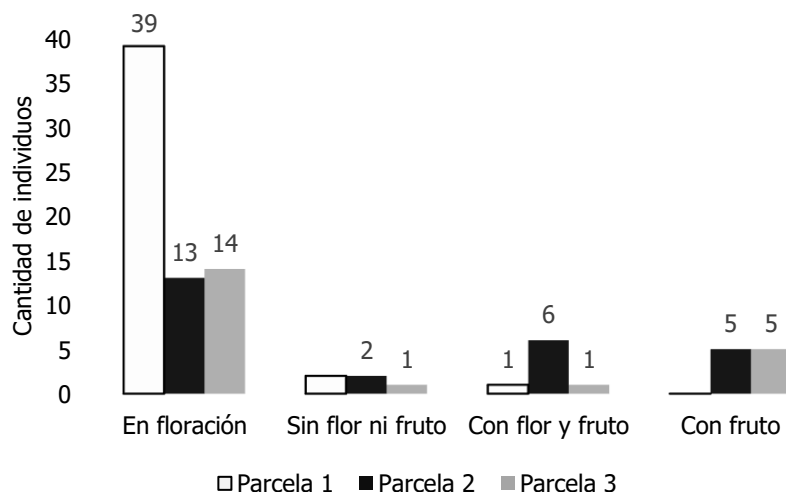


Figura 5. Cantidad de los individuos presentes en las tres parcelas de algarrobos integrados a sistemas silvopastoriles durante las mediciones del 2021.

En relación al estado sanitario de los algarrobos, tal como se detalla en la Figura 6, la mayor parte de los individuos inventariados se encontraban enfermos, presentando síntomas asociados con canchales y exudados en la corteza y ramas con con lianas y plantas epífitas. totalizando 59 ejemplares. Además, se registró la presencia de kavichú'i (*Polybia* sp.) en los individuos arbóreos, así como asociaciones de líquenes con la corteza de los árboles.

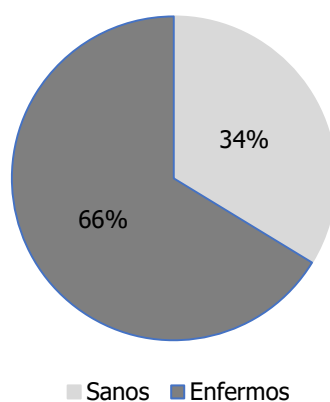


Figura 6. Estado sanitario de los algarrobos presentes en las parcelas estudiadas durante el 2021.

En cuanto a los cuidados silviculturales, el inventario forestal elaborado reportó que aproximadamente 2 de cada 10 algarrobos (Figura 7) recibió poda sanitaria o poda de formación, evidenciándose por otro lado que varios individuos sufrieron mortandad debido a trabajos realizados con maquinarias en el campo realizados por el personal del establecimiento, al margen del presente estudio.

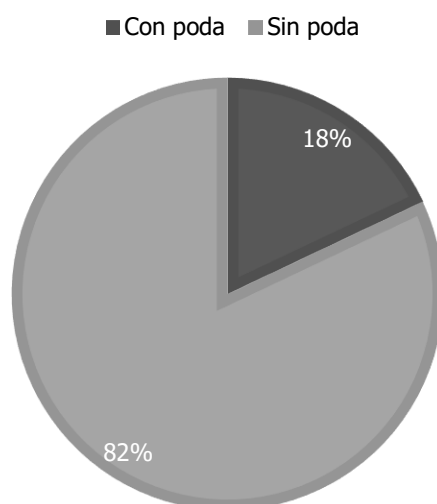


Figura 7. Cuidados silviculturales observados en los algarrobos presentes las tres parcelas estudiadas en el 2021.

A continuación, en la Tabla 3 se exhiben los resultados de biomasa de fuste, biomasa radicular, biomasa aérea, biomasa total según las ecuaciones del IPCC, biomasa según las ecuaciones de Sato et al. (2015), carbono acumulado total y dióxido equivalente total conforme a las recomendaciones del IPCC y Sato et al. en cada una de las tres parcelas. Estos resultados apuntan a que la utilización de las ecuaciones de Sato et al. presentan resultados con menor variabilidad que las fórmulas recomendadas por el IPCC, y que difieren significativamente una de otra, por lo que se recomienda el ajuste de modelos alométricos para la aplicación a potreros bajo sistemas silvopastoriles.

Tabla 3. Determinación de carbono y dióxido de carbono acumulados en sistemas silvopastoriles durante el 2021.

	Biomasa de fuste (t/ha)	Biomasa radicular (t/ha)	Biomasa aérea (t/ha)	Biomasa total IPCC (t/ha)	Biomasa (Sato et al., 2015) (t/ha)	Carbono total IPCC (t/ha)	Carbono total Sato et al. 2015 (t/ha)	CO ₂ ^{eq} (IPCC) (t/ha)	CO ₂ ^{eq} (Sato et al., 2015) (t/ha)
Parcela 1	6,44	15,45	1,54	16,99	8,49	8,50	4,24	31,16	15,56
Parcela 2	1,80	4,31	0,43	4,74	12,14	2,37	6,07	8,69	22,26
Parcela 3	8,93	21,42	2,14	23,56	12,48	11,78	6,24	43,20	22,89

El componente herbáceo de las tres parcelas bajo sistema silvopastoril estuvo integrado por pasturas identificadas como Gatton panic, en este sentido la ganadería chaqueña es altamente dependiente de los pastos. Esta pastura forrajera de la especie *Panicum máximum* que tiene excelente adaptación al suelo fértil y al clima semi-árido del Chaco paraguayo. La parcela 2 contenía mayor contenido de materia seca así como mayor acumulación de carbono que las otras dos parcelas, esto puede atribuirse a una menor distribución arbórea en el predio (Figura 8).

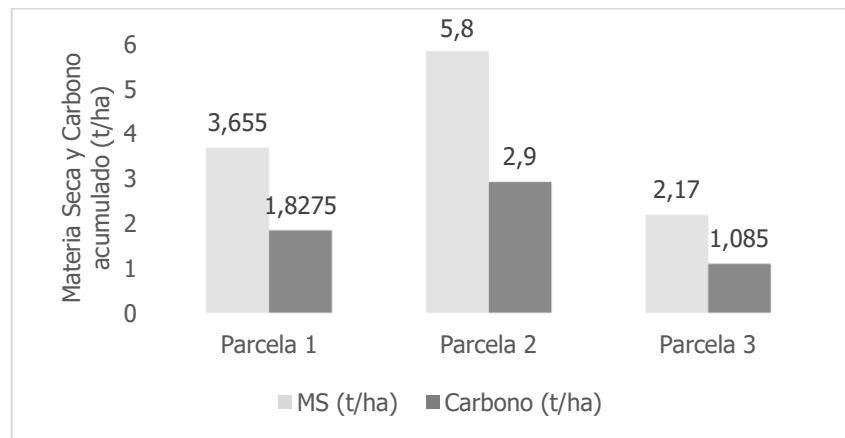


Figura 8. Componente herbáceo presente en las parcelas silvopastoriles en el 2021.

Los potreros 1 y 3 se encontraban en reposo al momento del monitoreo con régimen rotativo, en tanto que en la parcela 2 fueron encontrados animales pastando y bajo sombra. En las tres parcelas estaban destinadas a la cría de bovinos de la raza lechera Holando con una carga de 0,8 UA (Figura 9).



Figura 9. Potreros 1 y 3 en reposo y parcela 2 con carga animal en el 2021.

El análisis de las propiedades físicas del suelo lo describe como arenoso y franco arcillo arenoso de color marrón amarillento en todas las parcelas, presentando compactación del suelo solo la tercera parcela (1850 kg/m^3). El pH del suelo se mostró entre ligeramente ácido a neutro (de 6,3 a 6,7). Los suelos de la parcela 1 presentaron un contenido de materia orgánica medio (1,6%), la parcela 2 con un alto contenido de materia orgánica (2,9%) y la parcela 3 niveles bajos (1,1%). El alto contenido de materia orgánica en la parcela 2 puede deberse a la presencia de animales al momento del monitoreo, considerando las incorporaciones de los purines y estiércol de los animales presentes. Todas las parcelas presentaron altos niveles de fósforo y potasio (mayores a 30 mg/kg y $0,2 \text{ cmolc/kg}$, respectivamente), medio en sales de calcio ($5,5 \text{ cmolc/kg}$) y magnesio ($0,7 \text{ cmolc/kg}$). No se registró la presencia de aluminio intercambiable lo que confirma el pH del suelo.

Discusión

La práctica de tratamientos silviculturales es importante en individuos que serán aserrados, ya que

las podas permiten mejorar el aspecto de la madera, aumentar su calidad comercial y su venta a mejores precios en el mercado, pues al eliminar ramas, vivas o muertas, se evita la presencia de nudos, que son los defectos más comunes que afectan la calidad de la madera. Sobre este punto, Díaz Lezcano et al. (2020a) recomiendan el distanciamiento adecuado entre árboles para el ingreso de animales y maquinarias en los potreros, así como también para la siembra de pastos, a lo que se suma la necesidad de podas sugeridas en el presente trabajo.

Con relación a la cantidad de individuos en potreros con manejo silvopastoril, en el Chaco Central paraguayo en promedio se mantienen 30 individuos de algarrobo por hectárea, tanto esta investigación como la de Díaz Lezcano et al., (2019) coinciden en esta tendencia.

Según Di Marco (2013) la especie *Neltuma alba* presenta diversos servicios ecosistémicos principalmente modelando temperaturas extremas disminución de la evapotranspiración, amortiguación y redistribución de la caída de precipitaciones. La región Chaco presenta poca distribución de la precipitación, con altas temperaturas, dando lugar a las condiciones de sequía que fueron observadas al momento de realizar las evaluaciones, lo cual generó estrés hídrico y variación de la dominancia en las pasturas que se encuentra de forma desuniforme.

Según Ocampo (2013) en relación al servicio ecosistémico de sombras, la especie *Neltuma alba* puede brindar la reducción de la temperatura bajo el dosel de copas reduciendo la carga calórica de los animales llegando así a aumentar la productividad animal.

Con relación al componente animal, los resultados registrados en la presente investigación son similares a los valores obtenidos por Alvarenga et al. (1998), quienes bajo similares condiciones en el Chaco Central paraguayo reportaron una carga animal de 0,70 UA/ha.

Respecto a las propiedades físicas y químicas de los suelos en los sistemas silvopastoriles estudiados, se puede afirmar que se encuentran en concordancia con lo manifestado por Díaz Lezcano et al., (2020b), quienes refieren que los suelos sujetos a manejo silvopastoril en el Chaco Central paraguayo tienen textura arenosa, franco arenosa y arcillo arenosa, con un valor de pH que va del neutro al ligeramente ácido con alto contenido en fósforo.

La parcela 3 presentó un estado de compactación que puede atribuirse al efecto del pastoreo el cual influye en 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).

En este sentido, Gamarra et al. (2018) sostienen que los suelos bajo sistema silvopastoril en el área de influencia a las parcelas instaladas en la presente investigación no se encuentran compactados, considerando que en sus estudios han obtenido una densidad aparente promedio de 1250 kg/m³, coincidiendo parcialmente con los resultados de los análisis de las propiedades físicas de las parcelas monitoreadas en las que tampoco se verificó la compactación de los suelos en 2 de las 3 parcelas estudiadas.

Conclusiones

Los sistemas silvopastoriles asociados con *Neltuma* spp. como componente arbóreo constituyen un potencial forestal para la ecorregión chaqueña, además de beneficiar al bienestar animal por suministro de sombra, fuente alternativa de forraje, protección contra el viento y los efectos adversos de los extremos de temperatura, y mitigar los efectos del cambio climático por el almacenamiento de carbono tanto en la biomasa como el suelo, por lo que constituye un sistema integrado de producción sustentable para el Chaco paraguayo.

Esta investigación aporta los primeros resultados de crecimiento de algarrobos dentro de sistemas silvopastoriles. Para que esta actividad pueda ser implementada a mayor escala y se incrementen sus rendimientos físicos y resultados económicos hay algunas barreras a sortear entre las cuales se destacan: la necesidad de aprender a aprovechar y manejar mejor el recurso forrajero, trabajar en la comercialización de la producción forestal por su rendimiento en madera libre de nudos, y alcanzar un sistema de certificación de la producción por buenas prácticas y manejo sustentable.

Fuente de financiamiento

Las actividades llevadas a cabo en el presente estudio se enmarcaron en CONVOCATORIA 2021 PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON FONDOS DEL RECTORADO UNA (Universidad Nacional de Asunción), asimismo contó con el apoyo logístico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA y a la E.E. Chaco Central del IPTA.

Contribución de autores

Concepción del estudio: M.I.D.L., H.M.R., J.D.C.M. **Diseño del experimento:** M.I.D.L., H.M.R., J.D.C.M. **Ejecución del experimento:** M.I.D.L., H.M.R., J.D.C.M., E.I.M.R., J.M.G.O. **Verificación del experimento:** M.I.D.L., H.M.R., J.D.C.M., E.I.M.R., J.M.G.O. **Análisis/interpretación de datos:** M.I.D.L., H.M.R., J.D.C.M., E.I.M.R., J.M.G.O. **Análisis estadísticos:** M.I.D.L., H.M.R., J.D.C.M., E.I.M.R. **Preparación del manuscrito:** M.I.D.L., J.D.C.M., E.I.M.R. **Edición y revisión del manuscrito:** M.I.D.L., **Aprobación de la versión final del manuscrito:** M.I.D.L.

Referencias bibliográficas

- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2) 107-115.
- Alvarenga, D. F., Barboza, H., Bender, A., Carlini, R., Degen, F., Fracchia, M., Geyh, R., Hoffmann, W., Kruck, A., Medina, N., F., Mereles, 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*. San Lorenzo: MAG. Disponible en: <http://www.geologiadelparaguay.com.py/PSAC->

TomoI.PDF.

- Arano, F. y De Egea, J (2013). *Conjugando producción y conservación en el Chaco paraguayo*. Asunción: WCS -AVINA, 60 p.
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer: FAO forestry paper – 134*. Roma. www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm#_
- Carranza, C. A. y Ledesma, M. (2009). *Bases para el manejo de sistemas silvopastoriles*. Consultado 17 set. 2022. Disponible en <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/ManejoSistemasSilvopastoriles.pdf>
- Di Marco, E. (2013). *Prosopis alba Griseb. (Algarrobo blanco) (familia Fabaceae, Mimosoideas). Producción forestal*, 3(7), p. 45-46
- Díaz Lezcano, M. I., Leguizamón, L., Gamarra Lezcano, C. C., Vera de Ortíz, M. y Galeano Samaniego, M. P. (2019). Estimación del contenido de carbono en sistemas silvopastoriles de *Prosopis* spp. en el Chaco Central paraguayo. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 27(1), 54
- Díaz Lezcano, M. I., Gamarra Lezcano, C. C., Ruiz Diaz, S. y Vera de Ortiz, M. (2020a). Contenido de materia orgánica en suelos de sistemas silvopastoriles establecidos en el Chaco Central paraguayo. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 25(2), 131-143. doi:10.32480/rscp.2020.25.2.131
- Díaz Lezcano, M. I., Ríos Robles, J. R., Moreno Resquín, H. y Vera de Ortiz, M. L. (2020b). Contenido de carbono en un sistema silvopastoril del Chaco central paraguayo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(2), 344-357.
- IPCC (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.
- Fraccia, F. (2010). Producción ganadera sustentable octubre 2010. Manual compendio de la ganadería paraguaya. ARP. p 174-181.
- Fontana, M. L., Pérez, V. R. y Luna, C. V. (2018). Características evolutivas en *Prosopis* spp.: Citogenética, genética e hibridaciones. *Rodriguésia*, 69, 409-421. doi: 10.1590/2175-7860201869212
- Gamarra, 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*, 9(46). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- Guyra Paraguay (2012) *El Chaco seco. El último territorio natural*. Asunción PY: Mundigráfico. 83 p.
- IPCC (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Kanagawa, Japan: Institute for Global Environment Strategies.
- Juarez Félix, Y. (2014). *Dasometría. Apuntes de clase y guía de actividades prácticas*. Cochabamba. 103p.
- 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.
- Lezcano, M. I. D., Lezcano, C. C. G., Díaz, S. R., Ortíz, M. V. de, Lezcano, M. I. D., Lezcano, C. C. G., Díaz, S. R. y Ortíz, M. V. de. (2020). Contenido de materia orgánica en suelos de sistemas silvopastoriles establecidos en el Chaco Central paraguayo. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 25(2), 131-143. doi:10.32480/rscp.2020.25.2.131
- Ibrahim, C. Villanueva, F. Casasola y J. Rojas (2006) Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. Matanzas, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 29(4), 383 – 419.
- Martin, G. y Agüero, S. (2009). Sistema silvopastoril: una estrategia de producción para ecosistemas del NOA. *Producir XXI. Bs. As.*, 18(218), 28-33

- Meloni, D. A., Silva, D. M., Ledesma, R. y Bolzón, G. I. (2017). Nutrición mineral y fotosíntesis en plántulas de algarrobo blanco, *Prosopis alba* (Fabaceae), en estrés salino. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(2), 297-304.
- Murillo Quiroz, L. S. (2021). *Análisis de la regeneración natural de las especies forestales del jardín botánico de la Universidad Técnica de Manabí*. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2797>
- Obispo, N. E., Espinoza, Y., Gil, J. L., Ovalles, F. y Rodríguez, M. F. (2008). Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 285-288.
- Ocampo, T. L. (2013). *Ficha Técnica Sistemas Silvopastoriles. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA)*. Subsecretaría de desarrollo rural. Dirección general de apoyos para el desarrollo rural. p. 8
- Peña Bazán, N. E. (2021). *Recuperación vegetativa de la especie Prosopis pallida (algarrobo) mediante la implementación de un vivero—Piura*. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84377>
- Piñeros, R., Delgado, J. M. y Holguín, V. (2011). Respuesta del pasto *Bothriochloa saccharoides* a diferentes intensidades de sombra simulada en el valle cálido del Magdalena en el Tolima (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), Art. 1. doi:10.21930/rcta.vol12_num1_art:214
- Quinteros, M. O. (2001). *Determinación de factor de forma para las principales especies forestales del Chaco*. San Lorenzo. CIF/FCA/UNA.
- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. y Lugo A. (1992). *Wood densities of tropical tree species*. Southern forest experimdnst station. New Orleans. United States of Department of Agriculture. ò.
- Ribaski, J., de, E. y Menezes, A. (2002). Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semi-árida Brasileña. *Agroforestería en las Américas*, 9(33-34), p. 8-13.
- Russo, R. O. (2015). Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 157-161.
- Sato T., Saito M., Ramírez D., Molas L., Toriyama J., Monda Y., Kiyono Y., Herebia E., Dubie N., Duré Vera, E. y Ramírez Ortega, J. (2015) *Development of allometric equation for tree biomass in forest ecosystem in Paraguay*. San Lorenzo: FFPRI, FCA-UNA, INFONA.
- Toll Vera, J. R., Martín (h), G. O., Nicosia, M. G., Fernández, M. M., Olea, L. E., González Coletti, A. y Agüero, S. N. (2016). Sobrevivencia de plantines de algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) en suelos salinos y salino-sódicos del Departamento Río Hondo, Santiago del Estero, Argentina. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 36(1), 57-63.
- Torre, V. (2006). *El algarrobo: Fragilidad*. Buenos Aires, AR. Editorial Dunken. 265 p.
- Uribe F., Zuluaga A. F., Valencia L., Murgueitio E., Zapata A., Solarte L., Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Galindo, W. F., González, J. G., Sinisterra, J. A., Gómez, J. C., Molina, C. H., Molina, E. J., Galindo, A., Galindo, V. A. y Soto, R. (2011). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1: Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. Bogotá. GEF, Banco Mundial, Fedegan, Cipav, Fondo Acción, TNC. 78 p.