

Utilización forrajera sostenible del bosque nativo del Valle de Conlara, San Luis

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Recursos Naturales*

Tamara Leibovich

Licenciada en Ciencias Ambientales - UBA - 2015

Lugar de trabajo: Cátedra de Forrajicultura, Facultad de Agronomía, UBA



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



COMITÉ CONSEJERO

Directora de tesis
Elizabeth Juliana Jacobo
Ingeniera Agrónoma (UBA)
Doctora en Agroecología (UdeA)

Codirector de tesis
Santiago Miguel Cotroneo
Ingeniero Agrónomo (UBA)
Doctor en Agroecología (UdeA)
Doctor en Ciencias Agropecuarias (UBA)

Consejero de estudios
Damián Vega
Ingeniero Agrónomo (UBA)
Doctor en Agroecología (UdeA)

JURADO DE TESIS

JURADO
Lisandro Javier Blanco
Ingeniero en Recursos Naturales para Zonas Áridas (UNLaR)
Doctora en Ciencias Agropecuarias (UBA)

JURADO
Patricio Nicolás Magliano
Ingeniero Agrónomo (UBA)
Doctor en Ciencias Agropecuarias (UBA)

JURADO
Rubén Coirini
Ingeniero Agrónomo (UNC)
Especialista en diseño y gestión de proyectos agroforestales (UNC)

Fecha de defensa de la tesis: 13 de abril de 2021

Dedico esta tesis a Eze, por acompañarnos, crecer y construir juntos día a día

A Inka y a Luriel

A la familia de sangre y la ampliada

A la Pachamama, a este monte que es mi hogar

AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo de Agroecosistemas Campesinos de la FAUBA, que fue una de las motivaciones principales para realizar este trabajo. Por hacer de la docencia un placer y aprendizaje grupal único.

A Damián Vega, porque pensó en mí desde el principio para este trabajo y fue un apoyo clave hasta el final. Por su aliento constante y toda la energía.

A Elizabeth Jacobo y Santiago Cotroneo, por dirigir y acompañar este trabajo haciendo que sea posible y toda la energía que pusieron.

A Patricia Fernández por su gran ayuda y predisposición. Gracias a ella pude resolver algunos inconvenientes y lograr que este trabajo sea más completo.

A la Asociación de Campesinos del Valle de Conlara y especialmente a Lalo por abrirme sus puertas a mí y a mi familia y hacernos parte de la suya.

A Juan Pablo Martini, Sergio Sayavedra y Nahuel Churín del INTA de Villa Mercedes por su gran mano para varios análisis.

A Vicky Tolisano, por haber sido la mejor amiga y compañera de casa durante gran parte de este proceso. Por los mates, las charlas y apoyo.

A los/as cumpas de Brigadas de Escolarización del Mocase VC, del FANA y del MNCI, por haber sido una parte fundamental de mi vida. Sin mi paso por las brigadas, no hubiese llegado a la ACVC y probablemente no estaría hoy viviendo en el monte.

A mis amigos/as de Buenos Aires y del valle y compañeros/as de la facu que son y fueron parte del aprendizaje de vida.

A mi mamá y papá, por haberme permitido elegir en libertad y acompañar mis estudios.

A Silvia Álvarez por ser una gran maestra y amiga.

A Inka, por acompañarme desde la panza a hacer las mediciones a campo y seguir yendo conmigo hasta poder arrancar pastos con sus manos (y a veces comerse alguno).

A Luri, por aguantar desde la panza despertares matutinos y algo de estrés.

A Eze, por su compañía, amor y gran ayuda también en este trabajo, haciendo cosas por mí cuando no podía o haciendo malabares con Inka muy chiquito para que no perdiera las mediciones.

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Lic. Tamara Leibovich

INDICE GENERAL

Agradecimientos	IV
Declaración	V
Índice general.....	VI
Índice de tablas	VIII
Índice de figuras.....	IX
Abreviaturas.....	XII
Resumen.....	XIII
Abstract.....	XIV
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Presentación del problema	1
1.2 Antecedentes de la zona.....	3
1.3 Objetivo general.....	5
1.4 Objetivos específicos e hipótesis	5
Capítulo 2. Materiales y Métodos	7
2.1 Características de la zona.....	9
2.2 Descripción del diseño experimental y variables medidas	11
2.3 Análisis estadísticos	14
Capítulo 3. Resultados	15
3.1 Estructura de la vegetación del sotobosque con diferente modalidad de pastoreo	15
3.1.1. Cobertura de herbáceas	15
3.1.2. Cobertura de leñosas	17
3.2 PPNA de las gramíneas con diferente modalidad de pastoreo.....	18
3.3 Disponibilidad de biomasa y calidad nutritiva de las gramíneas preferidas con diferente modalidad de pastoreo	19
3.3.1. Disponibilidad de biomasa de las gramíneas preferidas a lo largo de un periodo ..	19
3.3.2. Calidad nutritiva de <i>Setaria leucopila</i> a lo largo de un periodo	19
3.4 Banco de semillas de gramíneas con diferente modalidad de pastoreo	20
3.5 Propiedades químicas y físicas del suelo con diferente modalidad de pastoreo	21
3.5.1. Propiedades químicas del suelo	21
3.5.2. Propiedades físicas del suelo.....	22
3.6 PPNA de gramíneas y calidad nutritiva de gramíneas preferidas del bosque nativo bajo distintas frecuencias de corte	22
3.6.1. PPNA de gramíneas bajo distinta frecuencia de corte	22
3.6.2. Calidad nutritiva de gramíneas preferidas bajo distinta frecuencia de corte.....	23
3.7 Características forrajeras de <i>Panicum coloratum</i>	24
3.7.1. Cobertura aérea	24
3.7.2. Dinámica de la biomasa aérea.....	24

3.7.3. Calidad nutritiva.....	24
3.7.4. PPNA con distinta frecuencia de corte durante la estación de crecimiento	25
Capítulo 4. Discusión.....	26
4.1. Manejo del pastoreo en el bosque seco	26
4.1.1. El manejo del pastoreo sobre características estructurales y el suelo del bosque ...	26
4.1.2. El manejo del pastoreo sobre la productividad y la calidad forrajera del estrato herbáceo del bosque	29
4.2. La frecuencia de cortes y la productividad y calidad del tapiz herbáceo del bosque y de pasturas implantadas	31
4.3. Un modelo de utilización complementaria de bosques y pasturas megatérmicas.....	32
Capítulo 5. Conclusiones	32
Bibliografía	37

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1. Resultados del análisis de la varianza con medidas repetidas en el tiempo de la Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS) y la Proteína Bruta (PB) de <i>Setaria leucopila</i> a lo largo del periodo 2017-2018 en un bosque del Chaco Árido, bajo pastoreo continuo y con descansos en la estación de crecimiento.....	19
Tabla 4.1: Calculo de Receptividad ganadera media de un establecimiento productivo del Chaco Árido que incluye el bosque y una pastura de <i>P. coloratum</i>	33
Tabla 4.2. Receptividad ganadera potencial de un manejo 6/6 complementando de pastizal de bosque nativo y pastura de <i>Panicum coloratum</i> con en un sitio del Chaco Árido.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Mapa de vegetación de la provincia de San Luis (izquierda) y ubicación del sitio de estudio, señalado en rojo (derecha). Fuente: Elaboración propia a partir de un mapa de la Escuela Pública Digital del Gobierno de San Luis.....	7
Figura 2.2: Usos del suelo del establecimiento del Chaco Árido donde se realizó el estudio. Lotes: BD: bosque nativo con seis años de exclusión al pastoreo en la época de crecimiento; BS: bosque sin descansos; P: pastura <i>Panicum coloratum</i> . Los círculos indican la ubicación de los cerramientos experimentales; A: casa y huerta; B: rotación maíz-rastrojo; C: rotación maíz y zapallo-rastrojo; D: corral; E: casa sobrino; F: rotación sorgo-avena-rastrojo; G: bosque; H: rotación sorgo-avena-rastrojo; I, J, K: bosque ralo; L: bosque; M: rotación sorgo-rastrojo.....	8
Figura 2.3: Análisis BACI (Before/After and Control/Impact) del NDVI promedio de marzo-abril ocho años previos y posteriores al comienzo de los descansos estivales en un sitio del Chaco Árido.....	9
Figura 2.4. Precipitaciones (a) mensuales promedio y acumuladas y (b) totales acumuladas por periodo de crecimiento (oct–abr) para el periodo comprendido desde el comienzo de las lluvias de 1989 su finalización en 2018 en un sitio del Chaco Árido. Elaborado a partir de datos provistos por el Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional.....	10
Figura 3.1: Precipitaciones mensuales y acumuladas (mm) en un establecimiento del Chaco Árido, en dos períodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018). Las flechas indican los momentos de muestreo de biomasa aérea forrajera. Con flecha gruesa se indica el muestreo correspondiente a la estimación de la PPNA durante la estación de crecimiento y sobre la misma la proporción de las precipitaciones acumulada hasta esa fecha, sobre el total del periodo. Datos obtenidos con un pluviómetro manual ubicado en el establecimiento.....	15
Figura 3.2: Cobertura aérea (%) de distintos grupos funcionales de especies herbáceas: gramíneas preferidas (a), gramíneas menos preferidas (b), dicotiledóneas (c) y proporción de suelo desnudo (d) y broza (e) en dos períodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018) en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.....	16
Figura 3.3: Cobertura basal de gramíneas preferidas (%) en dos períodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018) en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Se diferencia la proporción de <i>Setaria leucopila</i> y de otras gramíneas preferidas (incluye <i>Setaria lachnea</i> , <i>Trichloris Crinita</i> , <i>Gouinia paraguarienses</i> y <i>Digitaria californica</i>). Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.....	17
Figura 3.4: Cobertura aérea (%) de leñosas total (a) y por género o especie (b) menores a 2,5 m de altura en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.....	17

- Figura 3.5: PPNA de gramíneas preferidas (a) y menos preferidas (b) ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en dos períodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018) en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes..... 18
- Figura 3.6: Evolución de la disponibilidad de biomasa aérea de gramíneas preferidas (kg MS ha^{-1}) a lo largo del periodo 2017-2018 en un bosque del Chaco Árido, bajo con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes..... 19
- Figura 3.7: Evolución de la Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS) (a) y la Proteína Bruta (b) de *Setaria leucopila* a lo largo del periodo 2017-2018 en un bosque del Chaco Árido. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes..... 20
- Figura 3.8: Densidad de plántulas de gramíneas emergidas por m^2 de suelos en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes entre tratamientos (mayúscula) y tiempo (minúscula)..... 21
- Figura 3.9: Propiedades químicas del suelo en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. a. Materia Orgánica (%), b. Nitrógeno Total (%); Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes..... 21
- Figura 3.10: Propiedades físicas del suelo en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. a. Infiltración (mm/h); b. Densidad aparente (g/cm^3 , 0-5 cm); c. Resistencia a la penetración (MPa, 0-20 cm) y contenido hídrico (CH, %). En a y b, las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes..... 22
- Figura 3.11: Biomasa aérea cosechada (kg MS ha^{-1}) en tres momentos de la estación de crecimiento (izquierda) y PPNA ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (derecha) para distintas frecuencias de corte (1C: 1 corte; 2C: 2 cortes; 3C: 3 cortes) de gramíneas en el periodo 2017-2018 en un bosque del Chaco Árido. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes entre tratamientos..... 23
- Figura 3.12: Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS, %) (a) y Proteína Bruta (%) (b) de *Setaria leucopila* bajo dos frecuencias de corte durante la estación de crecimiento del periodo 2017-2018, en un bosque del Chaco Árido. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes..... 23
- Figura 3.13: Biomasa aérea (kg MS ha^{-1}) de una pastura de *Panicum coloratum* en un sitio del Chaco Árido en tres momentos del año (mitad y final de la estación de crecimiento y final de la estación seca) del periodo 2017-2018. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes..... 24

Figura 3.14: Evolución a lo largo del periodo 2017-2018 de la Digestibilidad In Vitro 25
de la Materia Seca (DIVMS, %) (a) y de Proteína Bruta (%) (b) de una pastura de
Panicum coloratum en un sitio del Chaco Árido. Las barras muestran el error estándar
de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son
significativamente diferentes. Medias de una misma variable con una letra común no
son significativamente diferentes.....

Figura 3.15: Biomasa aérea cosechada en tres momentos de la estacion de crecimiento 25
de una pastura (kg MS ha⁻¹) de *Panicum coloratum* (izquierda) y PPNA (kg MS ha⁻¹
año⁻¹) con distintas frecuencias de corte (1C: 1 corte; 2C: 2 cortes) (derecha) del
periodo 2017-2018 en un sitio del Chaco Árido. Las líneas verticales indican el error
estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son
significativamente diferentes.....

ABREVIATURAS

C	carbono
N	nitrógeno
ha	hectáreas
%	porcentaje
EV	equivalente vaca
PPNA	productividad primaria neta aérea
km	kilómetros
mm	milímetros
°C	grados centígrados
C ₃	especies cuyo primer producto de la fotosíntesis es un compuesto orgánico de 3 carbonos
C ₄	especies cuyo primer producto de la fotosíntesis es un compuesto orgánico de 4 carbonos
m	metros
m ²	metros cuadrados
MO	materia orgánica
DIVMS	digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca
PB	proteína bruta
FDA	fibra detergente ácido
cm	centímetros
cm ³	centímetros cúbicos
ANOVA	análisis de la varianza
ppt	precipitaciones
kg MS	kilogramos de materia seca
mm/h	milímetros por hora
g/cm ³	gramos por centímetro cúbico
MPa	megapascuales

RESUMEN

La principal actividad de los pequeños productores del Valle del Conlara (Chaco Árido argentino) es la ganadería en bosque, sobre un estrato herbáceo degradado por el pastoreo continuo. En otras regiones secas los descansos en la estación cálida y lluviosa permiten recuperar la cobertura y productividad de gramíneas nativas, diferirlas a la estación seca y mejorar la condición del suelo. El complemento con pasturas de uso estival posibilita dichos descansos y los cortes durante la estación lluviosa mejoran la productividad y calidad forrajera. La efectividad de estas prácticas no ha sido analizada en la zona estudiada. El objetivo de esta tesis fue evaluar (mediante un estudio de caso en un establecimiento productivo) los efectos de dichas prácticas. Durante dos años, húmedo (842 mm/año) y seco (521 mm/año), se monitorearon tres lotes: bosque nativo con seis años de descansos estivales, sin descansos y con pastura de *Panicum coloratum*. El lote con descansos presentó, en relación al sin descansos: 2,5 veces mayor cobertura de gramíneas, mitad de cobertura de dicotiledóneas y arbustos, 3,4 (año normal) y 1,9 (año seco) veces mayor PPNA de gramíneas, 4 veces más semillas de gramíneas del banco, mayor contenido de materia orgánica, nitrógeno total, capacidad de infiltración, cobertura de broza y menor densidad aparente y proporción de suelo desnudo. La productividad de la pastura duplicó la del estrato herbáceo del bosque descansado. Los cortes en la época lluviosa no afectaron la productividad y aumentaron la calidad forrajera, que en la estación seca superó el umbral mínimo requerido para bovinos en el bosque, pero no en la pastura. Estos resultados confirman la complementariedad del uso del bosque y las pasturas en el establecimiento productivo evaluado. La utilización de las pasturas en verano (cuando su calidad es buena) permite descansar y diferir el bosque al invierno (cuya calidad se mantiene alta).

Palabras clave: manejo, clausura, rehabilitación, monte, campesino.

ABSTRACT

The main activity of peasants in the Valle de Conlara (Arid Chaco region, Argentina) is cattle ranching in native forest, on an herbaceous layer degraded by continuous grazing. In other dry regions, grazing exclusion during the warm rainy season allows recovery of cover and productivity of native grasses, deferring them to the dry season, and improvement of soil condition. The complementation with exotic pastures for summer utilization makes such exclusion possible and cuts during the rainy season improve forage productivity and quality. The effectiveness of these practices has not been analyzed in the studied area. The objective of this thesis was to evaluate (through a case study in a productive field) the effects of these practices. During two years, humid (842 mm / year) and dry (521 mm / year), three plots were monitored: native forest with six years of summer grazing exclusion, without exclusion, and *Panicum coloratum* pasture. The lot with grazing exclusion presented, in relation to the continuum: 2.5 times greater cover of grasses, half of dicots and of shrubs, 3.4 (humid year) and 1.9 (dry year) times greater ANPP of grasses, 4 times more grass seeds in the soil bank, higher content of organic matter and total nitrogen, greater infiltration capacity, litter cover and lower bulk density and proportion of bare soil. The exotic pasture productivity doubled the herbaceous layer of the rested forest. Cuts in the rainy season did not affect productivity and increased forage quality, which in the dry season exceeded the minimum threshold required for cattle in the forest, but not in the pasture. These results confirm the complementarity of the forest and the exotic pastures in the productive field. The use of pastures in summer (when their quality is good) allows grazing exclusion and to defer the forest to winter (whose quality remains high).

Keywords: management, exclosure, rehabilitation, woods, farmer.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación del problema

El modelo de agricultura industrial se ha expandido velozmente por todo el planeta en las últimas cinco décadas (Foley *et al.* 2005; Lambin y Meyfroidt 2011). Este proceso consiste en la intensificación productiva en base a insumos de síntesis química de las tierras históricamente agrícolas y la incorporación de tierras nuevas a la producción. El cambio de uso de la tierra asociado a esta expansión agrícola, en la que la vegetación natural es reemplazada por unos pocos cultivos comerciales, trae consecuencias ambientales y sociales. Con respecto a las primeras afecta el ciclo del agua (Paruelo *et al.* 2005) aumentando la vulnerabilidad a las inundaciones (Gentry y Parodi 1983; Pérez Vega y Ortiz 2002; Bradshaw *et al.* 2007), incrementa la fragilidad de los suelos (Casas 2001) y el riesgo de erosión (Viglizzo y Frank 2010), afecta el balance de los nutrientes (Casas 2001; Houghton 2001), se incrementa el riesgo de contaminación por nutrientes (Viglizzo y Frank 2010), provoca la pérdida de biodiversidad (Casas 2001; Houghton 2001; Paruelo *et al.* 2005) y hábitat para la vida silvestre (Grau *et al.* 2005; Salvador 2010) y aumenta la emisión de gases de efecto invernadero (Paruelo *et al.* 2005; Carreño *et al.* 2010). Estos cambios afectan severamente la provisión de servicios ecosistémicos (Grau *et al.* 2005; Paruelo *et al.* 2005; Adámoli 2006; Carreño y Viglizzo 2010). Con respecto a las consecuencias sociales, la expansión agrícola expulsa a productores campesinos o indígenas (Harvey 2004; MAE 2005; Teubal 2006) y por lo tanto provoca la pérdida de conocimientos locales (Sevilla Guzmán y Soler 2010).

Las regiones áridas y semiáridas de pastoreo ocupan un cuarto de la superficie terrestre y son consideradas marginales a nivel mundial desde el punto de vista de la producción agropecuaria. En ellas viven casi mil millones de pobladores rurales, mayormente pobres (MAE 2005). Son tierras particularmente frágiles, debido a las condiciones bioclimáticas y edáficas, y susceptibles a la degradación generada principalmente por el sobrepastoreo, la tala y la deforestación (Asner *et al.* 2004; Hoekstra *et al.* 2005). El desplazamiento de la producción ganadera hasta estos sitios, en consecuencia del proceso de expansión agrícola, incrementa la presión sobre estas tierras menos productivas y muchas veces degradadas por una historia de pastoreo continuo (MAE 2005; Montenegro *et al.* 2007; Zak *et al.* 2008; Morello *et al.* 2012). La degradación en tierras áridas de pastoreo ha sido reportada en distintos lugares del mundo como Norteamérica (Jones 2000), Asia (Mirzabaev *et al.* 2016), África (Downing 1978), Oceanía (Yates *et al.* 2000) y Sudamérica (Morello y Saravia Toledo 1959; Adámoli *et al.* 1990; Biani *et al.* 2006).

La pérdida del estrato arbóreo y el sobrepastoreo del estrato herbáceo generan cambios en la estructura y los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos de los ecosistemas, en ocasiones de manera irreversible (Bell 1979; Asner *et al.* 2004). El pastoreo continuo y selectivo sobre las gramíneas preferidas va reduciendo su vigor, el aporte de semillas al banco del suelo y el establecimiento de plántulas, y por lo tanto la disminución de su cobertura (O'Connor y Pickett 1992) con el consecuente aumento en la presión que ejercen los animales sobre la menor cantidad de ejemplares forrajeros remanentes (O'Connor 1991). Concomitantemente, los recursos que liberan las gramíneas forrajeras son utilizados por gramíneas no preferidas, con menor aptitud forrajera, y por renovales de arbustos (Adámoli *et al.* 1990). Estos últimos, una vez establecidos, se convierten en la principal competencia por recursos (Archer *et al.* 1999), a la vez que reducen la accesibilidad para el ganado. Por lo tanto, el bosque degradado presenta una reducción

de la cobertura de gramíneas de alta calidad forrajera y de hierbas, una creciente arbustización y un aumento en la proporción de gramíneas de baja calidad forrajera (Asner *et al.* 2004; Van Auken 2009; Angassa y Oba 2010). La consecuencia de este proceso es la paulatina disminución de la productividad forrajera, y por lo tanto de la capacidad de carga del agroecosistema (Adámoli *et al.* 1990; Kunst *et al.* 2006; Morello *et al.* 2012).

El pastoreo continuo también afecta las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. En pastizales de Norteamérica y Australia se ha registrado una reducción del contenido hídrico del suelo debido a la mayor proporción de suelo descubierto y a la compactación por pisoteo, características que aumentan la escorrentía y la evaporación y disminuyen la infiltración (Branson y Reid 1981; Bremer *et al.* 2001; Hamza y Anderson 2005; Pietola *et al.* 2005; Rasa *et al.* 2011). En pastizales semiáridos de China, se ha documentado que el sobrepastoreo aumenta la resistencia a la penetración y disminuye la porosidad (Reszkowska *et al.* 2011). En el caldenal de la provincia de La Pampa (Argentina), Villamil *et al.* (1997) encontraron que el sobrepastoreo aumentó la densidad aparente y redujo la estabilidad de agregados. En cuanto a las características químicas, el sobrepastoreo reduce los pools de Carbono (C) y Nitrógeno (N) debido al menor aporte de broza en cantidad y calidad (Golluscio *et al.* 2009; Raiesi y Rihahi 2014), menor disponibilidad de agua y menor actividad biológica (Piñeiro *et al.* 2010).

La exclusión del pastoreo en la época de crecimiento de la vegetación (época de lluvias) es una estrategia de rehabilitación difundida en sistemas campesinos e indígenas ganaderos de distintas regiones de África (Mwilawa *et al.* 2008; Yayneshet *et al.* 2009; Verdoodt *et al.* 2010) y Sudamérica (Cotroneo *et al.* 2018). Esta práctica, realizada mediante cerramientos de ramas o alambrados, posibilita la recuperación de la cobertura herbácea, y por lo tanto incrementa la productividad forrajera en pocos años (Cotroneo *et al.* 2018) y enriquece el banco de semillas de gramíneas (Tessema *et al.* 2012).

La exclusión del pastoreo también tiene efectos sobre los suelos. Reszkowska *et al.* (2011) encontraron que esta práctica aumentó la porosidad y redujo la conductividad eléctrica del suelo de pastizales semiáridos de China, mientras que Verdoodt *et al.* (2009) reportaron disminuciones de la densidad aparente en bosques secos de África. En sistemas de Nueva Zelanda y Australia la exclusión parcial o total del pastoreo mejoró propiedades del suelo como la conductividad eléctrica, el volumen de macroporos y la densidad aparente (Drewry 2006). Con respecto a las propiedades químicas y biológicas de los suelos, en bosques secos de África se han encontrado aumentos del contenido de C y N total y microbiano, de la actividad microbiana y de la mineralización y descomposición, a partir del aumento en la cantidad y calidad de la broza (Descheemaeker *et al.* 2006; Verdoodt *et al.* 2009; Raiesi y Rihahi 2014).

En distintos pastizales áridos y semiáridos del mundo se reportó que los descansos durante una parte de la estación de crecimiento pueden generar efectos similares e incluso mayores que los descansos durante la totalidad de la misma (Snyman 1999; Loeser *et al.* 2004; Schiborra 2007; Bosio 2010). Es decir que una frecuencia de corte o defoliación de baja a moderada intensidad (adecuada a la disponibilidad hídrica) durante la estación de crecimiento podría aumentar la productividad (Parsons *et al.* 1988; Snyman 1999; Loeser *et al.* 2004; Schiborra 2007; Quiroga 2009; Bosio 2010) y calidad del forraje (Schiborra 2007; Bosio 2010). Bajo ciertas condiciones, la producción del tejido vegetal remanente post defoliación logra recuperar y en algunas ocasiones superar el área foliar eliminada por la perturbación (Deregibus *et al.* 2007). La recuperación del área foliar es mediada por un aumento de la tasa fotosintética de las plantas causado por la reducción del sombreado dentro del canopeo, el incremento en la tasa de fotosíntesis

de las hojas maduras no defoliadas, la disminución de la tasa de senescencia de las hojas, el aumento de la disponibilidad de agua y nutrientes para el tejido remanente y el aumento en la eficiencia en el uso del agua debido a la reducción de la superficie transpiratoria (McNaughton 1979). Las respuestas adaptativas a la defoliación, junto a la eliminación por pastoreo del material senescido, determinan que la remoción de biomasa aumente la relación verde/seco del canopeo, como así también la relación hojas nuevas/totales y por lo tanto se incrementa la producción forrajera (Parsons *et al.* 1988).

1.2 Antecedentes de la zona

El Chaco Árido abarca una superficie cercana a 9,6 millones de hectáreas que corresponde al 8,7% del total del Gran Chaco Americano y es su expresión más seca y menos productiva (Karlin *et al.* 2013). En nuestro país, abarca el este de las provincias de Catamarca, La Rioja y San Juan, el sudoeste de la provincia de Santiago del Estero, el norte de la provincia de San Luis, y el noroeste de la provincia de Córdoba. Esta región ha sufrido un intenso cambio en el uso del suelo ya que se desmontaron 84 mil ha entre los años 1998 y 2002 (Karlin *et al.* 2013).

La vegetación del Chaco Árido es un bosque seco, que en su condición original está dominado por un estrato arbóreo abierto con un dosel de copas discontinuo a muy localmente continuo (Carranza 1992), un estrato arbustivo y un estrato herbáceo dominado principalmente por gramíneas perennes (Karlin *et al.* 2013). Desde comienzos del siglo XX estos bosques fueron aprovechados para la extracción de madera, actividad que redujo la densidad de árboles y provocó la degradación del bosque (Adámoli *et al.* 1990; Karlin *et al.* 2013). Posteriormente, el uso ganadero incrementó la degradación, dando como resultado arbustales con alta proporción de suelo desnudo (Karlin *et al.* 2013). Actualmente, este proceso se intensifica con la conversión del bosque a la agricultura y el aumento de carga animal en los bosques remanentes (Morello *et al.* 2012). La reducción de la superficie de bosque y la mayor degradación del bosque remanente determina el desplazamiento de pequeños productores y comunidades indígenas que utilizan al bosque para su reproducción social (Teubal 2006).

La ganadería extensiva es la principal actividad económica de los pequeños productores de la región chaqueña (Obschatko *et al.* 2007). Se trata de una actividad de subsistencia que se complementa con otras formas de aprovechamiento del bosque (REDAF 1999). La actividad se encuentra severamente limitada por la falta de precipitaciones entre abril y octubre y el consecuente déficit forrajero invernal (Morello 1968; Boletta *et al.* 2005). Este déficit se agrava con la degradación del bosque como consecuencia del sobrepastoreo y la tala indiscriminada (Karlin 1983; Saravia Toledo 1984; Saravia Toledo *et al.* 1985; Morello *et al.* 2006; Torrella y Adámoli 2006). En situaciones de extrema degradación la presencia de especies herbáceas y arbóreas se reduce significativamente, generando áreas con elevada proporción de suelo desnudo y/o comunidades de vegetación arbustiva, decidua y espinosa de escaso valor forrajero (Ayerza *et al.* 1988; Adámoli *et al.* 1990; Karlin *et al.* 1992). Este proceso afecta considerablemente la receptividad ganadera (Kunst *et al.* 2006). Se han documentado valores de receptividad entre 5 y 10 ha EV⁻¹ (Equivalente Vaca) en sitios de buena condición y entre 15-20 ha EV⁻¹ en sitios de condición pobre (Karlin 1983).

En el Valle del río Conlara, ubicado en el extremo sur del Chaco Árido, noreste de la provincia de San Luis, Argentina, han ingresado en los últimos años nuevos actores sociales que, directa o indirectamente, han provocado una fuerte transformación en el paisaje como consecuencia de los desmontes, la utilización intensiva de los

recursos hídricos subterráneos para riego y la expulsión silenciosa de campesinos (Trivi y Palacios 2011; Vega *et al.* 2011). En esta región, los bosques originales de *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco) se han transformado en bosques de quebracho blanco y *Prosopis flexuosa* (algarrobo), considerado un estado de degradación creciente (Cabido *et al.* 1992; Karlin *et al.* 2013). En otros sitios, donde la degradación es aún mayor, la totalidad de árboles de algarrobo y quebracho han sido reemplazados por comunidades arbustivas como la de *Larrea divaricata* (jarilla), que compite fuertemente con las especies forrajeras herbáceas (Karlin *et al.* 2013).

En cuanto al marco legal en torno a la utilización del bosque nativo, el Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos establecido en la Ley de bosques nativos de la Provincia de San Luis, dictada en el marco de la ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos (Ley N° 26.331, 2007), clasifica al Valle de Conlara como área de bajo valor de conservación y permite la parcial o total transformación del bosque nativo. Esta clasificación, que no impone restricciones para el desmonte, contribuye a agravar el impacto negativo de la expansión del agronegocio (Silvetti 2010) ya que afecta las condiciones de vida y acelera el proceso de despoblamiento de áreas rurales (Cáceres *et al.* 2010).

La tenencia de la tierra de los campesinos de la zona por lo general es precaria y su producción es destinada en gran parte al autoconsumo, siendo la mano de obra empleada mayoritariamente familiar (Álvarez Rivera y Churín 2008). La actividad principal es la cría de bovinos y en menor medida se producen ovinos, aves, caprinos, cerdos y apicultura (Girondo 2012). Para cubrir la demanda de alimentación animal se utilizan principalmente recursos forrajeros provenientes del bosque nativo, que constituye en promedio el 90% de la superficie de los campos, complementando con pequeñas superficies de maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum spp.*), avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum hexastichum*) y pasturas exóticas (Girondo 2012).

El pastoreo continuo en esta zona reduce la cobertura de gramíneas de valor forrajero (preferidas por los animales) tales como *Chloris ciliata*, *Diplachne dubia* y *Gouinia paraguarienses*, y aumenta la de gramíneas menos preferidas por los animales, tales como *Stipa ichu*, que constituyen pajonales de baja calidad (Anderson *et al.* 1980). Las especies leñosas que se incrementan como resultado del proceso de degradación son de los géneros *Prosopis*, *Acacia*, *Celtis* y *Schinus*, que constituyen comunidades de bajo potencial ganadero debido a la escasa oferta forrajera y la dificultad de tránsito y acceso (Kunst y Fumagalli 1999).

Un estudio reciente en el Chaco semiárido santiagueño ha documentado que la exclusión del pastoreo durante la época de crecimiento es una herramienta de rehabilitación del bosque nativo, ya que permite la recuperación de la cobertura herbácea, y el aumento de la productividad y de su estrato herbáceo (Cotroneo *et al.* 2018).

Si bien los recursos forrajeros del bosque nativo en buen estado de conservación constituyen una fuente de forraje de alta productividad y calidad invernal (Cotroneo 2010), la mayor parte de los esfuerzos realizados en la región con el objeto de mejorar la producción ganadera se orientan a la implantación de pasturas exóticas de alta productividad pero muy estacionales, tales como el *Panicum máximum* cv. Gatton (gatton panic) y *Cenchrus ciliaris* (buffel grass) (Blanco *et al.* 2005; Cornacchione y Molina 2008; Ferrando *et al.* 2015), y a su inclusión mediante estrategias de desarbustado mecánico como el rolado (Blanco *et al.* 2005; Kunst *et al.* 2008; Kunst *et al.* 2012). El rolado aplasta y corta el estrato arbustivo reduciendo la heterogeneidad estructural del ecosistema, que cumple una función esencial en estos ambientes debido a

la transferencia de recursos que ocurre entre sitios con diferente fertilidad (Tongway y Ludwig 2005).

Por otra parte, si bien la productividad de las gramíneas exóticas es superior a la de las gramíneas nativas, su calidad forrajera es inferior (Cotroneo 2016). Por esta razón, resultan poco adecuadas para ser consumidas diferidas en la estación seca ya que su contenido de proteína bruta al final de la estación de crecimiento cae por debajo del umbral considerado crítico para la alimentación animal. La utilización estratégica de especies forrajeras exóticas podría constituirse en una herramienta para la mejora de la condición del bosque ya que, si se siembran en baja proporción y se consumen durante la estación de crecimiento, permitirían los descansos del bosque nativo durante esta estación. En un sistema experimental de cría bovina del Chaco Árido de la provincia de La Rioja, esta estrategia ha permitido recuperar la capacidad forrajera de áreas muy degradadas a partir de la rehabilitación del pastizal natural promovido por los descansos en la estación de crecimiento y triplicar de este modo la receptividad ganadera (Ferrando *et al.* 2002). Para que esta estrategia sea exitosa es necesario determinar cuál es la menor superficie de pastura de especies exóticas que permite descansar al bosque nativo con el objetivo de recuperar su condición y mejorar la receptividad del agroecosistema. A partir de la rehabilitación del estrato herbáceo del bosque, la utilización de cortes y posteriores descansos durante la estación de crecimiento constituiría otra estrategia para mejorar la productividad y calidad forrajera tanto del bosque nativo como de las especies exóticas implantadas, tal como documentó Bosio (2010) en Santiago del Estero.

Este estudio se realizó en un establecimiento productivo del Valle de Conlara que cuenta con dos lotes adyacentes de bosque nativo bajo diferente manejo: uno donde los animales pastorean tanto en la estación de crecimiento de la vegetación como en la estación seca invernal, y otro que se ha pastoreado solo en la estación seca y descansado durante la estación de crecimiento durante los últimos seis años. En ambos lotes se mantuvo la misma animal desde el inicio del manejo diferencial. Además, cuenta con un lote con una pastura de *Panicum coloratum* implantada hace cuatro años. Debido a la dificultad de encontrar otros establecimientos con similar tipo de vegetación, condición inicial, ambos manejos del pastoreo a partir de la misma fecha, carga animal y distancia a las aguadas no pudieron establecerse repeticiones verdaderas tal como es habitual en el diseño experimental de este tipo de experimentos (Hulbert 1984).

Se espera contribuir al desarrollo de marcos teóricos y metodológicos para la utilización forrajera sostenible del bosque nativo de la zona.

1.3 Objetivo general

El objetivo general del estudio es evaluar el efecto de distintas estrategias de manejo del pastoreo sobre los recursos forrajeros nativos y exóticos de un establecimiento con predominio de bosque nativo del Valle del Río Conlara, San Luis.

1.4 Objetivos específicos e hipótesis

En áreas de bosque nativo bajo diferente modalidad de pastoreo, con y sin descansos durante el período de crecimiento, evaluar:

- La estructura de la vegetación del sotobosque (**Objetivo 1**).
- La productividad primaria neta aérea de las gramíneas (**Objetivo 2**).
- La disponibilidad de biomasa y la calidad nutritiva de las gramíneas preferidas a lo largo del año (**Objetivo 3**).

- El banco de semillas de gramíneas (**Objetivo 4**).
- Las propiedades químicas y físicas del suelo (**Objetivo 5**).

Analizar el efecto de diferentes frecuencias de defoliación de gramíneas forrajeras nativas sobre productividad primaria neta aérea y la calidad nutritiva (**Objetivo 6**).

Estimar la disponibilidad de biomasa y la calidad nutritiva a lo largo del año de una pastura de *Panicum coloratum*, y analizar su PPNA bajo diferentes frecuencias de defoliación durante la estación de crecimiento (**Objetivo 7**).

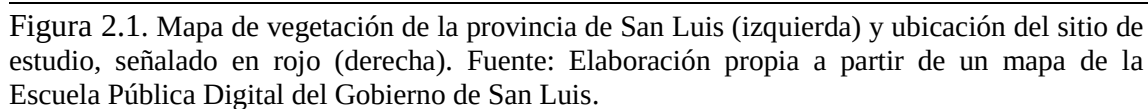
Las hipótesis asociadas son las siguientes:

Hipótesis 1: Los descansos durante la estación de crecimiento modifican la productividad primaria neta aérea (PPNA) de las gramíneas del estrato herbáceo del bosque, debido a que los descansos les permite alcanzar la floración, enriquecer el banco de semillas y aumentar su cobertura. Se predice que el banco de semillas, la cobertura y la PPNA de gramíneas en los sitios con descansos serán mayores que en los sitios sin descansos.

Hipótesis 2: Los descansos durante la estación de crecimiento modifican el contenido de materia orgánica y nitrógeno y las características físicas de los suelos debido a cambios en el aporte de broza y a los efectos asociados a la disminución del pisoteo animal. Se predice que los suelos de los sitios con descansos tendrán mayor porcentaje de materia orgánica total, mayor contenido de nitrógeno total, menor densidad aparente, mayor capacidad de infiltración y menor resistencia a la penetración que los suelos de los sitios sin descansos.

Hipótesis 3: La frecuencia de cortes durante la estación de crecimiento modifica la PPNA y la calidad nutritiva de las gramíneas del estrato herbáceo del bosque, debido a que la remoción de material maduro estimula la producción de tejidos jóvenes. Se predice que el aumento en la frecuencia de cortes durante la estación de crecimiento se traducirá en aumentos de la PPNA y la calidad forrajera.

El trabajo se realizó en un establecimiento productivo del Valle del Río Conlara en la provincia de San Luis (Figura 2.1). Se encuentra en la latitud Sur 32°36'30.21", longitud Oeste 65°05'09.49", en el paraje "El Descanso", a 10 km de Villa Larca y a 15 km de la ciudad de Concarán, departamento de Chacabuco. El productor posee 28 ha propias y utiliza otras 42 ha de vecinos. De las 70 ha que maneja, 58,5 son de bosque nativo y el resto corresponden a cultivos agrícolas, forrajeros y pasturas, casa, corrales y huerta (Figura 2.2). La principal actividad productiva es la cría de bovinos (con un promedio de 20 cabezas), caprinos (12 cabezas), porcinos (4 cabezas), ovinos (30 cabezas) y complementa con huerta y cría de aves. Para cubrir la demanda animal utiliza los recursos forrajeros del bosque nativo, una pastura megatérmica *Panicum coloratum* (colorato), y pequeñas áreas dedicadas a cultivos anuales de sorgo, avena y maíz (< de 6 ha en total) que dependen de las condiciones climáticas. El presente estudio se realizó en áreas de bosque nativo y pastura de la superficie propia del establecimiento bajo pastoreo bovino. La carga animal anual promedio en ambos lotes de bosque fue 0,17 EV/ha y en el lote de pastura fue 0,49 EV/ha.



La duración del estudio fue de dos años, desde el comienzo de la época de lluvias (octubre) del año 2016 hasta el final de la estación seca (septiembre) del 2018. Se midieron distintas variables ecológicas de la vegetación y el suelo en tres lotes con distinto manejo: 1) bosque nativo con pastoreo tanto en la estación de crecimiento de la vegetación (de lluvias) como en la estación seca, 2) bosque nativo con exclusión del pastoreo en la época de crecimiento durante seis años consecutivos previos al inicio del estudio, y 3) pastura megatérmica sembrada hace cuatro años en un lote desmontado (Figura 2.2).

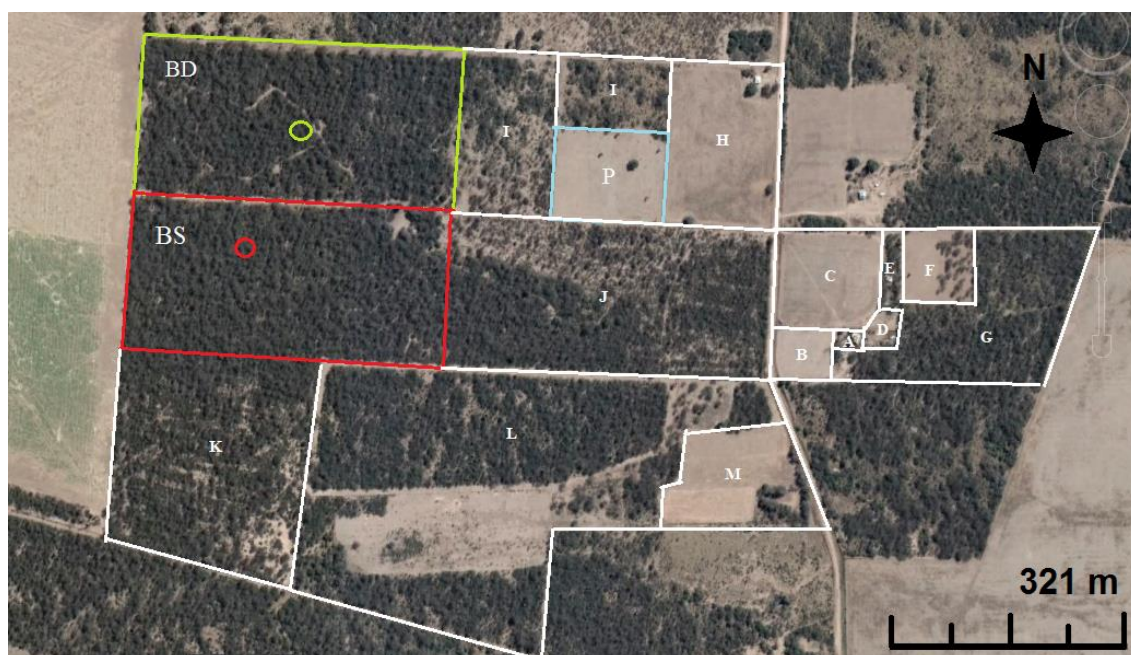


Figura 2.2: Usos del suelo del establecimiento del Chaco Árido donde se realizó el estudio. Lotes: BD: bosque nativo con seis años de exclusión al pastoreo en la época de crecimiento; BS: bosque sin descansos; P: pastura *Panicum coloratum*. Los círculos indican la ubicación de los cerramientos experimentales; A: casa y huerta; B: rotación maíz-rastrojo; C: rotación maíz y zapallo-rastrojo; D: corral; E: casa sobrino; F: rotación sorgo-avena-rastrojo; G: bosque; H: rotación sorgo-avena-rastrojo; I, J, K: bosque ralo; L: bosque; M: rotación sorgo-rastrojo.

La exclusión al pastoreo durante la época de crecimiento comenzó el periodo de crecimiento 2010-2011. Se corroboró que ambos potreros eran similares previo a la implementación de los tratamientos mediante dos procedimientos: 1) mediciones de cobertura realizadas por estudiantes y docentes de FAUBA (Girondo 2012; Girondo *et al.* 2013) y 2) un análisis del NDVI¹ mediante BACI (Before/After Control/Impact) debido a su utilidad para detectar patrones en el tiempo (Underwood 1992), comparando ambos sitios antes y después del comienzo del manejo (Figura 2.3).

¹ NDVI obtenido en marzo-abril. Datos provenientes de Landsat 5, luego Landsat 7 y Landsat 8. Éstos fueron procesados con el algoritmo LandTrend a través del cual se calculó el NDVI ajustado a la trayectoria espectral del píxel para eliminar el ruido (por la extracción de distintos satélites y los valores perdidos por nubosidad)

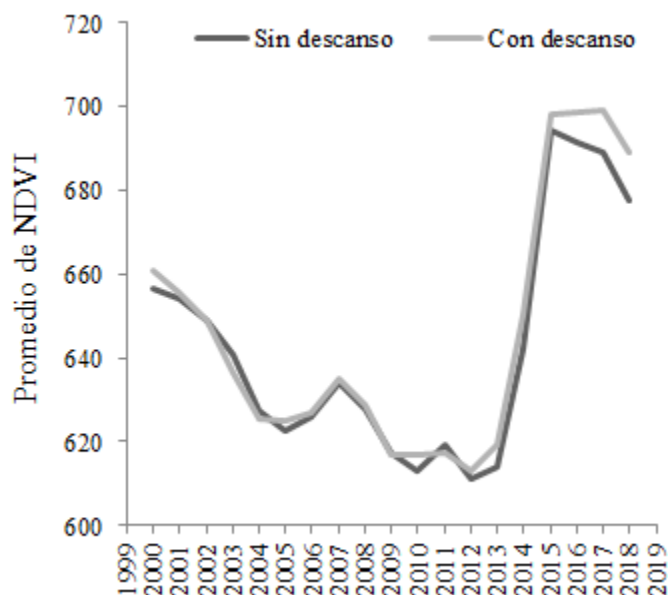


Figura 2.3: Análisis BACI (Before/After and Control/Impact) del NDVI promedio de marzo-abril ocho años previos y posteriores al comienzo de los descansos estivales en un sitio del Chaco Árido.

El establecimiento fue seleccionado debido a que reunía distintas características que hacían posible el estudio: el manejo con descansos al pastoreo en un lote de bosque similar al que no tiene este manejo; la utilización de una pastura exótica megatérmica; el compromiso del productor con la investigación para garantizar su continuidad; la importancia que el productor le da al cuidado del bosque nativo y su experiencia en la utilización de cerramientos para excluir el pastoreo.

En este capítulo se detallan las características ecológicas de la zona y la metodología empleada para la medición de las distintas variables.

2.1 Características de la zona

El Valle de Conlara pertenece a las unidades geomorfológicas “Depresión de Conlara” y “Sierra de Comechingones” (González Díaz 1981). Tiene una superficie de 23254 km², sus límites son al Norte la Sierra de Pocho, al Este las Sierras de Comechingones, al Sur el Cerro del Morro y al Oeste la Sierra de San Luis (Peña Zubiate *et al.* 2005). Pertenece al complejo de Llanos y Valles interserranos de la región fitogeográfica del Chaco Árido (Morello *et al.* 2012). La topografía del área es muy heterogénea debido a los dos sistemas montañosos al Este y al Oeste.

La precipitación media anual para el periodo 1989-2018 fue 645 mm, concentradas en el verano (Figura 2.4 a). Las precipitaciones durante el periodo de crecimiento tienen una importante variación interanual, con valores mínimos extremos de 400 mm y máximos cercanos a los 900 mm (Figura 2.4 b). La delimitación clásica del Chaco Árido (Karlin *et al.* 1992; Karlin *et al.* 1994) está dada por la ubicación de las isohietas de 500 mm al este y 250-300 mm al oeste. A pesar del aumento de las precipitaciones en los últimos años (Karlin 2012), la zona continúa considerándose dentro del Chaco Árido debido a la presencia de *Prosopis flexuosa* en los bosques remanentes (Karlin *et al.* 2013).

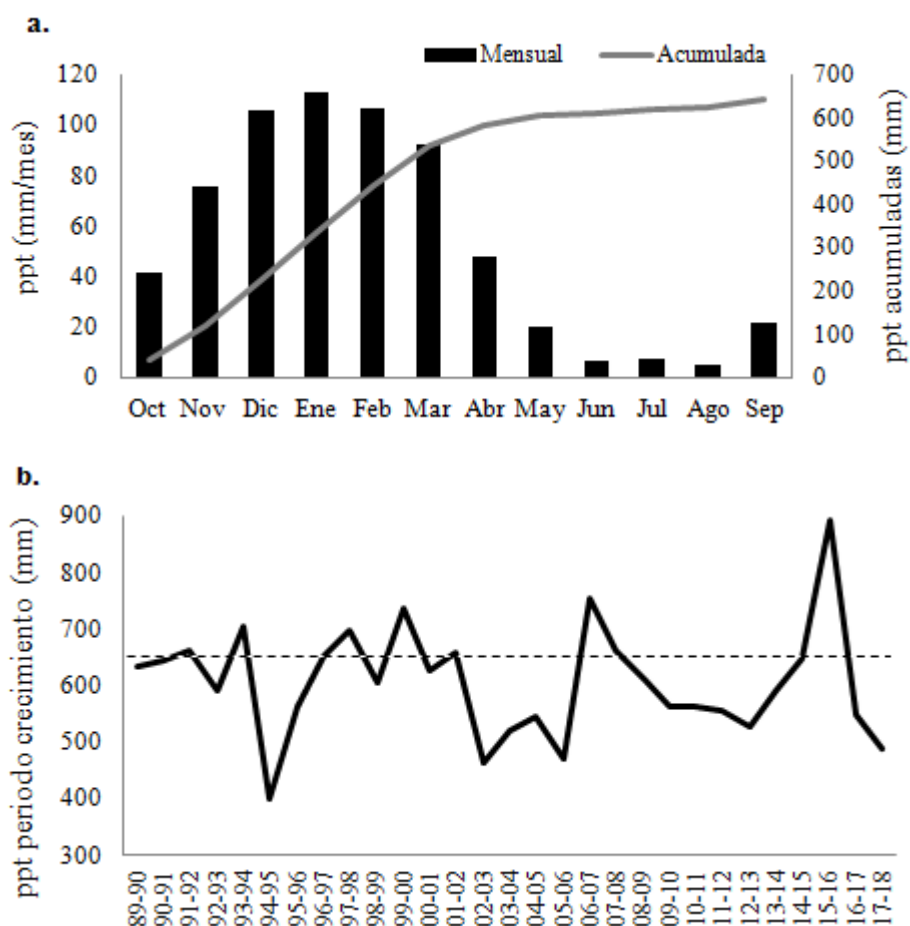


Figura 2.4. Precipitaciones (a) mensuales promedio y acumuladas y (b) totales acumuladas por periodo de crecimiento (oct–abr) para el periodo comprendido desde el comienzo de las lluvias de 1989 su finalización en 2018 en un sitio del Chaco Árido. Elaborado a partir de datos provistos por el Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional.

La temperatura media de la ciudad de Concarán es 17,4°C y las medias mensuales mínima y máxima 9,2°C y 24°C respectivamente (Red de Estaciones Meteorológicas 2019). Los suelos de la zona son clasificados como Haplustoles enticos, Ustortentes típicos y Ustipfluventes mólicos (Colazo 2012) y la cantidad de materia orgánica del suelo varía del 0,5 al 5% (Peña Zubiarte *et al.* 2005). En particular, el suelo del sitio de estudio es un Haplustol éntico (Peña Zubiarte *et al.* 2005). La composición textural en los 10 cm superficiales de los sitios relevados fue 41%, 37% y 23% de arena, limo y arcilla respectivamente.

La vegetación dominante en el área es un bosque (localmente también llamado “monte”) xérico de dosel cerrado de freatofitas caducifolias con dominancia de hojas compuestas (Morello *et al.* 2012). El sitio de estudio corresponde a un bosque secundario dominado por *Prosopis spp.* con presencia importante de *Larrea divaricata*. También hay presencia de otros árboles y arbustos más bajos como *Celtis tala*, *Condalia microphylla*, *Geoffroea decorticans*, *Parkinsonia praecox* y *Bulnesia retamo*, todas especies de crecimiento estival (REDAF 1999). La vegetación del estrato herbáceo está dominada por especies de síndrome fotosintético C₄, aunque también hay algunas especies C₃. Dentro de las gramíneas C₄ se encuentran *Setaria leucopila*, *Setaria lachnea*, *Trichloris crinita*, *Digitaria californica*, *Pappophorum caespitosum*, *Aristida mendocina*, *Sporobolus pyramidatus*, *Neobouteloua lophostachya*, *Aristida adescensionis*, *Chloris ciliata*, *Gounia paraguarienses*, *Paspalum sp.* *Eragrostis lugens*

y *Eragrostis orthoclada*. Estas especies se pueden agrupar según su valor forrajero (calidad nutritiva): *S. leucopila*, *S. lachnea*, *T. crinita*, *D. Califórnica* y *G. paraguarienses* destacan por su alta calidad; *A. mendocina*, *S. pyramidatus*, *C. ciliata* y *E. orthoclada* son consideradas de calidad media y *P. caespitosum*, *N. lophostachya*, *E. lugens* y *A. adescensionis* de calidad baja (Quiroga y Correa 2011). Los valores de proteína bruta de las especies de alta calidad nutritiva se mantienen por arriba del 7% la mayor parte del año (Ferrando *et al.* 2006), considerado el umbral crítico para el consumo vacuno (Mathis 2000). Las principales gramíneas C₃ del estrato herbáceo pertenecen al género *Stipa* (REDAF 1999) de baja calidad nutritiva y de menor preferencia animal (Anderson *et al.* 1970).

El establecimiento en el que se realizó el trabajo, de 70 ha de superficie, corresponde a la categoría de pequeño productor (Obschatko *et al.* 2007). En la zona más de la mitad (55%) de los establecimientos son menores a 200 ha, el 15% entre 50 y 100 ha y el 9% menores a 25 ha (CNA, 2002).

2.2 Descripción del diseño experimental y variables medidas

El estudio comenzó al inicio de la estación de lluvias (octubre) del año 2016 hasta el final de la estación seca (septiembre) del 2018, abarcando dos periodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018). Para evaluar las distintas variables de la vegetación y el suelo en áreas de bosque nativo bajo diferente modalidad de pastoreo (con y sin descansos en la época de crecimiento) (Objetivos 1-5), se utilizaron los dos lotes de bosque nativo, de aproximadamente 10 ha cada uno (Figura 2.4). En el lote correspondiente, los descansos se realizaron durante los seis años previos al comienzo del estudio.

Se instalaron dos cerramientos experimentales (uno en cada lote), a fin de evitar el ingreso de los animales durante la totalidad de la duración del estudio. El tamaño de cada cerramiento experimental fue 10 m x 20 m y se construyeron con ramas y alambrado. Se instalaron en septiembre de 2016, previo al comienzo de la estación de lluvias. Dentro de cada uno se delimitaron 3 áreas de 5 x 10 m (pseudorréplicas), y dentro de cada área se delimitaron 5 franjas de 1 x 10 m, usadas para cosechar biomasa en diferentes fechas.

El efecto de distinta frecuencia de corte durante la estación de crecimiento sobre las gramíneas preferidas (Objetivo 6), se evaluó sólo en el lote de bosque nativo manejado con descansos. Las características de la pastura (Objetivo 7) se analizaron en un lote de 1 ha, sembrado con *P. coloratum* cuatro años antes del inicio del estudio. En este lote también se delimitaron 3 áreas seleccionadas al azar (pseudorréplicas) y franjas para cosechar biomasa en diferentes fechas, pero se utilizaron jaulas en lugar de clausuras debido a la menor superficie y mayor homogeneidad del recurso (figura 2.4). A continuación se detalla la metodología con la cual se midieron las distintas variables.

Estructura de la vegetación del sotobosque con diferente modalidad de pastoreo (objetivo 1)

Para evaluar la estructura herbácea, dentro de cada cerramiento experimental de los lotes con distinto tratamiento de pastoreo se ubicaron al azar 3 transectas de 10 m cada una. Sobre cada transecta se registró la cobertura aérea y basal de gramíneas y dicotiledóneas herbáceas, la cobertura basal de broza y la proporción de suelo desnudo, en plena estación de crecimiento de ambos periodos del estudio. Para estimar la cobertura aérea se usó el método de Daubenmire (1959) utilizando 10 marcos de 0,1 m² (0,2 m x 0,5 m) ubicados a intervalos regulares sobre la transecta. Para estimar la

cobertura basal se usó el método de intercepción lineal (Canfield 1941). Las gramíneas se diferenciaron entre las preferidas por los animales (las de alta calidad nutritiva) y las menos preferidas (de media y baja calidad nutritiva), según Quiroga y Correa (2011).

Para evaluar la estructura arbustiva, en cada lote con distinto tratamiento de pastoreo se ubicaron al azar 5 transectas de 10 m cada una, donde se registró la cobertura aérea de leñosas por especie de altura menor a 2,5 m (arbustos y renovales arbóreos), mediante mediciones equidistantes a un metro (10 puntos por transecta).

PPNA de las gramíneas con diferente modalidad de pastoreo (Objetivo 2)

Para evaluar la PPNA en cada lote con distinto tratamiento de pastoreo se realizaron cosechas de biomasa en tres franjas (1 x 10 m cada una) ubicadas dentro de los cerramientos experimentales, en ambos periodos de estudio. La cosecha se realizó en el pico de la estación de crecimiento en cada periodo de estudio, ya que en sistemas donde la PPNA es muy estacional, la biomasa existente en el momento en que se alcanza el pico de biomasa es un buen estimador de la misma (Sala y Austin 2000). Las gramíneas se diferenciaron entre preferidas y menos preferidas. El material cosechado se transportó en bolsas de polietileno y se guardó en freezer a -16°C para su conservación. Posteriormente se secó en estufa a 65°C hasta alcanzar peso constante y se pesó con balanza de precisión.

Disponibilidad de biomasa y calidad nutritiva de las gramíneas preferidas a lo largo del año, con diferente modalidad de pastoreo (objetivo 3)

Para conocer la disponibilidad de materia seca digestible a lo largo de un periodo, en cada lote con distinto tratamiento de pastoreo se cosechó la biomasa en cinco oportunidades a lo largo del segundo periodo del estudio: dos durante la estación de crecimiento (febrero y marzo de 2018), una al final de la estación de crecimiento (mayo de 2018), una a mitad de la estación seca (julio de 2018) y otra al final de la misma (septiembre de 2018). El procedimiento para el pesado fue el mismo que para el objetivo anterior. Estas cosechas se realizaron en tres franjas por fecha (1 x 10 m cada una) ubicadas dentro de los cerramientos experimentales. De la biomasa cosechada se tomaron muestras de *Setaria leucopila* (especie preferida más abundante) y se enviaron al Laboratorio de suelos y forrajes de la Agencia de Extensión Rural Villa Mercedes de INTA para analizar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca² (DIVMS) y el porcentaje de proteína bruta.

Banco de semillas de gramíneas con diferente modalidad de pastoreo (objetivo 4)

Para estimar la densidad de semillas en el banco, al final del segundo periodo del estudio (septiembre de 2018) se tomaron 20 muestras de suelo (17,5 x 17,5 cm de lado x 5 cm de profundidad) distribuidas en forma aleatoria a través de cada lote de bosque con distinto tratamiento de pastoreo y se colocaron sin disturbar en bandejas herméticas. La densidad de semillas del banco del suelo se estimó mediante el método de “emergencia de plántulas” propuesto por Roberts (1981). Para ello, al comienzo de la época estival, las bandejas se colocaron en una zona de características similares al sitio de estudio, se regaron todos los días y se registró la emergencia de gramíneas hasta que no se observó más emergencia (22 días).

² 2 Estimado mediante la fórmula % DIVMS = 88.9 - (%FDA x 0.779) donde FDA = Fibra Detergente Ácido (Di Marco, 2011)

Propiedades químicas y físicas del suelo con diferente modalidad de pastoreo (objetivo 5)

Para evaluar las variables químicas en cada lote con distinto tratamiento de pastoreo se tomaron 3 muestras de suelo (cada una compuesta por 10 piques de los primeros 10 cm) para determinar materia orgánica total (Walkley y Black 1934) y nitrógeno total (método Kjeldahl). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Sustratos de la Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UBA. Para determinar las características físicas de los suelos, en 12 sitios elegidos al azar dentro de cada lote se determinó la infiltración estimada de la lámina de 50 mm con infiltrómetro de disco (Perroux y White 1988), la densidad aparente con un cilindro de 100 cm³ (Burke *et al.* 1986) y la resistencia a la penetración con un penetrómetro de golpe tipo INTA Villegas (Copains, sf). Adicionalmente se determinó el contenido hídrico del suelo obtenido por diferencia de peso entre las muestras húmedas y secadas a 105°C durante 48 horas.

PPNA de gramíneas y calidad nutritiva de gramíneas preferidas del bosque nativo bajo distinta frecuencia de corte (objetivo 6)

Para evaluar el efecto de distinta frecuencia de corte (1 a 3 cortes) durante la estación de crecimiento sobre la PPNA de las gramíneas preferidas, se realizaron cosechas sucesivas de biomasa forrajera en tres franjas de 10 x 1 m para cada frecuencia de corte en el cerramiento experimental del sitio con descansos estivales. La PPNA se estimó como la suma de las diferencias positivas de la cantidad de biomasa verde en periodos sucesivos de tiempo (Sala y Austin 2000). Las cosechas se realizaron durante el segundo periodo del estudio (2017-2018), dos durante la estación de crecimiento (febrero y marzo) y una al final de la estación de crecimiento (mayo). La metodología de análisis y pesado fue la misma que para el objetivo 2. Para estudiar el efecto de las cosechas sucesivas sobre la calidad forrajera de las gramíneas preferidas, se siguió la misma metodología que para el objetivo 3.

Características forrajeras de *Panicum coloratum* (objetivo 7)

Para establecer la disponibilidad de biomasa y la calidad nutritiva a lo largo del año de una pastura de *Panicum coloratum*, y analizar su PPNA con distinta frecuencia de corte durante la estación de crecimiento, al comienzo del segundo período de estudio (octubre de 2017), se instalaron al azar 3 jaulas de 1 m x 1 m de lado x 1 m de altura en el lote de la pastura. Cada jaula se dividió en tres franjas de 0,33 m x 1 m que fueron cosechadas en diferentes fechas: un tercio de la superficie fue cosechado tres veces (dos veces durante la estación de crecimiento -febrero y marzo- y una vez al final -mayo-), otro tercio se cosechó sólo al final de la estación de crecimiento (mayo), y otro tercio se cosechó al final de la estación seca (septiembre de 2018). Con la primera cosecha de cada una de las tres franjas se estimó la disponibilidad de biomasa y la calidad nutritiva a lo largo del periodo. La PPNA fue estimada como la biomasa acumulada en la franja que se cosechó sólo al final de la estación de crecimiento (correspondiente al pico de biomasa). El efecto de los cortes durante la estación de crecimiento sobre la PPNA se estimó comparando el valor anterior (un corte al final de la estación de crecimiento) vs. la sumatoria de los valores de biomasa cosechada en la franja sometida a cortes durante la estación de crecimiento. La metodología para el pesado y análisis de la calidad fue la misma que la utilizada en los objetivos 2 y 3. La cobertura aérea de *P. coloratum* se estimó mediante el método de Daubenmire utilizando 10 marcos de 0,1 m² (0,2 m x 0,5 m) ubicados a intervalos regulares en tres transectas de 10 m contiguas a las jaulas.

2.3 Análisis estadísticos

Para comparar las variables de cobertura de leñosas de altura menor a 2,5 m, las variables químicas y físicas del suelo del bosque y el efecto de la frecuencia de cortes durante la estación de crecimiento sobre la calidad nutritiva de la gramínea preferida más abundante, se utilizó Análisis de la Varianza (ANOVA) para muestras independientes mediante el software estadístico Infostat. Para las variables que fueron medidas en el mismo sitio en diferentes fechas (cobertura herbácea, PPNA, dinámica de la biomasa y calidad nutritiva) y la densidad de semillas en el banco, se utilizó ANOVA con medidas repetidas en el tiempo mediante el software estadístico R (vs 3.6.0; R Development Core Team 2012). Para analizar el efecto de distinta frecuencia de corte durante la estación de crecimiento sobre la PPNA (del pastizal y de la pastura), se utilizó un método estadístico no paramétrico (Kruskal Wallis), porque los datos no presentaron una distribución normal, utilizando el software estadístico Infostat.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

Las precipitaciones mensuales y acumuladas en cada periodo del estudio y los momentos en que se realizaron las cosechas de biomasa aérea forrajera se indican en la Figura 3.1. Cada periodo inicia en octubre (comienzo de estación de lluvias) y finaliza en septiembre del año siguiente (fin de la estación seca). Durante el primer periodo (desde octubre de 2016 a septiembre de 2017) se acumularon 842 milímetros, mientras que durante el segundo periodo (octubre de 2017 a septiembre de 2018) se acumularon 521 milímetros de precipitación.

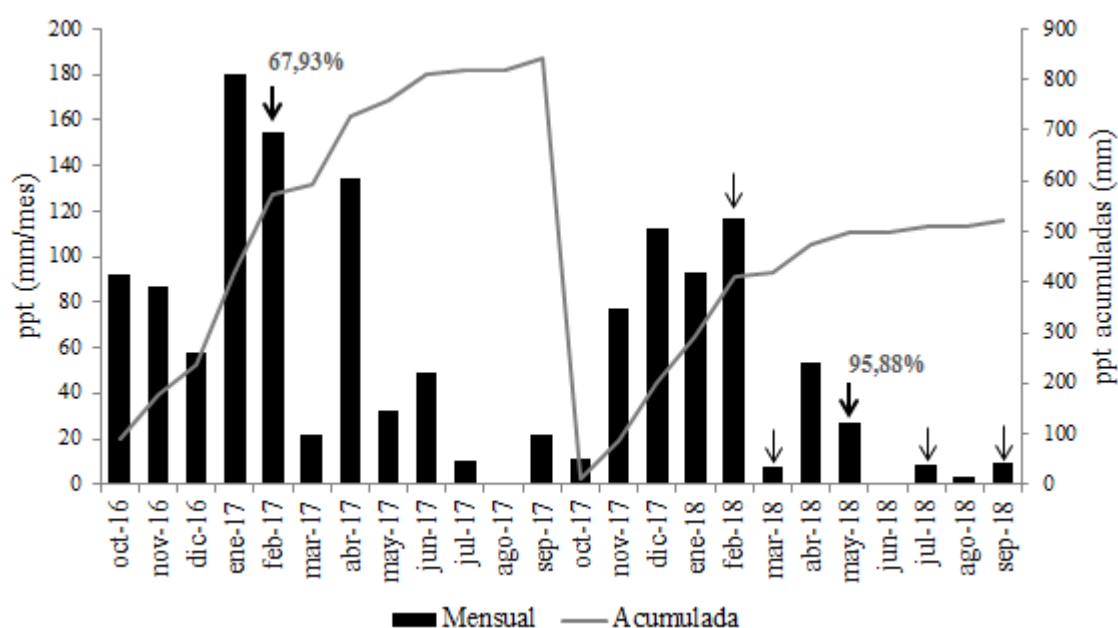


Figura 3.1: Precipitaciones mensuales y acumuladas (mm) en un establecimiento del Chaco Árido, en dos periodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018). Las flechas indican los momentos de muestreo de biomasa aérea forrajera. Con flecha gruesa se indica el muestreo correspondiente a la estimación de la PPNA durante la estación de crecimiento y sobre la misma la proporción de las precipitaciones acumulada hasta esa fecha, sobre el total del periodo. Datos obtenidos con un pluviómetro manual ubicado en el establecimiento.

3.1 Estructura de la vegetación del sotobosque con diferente modalidad de pastoreo

3.1.1. Cobertura de herbáceas

Las gramíneas preferidas relevadas en el lote con descansos estivales presentaron mayor cobertura aérea (Figura 3.2.a) y mayor cobertura basal ($P < 0,01$ en ambos casos) que en el lote sin descanso y no se encontraron diferencias significativas entre periodos de estudio (cobertura aérea $P = 0,62$; cobertura basal $P = 0,1$). La gramínea preferida más abundante fue *Setaria leucopila* (78% del total en el lote con descansos, 83% del total sin descansos), resultó mayor en el lote con descansos ($P < 0,01$) que sin y no varió entre periodos de estudio (Figura 3.3). En menor proporción se encontró el grupo formado por *Setaria lachnea*, *Trichloris crinita*, *Gouinia paraguarienses* y *Digitaria californica*, que fue significativamente mayor en el lote con descansos ($P < 0,01$) respecto del lote sin descansos y no varió entre periodos de estudio ($P = 0,16$) (Figura 3.3).

La cobertura de las gramíneas menos preferidas (grupo dominado por *Stipa ichu*)

no mostró diferencias significativas entre ambos manejos del pastoreo ni entre periodos tanto para la cobertura aérea ($P = 0,9$ y $P = 0,58$ respectivamente) (Figura 3.2.b) como para la basal ($P = 0,62$ y $P = 0,11$).

La cobertura de dicotiledóneas, cuyas especies más abundantes fueron *Dichondra repens* y *Alternanthera pungens*, del lote sin descansos estivales superó a la cobertura del lote con descansos tanto en cobertura aérea ($P = 0,01$) (Figura 3.2.c) como en cobertura basal ($P = 0,01$) y no se encontraron diferencias significativas entre periodos (cobertura aérea $P = 0,89$; cobertura basal $P = 0,51$).

En cuanto a la totalidad de la cobertura de la comunidad herbácea, el lote con descansos se encontró dominado por gramíneas preferidas (en promedio 25%), seguido de dicotiledóneas (en promedio 16%) y en menor medida aparecen las gramíneas menos preferidas (en promedio 4%). En el lote sin descansos dominan las dicotiledóneas, con valores del 34%, las gramíneas preferidas no superan el 10% y las menos preferidas alcanzan un 4%.

La proporción de suelo desnudo del lote sin descansos resultó superior ($P < 0,05$) y la de broza inferior ($P < 0,05$) con respecto al lote con descansos. En ninguno de los dos casos se encontraron diferencias entre periodos ($P = 0,34$ para el suelo desnudo y $P = 0,15$ para la broza) (Figura 3.2.d y e).

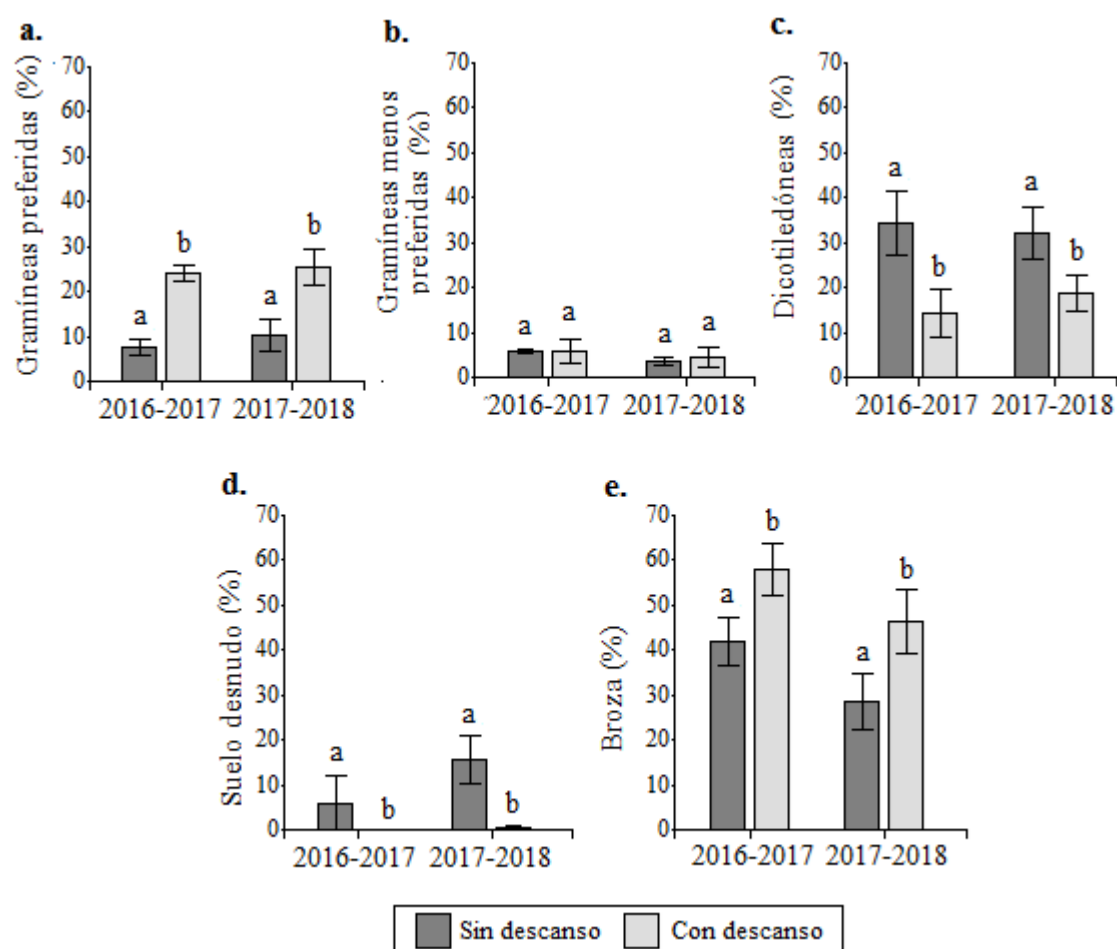


Figura 3.2: Cobertura aérea (%) de distintos grupos funcionales de especies herbáceas: gramíneas preferidas (a), gramíneas menos preferidas (b), dicotiledóneas (c) y proporción de suelo desnudo (d) y broza (e) en dos periodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018) en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las

líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

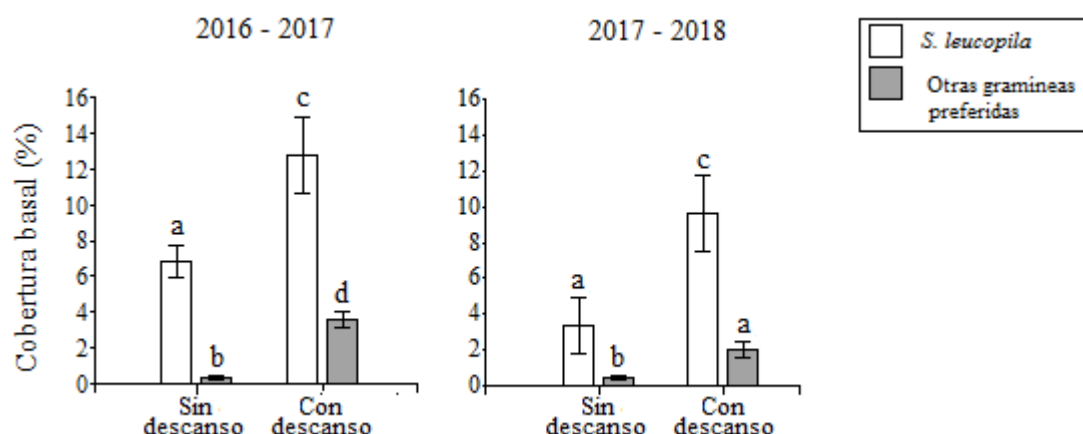


Figura 3.3: Cobertura basal de gramíneas preferidas (%) en dos períodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018) en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Se diferencia la proporción de *Setaria leucopila* y de otras gramíneas preferidas (incluye *Setaria lachnea*, *Trichloris Crinita*, *Gouinia paraguarienses* y *Digitaria californica*). Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.1.2. Cobertura de leñosas

La cobertura aérea total de especies leñosas con una altura inferior a 2,5 m (arbustos y renovales arbóreos) fue más alta en el lote sin descansos que en aquel donde se evitó el pastoreo durante la época de crecimiento ($P < 0,05$) (Figura 3.4.a). La especie más abundante fue *Celtis tala* seguida de *Larrea divaricata*, *Condalia microphylla* y especies del género *Prosopis*. De estas especies las que mostraron diferencia significativa entre tratamientos fueron *L. divaricata* y *Prosopis spp.* ($P < 0,05$ en ambos casos) (Figura 3.4.b).

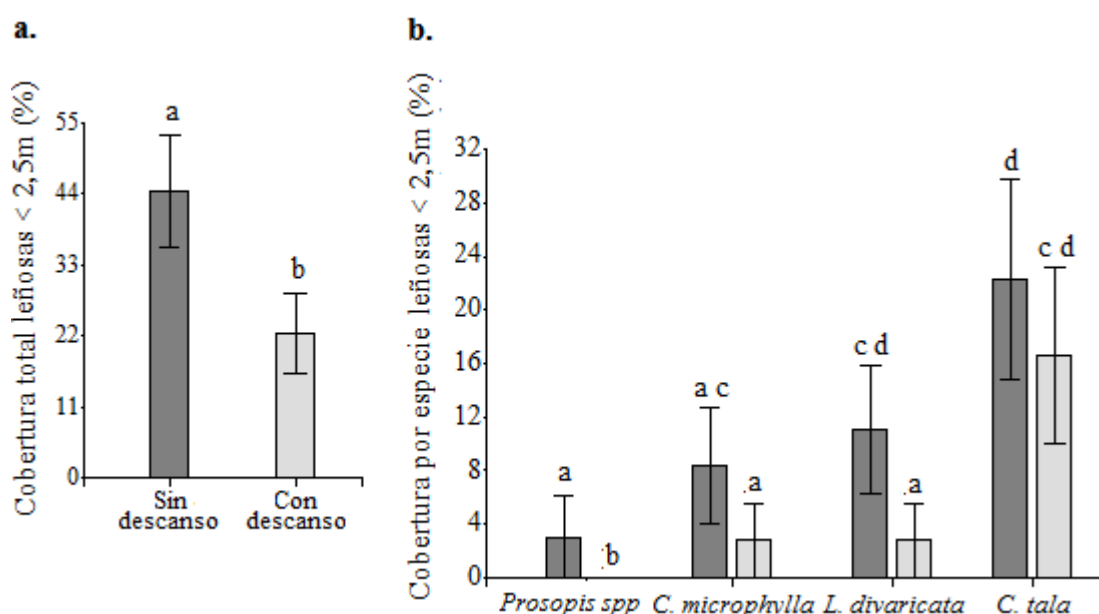


Figura 3.4: Cobertura aérea (%) de leñosas total (a) y por género o especie (b) menores a 2,5 m

de altura en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.2 PPNA de las gramíneas con diferente modalidad de pastoreo

La modalidad de pastoreo que incluyó descansos durante la estación de crecimiento incrementó significativamente ($P < 0,01$) la PPNA herbácea de las gramíneas preferidas con respecto al pastoreo sin descansos (Figura 3.5.a) y varió entre ambos periodos de estudio ($P < 0,05$). En la estación de crecimiento 2016-2017 este grupo funcional acumuló $484 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el lote con descansos y $203 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el lote sin descansos. En la estación de crecimiento 2017-2018 los lotes con y sin descansos acumularon 275 y $107 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de gramíneas preferidas respectivamente.

En cuanto a las gramíneas menos preferidas, la modalidad de pastoreo no modificó su PPNA ($P = 0,21$), aunque se encontraron efectos marginalmente significativos ($P = 0,09$) en la interacción entre la modalidad de pastoreo y el periodo relevado, ya que en el período 2016-2017 este grupo presentó mayor PPNA que en el período 2017-2018 sólo en el lote con descansos al pastoreo (Figura 3.5.b). Este grupo funcional acumuló $424 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el lote con descansos y $63 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el lote sin descansos durante la estación de crecimiento 2016-2017, mientras que durante la estación de crecimiento 2017-2018 la PPNA de este grupo funcional alcanzó 126 Kg y $100 \text{ MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los lotes con y sin descansos respectivamente.

Cabe mencionar que la PPNA del período 2016-2017 pudo haberse subestimado, ya que el pico de biomasa se encontró a mitad de la estación de crecimiento (febrero) y no al final de ésta (mayo), posiblemente debido a la ocurrencia de una helada temprana en abril que generó la pérdida de parte de la biomasa acumulada.

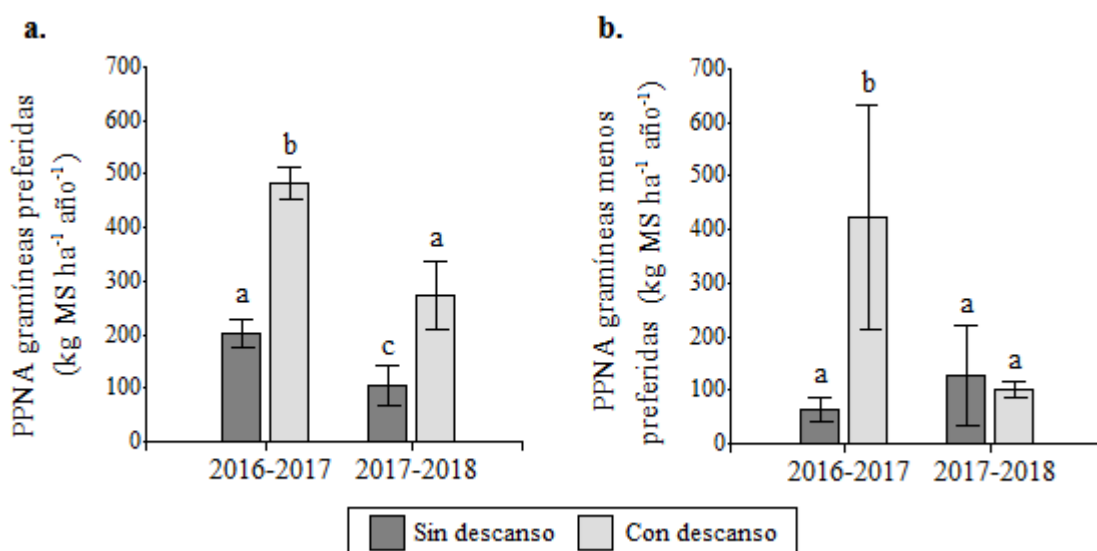


Figura 3.5: PPNA de gramíneas preferidas (a) y menos preferidas (b) ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en dos periodos de crecimiento (2016-2017 y 2017-2018) en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.3 Disponibilidad de biomasa y calidad nutritiva de las gramíneas preferidas con diferente modalidad de pastoreo

3.3.1. Disponibilidad de biomasa de las gramíneas preferidas a lo largo de un periodo

La biomasa de gramíneas preferidas del lote con descansos al pastoreo resultó significativamente superior que la del lote sin descansos en todas las fechas del período relevado (2017-2018) ($P < 0,01$), que no se diferenciaron entre sí ($P = 0,48$) (Figura 3.6).

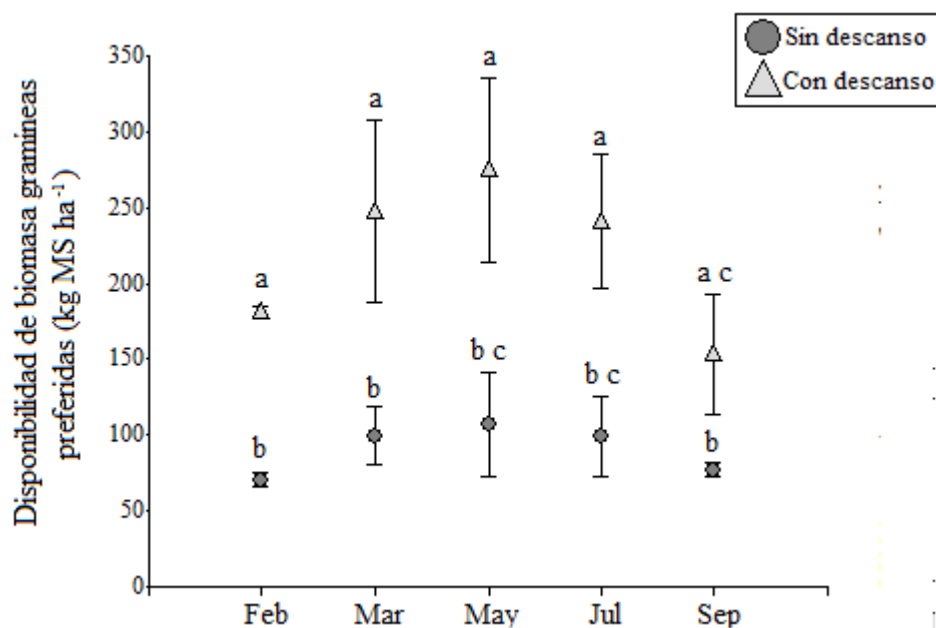


Figura 3.6: Evolución de la disponibilidad de biomasa aérea de gramíneas preferidas (kg MS ha⁻¹) a lo largo del periodo 2017-2018 en un bosque del Chaco Árido, bajo con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.3.2. Calidad nutritiva de *Setaria leucopila* a lo largo de un periodo

Solamente se analizó la calidad de *Setaria leucopila* debido a la dominancia de esta especie bajo ambas modalidades de pastoreo. Durante el período analizado (2017-2018) la modalidad de pastoreo no tuvo efecto sobre su calidad nutritiva, que mostró el mismo patrón estacional en la evolución de la digestibilidad y la proteína bruta en los lotes con y sin descansos (Tabla 3.1). La calidad fue máxima al comienzo de la estación de crecimiento (digestibilidad 64% y proteína bruta 13%) y fue decreciendo a medida que avanzó la estación hasta alcanzar los mínimos valores (digestibilidad 56% y proteína bruta 8,5%) al final de la estación seca (figura 3.7).

Tabla 3.1. Resultados del análisis de la varianza con medidas repetidas en el tiempo de la Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS) y la Proteína Bruta (PB) de *Setaria leucopila* a lo largo del periodo 2017-2018 en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento.

	Manejo		Fecha		Manejo x Fecha	
	F	P	F	P	F	P
DIVMS (%)	0,5	0,511	20,41	< 0,01	0,51	0,478
PB (%)	1,2	0,281	33,56	< 0,01	1,38	0,248

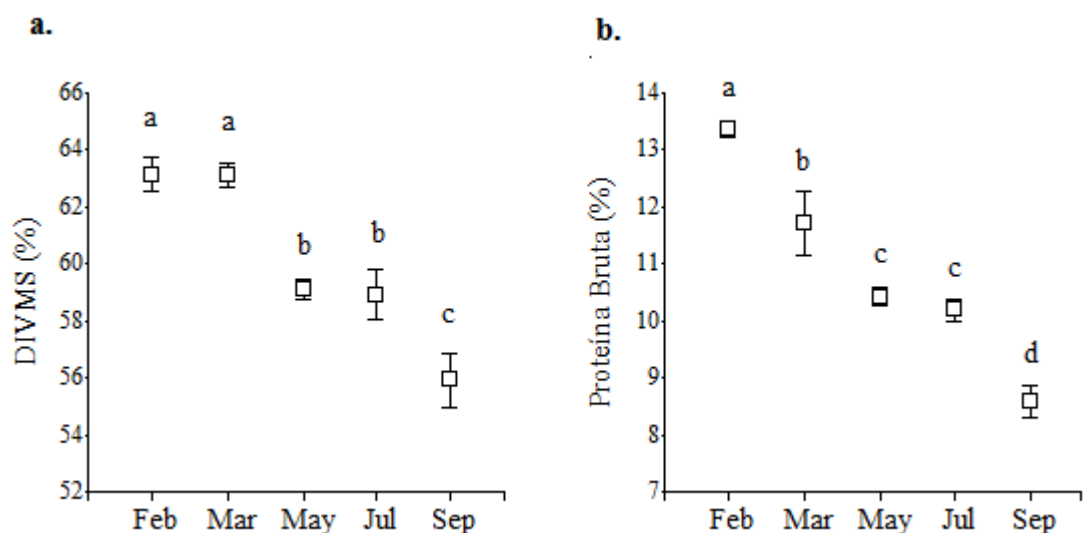


Figura 3.7: Evolución de la Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS) (a) y la Proteína Bruta (b) de *Setaria leucopila* a lo largo del periodo 2017-2018 en un bosque del Chaco Árido. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.4 Banco de semillas de gramíneas con diferente modalidad de pastoreo

El banco de semillas del suelo de gramíneas, que se evaluó a través de la densidad de plántulas emergidas, fue superior en el lote donde se efectúan descansos durante la estación de crecimiento ($P < 0,01$) que en el lote sin descansos (Figura 3.8). La cantidad promedio de plántulas emergidas fue 237 por m^2 en el suelo del lote con descansos y 52 por m^2 en el suelo del lote sin.

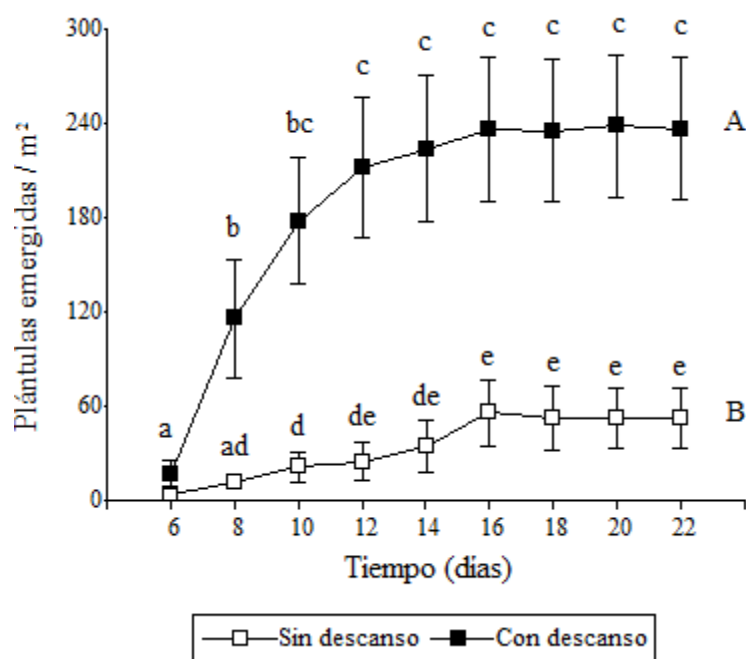


Figura 3.8: Densidad de plántulas de gramíneas emergidas por m² de suelos en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes entre tratamientos (mayúscula) y tiempo (minúscula).

3.5 Propiedades químicas y físicas del suelo con diferente modalidad de pastoreo

3.5.1. Propiedades químicas del suelo

La materia orgánica del suelo del lote con descansos al pastoreo (en promedio 4,3%) resultó significativamente superior ($P = 0,01$) a la del suelo del lote sin descansos (en promedio 2,9%) (Figura 3.9.a). En el mismo sentido, el contenido de N total del suelo fue significativamente superior ($P < 0,01$) en el lote con descansos (en promedio 0,21%) que sin descansos (en promedio 0,16%) (Figura 3.9.b).

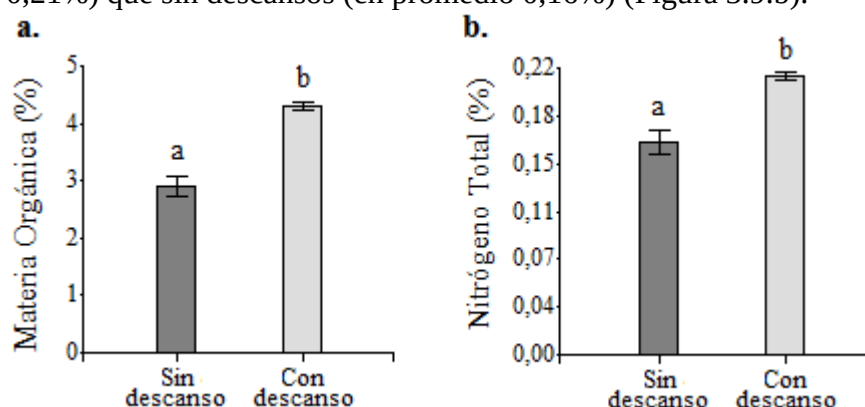


Figura 3.9: Propiedades químicas del suelo en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. a. Materia Orgánica (%), b. Nitrógeno Total (%); Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.5.2. Propiedades físicas del suelo

En el lote con descansos la infiltración fue superior ($P < 0,01$) que en el lote sin descansos estivales (Figura 3.10.a) con valores promedio de 76,72 y 45,98 mm/h respectivamente y la densidad aparente resultó marginalmente inferior ($P = 0,09$) (Figura 3.10.b) con valores promedio de 1,08 y 1,13 g/cm³, respectivamente. El contenido hídrico y la resistencia a la penetración de suelo no fueron significativamente diferentes entre tratamientos de pastoreo (contenido hídrico $P = 0,13$; resistencia a la penetración $P = 0,17$ de 0 a 5 cm, $P = 0,33$ de 5 a 10 cm, $P = 0,91$ de 10 a 15 cm y $P = 0,49$ de 15 a 20 cm) (Figura 3.10.c). El contenido hídrico no superó el 9% y la resistencia a la penetración alcanzó valores promedio de 8,7 Mpa en los primeros 5 cm del suelo, 27,3 Mpa de 5 a 10 cm, 28,7 de 10 a 15 cm y 24,8 de 15 a 20 cm.

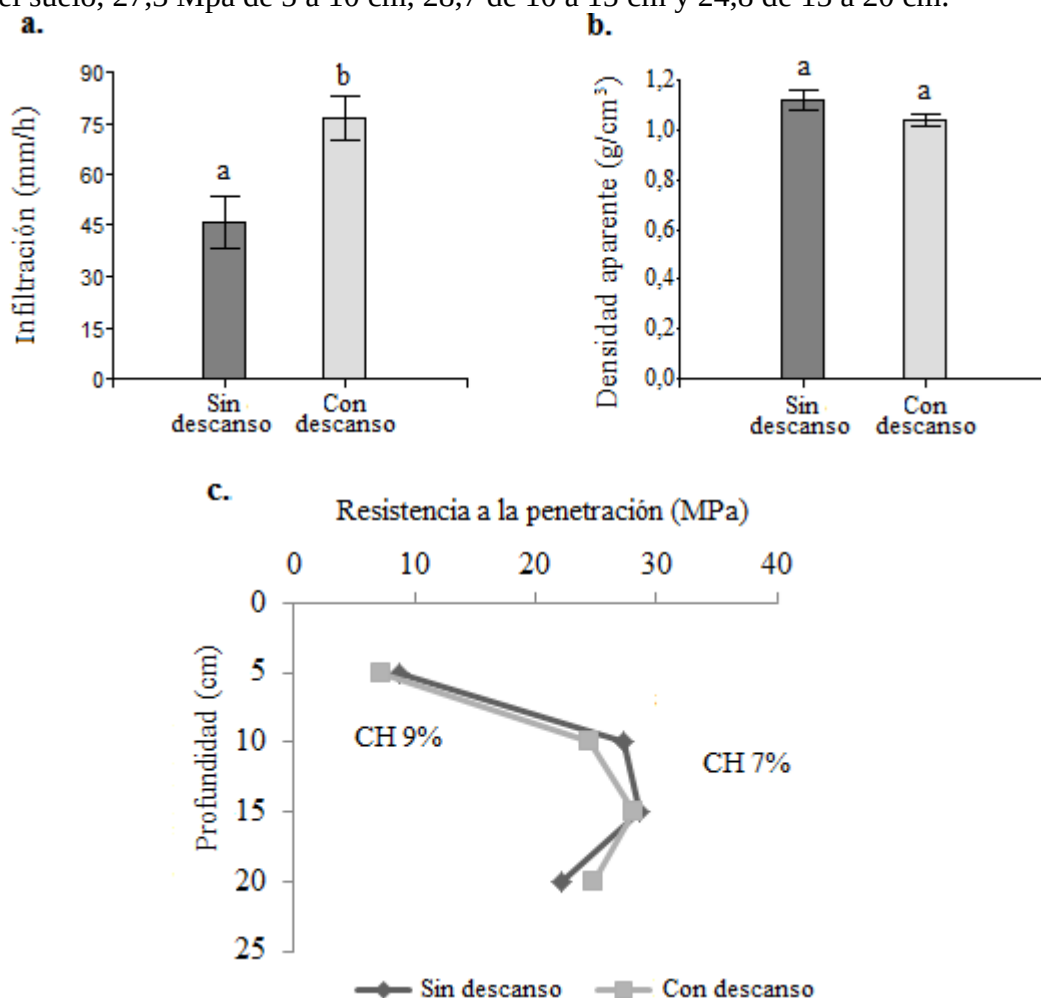


Figura 3.10: Propiedades físicas del suelo en un bosque del Chaco Árido, con y sin descansos al pastoreo en la estación de crecimiento. a. Infiltración (mm/h); b. Densidad aparente (g/cm³, 0-5 cm); c. Resistencia a la penetración (MPa, 0-20 cm) y contenido hídrico (CH, %). En a y b, las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.6 PPNA de gramíneas y calidad nutritiva de gramíneas preferidas del bosque nativo bajo distintas frecuencias de corte

3.6.1. PPNA de gramíneas bajo distinta frecuencia de corte

El aumento de la frecuencia de corte, desde uno a tres cortes durante la estación

de crecimiento, no afectó significativamente la PPNA de las gramíneas ($P = 0,95$) (Figura 3.11).

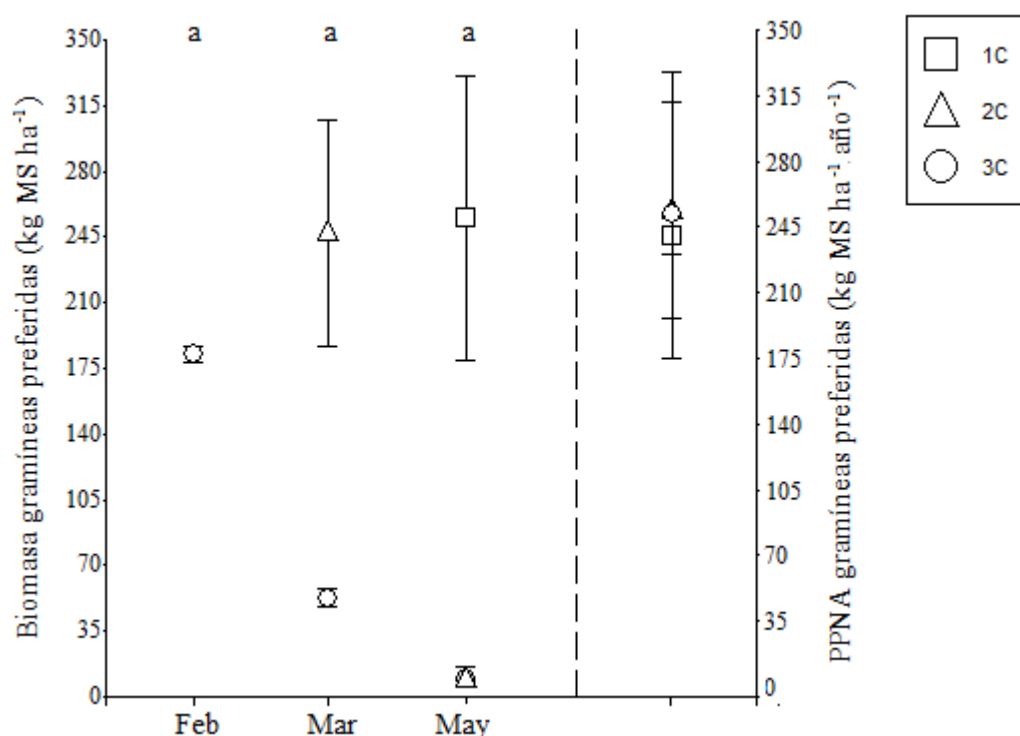


Figura 3.11: Biomasa aérea cosechada (kg MS ha^{-1}) en tres momentos de la estación de crecimiento (izquierda) y PPNA ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) (derecha) para distintas frecuencias de corte (1C: 1 corte; 2C: 2 cortes; 3C: 3 cortes) de gramíneas en el periodo 2017-2018 en un bosque del Chaco Árido. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes entre tratamientos.

3.6.2. Calidad nutritiva de gramíneas preferidas bajo distinta frecuencia de corte

La digestibilidad de la materia seca de *Setaria leucopila* no se modificó ($P = 0,66$) con la frecuencia de corte, mientras que el porcentaje de proteína bruta se incrementó ($P < 0,05$) cuando se realizaron dos cortes durante la estación de crecimiento (13,7% promedio de ambos cortes) en vez de uno al terminar la estación de crecimiento (11,7%) (Figura 3.12). Con tres cortes la calidad nutritiva no se evaluó ya que en ese tratamiento la producción de biomasa aérea después del segundo corte fue casi nula.

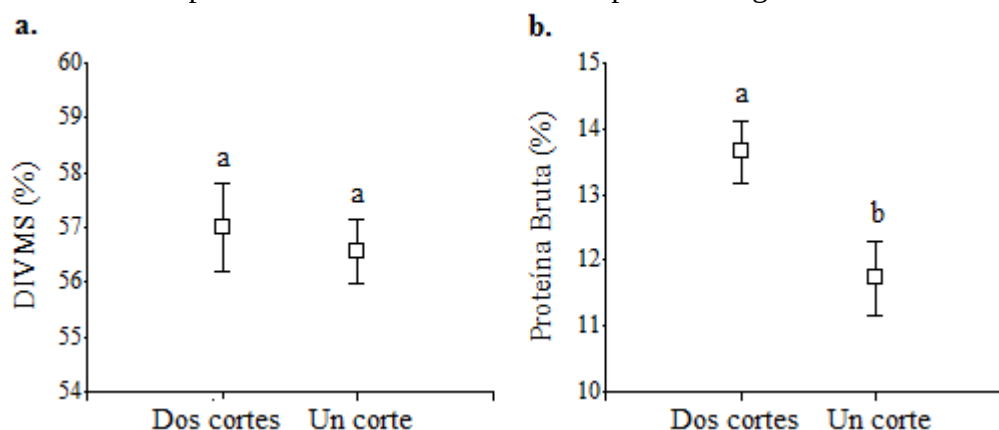


Figura 3.12: Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS, %) (a) y Proteína Bruta (%) (b)

(b) de *Setaria leucopila* bajo dos frecuencias de corte durante la estación de crecimiento del periodo 2017-2018, en un bosque del Chaco Árido. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.7 Características forrajeras de *Panicum coloratum*

3.7.1. Cobertura aérea

La cobertura aérea del lote sembrado con la pastura megatérmica presentó en promedio de 50% de *Panicum coloratum*, 7% de dicotiledóneas, 21% de suelo desnudo y 24% de broza.

3.7.2. Dinámica de la biomasa aérea

La biomasa aérea de *Panicum coloratum* del período 2017-2018 no varió significativamente entre las distintas fechas evaluadas ($P = 0,23$). (Figura 3.13).

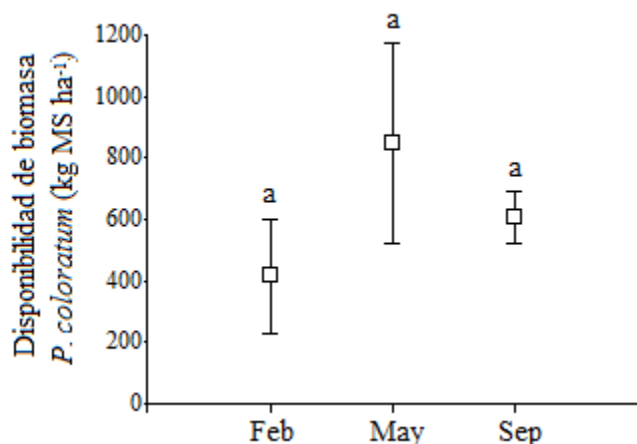


Figura 3.13: Biomasa aérea (kg MS ha^{-1}) de una pastura de *Panicum coloratum* en un sitio del Chaco Árido en tres momentos del año (mitad y final de la estación de crecimiento y final de la estación seca) del periodo 2017-2018. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.7.3. Calidad nutritiva

Tanto la digestibilidad de la materia seca como la proteína bruta de *Panicum coloratum* mostraron diferencias significativas a lo largo del año ($P < 0,01$ en ambos casos). La calidad fue máxima al comienzo de la estación de crecimiento (digestibilidad 62% y proteína bruta 8,4%) y fue decreciendo de manera significativa a medida que avanzó la estación hasta alcanzar los mínimos valores (digestibilidad 58% y proteína bruta 3,3%) al final de la estación seca (Figura 3.14).

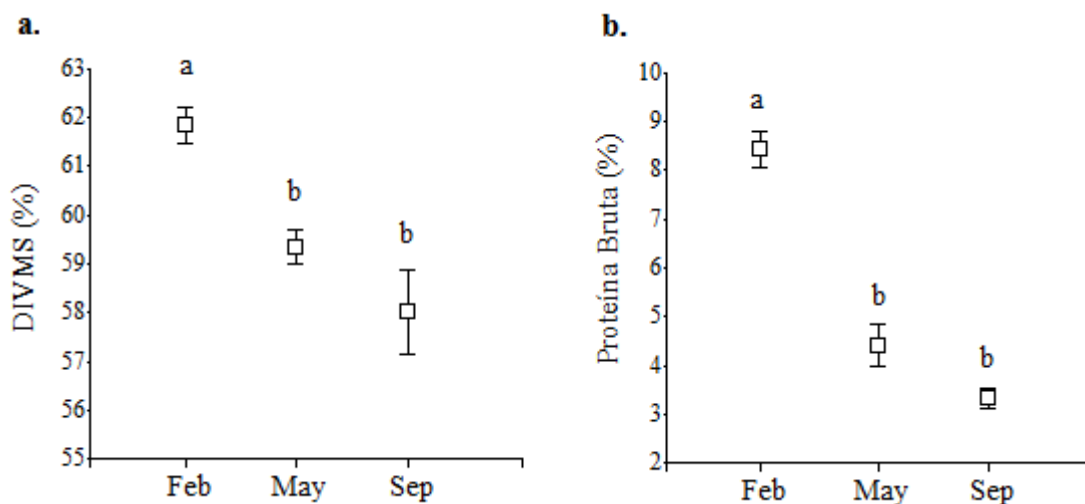


Figura 3.14: Evolución a lo largo del periodo 2017-2018 de la Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS, %) (a) y de Proteína Bruta (%) (b) de una pastura de *Panicum coloratum* en un sitio del Chaco Árido. Las barras muestran el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

3.7.4. PPNA con distinta frecuencia de corte durante la estación de crecimiento

No se encontraron diferencias significativas en la PPNA de *Panicum coloratum* manejado con uno o dos cortes durante la estación de crecimiento ($P = 0,7$) (Figura 3.15). Con tres cortes no se evaluó ya que la producción de biomasa después del segundo corte fue nula.

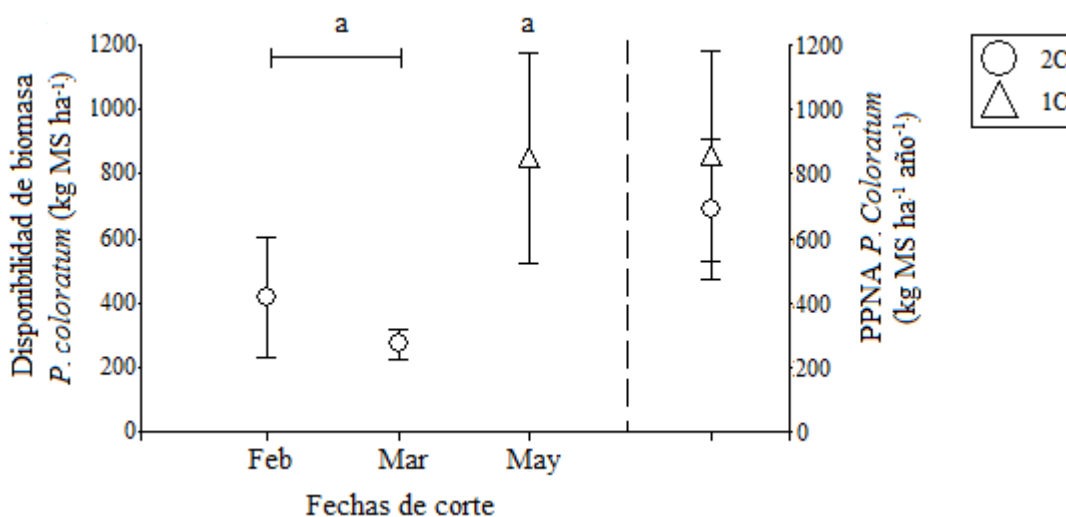


Figura 3.15: Biomasa aérea cosechada en tres momentos de la estación de crecimiento de una pastura (kg MS ha⁻¹) de *Panicum coloratum* (izquierda) y PPNA (kg MS ha⁻¹ año⁻¹) con distintas frecuencias de corte (1C: 1 corte; 2C: 2 cortes) (derecha) del periodo 2017-2018 en un sitio del Chaco Árido. Las líneas verticales indican el error estándar de la muestra. Medias de una misma variable con una letra común no son significativamente diferentes.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN

4.1. Manejo del pastoreo en el bosque seco

4.1.1. El manejo del pastoreo sobre características estructurales de la vegetación y el suelo del bosque

Las diferencias encontradas en la estructura de la vegetación de los lotes con diferente manejo del pastoreo sostienen que descansos durante la época de crecimiento aumentan la cobertura de gramíneas y broza y reducen la cobertura de dicotiledóneas rastreras, de arbustos y la proporción de suelo desnudo en relación al pastoreo sin descansos. Estos cambios estructurales concuerdan con lo reportado en otros pastizales, sabanas y bosques de regiones semi/áridas de África (Descheemaeker *et al.* 2006; Mwilawa *et al.* 2008; Yayneshet *et al.* 2009; Verdoodt *et al.* 2010; Tessema *et al.* 2012), Oceanía (Drewry 2006) y del Gran Chaco americano (Cotroneo *et al.* 2018).

La cobertura aérea total de gramíneas encontrada luego de realizar descansos estivales seis años consecutivos (29% de cobertura) fue similar a la reportada en otros bosques del Chaco semiárido santiagueño (28% de cobertura) con similar manejo (cuatro años con descansos estivales) y precipitación promedio (640 mm/año) (Cotroneo *et al.* 2018). En el Chaco Árido Serrano, Blanco *et al.* (2019) encontraron una cobertura aérea de gramíneas de porte alto del 11% al 18% (promedio de sitios de bajo, media loma y loma) luego de 8 años clausuras estivales. Estas menores coberturas con respecto a este estudio se vinculan a la precipitación media anual del sitio mencionado, cuyas medias no superan los 400 mm. El aumento de cobertura de gramíneas asociada a los descansos respondió a una mayor cobertura de gramíneas preferidas (muy palatables), cuya presencia resulta casi nula en el lote sin descansos donde el consumo reiterado sobre las mismas plantas genera pérdida de vigor y/o muerte, menor densidad (O'Connor 1991; O'Connor y Pickett 1992) y por lo tanto menor cobertura (Asner *et al.* 2004; Van Auken 2009). Por su parte, la cobertura de gramíneas menos preferidas, representadas principalmente por *Stipa ichu* (especie C₃ de baja calidad, característica de las estepas serranas; Sarmiento 1963), no se modificó por la modalidad de pastoreo. Esto difiere con lo hallado en pastizales semiáridos del Caldenal, que comparte los grupos funcionales del estrato herbáceo con la zona de estudio, donde se han documentado aumentos en la proporción de especies no palatables al ingresar los bovinos al sistema (Fernández *et al.* 2009), como consecuencia de la reducción de la presión competitiva por agua que realizan las gramíneas más palatables al disminuir su cobertura debido al pastoreo (Moretto y Distel 1999). Sin embargo, el efecto del pastoreo sobre las especies no palatables depende de la intensidad de pastoreo, ya que la cobertura de pajas es mayor a intensidades de pastoreo intermedias con respecto a las intensidades bajas o altas, debido a que en el primer caso las pajas son afectadas por la competencia de las especies palatables y en el segundo son afectadas por el disturbio intenso (Rauber *et al.* 2014). En nuestro caso, donde las condiciones de déficit forrajero son extremas ya que la carga animal supera ampliamente la receptividad, es probable que la limitada posibilidad de selección animal se traduzca en un mayor consumo aun de las especies poco palatables (Tongway *et al.* 2003; Distel y Villalba 2018). Ello impediría su reclutamiento y explicaría la escasa cobertura encontrada en el establecimiento estudiado (~4% de cobertura) y la falta de respuesta a los descansos estivales. Otro factor que explicaría la falta de respuesta es que las pajas son especies C₃ que permanecen en reposo durante la época estival en la que se realizan los descansos del pastoreo. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Morici *et*

al. (2003) para el Caldenal, quienes no hallaron cambios en la cobertura de este grupo funcional al cambiar la presión de pastoreo en un sistema donde la cobertura de gramíneas menos preferidas es baja y similar (5,5%) a la de nuestro caso. El predominio de las especies *S. leucopila* junto con *D. californica* y *T. Crinita* dentro de las gramíneas de preferencia animal indicaría que, aún en los lotes sin descansos, el pastizal no habría alcanzado un estado de degradación extremo, a partir del cual cambia la composición de especies y difícilmente se recupera el estado anterior (Díaz 2005).

La mayor cobertura de dicotiledóneas encontrada en el lote sin descansos estivales con respecto al lote con descansos respondió a la dominancia de especies rastreras como *Dichondra repens* (oreja de ratón) y *Alternanthera pungens* (hierba de pollo), que evaden el pastoreo y aprovechan los recursos liberados por las especies forrajeras de mayor porte, afectadas por el ganado (Belsky 1986; Gomez Sal *et al.* 1986; Sala *et al.* 1986; Milchunas *et al.* 1988). La dominancia de dicotiledóneas a intensidades de pastoreo altas y de gramíneas a intensidades bajas, ha sido reportada en pastizales semiáridos de la Patagonia argentina (Bertiller 1996) y en sabanas semiáridas de Etiopía, África (Tessema *et al.* 2012).

Si bien en ambos tratamientos de pastoreo la cobertura herbácea total (gramíneas más dicotiledóneas) resultó cercana a 50%, la porción restante de suelo en el lote con descansos se encontró cubierta de broza prácticamente en su totalidad (y por lo tanto no se registró suelo desnudo) y sólo parcialmente sin descansos, donde ~15% correspondió a suelo desnudo; proporción menor a la informada en otros bosques bajo estas condiciones en el Chaco americano (suelo desnudo ~30%; Cotroneo *et al.* 2018) y en África (suelo desnudo ~67%; Verdoodt *et al.* 2010). La mayor cobertura de broza encontrada el área descansada respondería tanto al mayor aporte debido al aumento de cobertura y productividad de las gramíneas forrajeras, como a la acumulación de broza de herbáceas y leñosas durante la exclusión animal (Descheemaeker *et al.* 2006; Drewry 2006; Verdoodt *et al.* 2009; Reszkowska *et al.* 2011; Raiesi y Riahi 2014).

La mayor cobertura de arbustos hallada en el lote sin descansos estivales coincide con lo reportado ampliamente en todo el mundo (Asner *et al.* 2004) y responde a múltiples factores como la diseminación de frutos escarificados por el ganado (Adámoli *et al.* 1990) acompañados por el microambiente generado por las deposiciones para su emergencia, crecimiento y establecimiento (Malo y Suárez 1995; Cypher y Cypher 1998), a los cambios que genera la excesiva carga animal en el suelo, como su compactación y consecuente disminución de la infiltración y la reducción del contenido de C y N (Posse *et al.* 2000; Raiesi y Rihahi 2014), la disminución de la competencia por el agua en horizontes superficiales por parte de las gramíneas (Pezo y Ibrahim 1998; Van Auken 2000; Díaz 2007), que cuando están presentes capturan el agua impidiendo su redistribución hacia horizontes más profundos (Magliano *et al.* 2016), y una mayor capacidad competitiva de los arbustos adultos frente a los pastos en condiciones de menor disponibilidad hídrica (Archer and Smeins 1991; Archer 1995). Así, en condiciones de degradación herbácea, el aumento en la cobertura de arbustos podría incluso estabilizarse en un nuevo estado estable alternativo al bosque, dominado por arbustos (Allen *et al.* 1998; Distel 2016). La cobertura de arbustos encontrada en el presente estudio (~20 a 40%, con y sin descansos respectivamente) y la dominancia de *Celtis tala* dentro de ese grupo funcional, coinciden con lo informado por Cotroneo *et al.* (2018) para bosques del Chaco semiárido. Por su parte, la cobertura de *L. divaricata*, considerada indicadora de degradación del Chaco árido (Morello y Saravia Toledo 1959; Karlin *et al.* 2013), resultó cinco veces menor en las áreas descansadas que en áreas sin descansar (~2% vs. ~10%), lo cual sugiere que en el sistema estudiado el manejo del pastoreo permitiría restaurar tanto el estrato herbáceo como el arbustivo.

Los resultados sobre la cobertura de las gramíneas preferidas son coherentes con los aumentos observados en la densidad de semillas en el banco, las mejoras en algunos aspectos físicos (infiltración y densidad aparente) y químicos del suelo (contenido de materia orgánica y N total) y la PPNA, y concuerdan con lo reportado en diversas regiones secas del Chaco americano (Casas 1982; Kunst *et al.* 2006; Cotroneo 2017; Cotroneo *et al.* 2018) y de África (Descheemaeker *et al.* 2006; Verdoodt *et al.* 2009; Tessema *et al.* 2012; Raiesi y Riahi 2014). Es bien sabido que la restauración pasiva desencadenada por los descansos del pastoreo puede involucrar mecanismos de retroalimentación entre diversos factores bióticos y abióticos (King y Hobbs 2006). La implementación de descansos estivales en la época de crecimiento de las gramíneas megatérmicas (las más preferidas en el sistema estudiado), permite a las plantas alcanzar el estado reproductivo, con lo cual el banco de semillas del suelo se va enriqueciendo paulatinamente, en particular durante los primeros 3 años (Cotroneo 2017). A cada año, el aumento de semillas germinadas, crecimiento y sobrevivencia de las plantas incrementa la cobertura (Zobel *et al.* 2000) y al alcanzar las plántulas mayor tamaño por la exclusión del pastoreo aumenta la producción de biomasa (Mwilawa *et al.* 2008; Verdoodt *et al.* 2010). Al aumentar la producción de las especies gramíneas preferidas de alta calidad forrajera (baja relación C/N) en combinación con una menor presión de pastoreo, parte de lo producido senesce incrementando la calidad y cantidad de broza aportada al suelo (Descheemaeker *et al.* 2006). En el corto plazo mejoran también las propiedades físicas del suelo debido a la ausencia de animales durante varios ciclos de humedecimiento–secado y a la creación de bioporos originados por el crecimiento y muerte de raicillas de las gramíneas (Drewry 2006; Fernández *et al.* 2015). Al mejorar la aireación, la infiltración y la broza, principal factor que disminuye la escorrentía (Magliano *et al.* 2016), la proporción de agua que ingresa al suelo aumenta, el déficit hídrico se atenúa y la productividad primaria aumenta (Martínez y Zinck 2004), retroalimentando estos procesos. En el mediano a largo plazo (más de 6 años), el aumento en la cantidad y calidad de broza aportada al suelo, junto con la muerte de raicillas de herbáceas en eventos de pastoreo (Drewry 2006; Fernández *et al.* 2015), mejoran las propiedades químicas del suelo, al incrementarse el contenido de materia orgánica y N total (Verdoodt *et al.* 2009; Raiesi y Riahi 2014), y a su vez aumenta la germinación de semillas con el aumento del contenido de materia orgánica (Tessema *et al.* 2012), retroalimentando positivamente el proceso.

El aumento en la densidad de semillas es similar al hallado en el Chaco semiárido santiagueño por Marengo (2015). En ese sitio, la densidad de plántulas de gramíneas emergidas en clausuras estacionales de cuatro años alcanza aproximadamente 350 plántulas/m² y sin clausuras no superan las 30 plántulas/m². En este estudio el lote con descansos alcanza un promedio de 240 plántulas/m² mientras que el lote sin descansos promedia las 60 plántulas/m². Resultados similares se han observado también en clausuras de regiones áridas de África (Tessema *et al.* 2012). El pastoreo durante la época de lluvias provoca que las plantas pastoreadas produzcan un menor número de semillas, como consecuencia reduce la colonización por nuevas plántulas (Smith *et al.* 2000) y en un plazo mayor puede agotar el banco de semillas (Hodgkinson 1992). Sin embargo, los resultados hallados indican que el banco de semillas en el lote sin descansos aún presenta capacidad para su rehabilitación autogénica, a pesar de la baja cobertura actual de gramíneas que posee (Mengistu *et al.* 2005). En estas condiciones, la clausura estacional bastaría para recuperar el banco de semillas, que en condiciones de degradación más severa puede requerir el enriquecimiento artificial (Quiroga *et al.* 2009).

En cuanto a las propiedades físicas del suelo, la mejora en la infiltración y

densidad aparente coinciden con lo hallado en el Chaco semiárido santiagueño donde se encontró que en cuatro años de exclusión estacional del pastoreo aumentó la porosidad y disminuyó la densidad aparente (Cotroneo 2017) y con lo reportado por Casas (1982) en la misma región. La magnitud de la reducción de la densidad aparente (de 1,13 bajo sin descansos a 1,08 g/cm³ con descansos) fue similar a la reportada por este último autor (de 1,12 g/cm³ sin descansos a 1,05 g/cm³ con descansos periódicos). Los cambios en la infiltración coinciden con resultados de un sitio árido de Estados Unidos, en el que la clausura duplica la infiltración con respecto al pastizal bajo pastoreo continuo (Castellano y Valone 2007). La exclusión del pastoreo durante la estación lluviosa serviría para prevenir procesos de compactación, dado que la susceptibilidad a la compactación aumenta cuando el suelo está más húmedo (Quiroga *et al.* 1999), mientras que a bajos contenidos hídricos la probabilidad de daño es nula o mínima (Aragón *et al.* 2000). A su vez, permitiría la recuperación de la compactación ya existente, debida al pastoreo intenso previo, a través de los procesos abióticos (humedecimiento-secado) y bióticos (crecimiento y muerte de raicillas) antes mencionados (Drewry 2006; Fernández *et al.* 2015). Si bien no se encontraron diferencias entre manejos en cuanto a la resistencia a la penetración, esto podría relacionarse con el bajo contenido hídrico en ambos lotes al momento de la estimación (Gerard *et al.* 1982).

Los resultados encontrados sobre las propiedades químicas del suelo son similares a los hallados por Casas (1982) en suelos haplustoles del Chaco semiárido santiagueño en una clausura de ocho años. Allí registró un aumento en la MO de 2,80% fuera de la clausura a 5,10% dentro de ella (en el presente trabajo aumentó de 2,9% a 4,3%) y el contenido de N total varió de 0,16% a 0,27% (en el presente trabajo varió de 0,16% a 0,21%, respectivamente). Cambios similares en el C orgánico y N total del suelo se reportaron en bosques semiáridos de Kenya (Verdoodt *et al.* 2009) y áridos de Irán (Raiesi y Riahi 2014), en Asia. Al excluir el pastoreo en la época de crecimiento y aumentar la cantidad y calidad de las raíces, se incrementa el aporte de C y la retención de N (Heckathorn y Delucia 1996; Dell *et al.* 2005).

4.1.2. El manejo del pastoreo sobre la productividad y la calidad forrajera del estrato herbáceo del bosque

El aumento de la PPNA total de gramíneas (preferidas y menos preferidas, de síndrome fotosintético C₄ y C₃ respectivamente) como respuesta a los descansos del pastoreo fue reportado previamente en sistemas ganaderos del Chaco árido en las provincias de Córdoba (Coirini *et al.* 2017) y Catamarca (Contreras *et al.* 2013) y del Chaco semiárido santiagueño (Kunst *et al.* 2006; Cotroneo *et al.* 2018), aunque en estas dos últimas regiones sólo vegetan especies C₄. La PPNA encontrada en este trabajo corresponde a sitios en condición *pobre* a *regular* según lo descrito por Rossi (2010) para el Chaco árido y semiárido, donde la productividad de pastizales en condición *buena* alcanza valores de 1100-2500 y 2600-3500 kg MS/ha año, respectivamente. Los valores hallados son menores a los reportados por Coirini *et al.* (2017) en el Chaco árido cordobés, donde la biomasa acumulada al final de la estación de crecimiento en un año húmedo (788 mm) supera los 2200 kg MS ha⁻¹ en clausuras con tres años de antigüedad (vs. 438 kg MS ha⁻¹ fuera de las clausuras) y en un año seco (496 mm) alcanza 1685 (vs. 755 kg MS ha⁻¹ sin descansos). Las diferencias probablemente se deban a que en los lotes del presente estudio, la carga animal supera entre cuatro y seis veces a la receptividad. Además, cabe mencionar nuevamente que la PPNA pudo haberse subestimado durante el periodo húmedo.

La reducción de la PPNA observada durante el año seco respondió a una

disminución proporcionalmente mayor de la productividad de las especies C_3 que de las C_4 . Esto se debería a que las especies C_4 son más eficientes en el uso del agua que las C_3 (Nayyar y Gupta 2006). Por esta razón las C_3 se ven favorecidas sólo en condiciones de elevada disponibilidad hídrica (Rauber *et al.* 2019), debido a la menor competencia por agua por parte de las C_4 y al menor gasto energético de las C_3 con respecto a las anteriores (Shuli *et al.* 2005).

La mayor PPNA de las gramíneas preferidas generada por los descansos al pastoreo durante la estación de crecimiento determina una mayor disponibilidad de materia seca digestible (disponibilidad de gramíneas preferidas * digestibilidad de *S. leucopila*) para el ganado a lo largo de todo el año. Consideramos solo la digestibilidad de *S. leucopila*, ya que esta especie constituye ~80% de las gramíneas de mayor preferencia animal. Debido a que su digestibilidad fue la misma bajo ambos tratamientos de pastoreo, la mayor disponibilidad de biomasa digestible a lo largo del año en el lote con descansos es justificada solamente por el aumento de la disponibilidad de biomasa de las especies preferidas, la cual duplica la del lote sin descansos. La variabilidad estacional de la materia seca digestible muestra que hay una tendencia al aumento en la biomasa digestible al final de la estación de crecimiento y una caída al final de la estación seca. El pico de biomasa responde a una combinación entre las precipitaciones y una menor evapotranspiración y temperatura (Torres Bruchmann 1981; Tiedemann *et al.* 2012). La caída coincide con la primera helada registrada, ya que éstas disminuyen severamente la digestibilidad (Pizzio 2001). Este comportamiento a lo largo del año, cuyo pico es superior en el lote con descansos, es similar a lo hallado por Díaz (2003) en el Chaco árido de la provincia de Córdoba. Sin embargo, los valores encontrados por este autor triplican los hallados en este trabajo, vinculado probablemente al mejor estado de conservación de la vegetación ya que su análisis fue realizado en una reserva natural. La falta de diferencias significativas entre fechas probablemente responde a la elevada variabilidad de los datos, típica de regiones semiáridas donde la heterogeneidad espacial de la vegetación es muy alta (Breshears *et al.* 1997; Aguiar y Sala 1999).

El porcentaje de proteína bruta de *S. leucopila* no difiere entre manejos del pastoreo y muestra un comportamiento estacional similar al encontrado en el Chaco árido cordobés (Díaz 2007), aunque en dicho trabajo los valores son menores (descienden de 10% en verano a 5% en invierno, mientras que en este trabajo descenden de 13% a 8,5%). Los valores más bajos de proteína bruta del sitio cordobés son coherentes con sus menores precipitaciones (532 mm/año). Durante la estación de crecimiento, a medida que se produce materia seca, el contenido de proteína por unidad de biomasa de la planta decae (Lemaire y Salette 1984), debido a respuestas fisiológicas como el aumento proporcional de tejidos estructurales y de almacenamiento a medida que transcurre el ciclo del cultivo (Plénet y Lemaire 2000). Por esta razón la proteína desciende entre febrero y mayo. Luego de finalizar la estación de crecimiento la disminución continúa. Sin embargo, esta especie mantiene una concentración relativamente alta de N durante el invierno. Esto podría estar vinculado a que el periodo estudiado fue seco, lo cual aumentaría la concentración de N en la materia seca diferida al deprimir la acumulación de biomasa (Greenwood *et al.* 1990). Complementariamente, el inicio de las heladas corta el periodo de acumulación y la materia seca acumulada y reduce la translocación desde hojas y tallos hacia órganos reproductivos y raíces (Parrish y Fike 2005), permitiendo una concentración de N más elevada en la materia seca diferida. A mitad del invierno (julio) no ocurre un gran descenso de la calidad (tanto de la digestibilidad como de la proteína bruta) que sí se registra al final de esta estación, cuando la digestibilidad desciende a niveles muy bajos

y la proteína alcanza valores cercanos al umbral mínimo recomendado para el consumo bovino (Mathis 2000). Estos resultados indican que el momento adecuado para el consumo diferido de las gramíneas nativas es antes de finalizar el invierno.

4.2. La frecuencia de cortes y la productividad y calidad del tapiz herbáceo del bosque y de pasturas implantadas

Contrariamente a lo esperado, la implementación de cortes durante la estación de crecimiento no aumentó la productividad ni la digestibilidad de las gramíneas preferidas del tapiz herbáceo del bosque con respecto a la realización de un solo corte al final de la estación. Probablemente, las escasas precipitaciones durante el mes post-defoliación prácticamente no permitieron el rebrote a partir del tejido vegetal remanente (Deregibus *et al.* 2007). En el Chaco semiárido santiagueño, Bosio (2010) reportó un incremento en la productividad de *Trichloris crinita* con cuatro cortes durante la estación de crecimiento. De modo contrario, en el Chaco árido riojano (con menores precipitaciones que la media de la zona de estudio) se han reportado efectos negativos de cuatro cortes durante la misma estación, que los autores justifican en que el rebrote de las plantas defoliadas habría ocurrido a partir de reservas, comprometiendo el crecimiento futuro (Blanco y Oriente 2003). Por su parte, el contenido de proteína bruta mejoró en un 17% al aumentar la frecuencia de cortes durante la estación de crecimiento, en concordancia con el aumento registrado (~22%) para el mismo tratamiento en el Chaco semiárido santiagueño (Bosio 2010). A pesar de este efecto positivo del corte sobre este aspecto de la calidad, nuestros resultados indican que, en años secos como el de estudio, para que la acumulación de biomasa durante la estación de crecimiento justifique diferirla al invierno, los descansos al pastoreo deberían contemplar la estación de crecimiento completa.

En relación a la pastura megatérmica (*Panicum coloratum*), los valores de PPNA encontrados en este trabajo resultan muy bajos en comparación a lo reportado en otros sitios, ya que solo alcanzaron un 15% de lo reportado en el Chaco árido de la provincia de Córdoba (De León *et al.* 1998) y un 20% de lo reportado en La Rioja (Quiroga *et al.* 2007), a pesar de que las precipitaciones de esta última región son muy inferiores (349 mm) a las de nuestro sitio y año de estudio. Probablemente este resultado responde a la altísima intensidad y frecuencia de pastoreo implementadas en el caso de estudio, que afectan severamente la productividad de la pastura (Ferri *et al.* 2017). La defoliación frecuente puede afectar la acumulación de biomasa subterránea por la reducción en la asignación de carbono hacia el sistema radical (Holland y Detling 1990), que contribuye a la recuperación del área foliar (Richards 1984). Esto tiene consecuencias sobre la persistencia y producción de la pastura, sobre todo en ambientes donde limitan la disponibilidad hídrica y los nutrientes (Ferri *et al.* 2017), es decir, donde el rebrote a partir de la fotosíntesis actual puede encontrarse limitado. En función de ello, la recomendación para estos ambientes es volver a utilizar la pastura recién cuando la recuperación de la cobertura supere el 60% (Ferri y Jouve 2018), umbral no alcanzado históricamente en los pastoreos del establecimiento estudiado. El efecto de la alta carga animal también puede haber afectado la productividad a través de la degradación física y química del suelo (Petruzzi *et al.* 2003), la cual repercute negativamente sobre la condición de la pastura (Barbera *et al.* 2014). La baja productividad también podría estar influenciada por la disponibilidad de Nitrógeno, cuyo contenido cae abruptamente al reemplazarse la cobertura de leñosas leguminosas nativas que aportan grandes cantidades de hojarasca rica en Nitrógeno (Mazzarino *et al.* 1991a y 1991b).

La falta de respuestas de la PPNA al aumento de la frecuencia de cortes de la

pastura durante el periodo de crecimiento coincide con lo reportado para la misma especie en el Caldenal pampeano por Ferri *et al.* (2017). Dichos autores encontraron que, a mayor frecuencia de cortes la acumulación de materia seca disminuye, al disminuir la capacidad exploratoria de las raíces por las defoliaciones frecuentes, incrementando así la sensibilidad a la sequía. Esto habría limitado la productividad en nuestro estudio, donde el efecto del corte se analizó en un año seco y las lluvias en el mes post-defoliación fueron muy escasas. En cuanto a la calidad forrajera de la pastura, los valores de proteína bruta son similares a los encontrados por Strizler y Petruzzi (2005) en la región pampeana semiárida, alcanzando ~9% durante el verano y descendiendo por debajo del 5% en el invierno. La calidad encontrada durante la estación seca es inferior a la recomendada (valor umbral ~ 7% PB) para el consumo animal (Mathis 2000), por lo que su utilización en esa época no sería recomendable. En relación a la dinámica temporal de la biomasa, si bien no se encontraron diferencias significativas entre fechas la tendencia mostró un máximo al final de la estación de crecimiento, en concordancia con lo reportado en el Chaco árido riojano por Quiroga *et al.* (2007). Aunque la cantidad de biomasa acumulada al final de la estación de crecimiento es considerable (en relación con la acumulada por el estrato herbáceo nativo), la calidad a partir de ese momento es inferior al umbral mínimo mencionado. A partir de estos resultados, no sería recomendable diferir este recurso forrajero, que debería ser utilizado durante la estación húmeda.

4.3. Un modelo de utilización complementaria de bosques y pasturas megatérmicas

La inclusión de pasturas en lotes desmontados mediante su utilización en la época de crecimiento, permitiría descansar el bosque durante esa estación. Los descansos junto con la adecuación de la carga animal, promoverían la rehabilitación de las gramíneas nativas que ofrecen forraje de calidad durante la estación seca, cuando es conveniente su utilización. Debido a la importancia ecológica del bosque nativo y los efectos severos del desmonte (Casas 2001; Grau *et al.* 2005; MEA 2005; Paruelo *et al.* 2005; Carreño y Viglizzo 2010; Viglizzo y Frank 2010), la superficie destinada a pastura en pastizales semiáridos de San Luis debería ser la mínima necesaria (Demaría y Suarez 2013) que permita promover la recuperación ecológica y productiva del sistema. Según reportaron Ferrando *et al.* (2002) en el Chaco árido riojano, una superficie de 11% del establecimiento fue suficiente para triplicar la receptividad ganadera mediante el uso estival de pasturas exóticas e invernal de especies nativas.

Bajo el supuesto que las 48,5 ha de bosque que el productor utiliza sin descanso durante la época estival, alcanzan una productividad similar a la hallada en el potrero con el mismo manejo y durante un año seco como el de este estudio (521 mm año⁻¹), la receptividad media del establecimiento estimada es 0,032 EV ha⁻¹ (equivalente a 31 ha EV⁻¹) (Tabla 4.1). Sin embargo, las diferencias de receptividad y superficie relativa entre recursos de uso estival (48,5 ha de bosque sin descanso con una R de 0,05 EV ha⁻¹ estación⁻¹ y 1 ha de pastura con 0,2 EV ha⁻¹ estación⁻¹) e invernal (10 ha de bosque con descansos y una R de 0,09 EV ha⁻¹ estación⁻¹), generan un desbalance entre estaciones (R estival/ R invernal = 2,7) que reduciría la receptividad real aún más. En relación al uso actual, cada recurso se pastorea efectivamente de la siguiente manera: 20 vacas adultas pastorean durante 81 días en un lote de 25 ha bosque sin descanso, durante 30 días en 10 ha con descanso, y 6 vacas durante 30 días en 1 ha de Panicum. Es decir, que bajo el uso actual la carga es seis veces mayor que la receptividad en el bosque sin descanso y cuatro veces mayor en los otros recursos. Sin embargo, es probable que en los bosques (que también proveen frutos y hojarasca forrajera) la oferta forrajera global

sea mayor que la calculada sólo para gramíneas, con lo cual el déficit podría ser menor al calculado. Bajo este sistema de uso, el productor se ve obligado a recurrir a otros verdes y a la utilización de áreas complementarias de campos vecinos.

Tabla 4.1: Calculo de Receptividad ganadera media de un establecimiento productivo del Chaco Árido que incluye el bosque y una pastura de *P. coloratum*.

	RECURSO		
	Bosque con descanso	Bosque sin descanso	<i>P. coloratum</i>
PPNA-de gramíneas (kg MS ha ⁻¹ año ⁻¹)	401	207	848
Período de uso estival (días)	-	215	215
Período de uso invernol (días)	150	-	-
IC	0,35	0,50	0,50
Consumo por día	10	10	10
Receptividad estival (EV ha ⁻¹ estación ⁻¹)	-	0,05	0,20
Receptividad invernol (EV ha ⁻¹ estación ⁻¹)	0,09	-	-
ESTABLECIMIENTO			
Superficie por recurso (ha)	10	48,5	1
Receptividad invernol (EV ha ⁻¹)	0,016		
Receptividad estival (EV ha ⁻¹)			0,043
Receptividad media (EV ha ⁻¹)		0,032	
Receptividad estival/invernol		2,71	

En virtud de lo anterior, es esperable que el ajuste de carga animal y el cambio en la proporción de la superficie de pastura y de bosque manejado con descanso estival, permitan incrementar la carga. La propuesta de manejo que aquí se presenta incluye la ampliación de la superficie destinada a la pastura a un 15% del total (10,5 ha) en lotes del establecimiento que ya están desmontados o con bosque ralo, y el manejo con descansos estivales de todo el bosque. En principio se debería adecuar la carga a la receptividad actual de cada lote, por ejemplo mediante la incorporación de suplementación o el pastoreo provisorio en otras áreas. Al segundo año desde el inicio de la implementación, con dos años de descanso en bosques previamente pastoreados en forma continua y un recurso exótico implantado y pastoreado de acuerdo a su capacidad de carga, sería esperable que la receptividad aumente aproximadamente 3,5 veces (asumiendo una PPNA de 400 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ para los bosques descansados y 4000 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ para la pastura nueva, valor de mínima en años secos según Petruzzi *et al.* 2003). Cabe mencionar que este valor de receptividad es un valor conservador estimado en un año seco, y probablemente sería mayor en años normales o húmedos.

Con la carga adecuada y oferta equilibrada entre estaciones, es esperable que la productividad pastoril en bosques mejore aproximadamente a 1100 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ (con un valor conservador de pastizal en buena condición, Rossi 2010) y permita alcanzar una receptividad de 0,173 EV ha⁻¹ (equivalentes a 5,79 ha EV⁻¹), cinco veces mayor que la original (tabla 4.2). De esta manera se lograría establecer el manejo rotativo denominado “6/6”, el cual implica pastorear en el periodo de noviembre a abril la pastura y de mayo a octubre el pastizal natural (Ferrando *et al.* 2005). Es esperable que estos ajustes promuevan la restauración de otros componentes del agroecosistema (suelos, otra vegetación herbácea y leñosa, Brassiolo *et al.* 2008; Coirini *et al.* 2017; Contreras *et al.* 2013; Cotroneo 2017; Cotroneo *et al.* 2018; Trigo *et al.* 2018), cuya retroalimentación positiva permitiría mantener el sistema en su potencial productivo.

Tabla 4.2. Receptividad ganadera potencial de un manejo 6/6 complementando de pastizal de bosque nativo y pastura de *Panicum coloratum* con en un sitio del Chaco Árido.

	RECURSO	
	Bosque con descanso	<i>P. coloratum</i>
PPNAacc (kg MS ha ⁻¹ año ⁻¹)	1100,00	4000,00
Período de uso estival (días)	-	180
Período de uso invernal (días)	185	-
IC	2,08	11,11
Consumo por día	10,00	10,00
Receptividad estival por recurso (EV ha ⁻¹)	-	1,11
Receptividad invernal por recurso (EV ha ⁻¹)	0,21	-
ESTABLECIMIENTO		
Superficie por recurso (ha)	58,5	10,5
Receptividad invernal (EV ha ⁻¹)	0,176	-
Receptividad estival (EV ha ⁻¹)	-	0,169
Receptividad media (EV ha ⁻¹)	0,173	

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

El presente estudio de caso aporta evidencias sobre la efectividad de la práctica de exclusión del pastoreo en la época de lluvias para la rehabilitación ecológica y productiva de sistemas secos degradados en el bosque nativo del Valle de Conlara. Estos resultados, coincidentes con lo observado en otras regiones secas, apoyan la idea de que los descansos durante la estación de crecimiento permiten alcanzar la floración, enriquecer el banco de semillas, aumentar la cobertura y la PPNA de las gramíneas del sotobosque; y corrobora la primera hipótesis de este trabajo. En el mismo sentido, la mayor cobertura y productividad herbácea, y la menor proporción de suelo desnudo y el mayor aporte de broza asociados, junto con la ausencia de pisoteo en la época de lluvias, favorecerían mejoras químicas (mayor contenido de materia orgánica y de nitrógeno total) y físicas (menor densidad aparente y mayor capacidad de infiltración) del suelo; y corrobora la segunda hipótesis de este trabajo. Así, la rehabilitación de vegetación y suelos de estos sistemas no requeriría el reemplazo de la vegetación nativa ni la implementación de tecnologías muy dependientes de insumos, combustibles fósiles o capital, sino instalaciones, principalmente apotreramiento y aguadas, que permitan manejar el pastoreo.

De modo contrario a lo planteado en la tercera hipótesis de este trabajo, el aumento de la frecuencia de pastoreo durante la estación de lluvias no incrementó la productividad del estrato gramíneo del bosque.

La utilización de pasturas megatérmicas de mayor productividad estival (como *Panicum spp.* o *Cenchrus spp.*) en sitios donde la degradación es extrema o ya desmontados, puede cumplir un rol estratégico; permiten descansar el bosque y diferirlo al invierno, momento en que su calidad nutricional es superior a la de este tipo de pasturas. Los antecedentes y resultados de este trabajo indican que un manejo rotativo 6/6 (donde los animales pastorean sobre la pastura de noviembre a abril y en el pastizal del bosque de mayo a octubre) con una superficie destinada a pastura de entre 11 y 15% resulta un manejo potencial para mejorar la calidad del pastizal del bosque nativo en otros sitios el Valle de Conlara, siempre y cuando se ajuste en forma adecuada la carga animal. El aporte de este trabajo constituye así una primera aproximación hacia el desarrollo de un modelo productivo basado en la restauración, conservación y producción ganadera en el Valle de Conlara. Estos aspectos muchas veces se perciben escondidos, lo que conduce al reemplazo de bosques secos, con fines económico-productivos.

Estudios como este, que contribuyen a elaborar propuestas productivas más basadas en manejo que en la utilización de insumos, aún son escasos en la región. Para ello, se requieren nuevas investigaciones que abarquen más casos (en lo posible incluyendo repeticiones verdaderas), tipos de vegetación (pastizales a cielo abierto, otras pasturas, otras clases de bosque), años (secos y húmedos), sistemas con diferente carga animal, entre las variables más relevantes. En este estudio se hizo un muestreo de especies leñosas, aunque sin indagar sobre el aporte de biomasa y la calidad nutritiva de hojas, hojarasca y frutos de árboles y arbustos, que constituyen importantes recursos forrajeros para el ganado bovino; aspecto que también podría mejorar con futuras investigaciones.

El bosque nativo cumple funciones ecológicas clave y provee numerosos servicios ecosistémicos, no solo porque provee forraje para alimentación animal, sino también porque protege el suelo de la erosión, capta y almacena agua, es hábitat para especies animales y vegetales, captura CO₂ atmosférico, entre otras. Por todo esto, el desmonte de grandes superficies para la implantación de pasturas o cultivos no sería la

práctica más adecuada para este sistema, de prioritaria conservación. El desarrollo de tecnologías que permitan producir alimentos y conservar el bosque nativo, siendo accesibles y adecuadas para los productores campesinos de la región, resulta imprescindible para la conservación del bosque nativo. Aspecto al que este trabajo aporta, en línea con el proceso de construcción de conocimiento local que viene realizándose desde antes, en conjunto con los productores y técnicos extensionistas de la zona, el cual dio origen a este esfuerzo. Se espera que los resultados aquí presentados, tengan un efecto multiplicador a través de la difusión de las numerosas familias que integran la Asociación Campesinos del Valle de Conlara, y de organizaciones vinculadas a la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- Adámoli, J. 2006. Problemas ambientales de la agricultura en la región chaqueña. Pp 436-442 en A. Brown, U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera. La situación ambiental Argentina. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina.
- Adámoli, J., E. Sennhauser, J.M. Acero, y A. Rescia, 1990. Stress and disturbance: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina. *Journal of biogeography* 17:491-500.
- Aguiar, M.R., y O.E. Sala. 1999. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 273-277.
- Allen, C.D., J.L. Betancourt, y T.W. Swetnam. 1998. Landscape changes in the southwestern United States: techniques, long-term data sets, and trends. Pp 71-84 en T.D. Sisk. *Perspectives on the Land Use History of North America: A Context for Understanding our Changing Environment*. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Biological Science Report. Northern Arizona University, US.
- Álvarez Rivera, M., y N. Churín. 2008. Historia local de los pequeños productores del valle del Conlara, provincia de San Luis. Artículo sin referato, San Luis, Argentina.
- Anderson, D.L., J.A., Del Aguila, A. Marchi, J.C. Vera, y E.L. 1980. Manejo del pastizal natural y producción ganadera. Parte 1. Ed. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Anderson, D.L., J.A. Del Águila, y A.E. Bernardon. 1970. Las formaciones vegetales en la provincia de San Luis. *Revista de Investigaciones Agropecuarias INTA, Serie 2, Biología y Producción Vegetal* 3:153-183.
- Aragón, A., M. García, R. Filgueira, y Y.A. Pachepsky. 2000. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test: The relationship with organic carbon and water content. *Soil and Tillage Research* 56:197-204.
- Archer, S.W., J. MacKay, M. Mott, M.L. Pando Moreno, N.G. Rosenzweig, N.E. Seligman, y W.J. West. 1999. Arid and Semiarid Land Community Dynamics in a Management Context. Pp. 48-74 en T.W. Hokstra y M. Scachak. *Arid Lands Management - Towards Ecological Sustainability*, University of Illinois Press, US.
- Archer, S. 1995. Tree-grass dynamics in a Prosopis-thornscrub savanna parkland: Reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience* 2:83-99.
- Archer, S., y F.E. Smeins. 1991. Ecosystem-level processes. Pp. 109-139 en R.K. Heitschmidt y J.W. Stuth. *Grazing Management. An Ecological Perspective*. Timber Press, Portland, US.
- Angassa, A., y G. Oba. 2010. Effects of grazing pressure, age of enclosures and seasonality on bush cover dynamics and vegetation composition in southern Ethiopia. *Journal of Arid Environments* 74:111-120.
- Asner, G.P., A.J. Elmore, L.P. Olander, R.E. Martin y A.T. Harris. 2004. Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annual Review of Environment and Resources* 29:261-299.
- Ayerza, R.H., R. Díaz, y U.O. Karlin. 1988. Manejo de Prosopis arbóreos en sistemas de producción ganaderos en el Chaco Seco de Argentina. *Gaceta Agronómica* 8:140-156.
- Barbera, P., L. Blanco, R. Avila, V. Burghi, J. De Battista, C. Frasineli, K. Frigerio, L. Gándara, M. Goldfarb, S. Griffa, K. Grunberg, K. Leal, C. Kunst, S. Lacorte, A.

- Lauric, L. Martínez Calsina, G. Mc Lean, F. Nenning, J. Otondo, H. Petruzzi, R. Pizzio, J. Pueyo, A. Ré, A. Ribotta, L. Romero, N. Stritzler, A. Tomas, A. Torres Carbonell, C. Ugarte, y J. Veneciano. 2014. Gramíneas forrajeras para el subtrópico y el semiárido central de la Argentina. Publicación del Programa Nacional Producción Animal e Integrador Pasturas y vegetación natural para la alimentación del ganado. INTA,
- Bell, R. 1979. The effect of soil nutrient availability on community structure in african ecosystems. Pp 193-216 en P. J. Huntley y B.j. Walker (ed.). Ecology of Tropical Savannas. Symposium Kruger National Park, South Africa.
- Belsky, A.J. 1986. Population and community processes in a mosaic grassland in the Serengeti, Tanzania. *Journal of Ecology* 74:841-856.
- Bertiller M.B. 1996. Grazing effects on sustainable semiarid rangelands in Patagonia: the state and dynamics of the soil seed bank. *Environmental Management* 20: 123-132.
- Biani, N.B., J.L. Vesprini, y D.E. Prado. 2006. Conocimiento sobre el gran Chaco Argentino en el siglo XX. M.F. Arturi, J.L. Frangi y J.F. Goya (eds). *Ecología y Manejo de los Bosques de Argentina*, Universidad de La Plata, Argentina.
- Blanco, L.J. Namur, P.R., Adaro, A., Pizarro, S., Ferrando, C., Ávila, R., Molina, J., Luna Toledo, E., Vera, J., Sancho, A. y W. Agüero. 2019. Respuesta Forrajera Del Pastizal Natural Al Ajuste De Carga Ganadera Y Al Manejo Rotativo Con Pasturas: Caso “La Yesera” (La Rioja). I Congreso Argentino de Agroecología, Mendoza, Argentina.
- Blanco, L.J., y E.L. Oriente. 2003. Efecto de dos tratamientos de defoliación sobre la producción de forraje de *Trichloris crinita* Lag. *Revista Argentina de Producción Animal* 23:81-89.
- Blanco, L.J., C.A. Ferrando, F.N. Biurrun, E.L. Oriente, P. Namur, D.J. Recalde, y G.D. Berone. 2005. Vegetation Responses to Roller Chopping and Buffelgrass Seeding in Argentina. *Rangeland Ecol Manage* 58:219-224.
- Boletta, P.E., A.C. Ravelo, A.M. Planchuelo, y M. Grilli. 2005. Assessing deforestation in the Argentine Chaco Forest. *Ecology and Management* 228:108-114.
- Bosio, E. 2010. Efectos del corte y el diferimiento sobre la cantidad y calidad de un pastizal natural del Chaco Semiárido: una experiencia de investigación en el MoCaSE-VC. Tesis de grado para acceder al título de Ingeniero Agrónomo en la FAUBA, Buenos Aires, Argentina.
- Bradshaw, C.J., S.S. Navjot, K.S. Peh, y B.W. Brook. 2007. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology* 13:2379-2395.
- Branson, F.A., y E.H. Reid. 1981. *Rangeland hydrology*. Kendall/Hunt Publishing Company, USA.
- Brassiolo, M., Lorea, L., González, D.P. y M.H. Zárate. 2008. Reacción del estrato arbustivo a diferentes intervenciones y presencia de ganado vacuno, en el Chaco Semiárido. *Quebracho – Revista de Ciencias Forestales*, 16:51-61.
- Bremer, D.J., L.M. Auen, J.M. Ham, y C.E. Owensby 2001. Evapotranspiration in a Prairie Ecosystem. *Agronomy Journal* 93:338-348.
- Breshears, D.D., P.M. Rich, J.B. Fairley, y K.Campbell. 1997. Overstory-imposed heterogeneity in solar radiation and soil moisture in a semiarid woodland. *Ecological Applications* 7:1201–1215.
- Burke, W., D. Gabriels, y J. Bruma. 1986. *Soil Structure Assessment*. Balkema, A., Rotterdam, Boston.

- Cabido, M., S. Acosta, M.L. Carranza, y S. Díaz. 1992. La vegetación del Chaco Arido en el oeste de la provincia de Córdoba, Argentina. *Documents Phytosociologiques* XIV:447-457.
- Cáceres, D., Ferrer, G., Soto, G. Silvetti, F. y Bisio, C. 2010. La expansión de la agricultura industrial en Argentina Central. Su impacto en las estrategias campesinas. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 7(64):91-119.
- Canfield, R.H. 1941. Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation. *Journal of Forestry* 39:388-394.
- Carranza, M.L., M. Cabido, A. Acosta, y S. Páez. 1992. Las comunidades vegetales del Parque Natural Provincial y Reserva Forestal Natural Chancaní, Provincia de Córdoba. *Lilloa* 38:75-92.
- Carreño, L.V., H. Pereyra, y F. Ricard. 2010. Captura y emisión de gases de efecto invernadero. Pp. 31-36 en E.F. Viggilizo y E. Jobbágy (eds). *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental*, Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Carreño, L.V., y E.F. Viggilizo. 2010. Efecto de la agricultura sobre la provisión de servicios ecosistémicos. Pp. 47-52 en E.F. Viggilizo y E. Jobbágy (eds). *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental*, Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Casas, R. 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires, Argentina.
- Casas, R. 1982. Desmonte y habilitación de tierras para la producción de forrajes y granos en el centroeste de Santiago del Estero. Pp 324-359 en: Tonelli, E. (ed). *Informe de diez años de labor*. Ediciones INTA, Santiago del Estero, Argentina.
- Castellano, M.K. y T.J. Valone. 2007. Livestock, soil compaction and water infiltration rate: Evaluating a potential desertification recovery mechanism. *Journal of Arid Environments* 71:97-108.
- Coirini, R., M. Karlin, G. Llaya, S. Sánchez, A. Contreras, y R. Zapata. 2017. Evaluación de prácticas de desmonte selectivo y clausuras temporales en sistemas degradados del Chaco Árido (Argentina). *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)* 51:73-90.
- Colazo, J.C. 2012. Recursos físicos y ambientales de los territorios de la Provincia de San Luis. Ediciones INTA, EEA San Luis, Argentina.
- Contreras, A.M, R.O. Coirini, R.M. Zapata, y M.S Karlin. 2013. Recuperación vegetal en ambientes áridos: uso de cerramientos en ecosistemas degradados de la cuenca Salinas Grandes, Argentina. *Chapingo Serie Zonas Áridas* XII:63-76.
- Copains SRL. Penetrómetro modeo INTA Villegas. sf. http://www.copains.com.ar/pdf/med_pen_vill.pdf
- Cornacchione, M.V., y J.P. Molina. 2008. Implantación de gramíneas subtropicales según fechas de siembra: Acumulación y componentes de la materia seca. *Revista Argentina de Producción Animal* 28:349-543.
- Cotroneo, S.M., E.J. Jacobo, M.M. Brassiolo, y R.A. Golluscio. 2018. Restoration ability of seasonal exclosures under different woodland degradation stages in semiarid Chaco rangelands of Argentina. *Journal of Arid Environments* 158:2834.
- Cotroneo, S.M. 2017. La clausura como estrategia de restauración en bosques heterogéneos comunales del Chaco semiárido. Un enfoque socio-ecológico. Tesis para acceder al título Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias, Buenos Aires, Argentina.

- Cotroneo, S.M., E.J. Jacobo, E.A. Bosio, U.O. Karlin M.M., Brassiolo, y R.A. Golluscio. 2016. Bases e interrogantes para el manejo sostenible de los recursos forrajeros del bosque nativo en el Chaco semiárido santiagueño. Pp 243-276 en: Transformaciones agrarias argentinas durante las últimas décadas (Coord. M.E. Román y M. del C. González). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- Cotroneo, S.M. 2010. Productividad primaria neta y consumo caprino de forrajeras leñosas en Santiago del Estero. Tesis de grado para acceder al título de Ingeniero Agrónomo en la FAUBA, Argentina.
- Cypher, B.L. y E.A. Cypher. 1998. Germination rates of tree seeds ingested by coyotes and racoons. *American Midland Naturalist* 142:71–76.
- Daubenmire, R. 1959. A Canopy-Coverage Method of Vegetational Analysis. *Northwest Science* 33:43-64.
- De León, M. 1998. Como mejorar la ganadería subtropical con pasturas megatérmicas. *Agromercado Tomo II*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Dell, C.J., M.A. Williams, y C.W. Ricea. 2005. Partitioning of nitrogen over five growing seasons in tall grass prairie. *Ecology* 86:1280–1287.
- Demaría, M.R., y I. Aguado Suárez. 2013. Dinámica espacio-temporal del porcentaje de suelo desnudo en pastizales semiáridos de Argentina. *GeoFocus* 13:133-157.
- Deregibus, V.A., M. Druille, R.A. Golluscio, y M.L. Gatti. 2007. La planta forrajera. Cuadernillo: Producción y utilización de forrajes, capítulo 2. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Descheemaeker, K., B. Muys, J. Nyssen, J. Poesen, D. Raes, M. Haile, y J. Deckers. 2006. Litter production and organic matter accumulation in exclosures of the Tigray highlands, Ethiopia. *Forest Ecology and Management* 233:21-35.
- Díaz, R.O. 2003. Efectos de diferentes niveles de cobertura arbórea sobre la producción acumulada, digestibilidad y composición botánica del pastizal natural del Chaco Árido (Argentina). *Agriscientia XX* :61-68.
- Díaz, R.O. 2005. El fuego como herramienta de manejo de pastizal natural. Serie: Apuntes de Pastizales Naturales, Suplemento 1, 2da versión, FCA-UNC, Córdoba, Argentina.
- Díaz, R.O. 2007. Utilización de pastizales naturales. Encuentro Grupo Editor, Córdoba, Argentina.
- Di Marco, O. 2011. Estimación de calidad de los forrajes. *Producir XXI*, Buenos Aires, Argentina 20:24-30.
- Distel, R.A., y J.J. Villalba. 2018. Use of Unpalatable Forages by Ruminants: The Influence of Experience to the Biophysical and Social Environment. *Animals* 8:56-71.
- Distel, R.A. 2016. Grazing ecology and the conservation of the Caldenal rangelands, Argentina. *Journal of Arid Environments* 134:49-55.
- Downing, B. 1978. Environmental consequences of agricultural expansion in South Africa since 1950. *South African Journal of Science*.
- Drewry, J.J. 2006. Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114:159-169.
- Fernández, O.A., M.E. Gil, y R.A. Distel. 2009. The challenge of rangeland degradation in a temperate semiarid region of Argentina: The Caldenal. *Land Degradation and Development* 20:431-440.

- Fernández, P.L., C.R. Alvarez y M.A. Taboada. 2015. Topsoil compaction and recovery in integrated no-tilled crop-livestock systems of Argentina. *Soil and Tillage Research* 153:86-94.
- Ferrando, C., F. Biurrún, R. Avila, J. Molina y A. Ricarte. 2015. Utilización eficiente de los recursos forrajeros disponibles mediante pastoreo combinado de bovinos y caprinos en pasturas de Buffel Grass invadidas por leñosas. Artículo sin referato, INTA La Rioja.
- Ferrando, C.A., L. Blanco, F. Biurrún, V. Burghi, y R. Avila. 2006. Porcentajes de proteína bruta de gramíneas forrajeras nativas del Chaco Arido. 29° Congreso Argentino de Producción Animal (AAPA), Tandil, Buenos Aires, Argentina.
- Ferrando, C., P. Namur, G. Berone, E. Oriente, y L. Blanco. 2002. Del peladal a la producción de carne. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Ferri, C.M., y V.V. Jouve. 2018. Mijo perenne (*Panicum coloratum* L. var *coloratum*) cv verde. manejo del pastoreo. III Jornada Nacional Forrajeras Tropicales. Ediciones INTA – EEA Rafaela, Publicación Miscelánea Año VI - Nº 3, Santa Fe, Argentina.
- Ferri, C.M., V.V. Jouve, y A.M. Saenz. 2017. Manejo de la defoliación de mijo perenne (*Panicum coloratum* L. var *coloratum*) cv Verde. *Revista internacional de Botánica experimental* 86:190-198.
- Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, y P.K. Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309:570-574.
- Gentry, A. y J. Lopez Parodi. 1983. Deforestación e incremento de las inundaciones del Alto Amazonas. *Amazonía Indígena* 4:20-2.
- Gerard, C., P. Sexton, y G. Shaw. 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron.J.* 74:875-879.
- Girondo, F. 2012. Caracterización preliminar de los sistemas de producción animal y de forrajes de campesinos del norte del Valle del Conlara (Pcia. de San Luis). Tesis de grado para acceder al título de Ingeniero Agrónomo en la FAUBA, Argentina.
- Golluscio, R.A. 2009. Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología Austral* 19:215-232.
- Gomez Sal, A., J.M. De Miguel, y M.A. Casado. 1986. Successional changes in the morphology and ecological responses of a grazed pasture ecosystem in Central Spain. *Vegetatio* 67: 33-44.
- González Díaz, E. 1981. Geomorfología. Geología y recursos naturales de la provincia de San Luis. Pp 193-26 de Relatorio VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis, Argentina.
- Grau, H.R. N.I. Gasparri, N.I. y T.M. Aide. 2005. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environmental Conservation* 32: 140-148.
- Greenwood, D.J., G. Lemaire, G. Gosse, P. Cruz, A. Draycott, y J.J. A. Neeteson. 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany* 66:425-436.
- Hamza, M.A. y W.K. Anderson. 2005. Improving soil physical fertility and crop yield on a clay soil in western Australia. *Aust. J. Soil Res* 53:615-620.
- Harvey, D. 2004. El nuevo imperialismo. Ediciones Akal, Madrid, España.
- Heckathorn, S.A y E.H. Delucia. 1996. Retranslocation of shoot nitrogen to rhizomes and roots in prairie grasses may limit loss of N to grazing and fire during drought. *Funct. Ecol* 10:396–400.

- Hodgkinson, K.C. 1992. Elements of grazing strategies for perennial grass management in Rangelands. Pp. 77-94 en G.P. Chapman, G.P. Desertified Grasslands: their Biology and Management (Linnean Society Symposium Series No 13). London, UK.
- Hoekstra, J.M., T.M. Boucher, T.H. Ricketts, y C. Roberts. 2005. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters* 8:23-29.
- Holland, E.A. y J.K. Detling. 1990. Plant response to herbivory and below-ground nitrogen cycling. *Ecology* 71:1040-1049.
- Houghton, R. 2001. Counting terrestrial sources and sinks of carbon. *Climatic Change* 48:525-534.
- Hulbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54:187-211.
- Jones, A. 2000. Effects of cattle grazing on North American arid ecosystems: a quantitative review. *Western North American Naturalist* 60:155-164.
- Karlin, M.S., U.O. Karlin, R.O. Coirini, G.J. Reati y R.M. Zapata. 2013. El Chaco Árido. Ed. Encuentro, Córdoba, Argentina.
- Karlin, M.S. 2012. Cambios temporales del clima en la subregión del Chaco Árido. *Multequina* 21:3-16.
- Karlin, U.O., L. Catalán y R.O. Coirini. 1994. La naturaleza y el hombre en el Chaco Seco. Colección Nuestros Ecosistemas, Proyecto G.T.Z. Desarrollo Agroforestal en Comunidades Rurales del Noroeste Argentino, Salta, Argentina.
- Karlin, U.O., R. Coirini, L. Pietrarelli, y E. Perpiñal. 1992. Caracterización del Chaco Árido y Propuesta de Recuperación del Recurso Forestal. Sistemas Agroforestales para Pequeños Productores de Zonas Áridas. FCA- UNC - GTZ: 7-12, Córdoba, Argentina.
- Karlin, U.O. 1983. Recursos forrajeros naturales del Chaco Seco: manejo de leñosas. II Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas, Córdoba, Argentina I:78-96.
- King, E.G. y R.J. Hobbs. 2006. Identifying Linkages among Conceptual Models of Ecosystem Degradation and Restoration: Towards an Integrative Framework. *Restoration Ecology* 14(3):369-378.
- Kunst, C., R. Ledesma, S. Bravo, A. Albanesi, A. Anriquez, H.V. Meer, J. Godoy, A. Fumagalli y A. Auslender. 2012. Disrupting woody steady states in the Chaco region(Argentina): Responses to combined disturbance treatments. *Ecological Engineering* 42:42-53.
- Kunst, C., R. Ledesma, y M. Navall. 2008. RBI. Rolado selectivo de baja intensidad. Informe Técnico No 57. Ediciones INTA, EEA Santiago del Estero, Argentina.
- Kunst, C., E. Monti, H. Pérez, y J. Godoy. 2006. Assessment of the rangelands of southwestern Santiago del Estero, Argentina, for grazing management and research. *Journal of Environmental Management* 80:248-265.
- Kunst, C.R. y A. Fumagalli. 1999. Habilitación de tierras en el chaco semiárido santiagueño. Memorias 2ª Jornada ganadera del NOA. Proyecto ganadero Macroregional INTA, Salta, Argentina.
- Lambin, E.F. y P. Meyfroidt. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108:3465-3472.
- Lemaire, G. y J. Salette. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4:423-430.

- Ley N° 26.331. Protección ambiental de los bosques nativos, presupuestos mínimos de protección ambiental. Boletín Oficial, 26 de diciembre de 2007.
- Loeser, M.R., T.E. Crews, y T.D. Sisk. 2004. Defoliation increased above-ground productivity in a semiarid grassland. *J. Range Manage* 57:442-447.
- MAE (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Island Press, Washington, USA.
- Magliano, P.N., R.J. Fernández, R. Giménez, V.A. Marchesini, R.A. Páez, y E.G. Jobbágy. 2016. Cambios en la partición de flujos de agua en el Chaco Árido al reemplazar bosques por pasturas. *Ecología Austral* 26:95-106.
- Malo, J.E., y F. Suárez. 1995. Cattle dung and the fate of *Biserrula pelecinus* L. (Leguminosae) in a Mediterranean pasture: seed dispersal, germination and recruitment. *Botanical Journal of the Linnean Society* 118:139-148.
- Marengo, C.C. 2015. Estrategias de rehabilitación del estrato herbáceo nativo en sistemas de producción campesinos del monte Chaqueño: enriquecimiento con semilla. Tesis de grado para acceder al título de Ingeniero Agrónomo en la FAUBA, Argentina.
- Mathis, C.P. 2000. Protein and energy supplementation to beef cows grazing New Mexico rangelands. New Mexico State University, Cooperative Extension Service, College of Agriculture and Home Economics, México.
- Mazzarino, M.J., L. Oliva, A. Nuñez, G. Nuñez, y E. Buffa. 1991a. Nitrogen mineralization and soil fertility in the Dry Chaco Ecosystem (Argentina). *Soil Science Society of America Journal* 55:515-522.
- Mazzarino, M.J., L. Oliva, A. Abril, y M. Acosta. 1991b. Factors affecting nitrogen dynamics in a semiarid woodland (Dry Chaco, Argentina). *Plant and Soil* 138: 85-98.
- McNaughton, S.J. 1979. Grazing as an optimization process: Grass-ungulate relationships in the Serengeti. *Am. Nat.* 113:691-703.
- Mengistu, T., D. Teketay, H. Hulten, y Y. Yemshaw. 2005. The role of enclosures in the recovery of woody vegetation in degraded dryland hillsides of central and northern Ethiopia. *Journal of Arid Environments* 60:259-281.
- Milchunas, D.G. O.E. Sala, y W.K. Lauenroth. 1988. A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* 132:87-106.
- Mirzabaev, A., M. Ahmed, J. Werner, J. Pender, y M. Louhaichi. 2016. Rangelands of Central Asia: challenges and opportunities. *Journal of Arid Land* 8:93-108.
- Montenegro, C. M. Strada, M.G. Parmuchi, J. Bono, M. Stamati, E. Manghi, M. Brouver, F. Bertolami, y E. Wabo. 2007. Monitoreo de bosque nativo Período 1998-2002, Período 2002-2006, Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, Argentina.
- Morello, J., S.D. Matteucci, A.F. Rodríguez, y M.E. Silva. 2012. Ecorregiones y complejos ecosistémicos de Argentina. FADU, Buenos Aires, Argentina.
- Morello, J., W. Pengue, y A. Rodríguez. 2006. Un siglo de cambios de diseño del paisaje: el Chaco Argentino. *Primeras Jornadas Argentinas de Ecología del Paisaje*, Argentina.
- Morello, J. 1968. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. *INTA Serie fitogeográfica* 10:126.
- Morello, J. y C. Saravia Toledo. 1959. El Bosque chaqueño. II. La ganadería y el bosque en el Oriente de Salta. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 3:209-258.

- Moretto, A.S. y R.A. Distel. 1999. Effects of selective defoliation on the competitive interaction between palatable and unpalatable grasses. *J. Arid Environ* 42: 167-175.
- Morici, E.R., E. Ernst, A. Kin, D. Esteirich, M Mazzoia, y S. Poey. 2003. Efecto del pastoreo en un pastizal semiárido de Argentina según la distancia a la aguada. *Arch. Zootec* 52:59-66.
- Mwilawa, A., D. Komwihangilo y M. Kusekwa. 2008. Conservation of forage resources for increasing livestock in traditional forage reserves in Tanzania. *African Journal of Ecology* 46:85-89.
- Nayyar, H. y D. Gupta. 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany* 58:106-113.
- Oba, G., N.C. Stenseth, y W.J. Lusigi. 2000. New perspectives on sustainable grazing management in arid zones of sub-Saharan Africa. *BioScience* 50:35-51.
- Obschatko, E., M.P. Foti, y M.E. Román. 2007. Los pequeños productores en la República Argentina. Importancia en la producción agropecuaria y en el empleo en base al Censo Nacional Agropecuario 2002. 2da. Edición. PROINDER - SAGPyA / IICA - Argentina.
- O'Connor, T.G. y G.A. Pickett. 1992. The influence of grazing on seed production and seedbanks of some African savanna grasses. *Journal of Applied Ecology* 29: 247-260.
- O'Connor, T.G. 1991. Local extinction in perennial grasslands: a life history approach. *American Naturalist* 137:753-773.
- Parrish, D.J. y J.H. Fike. 2005. The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24:423-459.
- Parsons, A.J., L.R. Johnson, y A. Harvey. 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science* 43:49-59.
- Paruelo, J.M., J.P. Guerschman, y S.R. Verón. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia hoy* 15:14-23.
- Peña Zubiate, C.A., Anderson, D.L. Demmi, M.A. Saenz, J.L., y A.D. Hiriart. 2005. Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Gobierno de la Provincia de San Luis, Argentina.
- Pérez Vega, A., y M.A. Ortiz Perez. 2002. Cambio de la cubierta vegetal y vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz. *Invest. Geog* 48:90-105.
- Perroux, K.M., y I. White. 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Am. J.* 52:1205-1215.
- Petruzzi, H.J., N.P. Stritzler, E.O. Adema, C.M. Ferri, y J.H. Pagella. 2003. Mijo perenne - *Panicum coloratum*. Ediciones INTA, EEA Anguil, La Pampa, Argentina.
- Pezo, D., y M. Ibrahim. 1998. Sistemas Silvopastoriles. p.4,15,65,227 en Módulo de Enseñanza Agroforestal No.2, Turrialba, Costa Rica.
- Pietola, L., R. Hornb, y M. Yli-Hallacm. 2005. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil & Tillage Research* 82:99-108.
- Piñeiro, G., J.M. Paruelo, M. Oesterheld y E.G. Jobbágy. 2010. Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. *Rangeland Ecology & Management* 63:109-119.

- Pizzio, R.M. 2001. Caracterización y uso del recurso forrajero de la unidad experimental de cría vacuna de la EEA Mercedes. 10º Aniversario Unidad Experimental de Cría Vacuna, EEA INTA Mercedes, Corrientes, Argentina.
- Plénet, D., y G. Lemaire. 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and soil* 216:65-82.
- Posse, G., J. Anchorena, y M.B. Collantes. 2000. Spatial micro-patterns in the steppe of Tierra del Fuego induced by sheep grazing. *Journal of Vegetation Science* 11:43-50.
- Quiroga, A., y R.J. Correa. 2011. Gramíneas forrajeras presentes en el Chaco Árido de Catamarca. SIVITEC, Revista de Divulgación Técnica nº16, Universidad de Catamarca, Argentina.
- Quiroga, R.E. 2009. Resistencia a la sequía y al pastoreo en plantas de *Trichloris crinita* con distinta historia de aridez y presión de pastoreo. Tesis de Maestría en Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, UBA. Argentina.
- Quiroga, R.E., L. Blanco, y E.L. Oriente. 2009. Evaluación de estrategias de rehabilitación de pastizales áridos. *Ecología austral* 19:107-117.
- Quiroga, R.E., R.E. Avila, C.A., Ferrando, C.A y L.J. Blanco. 2007. Dinámica de la disponibilidad de biomasa aérea en pasturas de cinco megatérmicas. *Revista Argentina de Producción Animal* 27:193-194.
- Quiroga A., D. Buschizzo, y N. Peinemann. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi – arid Argentine pampas. *Soil Till* 52:21-28.
- Raiesi, F., y M. Riahi. 2014. The influence of grazing exclosure on soil C stocks and dynamics, and ecological indicators in upland arid and semi-arid rangelands. *Ecological Indicators* 41:145-154.
- Rasa, K., T. Eickhorst, R. Tippkötter y M. Yli-Halla. 2012. Structure and pore system in differently managed clayey surface soil as described by micromorphology and image analysis. *Geoderma* 173-174:10-18.
- Rauber, R.B., M.R. Demaría y D.F. Steinaker. 2019. Efecto de la disponibilidad de agua sobre una gramínea invasora del caldenal. *Ecología Austral* 29:050-054.
- Rauber, R.B., D. Steinaker, M. Demaría, y D. Arroyo. 2014. Factores asociados a la invasión de pajas en bosques de la región semiárida central argentina. *Ecología Austral* 24:320-326.
- REDAF 1999. Estudio Integral de la Región del Parque Chaqueño. Proyecto Bosques Nativos y Areas Protegidas, Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente, Argentina.
- Red de Estaciones Meteorológicas. 2019. Universidad de la Punta, San Luis, disponible en <http://www.clima.edu.ar/>.
- Reszkowska, A., J. Krümmelbein, S. Peth, R. Horn, y L.. Zhao Gan. 2011. Influence of grazing on hydraulic and mechanical properties of semiarid steppe soils under different vegetation type in Inner Mongolia, China. *Plant Soil* 340:59–72.
- Richards, J.H. 1984. Root growth response to defoliation in two *Agropyron* bunchgrasses: Field observations with an improved periscope. *Oecologia* 64:21-25.
- Roberts, H. 1981. Seed banks in soils. Pp 1-55 en T. Coaker (ed). *Advances in Applied Biology*. Academic Press, London, UK
- Rossi, C.A. 2010. El Sistema Silvopastoril en la Región Chaqueña Árida y Semiárida Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina.

- Sala, O.E., y A.T. Austin. 2000. Methods of estimating aboveground net primary productivity Methods. *Ecosystem Science* 31-43.
- Sala, O.E., M. Oesterheld, R.J.C. Loon, y A. Soriano. 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio* 67:27-32.
- Salvador, V. 2010. Impacto sobre el hábitat. Pp 37-43 en E.F. Viggliozzo y E. Jobbágy (eds). *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental*, Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. Carreño, L.V y E.F. Viggliozzo. 2010.
- Saravia Toledo, C., H.D. Castillo, y H. Zelarrayan. 1985. Manejo silvopastoril en el Chaco Noroccidental de Argentina. IV Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas. Salta, SECyT, Argentina.
- Saravia Toledo, C. 1984. Manejo Silvopastoril en el Chaco Noroccidental de Argentina. III Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas. Catamarca, SECyT, Argentina.
- Sarmiento G. 1963. Las comunidades vegetales del Chaco Santiagueño. Tesis Doctoral de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Schiborra, A.K. 2007. Short-term effects of defoliation on herbage productivity and herbage quality in a semi-arid grassland ecosystem of Inner Mongolia, P.R. China. Faculty of Agricultural and Nutritional Science, Mongolia, China.
- Sevilla Guzmán, E., y M. Soler. 2010. Agroecología y soberanía alimentaria: alternativas a la globalización agroalimentaria. *Patrimonio cultural en la nueva ruralidad andaluza* 26:191-217.
- Shuli, N., Y. Zhiyou, Z. Yanfang, L. Weixing, Z. Lei, H. Jianhui, y S. Wan. 2005. Photosynthetic responses of C3 and C4 species to seasonal water variability and competition. *Journal of Experimental Botany* 56:2867-2876.
- Silvetti, F. 2011. Una revisión conceptual sobre la relación entre campesinos y servicios ecosistémicos. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 8 (66):17-43.
- Smith, S.E., R. Mosher, y D. Fendenheim. 2000. Seed production in sideoats grama populations with different grazing histories. *J. Range Manage* 53:550-555.
- Snyman, A. 1999. Short-term effects of soil water, defoliation and rangeland condition on productivity of a semi-arid rangeland in South Africa. *Journal of Arid Environments* 43:47-62.
- Stritzler, N.P., y H.J. Petrucci. 2005. Las gramíneas perennes estivales y su impacto productivo en la Región Pampeana semiárida. *Forrajes* 2005:99-116.
- Teubal, M. 2006. Expansión del modelo sojero en la Argentina. De la producción de alimentos a los commodities. *Realidad Económica* 220:71-96.
- Tessema, Z.K., W.F. de Boer, R.M. Baars, y H.H. Prins. 2012. Influence of Grazing on Soil Seed Banks Determines the Restoration Potential of Aboveground Vegetation in a Semiarid Savanna of Ethiopia. *Biotropica* 44:211-219.
- Tiedemann, J.L., H.R. Zerda, M. Grilli y A.C. Ravelo, 2012. Variabilidad fenológica del bosque y del pastizal nativo en el Chaco semiárido de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Ambiência Guarapuava (PR)* 8:47-60.
- Torres Bruchmann, E. 1981 *Climatología General y Agrícola de la Provincia de Santiago del Estero*. Universidad Nacional de Tucuman, Facultad de Agronomía y Zootecnia. San Miguel de Tucuman, Argentina.
- Trigo, C.B., Villagra, P.E., Cowper Coles, P., Marás, G.A., Andrade-Díaza, M.S., Núñez-Regueiro, M.M., Derlindati, E.J. y A. Tálamo. 2020. Can livestock exclusion affect understory plant community structure? An experimental study in the dry Chaco forest, Argentina. *Forest and Ecology Management* 463:118014.

- Trivi, N. Palacios, P. 2011. Aportes para la definición de una cuestión agraria en el norte sanluiseño. La visión de la Asociación de Campesinos del Valle del Conlara. V Seminario-Taller "Sistemas Agroalimentarios Localizados (SIAL) y Transformaciones Territoriales de los Espacios Rurales", Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, La Plata, Argentina.
- Tongway, D.J., y J.A. Ludwig. 2005. Heterogeneity in Arid and Semiarid lands. Pp 189-204 en G.M.; Jones, C.G.; Turner, M.G.; Weathers, K.C. (Eds.). *Ecosystem Function in Heterogeneous Landscapes*. Lovett.
- Tongway, D.J., A.D. Sparrow y M.H. Friedelc. 2003. Degradation and recovery processes in arid grazing lands of central Australia. Part 1: soil and land resources. *Journal of Arid Environments* 55:301-326.
- Torrella, S., y J. Adámoli, 2006. Situación Ambiental de la Ecorregión del Chaco Seco. Pp. 75-82 en: Brown, A. U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*, Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina.
- Underwood, A.J. 1992. Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 161: 145-178.
- Van Auken, O.W. 2009. Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Environmental Management* 90:2931-2942.
- Van Auken, O.W. 2000. Shrub invasions of North American semiarid grasslands. *annual Review Ecological Systems* 31:197-215.
- Vega, D., A. Fizzotti, L. Millapán, C. Anello, C. Ferrari, E. Chao, y C. Carballo. 2011. Viajes de estudio a organizaciones de Agricultores Familiares Campesinos de San Luis y Misiones: una experiencia de educación y extensión en la Universidad Pública. VII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales (JIEA y A), Buenos Aires, Argentina.
- Verdoodt, A., S.M. Mureithi, y E. Van Ranst. 2010. Impacts of management and enclosure age on the recovery of herbaceous rangeland vegetation in semi-arid Kenya. *Journal of Arid Environments* 74:1066-1073.
- Verdoodt, A., S.M. Mureithi, L. Ye, y E. Van Ranst. 2009. Chronosequence analysis of two enclosure management strategies in degraded rangeland of semi-arid Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129:332-339.
- Viggilizo E.F., y F.C. Frank. 2010. Erosión del suelo y contaminación del ambiente. En Pp. 37-43, E.F. Viggilizo y E. Jobbágy (eds). *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental*, Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Villamil, M.B., N.M. Amiotti, y N. Peinemann. 1997. Pérdida de fertilidad física en suelos del sur del caldenal (Argentina) por sobrepastoreo. *Ciencia del suelo* 15:102-104.
- Walkley, A., y I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37:29-38.
- Yates, C.J., D.A. Norton, y R.J. Hobbs. 2000. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in south-western Australia: implications for restoration. *Austral Ecology* 25:36-47.
- Yayneshet, T., L. Eik, y S. Moe. 2009. The effects of exclosures in restoring degraded semi-arid vegetation in communal grazing lands in northern Ethiopia. *Journal of Arid Environments* 73:542-549.

- Zak, M.R., M. Cabido, D. Cáceres, y S. Díaz. 2008. What drives accelerated land cover change in central Argentina? Synergistic consequences of climatic, socioeconomics and technological factors. *Environmental Management* 42:181-189.
- Zobel, M., M. Otsus, J. Liira, M. Moora, y T. Mols. 2000. Is small-scale species richness limited by seed availability or microsite availability?. *Journal of Ecology* 91:999-1007