

Composición florística y funcional del pastizal natural del centro de la Argentina: Efecto del pastoreo bovino y el fuego

RUTH RAUBER^{1,2,3,*}; M. ALICIA CENDOYA¹; DANIEL ARROYO¹ & STELLA BOGINO⁴

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA San Luis. ² CONICET, CCT San Luis. ³ Escuela de Ingeniería y Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Villa Mercedes, San Luis. ⁴ Departamento de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de San Luis.

RESUMEN. El estado y la conservación de los recursos naturales comprometidos en los sistemas productivos son motivo de preocupación en todo el mundo. En la Argentina, la expansión de la frontera agrícola desde la Pampa Húmeda hacia el oeste ha intensificado la actividad ganadera en zonas semiáridas, disminuyendo la probabilidad de encontrar sitios que no estén severamente antropizados con fines productivos. Los objetivos de este trabajo fueron caracterizar la composición florística y funcional del estrato herbáceo de bosques de caldén en un sitio excluido del pastoreo doméstico en los últimos 50 años, y compararla con otras dos situaciones: una, con un evento de fuego invernal y posterior exclusión del pastoreo de ganado bovino; y otra, con pastoreo rotativo. En cada uno de los tres sitios se estimó la cobertura de especies herbáceas dentro de 10 marcos de 1x1 m mediante el método de Braun-Blanquet. En primer lugar, se analizó la composición florística en cuanto a riqueza y diversidad. En segundo lugar, se realizó un análisis de NMDS para caracterizar las comunidades vegetales. Por último, se comparó la cobertura de los grupos funcionales (palatabilidad, ciclo de vida y origen) entre los sitios mediante un análisis de Kruskal-Wallis. La riqueza y la diversidad medias fueron similares en las tres condiciones, mientras que la riqueza total fue mayor en el sitio excluido. La composición florística varió entre sitios, mientras que la composición funcional resultó similar entre el sitio excluido y pastoreado. El sitio excluido al pastoreo es una oportunidad para caracterizar la vegetación local sin influencia del pastoreo por el ganado bovino, dado que se encuentran muy pocas áreas que no hayan sido explotadas con fines económicos durante un período de tiempo tan extenso.

[Palabras clave: comunidad vegetal, disturbios, ganadería]

ABSTRACT. Floristic and functional composition of natural grasslands in central Argentina: The effect of cattle grazing and fire. The state and conservation of the natural resources involved in production systems is of global concern. In Argentina, the expansion of the agricultural frontier from the Humid Pampa to the west has intensified livestock activity in semi-arid areas, decreasing the probability of finding sites that are not severely anthropized for productive purposes. The objectives of this work were to characterize the floristic and functional composition of the herbaceous stratum of caldén forests in a site excluded from domestic grazing in the last 50 years and to compare it with two other situations: one, with a winter fire event and subsequent exclusion of cattle grazing; and the other, with rotational grazing. In each of the three sites, the cover of herbaceous species within ten 1x1 m frames was estimated using the Braun-Blanquet method. First, the floristic composition was analysed in terms of richness and diversity. Secondly, an NMDS analysis was carried out to characterize the plant communities. Finally, the coverage of functional groups (palatability, life cycle and origin) was compared between sites using a Kruskal-Wallis analysis. Mean richness and diversity were similar in the three conditions, while total richness was higher in the excluded site. Floristic composition varied between sites, while functional composition was similar between the excluded and grazed sites. The site excluded from grazing is an opportunity to characterize the local vegetation without influence of grazing by cattle, since very few areas are found that have not been exploited for economic purposes for such an extended period of time.

[Keywords: plant community, disturbance, livestock farming]

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se manifiestan preocupaciones e interrogantes respecto del estado y la conservación de los recursos naturales comprometidos en los sistemas productivos, y la Argentina no es la excepción (Paruelo et al. 2006). El pastoreo por parte de los ungulados domésticos puede tener un rol crucial en la regulación de la composición y la estructura de las comunidades de plantas (Zheng et al. 2020), la diversidad y la productividad al cambiar la disponibilidad de recursos, como la luz, el agua y los nutrientes (Zhang et al. 2021).

En los sistemas semiáridos, la ganadería extensiva suele ejercer una alta presión de pastoreo durante períodos de sequía, lo que ocasiona un reemplazo de especies palatables por no palatables (Díaz et al. 2007; Irisarri and Oosterheld 2020). Por todo esto, es esencial comprender la variabilidad de la respuesta de la composición florística y funcional a disturbios como el pastoreo y el fuego para avanzar sobre una gestión sostenible de los recursos (Adler et al. 2004).

La Argentina ha experimentado una expansión de la frontera agrícola desde la Pampa Húmeda hacia el oeste, a territorios más áridos, principalmente a expensas de ecosistemas nativos (Viglizzo et al. 2011). Esta expansión agrícola ha intensificado la actividad ganadera en zonas semiáridas, tales como las regiones fitogeográficas del Caldenal y Pastizal Pampeano Semiárido, impactando en la funcionalidad de los procesos ecológicos primarios que repercuten directamente en la ganadería (Distel 2016). La intensificación ganadera en la región semiárida central argentina disminuye la probabilidad de encontrar sitios que no estén severamente antropizados con fines productivos. Si bien existen registros de la vegetación herbácea en toda la región (Anderson et al. 1970), éstos no dan detalles en cuanto al modo en que fueron realizados los muestreos, los sitios donde se hicieron, ni las condiciones de uso ganadero. No se conocen estudios que hayan relevado la vegetación herbácea en sitios con exclusión ganadera prolongada.

Los objetivos de este trabajo fueron: a) caracterizar la composición florística y funcional del estrato herbáceo de un bosque de caldén excluido al pastoreo doméstico por 50 años, en la región semiárida central argentina, y b) comparar la composición florística y

funcional entre sitios con distinta historia de manejo: un sitio con 50 años de exclusión al pastoreo; otro, con un evento de fuego invernal y posterior exclusión al pastoreo de ganado bovino durante seis años, y un último sitio, con un manejo rotativo con pastoreo invernal de ganado bovino de cría con una carga animal moderada y descanso estival. El sitio con exclusión histórica al pastoreo es una oportunidad para caracterizar la vegetación local sin influencia del pastoreo por el ganado bovino, dado que se encuentran muy pocos sitios que no hayan sido explotados con fines económicos durante un período de tiempo tan extenso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área donde se ubicaron los tres sitios de estudio se corresponde a la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Fitogeográfica del Espinal, Bosque de Esclerófitas con *Prosopis caldenia* Burkart, según Oyarzabal et al. (2018), y descrita como 'Bosque de Caldén' por Anderson et al. (1970) (Figura 1). El primer sitio, de ~13 ha, presentó exclusión de 50 años al pastoreo ('exclusión'), y no se registran eventos de fuego desde los últimos 40 años. El segundo sitio tuvo un evento de fuego seis años antes del relevamiento y posteriormente se excluyó al pastoreo con ganado bovino ('quemado'). El tercer sitio tuvo pastoreo histórico moderado ('pastoreado'). El pastoreo es otoño-invernal con ganado bovino de cría sobre pastizal natural con una carga animal entre 0.3-0.4 equivalente vaca/ha.

Muestreo

El muestreo se realizó durante la estación invernal. En cada sitio, se realizaron 10 censos del estrato herbáceo con el método de Braun-Blanquet modificado (Mueller-Dumbois and Ellenberg 1974). Se muestreó con un marco de 1x1 m. El mismo se repitió en diez puntos equidistantes a 10 m entre sí sobre una línea fija en cada uno de los tres sitios. Una vez identificadas las especies herbáceas, se estimó el porcentaje de cobertura en cada uno de los marcos.

Análisis

Se calculó la riqueza y la diversidad de los sitios dentro de cada marco y luego se calculó la media y la riqueza total de cada sitio. Se determinaron las especies indicadoras de



Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo. Mapa de Sudamérica (a). Mapa de la Argentina (b). Mapa de San Luis (c). Los círculos rojos indican los sitios de muestreo. Las líneas en (c) indican los límites de las distintas series de suelo (Peña Zubiarte 1998). Las zonas negras indican las correspondientes a los sitios de muestreo.

Figure 1. Location of sampling sites. Map of South America (a). Map of Argentina (b). Map of San Luis (c). The red circles indicate the sampling sites. The lines in (c) indicate the limits of the different soil series (Peña Zubiarte 1998). The black areas indicate those corresponding to the sampling sites.

cada sitio a través de un análisis de especies indicadoras, con la función `multipatt` del paquete `Indicspecies` del *software* R (De Cáceres and Legendre 2009). En segundo lugar, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS, por sus siglas en inglés) para caracterizar las comunidades vegetales, usando el índice de similitud de Jaccard y datos de presencia/

ausencia. Este análisis se realizó con la función `metaMDS` del paquete `vegan` del *software* R (Oksanen et al. 2016). Las especies se clasificaron según su palatabilidad (palatables, no palatables y palatables medias), su origen (nativas y exóticas) y su ciclo de vida (anuales y perennes, invernales o estivales) (Tabla 1). Se comparó la cobertura de los grupos funcionales entre los sitios, mediante un

Tabla 1. Grupos funcionales para cada especie: Fuentes: Silva et al. (2011) y Mazzola et al. (2008).

Table 1. Functional groups of each species. Sources: Silva et al. (2011) and Mazzola et al. (2008).

Especie	Ciclo de vida	Origen	Palatabilidad
<i>Aristida spagazzinii</i> Arechav.	Perenne	Nativa	Media
<i>Baccharis linearifolia</i> (Lam.) Pers.	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Bothriochloa springfieldii</i> (Gould) Parodi	Perenne	Nativa	Palatable
<i>Bromus brevis</i> Nees ex Steud.	Anual	Nativa	Palatable
<i>Clematis montevidensis</i> Spreng.	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Eragrostis lugens</i> Nees	Perenne	Nativa	Palatable
<i>Eustachys retusa</i> (Lag.) Kunth	Perenne	Nativa	Palatable
<i>Gaillardia megapotamica</i> (Spreng.) Baker	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Gamochaeta falcata</i> (Lam.) Cabrera	Anual	Nativa	No Palatable
<i>Gutierrezia gilliesii</i> Griseb.	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Heteroteca subaxilaris</i> (Lam.) Britton and Rusby	Anual	Exótica	No Palatable
<i>Hyalis argentea</i> D. Don ex Hook. and Arn.	Perenne	Nativa	Media
<i>Jarava ichu</i> Ruiz and Pav.	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Nassella tenuissima</i> (Trin.) Barkworth	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Oenotera indecora</i> Cambess.	Anual	Nativa	Palatable
<i>Pappophorum pappiferum</i> (Lam.) Kuntze	Perenne	Nativa	Palatable
<i>Paronychia chilensis</i> DC.	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Piptochaetium napostaense</i> (Speg.) Hack.	Perenne	Nativa	Palatable
<i>Plantago patagonica</i> Jacq.	Anual	Nativa	Palatable
<i>Poa ligularis</i> Nees ex Steud.	Perenne	Nativa	Palatable
<i>Pseudognaphalium gaudichaudianum</i> (DC.) Anderb.	Anual	Nativa	No Palatable
<i>Schizachirum condensatum</i> (Kunth) Nees	Perenne	Nativa	Palatable
<i>Senecio pampeanus</i> Cabrera	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Silene argentina</i> (Pax) Bocquet	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Sporobolus cryptandrus</i> (Torr.) A. Gray	Perenne	Nativa	Palatable
<i>Thelesperma megapotamicum</i> (Spreng.) Kuntze	Perenne	Nativa	No Palatable
<i>Verbascum virgatum</i> Stokes	Anual	Exótica	No Palatable

análisis de Kruskal-Wallis mediante el *software* Infostat v.2020 (Di Rienzo et al. 2020).

RESULTADOS

La diversidad alfa media fue similar en las tres condiciones (6.7, 5.5 y 6.9 en los sitios excluido, quemado y pastoreado, respectivamente; prueba de Kruskal-Wallis, $P=0.15$) (Tabla 2). Se observaron 21, 18 y 12 especies en los sitios excluido, quemado y pastoreado, respectivamente, con un total de 27 especies en todo el relevamiento. La diversidad (índice de Shannon-Wiener) fue 1.6 para el sitio excluido, 1.54 para el sitio con quemado y 1.38 para el sitio pastoreado. Dentro de las 27 especies encontradas, ~43% fueron anuales y perennes de ciclo otoño-invernal, y sólo algunas extienden su floración a la estación estival. El 57% son especies perennes de ciclo primavero-estival. Estos porcentajes se mantuvieron constantes

independientemente del sitio y del disturbio que lo caracteriza.

La composición florística varió según la historia particular del sitio (Tabla 2 y Figura 2). El sitio excluido se caracteriza por la presencia de *Piptochaetum napostaense* (Speg.) Hack. y *Schizachirum condensatum* (Kunth) Nees. *P. napostaense* también caracteriza al sitio quemado, junto con *Verbascum virgatum* Stokes. Por su parte, *Sporobolus cryptandrus* (Torr. A. Gray), *Poa ligularis* Nees ex Steud. *Plantago patagonica* Jacq., *Gamochaeta falcata* (Lam.) Cabrera y *S. condensatum* fueron favorecidas por el pastoreo invernal moderado. Si bien *P. ligularis* presentó mayor cobertura en el sitio excluido, en el análisis multivariado se observó como representativa del sitio con pastoreo; esto se debe a que el NMDS se basó en datos de frecuencia de las especies.

En el sitio quemado, las especies no palatables predominaron sobre las palatables

Tabla 2. Análisis de especies indicadoras. Valores de cobertura media de las especies y frecuencia entre paréntesis. Se incluyen datos de diversidad alfa media y diversidad. Las especies indicadoras se resaltan en negrita.

Table 2. Indicator species analysis. Mean species cover and frequency values in brackets. Mean alpha richness and diversity data are included. Indicator species are highlighted in bold.

Especie	Excluido	Quemado	Pastoreado	Valor P
<i>Aristida spgazzinii</i>	26.25 (0.2)	0.5 (0.1)	8.75 (0.20)	0.542
<i>Baccharis linearifolia</i>	0.5 (0.1)	0	0	1
<i>Bothriochloa springfieldii</i>	2.5 (0.1)	0	0	1
<i>Bromus brevis</i>	0	0.5 (0.1)	0	1
<i>Clematis montevidensis</i>	0.5 (0.1)	2.5 (0.1)	0	1
<i>Eragrostis lugens</i>	0	0.5 (0.1)	19 (0.2)	0.528
<i>Eustachys retusa</i>	5.75 (0.7)	5.63 (0.4)	1.83 (0.6)	NA
<i>Gaillardia megapotamica</i>	0	1.5 (0.2)	0	0.313
<i>Gamochaeta falcata</i>	0.5 (0.3)	0.5 (0.2)	0.72 (0.9)	0.004
<i>Gutierrezia gilliesii</i>	0.5 (0.1)	0	0	1
<i>Heteroteca subaxilaris</i>	0.72 (0.9)	2.5 (1)	0.5 (0.8)	NA
<i>Hyalis argentea</i>	32.5 (0.2)	7.1 (0.5)	0	0.43
<i>Jarava ichu</i>	37.5 (0.1)	0	0	1
<i>Nassella tenuissima</i>	8.75 (0.6)	39.44 (0.9)	6.67 (0.6)	0.051
<i>Oenotera indecora</i>	0.5 (0.2)	0.5 (0.1)	0.5 (0.2)	NA
<i>Pappophorum pappiferum</i>	2.5 (0.1)	0	0	1
<i>Paronychia chilensis</i>	0	1.5 (0.2)	0	0.305
<i>Piptochaetum napostaense</i>	20.08 (0.6)	24 (0.5)	0	0.019
<i>Plantago patagonica</i>	2.5 (0.1)	0	4.6 (0.5)	0.026
<i>Poa ligularis</i>	20.42 (0.6)	6 (0.3)	1 (1)	0.004
<i>Pseudognaphalium gaudichaudianum</i>	1.5 (0.2)	0.5 (0.1)	0	0.508
<i>Schizachirum condensatum</i>	73.61 (0.9)	0	13.13 (0.8)	0.001
<i>Senecio pampeanus</i>	0.5 (0.4)	0	0.5 (0.2)	0.21
<i>Silene argentina</i>	0	0.5 (0.1)	0	1
<i>Sporobolus cryptandrus</i>	2.5 (0.1)	2.5 (0.1)	8.75 (0.8)	0.001
<i>Thelesperma megapotamicum</i>	2.5 (0.1)	0	0	1
<i>Verbascum virgatum</i>	0	21.1 (0.5)	0	0.006
Diversidad alfa media	6.7	5.5	6.9	0.15
Diversidad (S-W)	1.6	1.54	1.38	

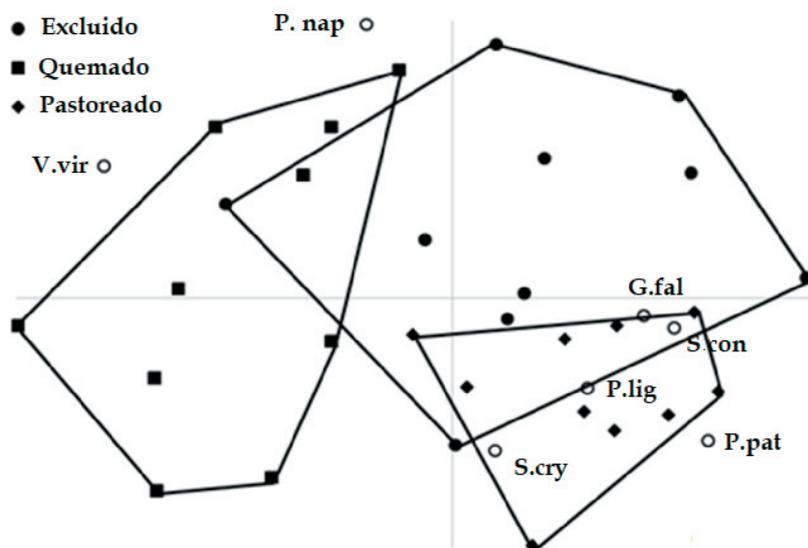


Figura 2. NMDS con datos florísticos. G. fal: *Gamochaeta falcata*; P. nap: *Piptochaetum napostaense*; P. lig: *Poa ligularis*; P. pat: *Plantago patagonica*; S. con: *Schizachirum condensatum*; S. cry: *Sporobolus cryptandrus*; V. vir: *Verbascum virgatum*. Stress=0.19.

Figure 2. NMDS with floristic data. G. fal: *Gamochaeta falcata*; P. nap: *Piptochaetum napostaense*; P. lig: *Poa ligularis*; P. pat: *Plantago patagonica*; S. con: *Schizachirum condensatum*; S. cry: *Sporobolus cryptandrus*; V. vir: *Verbascum virgatum*. Stress=0.19.

Tabla 3. Comparación de medias de cobertura de los grupos funcionales entre los sitios. Prueba de Kruskal-Wallis, $P < 0.05$.

Table 3. Comparison of cover means of functional groups between sites. Kruskal-Wallis test, $P < 0.05$.

	Excluido	Quemado	Pastoreado	Valor P
Palatables	0.81a	0.21b	0.86a	<0.001
No palatables	0.09b	0.74a	0.08b	<0.001
Palatabilidad media	0.1	0.05	0.06	0.8
Nativas	0.99a	0.8b	0.99a	<0.001
Exóticas	0.01b	0.2a	0.01b	<0.001
Anuales	0.01b	0.21a	0.06b	0.001
Perennes	0.99a	0.79b	0.94a	0.001

y las palatables medias. En los otros dos sitios prevalecieron las especies palatables. Al comparar la composición funcional entre los sitios (Tabla 3), la abundancia relativa de los grupos funcionales fue muy similar entre el sitio excluido y el pastoreado. La palatabilidad, el origen y el ciclo de vida difirieron en el sitio quemado, mientras que en los otros dos sitios fueron similares.

DISCUSIÓN

La riqueza media (diversidad alfa) y la diversidad de la comunidad herbácea no variarían en el sitio excluido respecto al sitio expuesto a pastoreo moderado, ni con respecto al sitio que, luego de un evento de fuego, se mantuvo seis años sin utilización forrajera. La riqueza total (diversidad gamma) sí resultó diferente: el sitio excluido fue el que presentó mayor cantidad de especies. La composición florística estaría determinada por la historia particular del sitio, mientras que la composición funcional resultaría similar entre sitios excluidos y pastoreados.

Se han documentado modificaciones en la composición de especies en el estrato

herbáceo de bosques abiertos de todo el mundo inducidas por el pastoreo (Vogel et al. 2022). Nuestros resultados mostraron que la riqueza total fue mayor en el sitio excluido con respecto a los otros dos. Sin embargo, la riqueza media y la diversidad no varían en condiciones de pastoreo moderado ni en el sitio que, luego de un evento de fuego, se mantuvo seis años sin utilización forrajera.

Fisionómicamente, la vegetación natural en los sitios de muestreo fue descrita por Oyarzabal et al. (2018) como Bosque de Esclerófitas con *Prosopis caldenia* (Caldenal) dominado por *P. caldenia* y acompañado de *P. flexuosa*, *Geoffroea decorticans* y *Jodina rhombifolia*. Como componentes del estrato herbáceo describen la presencia de *Nassella* spp., *Jarava* spp., *Piptochaetium* spp., *Elionurus muticus* e *Hyalis argentea*. En el sitio excluido se observó a *G. decorticans* y a individuos aislados de *Prosopis* como especies arbóreas. En los otros dos sitios se observaron todas las especies arbóreas descritas. En coincidencia con la descripción, en todo el muestreo se observaron todas las especies herbáceas, excepto *E. muticus*. En el sitio quemado, tampoco se registró a *J. ichu*. En el sitio pastoreado, de las mencionadas,

sólo se registró a *N. tenuissima* como especie herbácea. Todas estas observaciones podrían deberse a que el muestreo fue realizado en un área restringida.

Estudios previos demostraron que las plantas anuales se ven favorecidas por el pastoreo y que las perennes se ven perjudicadas en regiones secas con una corta historia evolutiva de pastoreo (Díaz et al. 2007). Nuestros resultados no mostraron diferencias en la abundancia de las especies de acuerdo con su ciclo de vida (Tabla 4), aunque las especies anuales invernales se vieron favorecidas por el fuego y la posterior exclusión. En particular, las dos especies exóticas que se observaron en el relevamiento están más representadas en el sitio quemado, lo cual sugiere que el fuego podría estar favoreciendo el ingreso y el éxito reproductivo de las mismas. Por otra parte, en sistemas áridos con una larga historia de herbivoría, el pastoreo provoca un aumento de las plantas no palatables (Díaz et al. 2007). Nuestros resultados no coinciden con estos procesos, dado que la cobertura de especies no palatables fue similar entre el sitio excluido y el pastoreado.

La selección de forraje del ganado bovino con carga moderada y períodos de descanso parece no comprometer el recurso forrajero (O'Regain and Scanlan 2013). Nuestros resultados coinciden con esto. Por otra parte, los estudios que evalúan el efecto del sobrepastoreo sobre las comunidades herbáceas indican que el mismo produce efectos negativos sobre la producción de biomasa aérea y radical, y de semillas

(Puthod 2018). Este efecto es agudizado por la combinación de sobrepastoreo y sequía, una condición climática habitual en la región. Si bien en este estudio no incluimos una evaluación de sitios con sobrepastoreo, sí observamos disminución del recurso forrajero por efecto del fuego.

El fuego también es un fenómeno que ha moldeado la estructura y el funcionamiento de las comunidades vegetales en estos ambientes a lo largo del tiempo (Wang et al. 2019). Esto coincide con nuestros resultados, ya que la presencia y cobertura de especies anuales y especies exóticas sólo se vio favorecida en el sitio afectado por el fuego. Esto podría deberse a que la remoción total de la capa de vegetación por el efecto del fuego favorece el desarrollo de especies anuales pioneras y especies exóticas que colonizan el área disturbada en este tipo de situaciones.

Las conclusiones del presente trabajo deben ser tomadas con cautela, dado que los datos fueron tomados en un solo sitio por cada manejo, en diez parcelas en cada sitio. Esta limitación metodológica se debe a la gran dificultad en encontrar sitios con ausencia de pastoreo por grandes períodos de tiempo. Por este mismo motivo, consideramos de gran valor los registros presentados, dado que ofrece una oportunidad para el conocimiento de los sistemas que ayudaría al diseño de políticas de gestión racional de los recursos. Este relicto del pastizal fue sometido a pastoreo inmediatamente después del muestreo, impidiendo un seguimiento en el tiempo.

REFERENCIAS

- Adler, P. B., D. G. Milchunas, W. K. Lauenroth, O. E. Sala, and I. C. Burke. 2004. Functional traits of graminoids in semi-arid steppes: a test of grazing histories. *Journal of Applied Ecology* 41:653-663. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00934.x>.
- Anderson, D. L., J. A. Del Aguila, and A. E. Bernardón. 1970. Las formaciones vegetales en la provincia de San Luis. *Revista de Investigación Agropecuarias INTA* 7:153-158.
- De Cáceres, M., and P. Legendre. 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90:3566-3574. <https://doi.org/10.1890/08-1823.1>.
- Díaz, S., S. Lavorel, S. McIntyre, V. Falczuk, F. Casanovess, D. G. Milchunas, C. Skarpe, G. Rusch, M. Sternberg, I. Noy-Meir, J. Landsberg, W. Zhang, H. Clarkss, and B. D. Campbell. 2007. Plant trait responses to grazing a global synthesis. *Global Change Biology* 13:313-341. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01288.x>.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada, and C. W. Robledo. 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: infostat.com.ar.
- Distel, R. A. 2016. Grazing ecology and the conservation of the Caldenal rangelands, Argentina. *Journal of Arid Environments* 134:49-55. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.019>.
- Irisarri, J. G. N., and M. Oesterheld. 2020. Temporal variation of stocking rate and primary production in the face of drought and land use change. *Agricultural Systems* 178:102750. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102750>.
- Mazzola, M., A. Kin, E. Morici, F. Babinec, and G. Tamborini. 2008. Efecto del gradiente altitudinal sobre la vegetación de las Sierras de Lihue Calel (La Pampa, Argentina). *Bol Soc Argent Bot* 43(1-2):103-119.

- Mueller-Dombois, D., and H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York. Wiley. Pp. 574.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, et al. 2016. *Vegan: community ecology package*, R package version 2.3-4. URL: CRAN.R-project.org/package=vegan.
- O'Reagain, P. J., and J. C. Scanlan. 2013. Sustainable management for rangelands in a variable climate: evidence and insights from northern Australia. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience* 7:68-78. <https://doi.org/10.1017/S175173111100262X>.
- Oyarzabal, M., J. R. Clavijo, L. J. Oakley, F. Biganzoli, P. M. Tognetti, I. M. Barberis, and M. Oesterheld. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28:40-63. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>.
- Paruelo, J. M., J. P. Guerschman, G. Piñeiro, E. G. Jobbágy, S. R. Verón, G. Baldi, and S. Baeza. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia* 2:47-61.
- Peña Zubiarte, C., D. Anderson, M. Demmi, J. Saenz, and A. D'Hiriart. 1998. Carta de Suelos y Vegetación de la provincia de San Luis. INTA EEA San Luis. Gobierno de la provincia de San Luis. Pp. 105.
- Puthod, G. 2018. Mejoramiento del pastizal en el ecotono austral de la Región Pampeana y el Caldenal. Tesis presentada para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur.
- Silva, L. C. R., M. A. Giorgis, M. Anand, L. Enrico, N. Pérez-Harguindeguy, V. Falczuk, L. L. Tieszen, and M. Cabido. 2011. Evidence of shift in C4 species range in central Argentina during the late Holocene. *Plant Soil* 349:261-279. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0868-x>.
- Viglizzo, E., F. Ricard, E. Jobbágy, F. Frank, and L. Carreño. 2011. Assessing the cross-scale impact of 50 years of agricultural transformation in Argentina. *Field Crops Research* 124:186-194. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.014>.
- Vogel, B., C. M. Rostagno, L. Molina, M. Antilef, and L. La Manna. 2022. Cushion shrubs encroach subhumid rangelands and form fertility islands along a grazing gradient in Patagonia. *Plant and Soil* 475:623-643. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05398-1>.
- Wang, G., J. Li, and S. Ravi. 2019. A combined grazing and fire management may reverse woody shrub encroachment in desert grasslands. *Landscape Ecology* 34:2017-2031. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00873-0>.
- Zhang, P., Z. Yang, and J. Wu. 2021. Livestock grazing promotes ecosystem multifunctionality of a coastal salt marsh. *Journal of Applied Ecology* 58:2124-2134. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13957>.
- Zheng, M., J. Song, J. Ru, Z. Zhou, M. Zhong, Jiang, L. D. Hui, and S. Wan. 2021. Effects of grazing, wind erosion, and dust deposition on plant community composition and structure in a temperate steppe. *Ecosystems* 24:403-420. <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00526-3>.