

ARTÍCULO CIENTÍFICO**Intervenciones en el caldenal pampeano: regeneración de las comunidades vegetales post disturbio**

Suárez, Carla Etel¹ , Rossini, María Sol^{2,3} , Codesal, María Florencia¹  y Ramírez, Emiliano Leonel¹ 

1 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, Argentina.

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Administración de Parques Nacionales, Argentina.

3 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, La Pampa, Argentina.

@ suarez@agro.unlpam.edu.ar

Recibido: 22/08/2025

Aceptado: 16/09/2025

Resumen. La significación del caldenal pampeano reduce la productividad forrajera, la biodiversidad y la accesibilidad al sistema, generando fisionomías cerradas conocidas como “fachinales”. Para revertir este proceso se han implementado diversas prácticas de manejo, aunque sus efectos difieren en función de la intensidad y del tiempo transcurrido desde su aplicación. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de distintas intervenciones mecánicas y de una quema prescripta sobre la estructura y composición de la vegetación en un bosque de caldenal (*Neltuma caldenia*) en La Pampa, Argentina. Se establecieron siete tratamientos: testigo (T), quema (Q), rolado (R), rolado+quema (R+Q), triturado (Tr), rolado+triturado (R+Tr) y topado (Tp). La vegetación se relevó en 2022 mediante censos sistemáticos en 84 parcelas. Se analizaron riqueza, diversidad, equitatividad, cobertura de estratos, suelo y broza, así como la proporción de especies exóticas y forrajeras. Se aplicaron ANOVA y análisis multivariados (clúster y SIMPER). La riqueza fue mayor en T, pero la equitatividad se incrementó en Tp y R+Tr. El topado presentó la mayor apertura estructural y favoreció gramíneas forrajeras, mientras que R y Q mostraron comunidades más cerradas y dominadas por no forrajeras. La cobertura de exóticas aumentó en Tp y en bordes. Los análisis multivariados confirmaron el gradiente de intensidad de disturbio y permitieron identificar especies diagnósticas, como *N. caldenia* en fachinales cerrados y *Poa ligularis* y *Piptochaetium napostaense* en áreas abiertas. Los resultados indican que las intervenciones intensas son necesarias para iniciar procesos de restauración, pero deben complementarse con prácticas de seguimiento y manejo adaptativo. La combinación de técnicas, ajustada al estado de degradación y a los objetivos productivos y de conservación, constituye la estrategia más adecuada para recuperar la funcionalidad ecológica y productiva del caldenal.

Palabras clave: bosque de caldén; prácticas; restauración; calidad forrajera; flora arvense; manejo adaptativo.

Abstract. Interventions in the Pampas calden forest: regeneration of plant communities after disturbance. Shrub encroachment in the Caldenal forests of central Argentina reduces forage productivity, biodiversity, and system accessibility, leading to closed physiognomies locally known as “fachinales.” To counteract this process, different management practices have been implemented, though their effects vary depending on disturbance intensity and time since intervention. This study aimed to evaluate the effects of mechanical treatments and prescribed burning on the structure and composition of a Calden (*Neltuma caldenia*) forest in La Pampa, Argentina. Seven treatments were established: control (T), burning (Q), roller-chopping (R), roller-chopping+burning (R+Q), shredding (Tr), roller-chopping+shredding (R+Tr), and bulldozing (Tp). Vegetation surveys were conducted in 2022 using 84 plots. Species richness, diversity, evenness, vegetation strata, litter, bare soil, exotic and forage species were recorded. ANOVA and multivariate analyses (cluster and SIMPER) were applied. Richness was highest in T, but evenness increased under Tp and R+Tr. Bulldozing produced the greatest canopy opening and favored forage grasses, while R and Q maintained closed communities dominated by non-forage species. Exotic species cover increased under Tp and at community edges. Multivariate analyses confirmed the disturbance-intensity gradient and identified diagnostic species, such as *N. caldenia* in closed stands and *Poa ligularis* and *Piptochaetium napostaense* in more open areas. Results indicate that intense interventions are necessary to initiate restoration but require follow-up management and adaptive strategies. Combining practices, adjusted to degradation state and management goals, emerges as the most suitable approach to recover the ecological and productive functionality of the Calden forest.

Key words: caldén forest; restoration; forage quality; exotic vegetation; adaptive management.

INTRODUCCIÓN**Cómo citar este trabajo:**

Suárez, C. E., Rossini, M. S., Codesal, M. F. y Ramírez, E. L. (2026). Intervenciones en el caldenal pampeano: regeneración de las comunidades vegetales post disturbio. *Semiárida*, 36(1), 47-60.

Los ambientes semiáridos de Argentina presentan una marcada heterogeneidad en su estructura y funcionamiento, producto de la interacción entre factores climáticos, edáficos y

diversos disturbios naturales y antrópicos (Álvarez Redondo y López, 2022). Entre estos últimos, el fuego, el pastoreo y las prácticas de manejo forestal y ganadero han modificado profundamente la composición y dinámica de los bosques y pastizales. Uno de los procesos más extendidos en estas regiones es el aumento en la densidad y cobertura de especies leñosas del estrato intermedio, fenómeno conocido como lignificación o arbustización. Como consecuencia, los sistemas adquieren fisonomías cerradas de renovaless entre uno y tres metros de altura, denominados localmente “fachinales” (Lerner, 2004). Este proceso se asocia con una disminución en la cobertura de gramíneas y herbáceas, en la biodiversidad y en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales.

En el caldenal pampeano, el incremento de la biomasa leñosa arbustiva y arbórea reduce la calidad forrajera, aumenta el riesgo de incendios y limita la accesibilidad del ganado (Estelrich et al., 2022; Suárez et al., 2018). Para contrarrestar estos cambios, en las últimas décadas se han implementado diversas prácticas de manejo —rolado, triturado, quema prescripta y combinaciones entre ellas— como herramientas clave para revertir la degradación y favorecer la productividad ganadera y la restauración ecológica (Archer et al., 2011). En la provincia de La Pampa, su aplicación está regulada por la Ley Provincial N° 2624 (y su modificatoria N° 3047) de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos, en concordancia con la Ley Nacional N° 26.331.

La creciente lignificación reduce significativamente la disponibilidad de recursos para las especies de estratos bajos debido a la intercepción de luz y agua, la competencia por nutrientes y la ocupación del espacio (Álvarez Redondo y Adema, 2018). Por ello, uno de los objetivos principales de las intervenciones mecánicas es la apertura del sistema, mejorando la estructura del bosque y la calidad forrajera del pastizal. Estas prácticas pueden redistribuir recursos, disminuir competencia y liberar espacio, facilitando el reclutamiento desde el banco de semillas o desde yemas protegidas, así como la recolonización desde comunidades vecinas (Ernst et al., 2020). Sin embargo, el éxito de estas respuestas depende también del manejo posterior, ya que condiciona las trayectorias de recuperación del estrato herbáceo y la potencial rehabilitación del sistema.

Estas prácticas deben entenderse como parte de un proceso de manejo continuo y adaptativo. La evidencia muestra que, tras una intervención, la vegetación leñosa puede recuperar progresivamente su cobertura original si no se aplican acciones de seguimiento (Kerleng Marin et al., 2024; Kunst et al., 2008; 2012; Suárez et al., 2018). De este modo, se torna imprescindible un esquema de manejo planificado que incluya monitoreo y una secuencia adecuada de intervenciones destinada a sostener una estructura abierta, promover gramíneas forrajeras y controlar la rearbustización.

Desde el enfoque de la restauración ecológica, la dinámica de los bosques xerófilos se interpreta a través de los conceptos de resiliencia ecológica y umbrales de cambio (Cangiano et al., 2021). La arbustización puede representar una transición hacia un estado alternativo menos productivo y con menor provisión de servicios ecosistémicos. En este contexto, las prácticas de manejo funcionan como herramientas de restauración activa que buscan revertir trayectorias no deseadas. Su efectividad depende de la intensidad del disturbio, del tiempo transcurrido desde la aplicación y de la recurrencia necesaria para mantener los efectos. Este marco permite interpretar las intervenciones no solo desde una perspectiva productiva, sino también en relación con la capacidad del sistema para recuperar su funcionalidad frente a perturbaciones.

En este escenario surge la necesidad de comprender cómo distintas prácticas —rolado, triturado, quema y sus combinaciones— modifican la estructura vertical, la composición y los grupos funcionales de la vegetación en bosques semiáridos. El objetivo general de este estudio fue evaluar los efectos de diversas intervenciones mecánicas y de una quema prescripta sobre la estructura y composición específica del caldenal, considerando diferentes tiempos de regeneración desde la última intervención.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en el Establecimiento Bajo Verde, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, ubicado en el Departamento Toay, La Pampa ($36^{\circ}28'48''S$; $64^{\circ}35'03''O$) (Figura 1). El establecimiento cuenta con 1964 ha, de las cuales el 85 % corresponde a bosque nativo utilizado para ganadería extensiva y el resto a cultivos y pasturas. Desde 2011 se maneja bajo Planes de Manejo en el marco de la Ley Nacional N° 26.331 y la Ley Provincial N° 2624, y se encuentra clasificado como Categoría II (amarillo).

El área presenta bosque de caldén con distintas fisonomías producto del uso histórico y de eventos naturales. Se observa un gradiente de formaciones dominadas por *Neltuma caldenia* (Burkart) C. E. Hughes & G. P. Lewis (caldén), con diferentes niveles de significación, que se expresan en un estrato arbustivo denso conocido como fachinal, de hasta 2 m de altura. Este estrato está conformado por renuevos de caldén y especies acompañantes como *Condalia microphylla* Cav., *Schinus fasciculatus* Griseb. I.M. Johnst. y *Lycium chilense* Bertero. El estrato graminoso-herbáceo conforma una matriz de parches con dominancia alternada de especies forrajeras, como *Poa ligularis* Nees ex Steud. y *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack., y especies nativas no forrajeras, entre ellas *Nassella trichotoma* (Nees) Hack. ex Arechav., *Nassella tenuissima* (Trin.) Barkworth y *Jarava ichu* Ruiz & Pav.

Tratamientos e intervenciones

Las intervenciones se realizaron en un potrero de 220 ha sobre un bosque de leñosas bajas de hasta 3 m de altura (fachinal), con una cobertura original cercana al 70 %. Este potrero es utilizado menos de un mes en el año con 380 animales (carga que garantiza la misma presión de pastoreo para todo el potrero). Se aplicaron diferentes prácticas de manejo: quema prescripta, triturado, rolado y topado (Figura 1). Estas generan disturbios de distinta intensidad, desde la remoción total del suelo y pérdida de cobertura vegetal (topado) hasta la reducción parcial de la fitomasa aérea sin afectar el suelo (quema) (Suárez et al., 2022).

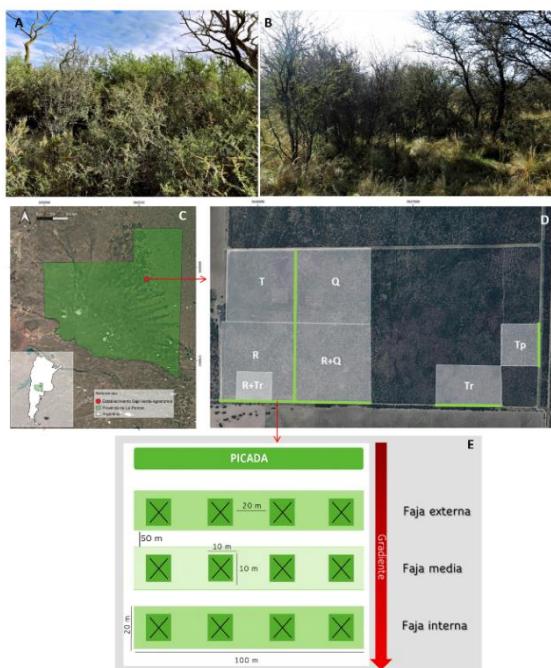


Figura 1. A- B. Fisonomías de bosque en las que se realizaron las intervenciones. C-D. Ubicación del Establecimiento Bajo Verde, Facultad de Agronomía, UNLPam, provincia de La Pampa, Argentina y croquis con las intervenciones realizadas dentro del establecimiento. E. Diseño del muestreo. Referencias: T: testigo; Q: quemado; R: rolado; R+Q: rolado y quemado; Tr: triturado; R+Tr: rolado y triturado; Tp: topado.

Figure 1. Characteristics of the forest where the interventions were carried out. C-D. Location of the Establecimiento Bajo Verde, Faculty of Agronomy, UNLPam, province of La Pampa, Argentina, and sketch showing the interventions carried out within the establishment. E. Sampling design. References: T: untreated control; Q: burned; R: rolled; R+Q: rolled and burned; Tr: triturated; R+Tr: rolled and triturated; Tp: topsoiled.

El gradiente de mayor a menor intensidad fue: topado > rolado > triturado > quema. En noviembre de 2013 se realizó un rolado selectivo (R) de baja intensidad sobre 50 ha (~60 % de superficie efectiva). En abril de 2015 se aplicó una quema prescripta en 100 ha que incluyó áreas roladas (R+Q) y no roladas (Q). En 2018 se efectuó un triturado en 5 ha previamente roladas (R+Tr) y en 10 ha no roladas (Tr). Finalmente, en agosto de 2019, se realizó una intervención con topadora con rastrillo (Tp) en 10 ha (~30 % de superficie efectiva), en un área próxima y de fisonomía similar.

De esta manera se definieron siete tratamientos: testigo (T), quema (Q), rolado (R), rolado + quema (R+Q), triturado (Tr), rolado + triturado (R+Tr) y topado (Tp).

Evaluaciones a campo y procesamiento de datos

Las evaluaciones florísticas se realizaron en octubre de 2022 mediante tres fajas transectas de 20 × 100 m (2000 m²) dispuestas en forma paralela a la picada (camino) y separadas entre sí por 50 m hacia el interior de la comunidad, conformando un gradiente de muestreo: “externa”, “media” e “intern”. En cada faja se establecieron 4 estaciones de 10 × 10 m (100 m²), totalizando 12 censos por sitio (N = 84) (Figura 1).

En cada censo se registró: estructura vertical de la comunidad (estratos), cobertura total de vegetación, cobertura por especies y estratos, broza y suelo desnudo (Batista et al., 2014; Braun-Blanquet, 1979; Müller-Dombois y Ellenberg, 1974). Para caracterizar la comunidad se consideraron las fajas “media” e “intern”, descartándose la “externa” por efecto borde, aunque esta última se incluyó en el análisis de especies exóticas.

Se elaboró una lista florística con identificación de especies nativas y exóticas (Zuloaga et al., 2019), clasificadas por ciclo de vida y tipos biológicos de Raunkiær (1934). Asimismo, se determinó la calidad forrajera según el grado de uso y preferencia del ganado bovino (Cano et al., 1988; Morici et al., 2009; Rúgolo de Agrazar et al., 2005). De este modo, las especies se agruparon en monocotiledóneas y dicotiledóneas, anuales y perennes, forrajeras y no forrajeras, nativas y exóticas.

El grado de lignificación y accesibilidad del sistema se evaluó mediante la cobertura de los estratos arbustivo bajo y leñoso intermedio. Finalmente, a partir de la abundancia-cobertura de cada especie y sitio, se calcularon índices de riqueza, diversidad de Simpson y equitatividad.

Análisis de datos

Las diferencias en la cobertura total de vegetación, cobertura por estratos, suelo, broza e índices de diversidad entre tratamientos se evaluaron mediante análisis de varianza (ANOVA) con un diseño completamente aleatorizado. Los datos de cobertura por estrato se transformaron con la ecuación $y = \text{arcoseno } \sqrt{p}/100$ (Rohlf y Sokal, 1981). Para analizar la variación de las especies exóticas invasoras según tratamiento y gradiente hacia el interior de la comunidad se aplicó un ANOVA de dos vías.

Se realizaron análisis multivariados para evaluar la estructura de la comunidad y la calidad del pastizal (gramíneas forrajeras y no forrajeras). A partir de matrices de varianza/covarianza de censos por especies se aplicaron clústeres bidireccionales mediante el método de Ward y distancia euclídea. Los porcentajes de forrajeras y no forrajeras fueron relativizados. Además, se efectuó un análisis SIMPER con índice de Bray-Curtis para identificar las especies responsables de las diferencias entre tratamientos.

Todos los análisis se realizaron con los programas PCOrd 6 (McCune y Mefford, 2011), InfoStat (Di Renzo et al., 2018) y PAST 4.03 (Hammer et al., 2001).

RESULTADOS

Caracterización general de la comunidad

La riqueza del área fue de 89 especies, distribuidas en 12 familias, de las cuales las más representativas fueron Poaceae (25,8 %), Asteraceae (24,7 %), Solanaceae (4,5 %), Fabaceae (4,5 %), Verbenaceae, Apiaceae y Brassicaceae (las tres con 3,4% cada una). El 76% de las especies fue

nativas y las restantes de origen exótico. En cuanto al ciclo de vida, el 56,8% de las especies fueron perennes y las demás anuales (Tabla 1).

Tabla 1. Listado de especies identificadas en los distintos tratamientos en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina clasificadas según familia, ciclo de vida (CV): perenne (P) / anual (A); Origen (O): nativo (N) / exótico (E); Calidad forrajera (CF): forrajera (F) / no forrajera (NF).

Table 1. List of species identified in the different treatments at the Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina, classified by family, life cycle (LC): perennial (P) / annual (A); origin (O): native (N) / exotic (E); forage quality (FQ): forage (F) / non-forage (NF).

Especies	Familia	CV	O	CF
<i>Acaena myriophylla</i> Lindl.	Rosaceae	P	N	NF
<i>Aloysia gratissima</i> (Gillies & Hook. ex-Hook.) Tronc.	Verbenaceae	P	N	NF
<i>Amelichloa bachychaeta</i> (Godr.) Amiaga & Barkworth	Poaceae	P	N	NF
<i>Aristida subulata</i> Henrard	Poaceae	P	N	F
<i>Austrobrickellia patens</i> (D. Don ex Hook. & Arn.) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	P	N	NF
<i>Baccharis artemisioides</i> Hook. & Arn.	Asteraceae	P	N	NF
<i>Baccharis crispia</i> Spreng.	Asteraceae	P	N	NF
<i>Baccharis gillesii</i> A. Gray	Asteraceae	P	N	NF
<i>Baccharis glutinosa</i> Pers.	Asteraceae	P	N	NF
<i>Baccharis ulicina</i> Hook. & Arn.	Asteraceae	P	N	NF
<i>Bothriochloa springfieldii</i> (Gould) Parodi	Poaceae	P	N	F
<i>Bouganvillea spinosa</i> (Cav.) Heimerl	Nyctaginaceae	P	N	NF
<i>Bowlesia incana</i> Ruiz & Pav.	Apiaceae	A	N	NF
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	Poaceae	A	N	F
<i>Carduus thoermerii</i> Weinm	Asteraceae	A	E	NF
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	Poaceae	A	E	NF
<i>Centaurea solstitialis</i> L.	Asteraceae	A	E	NF
<i>Chascolitrum subaristatum</i> (Lam.) Desv.	Poaceae	P	N	F
<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae	A	E	NF
<i>Condalia microphylla</i> Cav.	Rhamnaceae	P	N	NF
<i>Conyzza bonariensis</i> (L.) Cronquist	Asteraceae	A	N	NF
<i>Cynodon incompletus</i> Nees	Poaceae	P	N	NF
<i>Daucus pusillus</i> Michx.	Apiaceae	A	N	NF
<i>Descurainia erodiifolia</i> (Phil.) Prantl ex Reiche	Brassicaceae	A	N	NF
<i>Dichondra sericea</i> Sw.	Convolvulaceae	P	N	NF
<i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard	Poaceae	P	N	F
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Geraniaceae	A	E	F
<i>Euphorbia serpens</i> Kunth	Euphorbiaceae	A	N	NF
<i>Gallardia megapotamica</i> (Spreng.) Baker	Asteraceae	P	N	NF
<i>Gallium richardianum</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Endl. ex Walp.	Rubiaceae	P	N	NF
<i>Geranium molle</i> L.	Geraniaceae	A	E	NF
<i>Junellia hookeriana</i> (Covas & Schnack) N. O'Leary & P. Peralta	Verbenaceae	P	N	NF
<i>Exhalimolobos weddellii</i> (E. Fourn.) Al-Shehbaz & C.D. Bailey	Brassicaceae	A	N	NF
<i>Heterotheca subaxillaris</i> (Lam.) Britton & Rusby	Asteraceae	A	E	NF
<i>Hordeum pusillum</i> Nutt.	Poaceae	A	N	NF
<i>Jarava ichu</i> Ruiz & Pav. var. <i>ichu</i>	Poaceae	P	N	NF
<i>Nuttallanthus canadensis</i> (L.) D.A. Webb	Plantaginaceae	A	E	NF
<i>Leptochloa crinita</i> (Lag.) P.M. Peterson & N.W. Snow	Poaceae	P	N	NF
<i>Lycium chilense</i> Miers ex Bertero	Solanaceae	P	N	F
<i>Medicago minima</i> (L.) Bartal.	Fabaceae	A	E	F
<i>Melica macra</i> Ness	Poaceae	P	N	NF
<i>Muhlenbergia torreyi</i> (Kunth) Hitchc. ex Bush	Poaceae	P	E	NF
<i>Nassella longiglumis</i> (Phil.) Barkworth	Poaceae	P	N	F
<i>Nassella tenuis</i> (Phil.) Barkworth	Poaceae	P	N	F
<i>Nassella tenuissima</i> (Tin.) Barkworth	Poaceae	P	N	NF
<i>Nassella trichotoma</i> (Nees) Hack. ex Arechav.	Poaceae	P	N	NF
<i>Neltuma caldenia</i> (Burkart) C.E. Hughes & G.P. Lewis	Fabaceae	P	N	NF
<i>Neltuma flexuosa</i> (DC.) C.E. Hughes & G.P. Lewis	Fabaceae	P	N	NF
<i>Nierembergia aristata</i> D.Don	Solanaceae	P	N	NF
<i>Oenothera indecora</i> Cambess.	Onagraceae	A	N	NF
<i>Oxalis articulata</i> Savigny	Oxalidaceae	P	E	NF
<i>Parietaria debilis</i> G.Forst.	Urticaceae	A	N	NF
<i>Phalaris angusta</i> Ness ex Trin.	Poaceae	P	N	F
<i>Physalis viscosa</i> L.	Solanaceae	P	N	NF
<i>Piptochaetium napostaense</i> (Speg.) Hack.	Poaceae	P	N	F
<i>Plantago patagonica</i> Jacq.	Plantaginaceae	A	N	NF
<i>Poa ligularis</i> Nees ex Steud.	Poaceae	P	N	F
<i>Prosopanche americana</i> (R. Br.) Baill.	Aristolochiaceae	P	N	NF
<i>Prosopidastrum angusticarpus</i> R.A. Palacios & Hoc	Fabaceae	P	N	NF
<i>Pseudognaphalium gaudichaudianum</i> (DC.) Anderb.	Asteraceae	A	N	NF
<i>Rhynchosia senna</i> Gillies ex Hook.	Fabaceae	P	N	NF
<i>Salsola kali</i> L.	Chenopodiaceae	A	E	NF
<i>Schinus fasciculatus</i> (Griseb.) I.M Johnst	Anacardeaceae	P	N	NF

Especies	Familia	CV	O	CF
<i>Senecio subulatus</i> D. Don ex Hook. & Arn.	Asteraceae	P	N	NF
<i>Setaria lachnea</i> (Nees) Kunth	Poaceae	P	N	F
<i>Setaria pumpeana</i> Parodi ex Nicora	Poaceae	A	N	F
<i>Setaria leucopila</i> (Scribn. & Merr.) K. Schum.	Poaceae	P	N	F
<i>Sisymbrium irio</i> L.	Brassicaceae	A	E	NF
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Solanaceae	P	N	NF
<i>Solanum juvenale</i> Thell.	Solanaceae	P	N	NF
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Asteraceae	A	E	NF
<i>Tragopogon dubius</i> Scop.	Asteraceae	A	E	NF
<i>Tumeraria sidoides</i> L.	Tumeraceae	P	E	NF

Con respecto a la riqueza, hubo diferencias significativas entre las distintas intervenciones ($p=0,0400$) y también con respecto al gradiente ($p=0,0145$). La mayor riqueza se presentó en el T y la menor en el R (Figura 2) y, a su vez, a lo largo del gradiente se registró un mayor número de especies en el área media e interna de la comunidad.

La diversidad presentó diferencias entre tratamientos ($p=0,0024$) y en el gradiente ($p=0,0492$). Los menores valores se registraron en T, R y Q y el mayor en el Tp (Figura 2). Referido al gradiente, este índice tomó valores en orden creciente desde el área interna de la comunidad hacia el exterior.

Por último, la equitatividad presentó diferencias entre tratamientos ($p=0,0074$) pero no en el gradiente ($p=0,2498$). La menor equitatividad se registró en el T y la mayor en R+Tr, Tp y Tr (Figura 2).

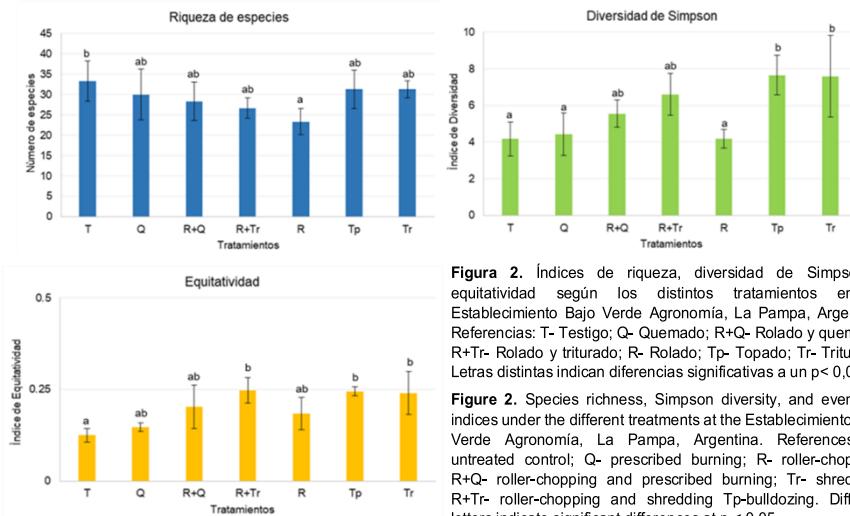


Figura 2. Índices de riqueza, diversidad de Simpson y equitatividad según los distintos tratamientos en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado. Letras distintas indican diferencias significativas a un $p < 0,05$.

Figura 2. Species richness, Simpson diversity, and evenness indices under the different treatments at the Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding. Tp-bulldozing. Different letters indicate significant differences at $p < 0,05$.

Cobertura de vegetación, broza y suelo

Para la vegetación no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,3319$) ni en el gradiente. Para la broza hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,0313$) pero no en el gradiente ($p=0,7897$). El Tp tuvo el menor porcentaje de broza y R+Tr el mayor. Con respecto al suelo sin cobertura, no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,6878$) ni con respecto al gradiente ($p=0,4331$) (Figura 3).

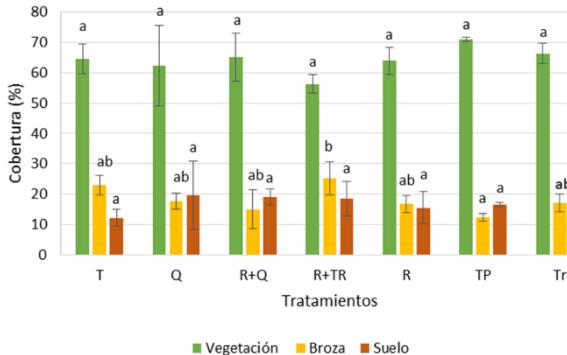


Figura 3. Cobertura de vegetación, broza y suelo sin cobertura según los distintos tratamientos en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado. Letras distintas indican diferencias significativas a un $p < 0,05$.

Figure 3. Vegetation cover, litter, and bare soil under the different treatments at the Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing. Different letters indicate significant differences at $p < 0,05$.

Cobertura de vegetación por estratos

En el estrato arbóreo (mayor a 2 m) hubo diferencias entre tratamientos ($p = 0,0001$) pero no en el gradiente ($p = 0,0769$). Al respecto, cabe destacar que las fajas externas tuvieron menor cobertura que en las estaciones internas. En el estrato de 1 a 2 metros hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0299$) y no hubo diferencias en el gradiente ($p = 0,6779$). Con respecto al estrato de 0,5 a 1 metro, hubo diferencias entre tratamientos ($p = 0,0113$) y en el gradiente ($p = 0,0078$).

Con respecto al gradiente, el interno presentó mayor cobertura que el área externa de la comunidad. En el estrato más bajo, hasta los 50 centímetros, no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,1323$) ni en el gradiente ($p = 0,8571$) (Tabla 2, Figura 4).

Tabla 2. Cobertura (%) de vegetación por estratos según los distintos tratamientos en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado. Letras distintas indican diferencias significativas a un $p < 0,05$.

Table 2. Vegetation cover (%) by strata under the different treatments at the Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing. Different letters indicate significant differences at $p < 0,05$.

Estratos	Tratamientos						
	T	Q	R+Q	R+Tr	R	Tp	Tr
< 0,5 m	49,2 a	54,7 a	48,6 a	45 a	44,3 a	66,8 a	48,7 a
1 m - 0,5 m	25,2 b	18,1 b	24,4 b	16,1 ab	22,4	8,4 a	22,2 b
1 m - 2 m	18,4 ab	15 ab	17,3 ab	3 ab	12,2 ab	2,3 a	20,8 b
> 2m	4,2 c	39,6 c	18,3 ab	16,7 ab	28,3 bc	3,4 a	8,8 a

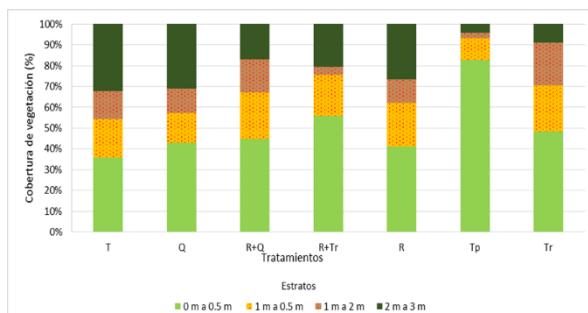


Figura 4. Cobertura (%) por estratos según los distintos tratamientos en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. Referencias: T- Testigo; Q- Prescrito; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado.

Figure 4. Coverage (%) by strata according to the different treatments at Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing.

Análisis de la composición vegetal según intervenciones

El análisis de clasificación permitió identificar tres agrupaciones (nivel de corte = 7,4 de información) (Figura 5). El primer grupo estuvo integrado por los tratamientos T y Q; el segundo grupo por los tratamientos con intervención mecánica sin extracción de raíz correspondiente a R y Tr; y el tercero, por intervención con extracción de raíz, correspondiente a Tp.

El análisis de similitud complementó la información del clúster y mostró una disimilitud general entre los distintos tratamientos del 41,1 %. La disimilitud del tratamiento T con respecto a los demás fue de: Tp 62,2 %, Tr 45,5 %, R+Tr 45,4 %, R+Q 38,8 %, R 32,9 %, Q 24,6 % (Tabla 3). Las especies que contribuyeron a estas diferencias fueron *N. caldenia* del estrato arbóreo, *J. ichu*, *N. caldenia* del estrato arbustivo, *N. trichotoma*, *P. napostaense*, *N. tenuissima* y *P. ligularis*.

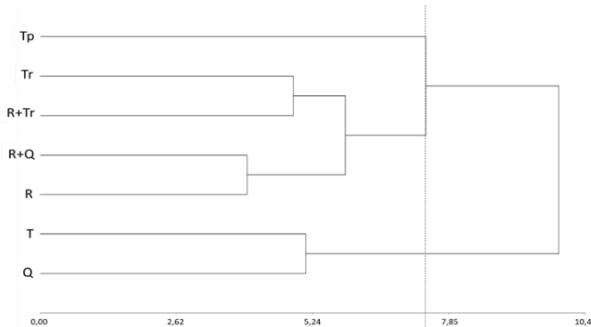


Figura 5. Clúster a una vía entre tratamientos en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado.

Figure 5. One-way cluster analysis among treatments at the Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing.

Tabla 3. Disimilitud SIMPER promedio, contribución porcentual por especie, contribución acumulada, y valores promedio por tratamientos. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado. *Neltuma caldenia* estrato superior (NcaA); *Jarava ichu* (Jic), *Neltuma caldenia* en el estrato de 1-2 m (NcaB); *Nassella trichotoma* (Ntr), *Piptochaetium napostaense* (Pna); *Nassella tenuissima* (Ntss), *Poa ligularis* (Pli), *Baccharis crispa* (Bcr), *Digitaria californica* (Dica), *Chenopodium album* (Chen), *Neltuma caldenia* en el estado de 0,5 m a 1m (NcaC), *Baccharis ulicina* (Bul), *Phalaris angusta* (Phal), *Cardus thornieri* (Cath), *Centaurea solstitialis* (Cso), *Neltuma caldenia* en el estrato inferior (NcaD), *Bromus catharticus* (Bca), *Heterotheca subaxillaris* (Hsub), *Baccharis glutinosa* (Bpin), *Salsola kali* (Ska), *Daucus pusillus* (Dpu). Recuadro en gris corresponde a las especies con mayor contribución a las diferencias.

Table 3. Average SIMPER dissimilarity, percentage contribution by species, cumulative contribution, and average values by treatment. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing. *Neltuma caldenia* estrato superior (NcaA); *Jarava ichu* (Jic), *Neltuma caldenia* en el estrato de 1-2 m (NcaB); *Nassella trichotoma* (Ntr), *Piptochaetium napostaense* (Pna), *Nassella tenuissima* (Ntss), *Poa ligularis* (Pli), *Baccharis crispa* (Bcr), *Digitaria californica* (Dica), *Chenopodium album* (Chen), *Neltuma caldenia* en el estado de 0,5 m a 1m (NcaC), *Baccharis ulicina* (Bul), *Phalaris angusta* (Phal), *Cardus thornieri* (Cath), *Centaurea solstitialis* (Cso), *Neltuma caldenia* en el estrato inferior (NcaD), *Bromus catharticus* (Bca), *Heterotheca subaxillaris* (Hsub), *Baccharis glutinosa* (Bpin), *Salsola kali* (Ska), *Daucus pusillus* (Dpu). The gray box corresponds to species contributing most to the differences.

Taxon	Avg. Dissim.	Contrib. %	Cumulative %	Mean T	Mean Q	Mean RQ	Mean R	Mean R+TF	Mean R	Mean TP	Mean TR
NcaA	10.8	26,3	26,3	44,2	39,6	18,3	16,7	28,3	3,3	8,8	
Jichu	5,4	13,1	39,4	20,6	16,8	13,9	14,2	25,6	9,9	16,1	
NcaB	5,2	12,7	52,1	17,9	12,8	17,1	2,9	12,1	2,3	17,5	
Ntr	2,9	7	59,1	3,9	1,4	12,8	2,5	4,5	1,3	0,8	
Pna	2,4	5,8	64,9	6,3	6,8	9,6	7,9	10,3	11,8	8,1	
Ntss	2,4	5,7	70,6	5	9,7	7,9	4,9	5,6	2,3	7	
Pli	2,1	5,1	75,7	3,3	3,3	7	9,4	6,9	6,2	5,8	
Bcr	1,6	4	79,7	5,3	3,6	4	0,3	2,4	2	1	
Dica	1,4	3,4	83,1	0,3	3,1	4,3	3,1	3,8	4,8	3,3	
Chen	1,4	3,3	86,4	6,8	4	1	2,2	0,3	1,8	1,5	
NcaC	1,1	2,7	89,1	0,4	3,3	1,9	1,8	0,2	1	3,1	
Bul	1,1	2,6	91,7	2,9	3,3	2,6	2,4	1,6	0,7	3,6	
Phal	0,6	1,5	93,2	1,7	2,9	0	0	0	0	0	
Cath	0,4	1	94,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,6	1,8	
Csol	0,4	1	95,2	0	0	0	0	0	1,7	0,8	
NcaD	0,4	1	96,2	0	0,2	0	1,8	0	0,4	0,4	
Bca	0,4	0,9	97,1	0,5	0,3	0,1	1	0,1	0,9	0,7	
Hsub	0,4	0,9	98	1,5	0,6	0,2	0,2	0,1	0	0,2	
Bpin	0,3	0,8	98,8	0,5	1,8	0	0,1	0	0,3	0,1	
Ska	0,2	0,6	99,4	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,9	0,3	
Dpu	0,2	0,6	100	0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,8	0,5	

Especies exóticas

Con respecto a la cobertura de las especies exóticas, hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,0002$) y en el gradiente ($p=0,0035$) (Figura 6, Tabla 4).

Tabla 4. Cobertura (%) de especies exóticas en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina, según distintos tratamientos y gradiente de la comunidad. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado; E- Externo; M- Medio; I- Interno.

Table 4. Coverage (%) of exotic species at Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina, according to different treatments and community gradient. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing; E- External; M- Middle; I- Internal.

Gradiente	Tratamientos							Promedio
	T	Q	R+Q	R+Tr	R	Tp	Tr	
E	12	7,5	4,2	3,7	1,5	9,5	5,2	6,2 b
M	7,2	4	0,7	1	0,5	5,5	6,2	3,6 a
I	7,2	4,7	1,2	3,2	0,7	3,5	3,5	3,5 a
Promedio	8,8 d	5,4 bcd	2,1 ab	2,7 abc	0,9 a	6,2 cd	5 bcd	

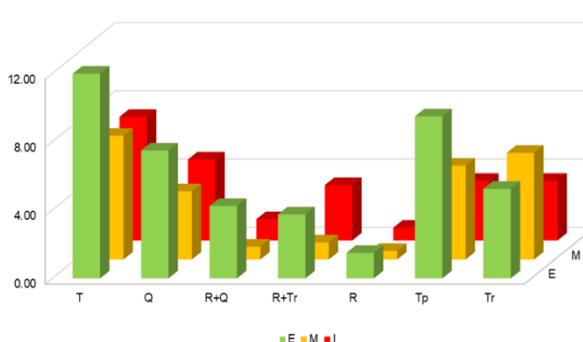


Figura 6. Cobertura (%) de especies exóticas en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina, según distintos tratamientos y gradiente de la comunidad. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado; E- Externo; M- Medio; I- Interno.

Figure 6. Coverage (%) of exotic species at Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina, according to different treatments and community gradient. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing; E- External; M- Middle; I- Internal.

No hubo diferencias significativas en cuanto a la riqueza, diversidad y equitatividad de especies exóticas entre tratamientos ($p= 0,2289$; $p= 0,0815$; $p= 0,0903$, respectivamente). En cuanto al gradiente no hubo diferencias en la diversidad ni en la equitatividad (Div $p= 0,0668$; Eq $p= 0,3152$) pero sí en la riqueza, siendo mayor el número de especies en la zona externa de la comunidad (Riq $p= 0,0364$).

Calidad del pastizal

No hubo diferencias significativas entre tratamientos para la cobertura de especies forrajeras ($p= 0,7203$) y no forrajeras ($p= 0,62$). Sin embargo, las especies forrajeras presentaron mayor contribución en el tratamiento Tp (Figura 7).

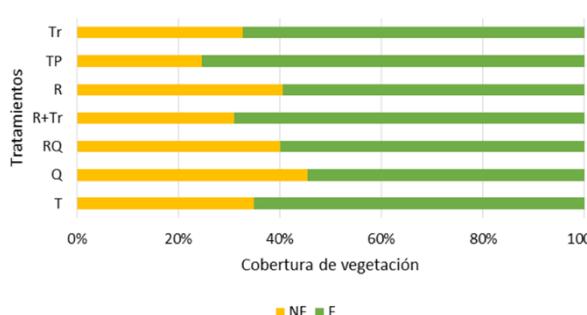


Figura 7. Cobertura (%) de forrajeras y no forrajeras en el Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina según distintos tratamientos. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado.

Figure 7. Coverage (%) of forage and non-forage species at Establecimiento Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina, according to different treatments. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing.

A partir del análisis de clasificación a dos vías, se identificaron, en general, tres agrupaciones (nivel de corte = 35 % de información para los tratamientos y 26,4 para las especies; porcentajes de encadenamiento = 42,9 % y 8,5 %, respectivamente) (Figura 8). Un primer grupo estuvo integrado principalmente por los tratamientos T, R, Q, caracterizados por *J. ichu*, *Dichondra sericea*, *Bothriochloa springfieldii*, *Nassella longiglumis*, y no forrajeras. El segundo grupo, conformado por los tratamientos R+Tr, Tr y Tp, estuvo caracterizado por *Bromus catharticus*, *Setaria leucopila*, *Piptochaetium napostaense*, *Poa ligularis*, *Hordeum pusillum*, *Digitaria californica* y forrajeras en general. Por último, el tercer grupo R+Q, estuvo caracterizado por especies no forrajeras como *Nassella longiglumis*, *Nassella trichotoma* y *Digitaria californica*.

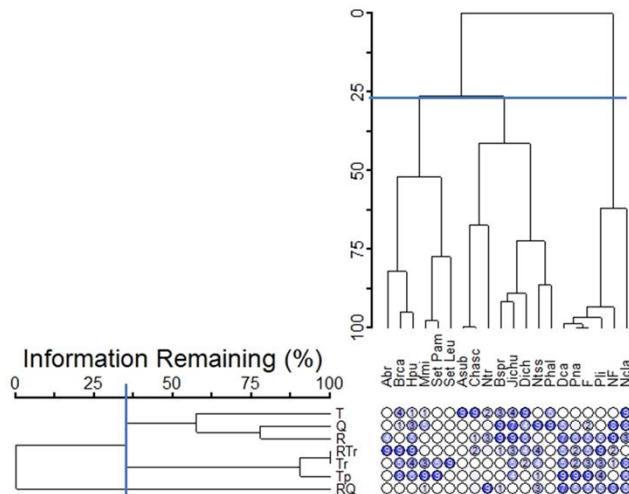


Figura 8. Clúster a dos vías de los tratamientos en Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. Porcentaje de encadenamiento: 42,9; 8,5. Referencias: T- Testigo; Q- Quemado; R+Q- Rolado y quemado; R+Tr- Rolado y triturado; R- Rolado; Tp- Topado; Tr- Triturado. *Amelichloa brachychaeta* (Abr), *Bromus catharticus* (Brca), *Hordeum pusillum* (Hpu), *Medicago minima* (Mmi), *Setaria pumpeana* (Set Pam), *Setaria leucopila* (Set Leu), *Aristida subulata* (As sub), *Chascolytrum subaristatum* (Chasc), *Nassella trichotoma* (Ntr), *Bothriochloa springfieldii* (Bspr), *Jarava ichu* (Jic), *Dichondra sericea* (Dich), *Nassella tenuissima* (Ntss), *Phalaris angusta* (Phal), *Digitaria californica* (Dca), *Piptochaetium napostaense* (Pna), *Poa ligularis* (Pli), *Nassella longiglumis* (Nla). Forrajeras (F) No forrajeras (NF).

Figure 8. Two-way cluster of treatments at Bajo Verde Agronomía, La Pampa, Argentina. Linking percentage: 42,9; 8,5. References: T- untreated control; Q- prescribed burning; R- roller-chopping; R+Q- roller-chopping and prescribed burning; Tr- shredding; R+Tr- roller-chopping and shredding Tp-bulldozing. *Amelichloa brachychaeta* (Abr), *Bromus catharticus* (Brca), *Hordeum pusillum* (Hpu), *Medicago minima* (Mmi), *Setaria pumpeana* (Set Pam), *Setaria leucopila* (Set Leu), *Aristida subulata* (As sub), *Chascolytrum subaristatum* (Chasc), *Nassella trichotoma* (Ntr), *Bothriochloa springfieldii* (Bspr), *Jarava ichu* (Jic), *Dichondra sericea* (Dich), *Nassella tenuissima* (Ntss), *Phalaris angusta* (Phal), *Digitaria californica* (Dca), *Piptochaetium napostaense* (Pna), *Poa ligularis* (Pli), *Nassella longiglumis* (Nla); Forage species (F), Non-forage species (NF).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las intervenciones evaluadas evidenciaron que la restauración del caldenal depende fuertemente de cómo la estructura y la composición de la vegetación responden a distintos niveles de disturbio. En este contexto, los tratamientos mostraron patrones contrastantes en riqueza, equitatividad, estructura vertical y presencia de especies clave, lo que permite interpretar trayectorias diferenciadas de recuperación o persistencia del fachinal.

La riqueza de especies fue mayor en el testigo, probablemente por la coexistencia de especies nativas y exóticas estabilizadas; sin embargo, la equitatividad fue baja debido a la dominancia de unas pocas especies. En cambio, los tratamientos más intensos (Tp y R+Tr) redujeron la riqueza, pero aumentaron la equitatividad, generando comunidades más homogéneas. Este patrón —disminución de riqueza junto con incremento de equidad bajo disturbios fuertes— es consistente con lo reportado para otros ecosistemas semiáridos (Melo Cruz y Vargas-Ríos, 2003). En conjunto,

estos resultados muestran que la diversidad responde no solo al tipo de práctica, sino también a la intensidad del disturbio, reforzando la importancia de múltiples métricas para interpretar la resiliencia de la comunidad.

El análisis de clúster a una vía permitió ordenar los tratamientos según un gradiente de intensidad: testigo y quema como de menor alteración, rolado y triturado como intermedios, y topado como la intervención más severa. El clúster a dos vías profundizó este patrón al asociar conjuntos de especies a cada nivel de disturbio. En particular, Tp y R+Tr se vincularon con gramíneas forrajeras, mientras que T, R y Q se asociaron con especies no forrajeras o leñosas. El análisis SIMPER aportó especies diagnósticas de estas diferencias, destacándose *N. caldenia* en estratos leñosos y gramíneas como *P. napostaense* y *P. ligularis* en áreas abiertas. Estas especies clave permiten comprender cómo cada práctica orienta la trayectoria sucesional y ofrecen criterios concretos para el manejo y la restauración.

En términos de cobertura total y suelo desnudo no se detectaron diferencias entre tratamientos, aunque sí en la acumulación de broza. El topado presentó los valores más bajos, mientras que R+Tr alcanzó los más altos, reflejando formas contrastantes de incorporación de residuos. Estos resultados son coincidentes con estudios que describen cómo las intervenciones mecánicas fragmentan biomasa y aumentan la broza, mientras que disturbios severos la reducen (Miner et al., 2010; Sabattini et al., 2023).

Las respuestas en la estructura vertical fueron más marcadas. El topado, con tres años de regeneración, mostró la mayor apertura y la menor cobertura leñosa, lo que concuerda con evidencia que señala efectos persistentes cuando se extraen raíces (Kerleng Marin et al., 2024; Kunst et al., 2008). En cambio, prácticas de aplastamiento o corte (R, Tr) favorecieron el rebrote y la recuperación del estrato arbustivo (Pérez Payeras y Parodi, 2019; Rollhauser y Uhaldegaray, 2015). La elevada cobertura en Tr, pese a su menor antigüedad, coincide con registros de cierre estructural post-rolado a los 4–5 años (Suárez et al., 2023), sugiriendo que la mecánica de cada técnica interactúa con la capacidad de rebrote mediada por reservas subterráneas (Barchuk et al., 2006).

Las intervenciones combinadas mostraron trayectorias divergentes: R+Tr mantuvo baja cobertura leñosa, semejante a Tp, mientras que R+Q presentó una regeneración mayor. La quema aislada no difirió del testigo, lo que confirma su limitada efectividad en fachinales avanzados (Kunst, 2011), aunque su utilidad es mayor en etapas tempranas o combinada con otras prácticas.

La cobertura de exóticas fue mayor en Tp y en las zonas externas, reflejando la interacción entre disturbio intenso y efecto borde, concordante con lo reportado por Chiuffo (2016) y Suárez et al. (2019; 2022). El testigo también presentó alta proporción de exóticas, aunque en comunidades aparentemente estabilizadas, a diferencia de los tratamientos recientes donde la presencia de exóticas responde a primeras fases de recolonización.

Si bien la cobertura total de forrajeras no difirió entre tratamientos, sí se evidenciaron tendencias claras: Tp y, en menor medida, R+Tr presentaron mayor proporción de gramíneas valiosas como *P. ligularis* y *P. napostaense*, reflejando que la apertura del dosel y la reducción de competencia favorecen el reclutamiento de especies forrajeras cuando el banco de semillas las incluye (Ernst et al., 2020). En R+Q y R predominaron especies no forrajeras, lo que limita la funcionalidad productiva.

Un eje transversal fue el tiempo post-intervención. El rolado, aplicado nueve años antes, mostró cierre progresivo del estrato intermedio, mientras que Tp y R+Tr, más recientes, mantuvieron mayor apertura y mayor presencia de forrajeras. Esto reafirma que los efectos de las intervenciones no son permanentes y que procesos de rebrote y recolonización —incluida la entrada de exóticas— operan en ventanas de 3 a 5 años (Sabattini et al., 2023).

En conjunto, los resultados demuestran que intervenciones intensas son necesarias para iniciar la rehabilitación de fachinales cerrados, pero requieren manejo posterior, como pastoreo regulado, quemas planificadas o nuevas intervenciones, para sostener sus efectos. Las combinaciones mecánicas, especialmente R+Tr, mostraron ventajas al reducir la cobertura leñosa, limitar exóticas

y favorecer gramíneas forrajeras. Un enfoque de manejo adaptativo, basado en el grado de degradación inicial, los objetivos productivos y de conservación, y la secuencia temporal de prácticas, surge como la estrategia más adecuada para recuperar la funcionalidad del caldenal pampeano.

Finalmente, no existe una práctica única capaz de revertir la degradación del caldenal. Las intervenciones intensas como el topado y las combinaciones mecánicas recientes promovieron comunidades más abiertas y con mayor presencia de forrajeras, mientras que técnicas más antiguas, como el rolado, mostraron un cierre estructural progresivo. En todos los casos, el tiempo post-intervención fue un factor determinante en la trayectoria observada. La integración de diversas herramientas de manejo —ajustadas al estado de degradación y a los objetivos de uso— se presenta como clave para restaurar la estructura, composición y funcionalidad ecológica de los bosques de caldén.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento de la Facultad de Agronomía- UNLPam. Los autores agradecen a Ernesto Morici y Daniel Estelrich por su acompañamiento. También agradecen a Ricardo Ernst y Denébola Torroba por su colaboración en el campo. Un especial agradecimiento a la Mg. Mónica Álvarez Redondo por su revisión y sugerencias que permitieron enriquecer este trabajo; así como también a los revisores externos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Redondo, M. y Adema, E. (2018). Capacidad de retención de agua por el dosel de los arbustos en la Región Árida-Semiárida Central de Argentina. *Semiárida*, 28(1), 31-40. [http://dx.doi.org/10.19137/semiarda.2018\(01\).3140](http://dx.doi.org/10.19137/semiarda.2018(01).3140)
- Álvarez Redondo, M. y López, G.E. (2022). Inventario forestal del Establecimiento Bajo Verde. En H. D. Estelrich y C.E. Suárez (Eds.), *El bosque de caldena: un abordaje multidisciplinario para su manejo y conservación* (pp. 34-54). EdUNLPam.
- Archer, S. A., Davies, K. W., Fulbright, T. E., McDaniel, K. C., Wilcox, B. P. y Predick, K. I. (2011). Brush management as a rangeland conservation tool: a critical evaluation. En D. D. Briske (Ed.), *Conservation benefits of rangeland practices: assessment, recommendations and knowledge gaps* (pp. 105-170). Allen Press.
- Barchuk, A., Iglesias, M. D. R. y Oviedo, C. (2006). Rebrote basal de *Aspidosperma quebracho-blanco* en estado de plántula: mecanismo de persistencia en el Chaco Árido. *Ecología Austral*, 16(2), 197-205. https://ois.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecología_Austral/article/view/1443
- Batista, W. B., Rolhauser, A. G., Biganzoli, F., Burkart, S. E., Goveto, L., Maranta, A., Pignataro, A. G., Morandeira, N. S. y Rabadán, M. (2014). Savanna plant community types at El Palmar National Park (Argentina). *Darwiniana*, 2(1), 5-38. <https://www.ojs.darwin.edu.ar/index.php/darwiniana/article/view/569/601>
- Braun-Blanquet, J. (1979). *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Ed. Blume.
- Cangiano, M. L., Cendoya, M. A., Álvarez Redondo, M., Ernst, R. D., Gómez, M. M., Larroulet, M. S., López, G. E., Estelrich, H. D., Morici, E. F. A., Suárez, C. E., Sawczuk, N., Reyes, M., Risio Allione L., y Bogino, S. M. (2021). Ecosystem Services of the *Prosopis caldenia*. Woodlands in the Argentinean Pampas. In R. Batista (Ed.) *Prosopis. Properties, Uses and Biodiversity. Plant Science Research and Practices* (pp. 1-68). Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Cano, E., Estelrich, H. D., y Fernández, B. (1988). Fitomasa aérea acumulada en pastizales de gramíneas bajas del centro y sudeste de La Pampa, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía de la UNLPam*, 3(2), 75-84. Disponible en: <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/semiarda/article/view/5118>
- Chiuffo, M.C. (2016). *Ruderales exóticas versus ruderales nativas: respuesta a disturbios, retroalimentaciones planta-suelo y rasgos de historia de vida*. [Tesis Doctoral]. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2017chiuffomarianacecilia.pdf>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [https://www.researchgate.net/publication/319875366 Grupo_InfoStat_FCA_Universidad_National_de_Cordoba_Argentina](https://www.researchgate.net/publication/319875366 Grupo_InfoStat_FCA_Universidad_Nacional_de_Cordoba_Argentina)
- Ernst, R. D., Suárez, C. E., Estelrich, H. D., Morici, E. F. A. y Campos, M. A. (2020). Fachinales de *Prosopis caldenia* intervenidos por distintos manejos: Análisis desde su banco de semillas. *Ecología Austral*, 30(3), 380-392. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.3.0.989>

- Estelrich, H. D., Suárez, C. E., Morici, E. F. A. y Ernst, R. D. (2022). Capítulo 7: Intervenciones combinadas en áreas de bosque con renoval-arbustal y fachinales. En Estelrich, H. D. y Suárez, C. E. (Eds.). *El bosque de calden: un abordaje multidisciplinario para su manejo y conservación* (pp. 97-110). 1ra Edición. EdUNLPam.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Kerleng Marin, R.N., Butti, L. y Álvarez Redondo, M. (2024). Efecto de distintas frecuencias de rolado selectivo sobre la capacidad de rebrote de *Neltuma flexuosa* (DC.) C.E. Hughes & G.P. Lewis en el ecotono Caldenal-Monte Occidental, región central de Argentina. *Semiárida*, 34(1), 27-34. [https://doi.org/10.19137/semiarida.2024\(1\).27-34](https://doi.org/10.19137/semiarida.2024(1).27-34)
- Kunst, C., Ledesma, R. y Navall, M. (2008). Rolado selectivo de baja intensidad. INTA EEA Santiago del Estero. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/131-ManualRBI.pdf
- Kunst, C. (2011). Ecología y uso del fuego en la Región Chaqueña Argentina: una revisión. *Boletín del CIDEU*, 10, 81-105. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3870714>
- Kunst, C., Ledesma, R., Bravo, S., Albanesi, A., Anriquez, A., Van Meer, H. y Godoy, J. (2012). Estados estacionarios leñosos perturbadores en la región del Chaco (Argentina): respuestas a tratamientos combinados de perturbación. *Ingeniería ecológica*, 42, 42-53.
- Lerner, P.D. (2004). El caldenar: dinámica de poblaciones de calden y procesos de expansión de leñosas en pastizales. En M. F., Arturi, J. L. Frangi y J. F. Goya (eds.), *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*. La Plata, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15915/El_Caldenar_din%C3%A1mica_de_poblaciones_de_cald%C3%A9n_y_procesos_de_expans%C3%B3n_de_le%C3%B3nosas_en_pastizales_Pamela_D_Lerner_.pdf?sequence=13
- Ley Nacional 26.331 de 2007. Ley de presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos. 19 de diciembre de 2007. B.O. N° 31.310. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26331-136125>
- Ley Provincial 2624 de 2011. Declarando de interés provincial la restauración y conservación y aprobando el ordenamiento territorial de los bosques nativos de la provincia de La Pampa. 30 de junio de 2011. Sep. B.O. N° 2951. https://asesorialetradadegobierno.lapampa.gob.ar/images/stories/Archivos/AsesoriaLetrada/LEY_No_2624.pdf
- McCune, B., & Mefford, M. J. (2011). PC-ORD for windows: multivariate analysis of ecological data, 6th edn. MJM Software, Gleneden Beach.
- Melo Cruz, O. A. y Vargas-Ríos, R. (2003). Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima, Colombia. <https://es.scribd.com/document/11436235/Evaluacion-Ecologica-y-Silvicultural-de-Ecosistemas-Boscosos>
- Miner, A., Alvarez, J., Villagra, P., y Aranibar, J. (2010). Dinámica temporal de la masa de broza en distintos microhabitats del desierto del Monte Central (Mendoza, Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(2), 55-69. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837647005.pdf>
- Morici, E., Doménech-García, V., Gómez-Castro, G., Kin, A., Saenz, A., y Rabotnikof, C. (2009). Diferencias estructurales entre parches de pastizal del caldenal y su influencia sobre el banco de semillas, en la provincia de La Pampa, Argentina. *Agrociencia*, 43(5), 529-537. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000500008
- Müller-Dombois, D., y Ellenberg, H. (1974). Vegetation types: a consideration of available methods and their suitability for various purposes. Honolulu (HI): Island Ecosystems IRP, U.S. International Biological Program. International Biological Program Technical Report.
- Pérez Payeras, M. y Parodi, N. (2019). *Dirámica de la vegetación en áreas de fachinal sometidas a distintas intervenciones (rolado, quema, raleos y herbicidas)*. [Tesis de grado]. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa. La Pampa, Argentina. <https://koha.unlpam.edu.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=51052>
- Raunkiær (1934). *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Oxford University Press.
- Rohlf, F. J., & Sokal, R. R. (1981). Comparing numerical taxonomic studies. *Systematic Biology*, 30(4), 459-490. <https://doi.org/10.1093/sysbio/30.4.459>
- Rolhauser, M. y Uhaldegaray, A. (2015). *El rolado selectivo y la aplicación de herbicidas selectivos como herramientas para intervenir fachinales, su efecto y duración sobre la estructura vertical y horizontal de la vegetación*. [Tesis de grado]. Facultad de Agronomía, UNLPam. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. <https://repo.unlpam.edu.ar/items/25b4761c-0510-46f8-9f19-0fd3ee97e08>
- Rúgolo de Agrasar, Z. E., Steibel, P. E., y Troiani, H. O. (2005). *Manual ilustrado de las gramíneas de la provincia de La Pampa*. EdUNLPam.
- Sabattini, R. A., Sabattini, J. A., Befani, R., Hernandez, J. P., Boschetti, N. G., Alvarado, M. R. y Muzzachiodi, N. (2023). Sucesión ecológica de un bosque nativo intervenido en la ecorregión Espinal. *Suplemento Ciencia, Docencia y Tecnología*, 3(14), 280-304. <https://pcient.uner.edu.ar/index.php/Scdy/article/view/1590>

- Suárez, C. E., Estelrich, H. D., Morici, E. F. A., Ernst, R. D., Sawczuk, N., Pérez Payeras, M., y Parodi, N. (2018). Evaluación de la vegetación en renovales de *Prosopis caldenia* intervenidos con distintas técnicas de manejo. En V. Rusch, G. Caballé, S. Varela, y J. P. Diez (Eds.), *Actas del IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles* (pp. 294-305). Ediciones INTA.
- Suárez, C. E., Montoya, E., Morici, E. F. A., Estelrich, H. E. y Ernst, R. D. (2019). Intervenciones en el caldenal: ¿favorece el ingreso de las especies exóticas? XXXVII Jornadas Argentinas de Botánica. Tucumán, Argentina.
- Suárez, C. E., Estelrich, H. E., Morici, E. F. A., y Ernst, R. D. (2022). Intervenciones para rehabilitar sistemas silvopastoriles degradados: Una oportunidad para las especies vegetales exóticas. *Ecología Austral*, 32(3), 1106-1119. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.3.0.2022>
- Suárez, C. E.; Rossini, M. S.; Pérez, S; Ernst R. D., Morici, E. F. A, Estelrich, H. D. y Ferro Moreno, S. (2023). Rehabilitación del caldenal: implicancias económico-productivas en el sistema ganadero. En O. Del Ponti, M. Galmes, A. Sosa y E. Morici. (Eds.), *Rehabilitación y Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina* (pp. 388-399). 1^a edición, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam.
- Zuloaga, F. O., Belgrano, M. J., y Zanotti, C. A. (2019). Actualización del catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur. *Darwiniana*, 7(2), 208-278. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2019.72.861>