



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS

**Evaluación del efecto de herbicidas hormonales para el control
de especies leñosas en un pastizal lignificado del ecotono
Caldenal – Monte Occidental**

Ing. Agr. Daniel Hugo Angolani

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2023

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magíster en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre 2018 y 2022, bajo la Dirección de Dr. Roberto Alejandro Distel y la Co-Dirección del Lic. Mg. Edgardo Adema (INTA, EEA Anguil).

Ing. Agr. Angolani Daniel Hugo



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el/..../..... , mercediendo la calificación de (.....).

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es el resultado del esfuerzo y acompañamiento de muchas personas, que desde diferentes lugares hicieron aportes, no solo en lo profesional y académico sino también, en lo humano, por eso quiero agradecerles:

A mi compañera de vida Zoe y nuestra amada hija Roma, porque sin ellas no lo habría logrado y no tendría sentido.

A mis padres, Ana María y Hugo, por inculcarme los valores que son la guía de mi vida: amor, respeto, educación y solidaridad.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), por brindarme una Beca de Formación lo que me permitió el desarrollo del posgrado.

A Roberto Distel y Edgardo Adema, por el compromiso asumido, sus enseñanzas, dedicación, respeto y aportes oportunos y constructivos, que contribuyeron a mi crecimiento profesional.

A Diego Leonhardt, Guillermo Berterreix, Lucas Butti, Estela Herrera, Cristina Chacon y Daiana Huespe, que me brindaron su acompañamiento en diferentes etapas de este proceso.

A Antonio Garayalde, por su colaboración y asesoramiento en los aspectos estadísticos.

A Mercedes Miller, por estar siempre presente y con calidez para solucionar todos los aspectos administrativos del posgrado.

A Mariano Kloster, por su colaboración en diversos aspectos en la etapa experimental y Estanislao Diaz Falú y Gonzalo Funes de la empresa Corteva Agriscience, por el asesoramiento, acompañamiento y el acercamiento de los productos químicos que posibilitaron realizar la experiencia.

A Flavia Epuñan, encargada de la biblioteca de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil, por su dedicación desinteresada en la búsqueda de bibliografía.

A Adriana Báez, por la lectura minuciosa del manuscrito, realizando aportes que permitieron mejorar la calidad de la producción.

A Verónica Yammal, que desinteresadamente colaboró con la traducción del resumen.

RESUMEN

Los pastizales constituyen uno de los ecosistemas más extensos del mundo. Proporcionan entre el 30 y 35 % de la productividad primaria neta terrestre, sustentan gran parte de la producción ganadera mundial, y brindan variados servicios ecosistémicos. El aumento en densidad y cobertura de especies leñosas es motivo de preocupación a nivel mundial debido al impacto negativo sobre la producción ganadera. El control de leñosas se puede definir como la práctica de manejo cuyo objetivo es reducir y mantener la densidad y cobertura de leñosas a un nivel tal que no perjudique la producción forrajera, de manera viable según la relación costo-beneficio. Se han desarrollado diversas estrategias y tecnologías de control de leñosas, entre ellas la utilización de productos químicos (herbicidas). En el presente trabajo de tesis la hipótesis de trabajo postula que la aplicación de herbicidas hormonales en ambientes de pastizales lignificados del ecotono Caldenal-Monte Occidental posibilita el control de especies leñosas, sin perjudicar a las poáceas perennes. Su corroboración se llevó a cabo en un pastizal lignificado del Campo Anexo INTA Chacharramendi (La Pampa). Se utilizaron 5 tratamientos: Testigo, Pastar Gold 1 l/ha, Pastar Gold 2 l/ha, Sendero 3 l/ha y Sendero 4 l/ha, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos se aplicaron con un pulverizador de arrastre, a razón de 240 l de caldo por hectárea, el 16/11/2017. Se evaluó el grado de daño sobre las especies leñosas *Prosopis flexuosa* DC., *Prosopis alpataco* Phil, *Condalia microphylla* Cav. y *Lycium chilense* Miers y, en el estrato herbáceo, sobre poáceas perennes, poáceas anuales y dicotiledóneas. Complementariamente se determinó la producción de biomasa aérea herbácea total (BAHT) y de biomasa aérea de poáceas perennes (BAPP).

El grado de daño en cada una de las especies estudiadas se vio afectado por la aplicación de los diferentes tratamientos ($p \leq 0,05$). La mortandad de planta fue del 34 al 41 % en *P. alpataco*, 29-35 % en *P. flexuosa*, 1 al 4 % en *C. microphylla* y 16 al 23 % en *L. chilense*. Los tratamientos con herbicida provocaron mayormente daño severo (defoliación total, mortandad de ramas, mortandad de planta) en *P. alpataco*, *P. flexuosa* y *L. chilense* y daño medio (clorosis, necrosis, malformaciones, caída parcial de hojas) en *C. microphylla*.

Las dicotiledóneas herbáceas se vieron dañadas por la aplicación de los diferentes tratamientos, en cambio las poáceas anuales y perennes no presentaron signos de fitotoxicidad. La aplicación de herbicida produjo un aumento significativo de la BAHT a los 6 (15-43 %, según tratamiento) y a los 12 meses (89-143 %) pos-aplicación, y de la BAPP a los 12 meses (72-124 %, según tratamiento) pos-aplicación. A los 18 meses pos-aplicación de los herbicidas la BAHT y BAPP no se diferenciaron significativamente del testigo, aunque lo superaron entre 49-80 % en ambos casos.

Los herbicidas y dosis utilizadas mostraron un alto grado de control en *P. alpataco*, *P. flexuosa* y *L. chilense*, y medio en *C. microphylla*. La liberación de recursos esenciales para el crecimiento quedó reflejada en un aumento en la productividad aérea del estrato herbáceo.

ABSTRACT

Natural grasslands constitute one of the main ecosystems in the world. They provide 30-35 % of net terrestrial primary productivity, support a significant part of global livestock production, and provide a variety of ecosystem services. Considering the use of grassland for animal production, the increase in density and coverage of woody species is a cause for concern worldwide due to the negative impact on livestock production, which highlights the importance of their control. Woody species control can be defined as the management practice whose objective is to reduce and maintain the density and coverage of woody plants at a level that does not impair forage production, and that is cost-effective. Various strategies and technologies have been developed to control woody plants, including the use of chemical products (herbicides). In this thesis work, the hypothesis establishes that application of hormonal herbicides in lignified grassland environments of the Caldenal-Monte Occidental ecotone makes it possible to control woody species, without hindering perennial poaceae growth. It was tested in a lignified grassland of the INTA Chacharramendi Annex Field (La Pampa). Five treatments were used: Pastar Gold 1 l/ha, Pastar Gold 2 l/ha, Sendero 3 l/ha, Sendero 4 l/ha, and Control without herbicide, in a randomized complete block design with three replications. The treatments were applied with a trailed sprayer, at a rate of 240 litres of spray solution per hectare, on 11/16/2017. The degree of damage was evaluated on the woody species *Prosopis flexuosa* DC., *Prosopis alpataco* Phil, *Condalia microphylla* Cav. y *Lycium chilense* Miers and, in the herbaceous stratum, on perennial poaceae, annual poaceae and dicotyledons. Complementarily, the production of total aerial herbaceous biomass (BAHT) and aerial biomass of perennial poaceae (BAPP) was determined.

The degree of damage in each of the species studied was affected by the application of the different treatments ($p \leq 0.05$). Plant mortality was 34-41 % in *P. alpataco*, 29-35 % in *P. flexuosa*, 1-4 % in *C. microphylla*, and 16-23 % in *L. chilense*. Herbicide treatments caused mostly severe damage (total defoliation, branch mortality, plant mortality) on *P. alpataco*, *P. flexuosa* and *L. chilense* and medium damage (chlorosis, necrosis, malformations, partial leaf defoliation) on *C. microphylla*. Herbaceous dicots were damaged by herbicides,

whereas annual and perennial poaceae did not show signs of phytotoxicity. Herbicide caused a significant increment in BAHT at 6 (15-43 %, according treatment) and at 12 (89-143 %, according treatment) months posapplication, and in BAPP (72-124, according treatment) at 12 months posapplication. At 18 months posapplication, both BAHT and BAPP didn't significantly differ from the control treatment, although they were 49-80 % higher than control in both cases.

The herbicides and doses used showed a high degree of control in *P. alpataco*, *P. flexuosa* and *L. chilense*, and medium control in *C. microphylla*. The release of essential resources for growth was reflected in an increase in aerial productivity of the herbaceous stratum.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
INTRODUCCIÓN	1
Introducción General	1
Antecedentes del Tema	2
PREGUNTAS, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	8
Preguntas	8
Hipótesis	8
Objetivos	8
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Área de estudio	9
Diseño experimental	14
Análisis estadístico	19
RESULTADOS	21
Efecto de los herbicidas sobre las especies leñosas	21
Efecto de los herbicidas sobre el estrato herbáceo	23
Efecto del control de leñosas sobre la producción de biomasa herbácea aérea	24
DISCUSIÓN	26
Efecto de los herbicidas sobre las especies leñosas y herbáceas	26
Efecto del control de leñosas sobre la producción de biomasa herbácea aérea	31

CONCLUSIONES GENERALES Y PROYECCIONES	35
BIBLIOGRAFÍA.....	38
APÉNDICE	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geopolítica en el contexto provincial, departamental y local del Campo Anexo INTA Chacharramendi. Elaboración propia con QGIS 3.22 (QGIS, 2022).....	9
Figura 2. Distribución mensual de las precipitaciones históricas (promedio 1961-2019), y la correspondiente a los años 2017, 2018 y 2019, en el Campo Anexo INTA Chacharramendi.....	11
Figura 3. Croquis del diseño experimental. A, B, C son bloques. 1: Testigo; 2: Pastar Gold 1 l/ha; 3: Pastar Gold 2 l/ha; 4: Sendero 3 l/ha, y 5: Sendero 4 l/ha.	14
Figura 4. Grado de daño promedio observado en <i>Prosopis alataco</i> , <i>Prosopis flexuosa</i> , <i>Condalia microphylla</i> y <i>Lycium chilense</i> para cada tratamiento. En cada especie, letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. Cada valor representa el promedio de 12 fechas de lecturas y 3 réplicas. En cada columna la barra por encima y por debajo representa ± 1 error estándar.....	21
Figura 5. Contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio en <i>Prosopis alataco</i> , <i>Prosopis flexuosa</i> , <i>Condalia microphylla</i> y <i>Lycium chilense</i> por tratamiento. Cada columna representa el porcentaje en las 12 fechas de lecturas y 3 réplicas.	22
Figura 6. Porcentaje de mortandad (grado de daño 4) y de daño mayor (grado de daño 3 + grado de daño 4) promedio observado en <i>Prosopis alataco</i> , <i>Prosopis flexuosa</i> , <i>Condalia microphylla</i> y <i>Lycium chilense</i> para cada tratamiento. En cada especie y grado de daño, letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. Cada columna representa el porcentaje en las 12 fechas de lecturas y 3 réplicas.	23
Figura 7. Grado de daño promedio observado en Poáceas perennes, poáceas anuales y Dicotiledóneas herbáceas para cada tratamiento. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. Cada valor representa el promedio de 7 fechas de lecturas y 3	

réplicas. En cada columna la barra por encima y por debajo representa ± 1 error estándar. 24

Figura 8. Contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio en Dicotiledóneas herbáceas por tratamiento. Cada columna representa el porcentaje en las 7 fechas de lecturas y 3 réplicas. 24

Figura 9. Biomasa herbácea aérea total (BHAT) y biomasa aérea de poáceas perennes previo y transcurridos 6, 12 y 18 meses después de la aplicación (MDA) de los tratamientos de control químico de leñosas. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. En cada columna la barra por encima y por debajo representa ± 1 error estándar. 25

Figura 10. Grado de daño promedio observado en *Lycium gillesianum*, *Prosopidastrum globosum*, *Verbena seriphioides*, *Acantholippia seriphioides* y *Chuquiraga erinacea* para cada tratamiento. En cada especie, letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. Cada valor representa el promedio de 12 fechas de lecturas y 3 réplicas. En cada columna la barra por encima y por debajo representa ± 1 error estándar. 52

Figura 11. Contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio en *Lycium gillesianum*, *Prosopidastrum globosum*, *Verbena seriphioides*, *Acantholippia seriphioides* y *Chuquiraga erinacea* por tratamiento. Cada columna representa el porcentaje en las 12 fechas de muestreo y 3 réplicas. 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de especies presente en el sitio de estudio. Fuente: adaptado de Butti (2015).....	12
Tabla 2. Condiciones meteorológicas al inicio (7 h) y al final (11 h) de la aplicación de los herbicidas.....	15
Tabla 3. Análisis químico del agua utilizada para la aplicación de los herbicidas. Fuente: Laboratorio Integral ESAGRO.....	16
Tabla 4. Escala de evaluación visual de daño por herbicida.	17
Tabla 5. Cronograma de trabajo de las evaluaciones a campo.....	19

INTRODUCCIÓN

Introducción General

Los pastizales son ecosistemas terrestres dominados por comunidades vegetales nativas que pueden diferir en su estructura, funcionamiento y composición de especies y, constituyen uno de los principales ecosistemas del mundo, abarcando entre el 40 % y el 52 % de la superficie terrestre (Saggar *et al.*, 2009; Sala *et al.*, 2013; FAOSTAT, 2017). Son sistemas complejos, diversos y variables, tanto en espacio como en tiempo (Hooper *et al.*, 2005). Por su gran heterogeneidad, los mismos pueden ser utilizados para diferentes objetivos (Grice y Hodgkinson, 2002), siendo el principal a nivel mundial la producción ganadera basada en la utilización de poáceas perennes (Archer, 2010).

Su distribución depende principalmente de la disponibilidad de agua, de la calidad del suelo y de la temperatura ambiente. Se encuentran en áreas con precipitación media anual entre los 150 y 1200 mm, y temperatura media anual entre 0 y 25 °C (Sala *et al.*, 2013). A lo largo de estos gradientes se ubican entre bosques y desiertos, ocupando grandes extensiones de la superficie terrestre en la mayoría de los continentes.

Del total de la productividad primaria neta terrestre, los pastizales proporcionan entre el 30 y 35 % de la misma, sobre la cual se sustenta una parte importante de la producción ganadera mundial (Reynolds, *et al.*, 2007; Saggar, *et al.*, 2009). Brindan, además, una variedad de servicios ecosistémicos, como la regulación de los ciclos del carbono, agua y nutrientes, secuestro de carbono, mantenimiento y conservación de la diversidad genética, provisión de hábitat para la fauna y recreación (Campbell y Stafford Smith, 2000; Anadón, *et al.*, 2014).

En Argentina los pastizales abarcan aproximadamente el 58 % de la superficie continental (Blanco, 2006). En particular, en la provincia de La Pampa, gran parte de su territorio está comprendida por los ecosistemas Caldenal y Monte Occidental. En ellos se pueden diferenciar distintas fisonomías de la vegetación en función de la combinación de variables ambientales y antrópicas, que han generado un gradiente de formaciones desde bosques de caldén

y algarrobo con diferentes edades y densidades, arbustales puros o asociados al bosque, pastizales, pastizales asociados a formaciones de leñosas y tierras de cultivo (Adema, 2006). En la actualidad existen claras manifestaciones de un progresivo deterioro del potencial productivo de estos ecosistemas, situación que está ocurriendo en la mayoría de los pastizales del mundo (Scholes y Archer, 1997).

El aumento de biomasa de las especies leñosas es motivo de preocupación a nivel mundial, debido al impacto negativo sobre la producción secundaria (Scholes y Archer, 1997). Las leñosas compiten con las especies del estrato herbáceo por luz, agua y nutrientes, y el aumento de la densidad y cobertura de las mismas disminuye la producción y diversidad del estrato herbáceo y aumenta la erosión potencial del suelo (Böker *et al.*, 1989; Asner *et al.*, 2004). En la provincia de La Pampa, este deterioro es provocado, en gran parte, por el incremento en densidad y cobertura de varias especies leñosas (ej., *Prosopis flexuosa* DC., *Prosopis alata* Phil, *Prosopis caldenia* Burkart, *Condalia microphylla* Cav.), afectando en forma negativa a las especies herbáceas útiles para la alimentación del ganado (Vázquez *et al.*, 2016).

Los efectos adversos del avance de las leñosas en la productividad secundaria de los pastizales resaltan la importancia del control de las mismas. El control de leñosas se puede definir como la práctica de manejo cuyo objetivo es reducir y mantener la densidad y cobertura de leñosas a un nivel tal que no perjudique la producción forrajera, y resulte viable considerando la relación costo-beneficio (Knudtsen, 1983).

Antecedentes del Tema

El aprovechamiento de los pastizales para la producción animal influye en la estructura y funcionamiento de los mismos (Mc Naughton, 1983). Las variaciones más notables se observan en la composición botánica del estrato herbáceo, resultado del reemplazo de gramíneas perennes preferidas por gramíneas perennes no preferidas y/o especies anuales, y el aumento de abundancia de las especies leñosas (Westoby *et al.*, 1989; Briske, 1991). El pastoreo disminuye la habilidad competitiva del estrato herbáceo, y reduce la frecuencia e intensidad de los incendios por disminución de combustible fino,

facilitando el desarrollo de las comunidades de especies leñosas (Madany y West 1983; Archer *et al.*, 2017).

Durante los últimos 100 años ha habido un cambio hacia una mayor abundancia de vegetación leñosa en ecosistemas de pastizales en diferentes partes del mundo (Sala y Maestre, 2014), fenómeno comúnmente denominado lignificación y/o arbustización de pastizales. Se caracteriza por el aumento en densidad, cobertura y distribución de especies leñosas en detrimento de las poáceas perennes (Auld, 1990; Cornelius y Schultka, 1997; Anadón *et al.*, 2014; Archer *et al.*, 2017). Este proceso ha sido documentado en zonas climáticas áridas, semiáridas, subhúmedas, tropicales, subtropicales, templadas y árticas (Buitenwerf *et al.*, 2012; Archer *et al.*, 2017).

El fenómeno de arbustización de pastizales ha sido atribuido a causas tales como: aumento en la concentración de CO₂ atmosférico, aumento de la precipitación, aumento de la temperatura ambiente, cambios en la frecuencia e intensidad de los incendios y cambios en los regímenes de pastoreo/ramoneo de herbívoros (Archer *et al.*, 1995; Van Auken, 2000; Brown y Thorpe, 2008; Buitenwerf *et al.*, 2012; Kulmatiski y Beard, 2013; Archer *et al.*, 2017; Case and Staver, 2017). Se considera altamente probable que, en cada situación particular, la interacción de diferentes factores origine el aumento en abundancia de las especies leñosas (Grover y Musick, 1990; Archer, 1994).

La proliferación de especies leñosas es motivo de preocupación en áreas destinadas principalmente al pastoreo de ganado vacuno y ovino, debido a la reducción de la producción forrajera y complicaciones en el manejo de los animales. Dicha preocupación ha promovido el desarrollo de estrategias y tecnologías para reducir la densidad y cobertura de la vegetación leñosa. Entre las mismas se destacan la quema prescrita, limpieza manual o mecánica y aplicación de herbicidas, pudiendo estas prácticas aplicarse individualmente, en combinación o de manera secuencial (Bovey 2001; Hamilton *et al.*, 2004; Archer *et al.*, 2017). Como resultado, a nivel de paisaje los pastizales conforman mosaicos complejos de áreas que experimentan el aumento de especies leñosas, áreas que sufren incendios naturales o accidentales, áreas sujetas a esfuerzos por reducir la abundancia de leñosas y áreas en transición (Asner *et al.*, 2003; Browning y Archer, 2011).

Una de las prácticas utilizadas es el rolado selectivo, la cual reduce la cobertura de leñosas por aplastado y trituración, dejando en pie un cierto número de árboles y arbustos (Adema, 2006). La aplicación de esta técnica en un pastizal de la zona de Chacharramendi (prov. de La Pampa) mejoró la eficiencia de captación y almacenamiento de agua en el suelo, el contenido de materia orgánica del suelo, el área accesible al pastoreo y la producción de forraje del estrato gramíneo – herbáceo, lográndose mayor eficiencia en el uso del agua (Adema *et al.*, 2004; Adema, 2006; Martín *et al.*, 2008).

Otra de las prácticas habituales en estos ecosistemas es la utilización del fuego, en forma de quema prescrita, con diferentes finalidades: reducción de combustible para evitar incendios, eliminación de biomasa diferida de gramíneas no forrajeras para utilizar rebrotes de mayor calidad, creación de condiciones para activar el banco de semillas, control de especies leñosas y mejoramiento de la producción de gramíneas perennes deseables (Nazar Anchorena, 1990; Llorens y Frank, 1999; Rabortnikof *et al.*, 2013; Ernst *et al.*, 2015). Numerosos trabajos (ej., Bóo *et al.*, 1997; Estelrich *et al.*, 2005; Peláez *et al.*, 2012; Peláez *et al.*, 2021) llevados a cabo en diferentes zonas del Caldenal muestran la eficacia del fuego en el control de la cobertura de especies leñosas.

El control de leñosas por quemas o medios mecánicos modifica de forma inmediata la fisonomía del paisaje, y normalmente incrementa la producción forrajera del estrato herbáceo. No obstante, los efectos benéficos, comúnmente son de corta duración porque no afectan de manera significativa la tasa de mortandad y la densidad de las especies leñosas, debido a que la mayoría de las mismas rebrotan luego del disturbio. Esto conlleva a la necesidad de repetirlos con cierta frecuencia, particularmente en el caso de especies leñosas que rebrotan con rapidez desde la base utilizando reservas almacenadas en las raíces (Marchesini, 2003). Por ejemplo, en el chaco semiárido argentino, transcurridos alrededor de 10 años desde el control mecánico, los arbustos recuperaron su posición en la estructura del bosque (Brassiolo *et al.*, 2008).

Los métodos químicos desarrollados para el control arbustivo se basan en la aplicación de herbicidas selectivos de acción sistémica, que en su gran mayoría presentan un modo de acción hormonal. Son productos químicos capaces de alterar la fisiología de la planta, perturbando su crecimiento y desarrollo

y pudiendo causar la muerte de la misma. Los efectos fisiológicos pueden radicar en la disrupción del crecimiento por inhibición de la división celular, de la respiración y/o fotosíntesis, y/o interrupción de procesos metabólicos complejos (Duke, 1996; Puricelli y Arregui, 2013).

Estos herbicidas selectivos de acción hormonal permiten el control de especies leñosas sin causar efectos negativos sobre las poáceas (Van Wilgen *et al.*, 2001). En general, las poáceas son tolerantes a estas familias de herbicidas debido a un transporte restringido y un metabolismo más eficiente (Diez de Ulzurrun, 2013).

Los eventos inducidos por herbicidas hormonales selectivos en especies dicotiledóneas sensibles pueden ser dividido en tres fases. La primera es una fase de estimulación: involucra la activación de procesos metabólicos, seguido por deformaciones en el crecimiento tales como, curvatura de tallos, hinchazón de tejidos y epinastia de hojas. En la segunda fase hay inhibición del crecimiento de la raíz, del tallo, del área foliar y se intensifica la pigmentación de las hojas. La última fase está caracterizada por la senescencia foliar acelerada, clorosis progresiva, desecación y necrosis, pudiendo provocar la muerte de la planta (Grossmann 2010).

La eficacia de un herbicida hormonal para el control de especies leñosas varía desde la defoliación, disminución del crecimiento o rebrote hasta la muerte de la planta, en el transcurso del tiempo posterior a la aplicación. En general, cuanto mayor es la cantidad de herbicida que se transloca a los puntos de crecimiento ubicados en la base del tallo y la raíz, más eficaz resultará el tratamiento de control (Maroder y Prego, 1986).

Numerosos trabajos han demostrado la eficacia de herbicidas hormonales tanto por mortandad de follaje como por mortandad de planta (Ansley *et al.*, 2003; Ansley *et al.*, 2004; Mitchell *et al.*, 2004; Ansley y Castellano, 2006). Por ejemplo, en *Prosopis glandulosa* Torr., especie leñosa nativa de América del Norte, Ansley y Castellano (2006) reportaron mortandad de follaje y de planta de 40 % y 52 %, respectivamente, utilizando una combinación de triclopir + clopyralid.

En nuestro país, Rodríguez Rey y Rovati (1981, 1983), evaluando la efectividad de herbicidas auxínicos para el control de 16 especies leñosas en el

noreste argentino, obtuvieron valores de mortandad de follaje que variaron entre 60 – 65 %, y un aumento significativo en la productividad del estrato herbáceo. En el control de *P. caldenia* mediante tratamiento con herbicida selectivo de acción hormonal, Rollhauser y Uhaldegaray (2015) reportaron un 72 % de mortandad de individuos que rebrotaron después del rolado en el norte del Caldenal. En tanto Córdoba *et al.* (2008) reportaron valores de grado de daño (proporción de tejidos con signos claros de afectación por el herbicida) del 40 al 60 % en *P. flexuosa*, 20 % en *Chuquiraga erinacea* D. Don y *Larrea divaricata* Cav., y del 15 al 30 % en *C. microphylla*, mediante tratamiento con picloram + tryclopir en un pastizal de Chacharramendi (provincia de La Pampa). En *Acacia caven* (Molina) Molina, *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron y *Prosopis reptans* Benth., creciendo en el Chaco Semiárido Argentino, Ledesma *et al.* (2020 a, b) observaron que luego de 20 meses de la aplicación de diferentes herbicidas hormonales selectivos se redujo la cobertura, el volumen y la producción de rebrotes a nivel individual. En tanto Tolozano *et al.* (2017) observaron valores de mortandad de planta del orden de 90 % en *Tessaria dodoneifolia* (Hook. & Arn.) Cabrera, tratada con herbicidas hormonales en la provincia de Santa Fe.

La variedad de respuestas posibles de las leñosas al tratamiento con herbicidas determina la necesidad de un monitoreo prolongado pos-aplicación para evaluar la eficacia del tratamiento (Peláez y Bóo, 1987).

Existe una relación inversa entre la cobertura y densidad de especies leñosas y la producción del estrato herbáceo (Scholes y Archer, 1997; Ansley y Castellano, 2006; Sabattini *et al.*, 2019). El control de las leñosas comúnmente produce un efecto positivo sobre el estrato herbáceo, ya que mejora el estado hídrico de las herbáceas y genera condiciones edáficas de mayor fertilidad (Tiedmann y Klemmedson, 1973, 1986; Ludwig *et al.*, 2004; Holdo, *et al.*, 2012). Además, la canopia de las especies leñosas reduce la radiación solar directa e indirecta (Belsky *et al.*, 1989; Jackson *et al.*, 1990), recurso que deja de ser limitante para el estrato herbáceo al realizar un control de las mismas. Bissio y Luisoni (1984), utilizaron picloram y tryclopir para controlar *Geoffroea decorticans*, tratamiento que incrementó la producción de forraje en un 57 % respecto al testigo sin aplicación de herbicida. Sabattini *et al.*

(2019) no encontraron diferencias significativas en la composición florística de las especies herbáceas forrajeras (monocotiledóneas, dicotiledóneas y ciperáceas palatables) de un bosque nativo de Entre Ríos al ser tratado con herbicidas hormonales selectivos. Por el contrario, el efecto sobre el estrato herbáceo es comúnmente positivo (Bissio y Luisoni, 1984).

PREGUNTAS, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Preguntas

Con el presente trabajo de tesis realizado en un pastizal del ecotono Caldenal – Monte Occidental en la provincia de La Pampa se intentan responder las siguientes preguntas:

(1) ¿Qué efecto producen diferentes herbicidas hormonales, aplicados a distintas dosis, en las principales especies leñosas del pastizal?

(2) ¿La aplicación de herbicidas hormonales perjudica a las especies que componen el estrato herbáceo?

(3) ¿Cambia la producción del estrato herbáceo por la aplicación de herbicidas hormonales para el control de especies leñosas?

Hipótesis

La aplicación de herbicidas hormonales en ambientes de pastizales lignificados del ecotono Caldenal-Monte Occidental posibilita el control de especies leñosas, sin perjudicar a las poáceas perennes y aumentando la producción del estrato herbáceo.

Objetivos

En función de la hipótesis propuesta para el control de leñosas en pastizales lignificados del ecotono Caldenal-Monte Occidental, se establecieron los siguientes objetivos:

- A) Evaluar el daño producido por diferentes herbicidas hormonales, aplicados a distintas dosis, sobre las especies leñosas problema, presentes en el pastizal.
- B) Evaluar el grado de daño producido por diferentes herbicidas hormonales, aplicados a distintas dosis, sobre poáceas perennes, poáceas anuales y dicotiledóneas herbáceas, presentes en el pastizal.
- C) Determinar la producción de biomasa herbácea aérea total y de poáceas perennes en respuesta al control de leñosas mediante herbicidas hormonales selectivos aplicados a distintas dosis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Ubicación y características generales

El trabajo experimental se realizó en el Campo Anexo de la Estación Experimental Agropecuaria Anguil del INTA (La Pampa), ubicado en cercanías de la localidad de Chacharramendi, departamento de Utracán, provincia de La Pampa (37°22´S, 65°46´W) (Figura1). El establecimiento tiene una superficie de 2657 ha, dividida en 19 potreros de distintas superficies, donde se desarrolla la cría bovina sobre pastizal, como también distintas investigaciones. Se encuentra bajo un Plan de Manejo Sostenible de Bosque Nativo aprobado por Disposición 058/16 de la provincia de La Pampa (Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos N° 26.331).

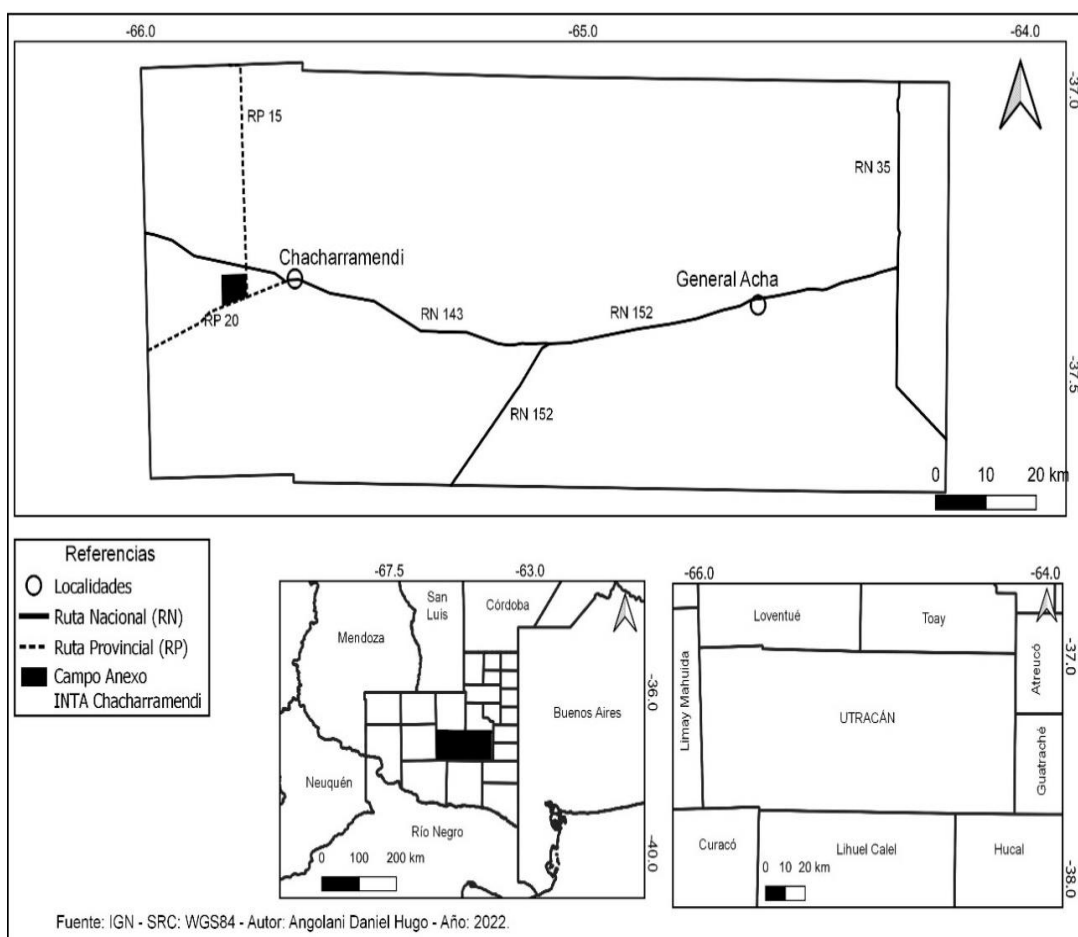


Figura 1. Ubicación geopolítica en el contexto provincial, departamental y local del Campo Anexo INTA Chacharramendi. Elaboración propia con QGIS 3.22 (QGIS, 2022)

Caracterización climática

El clima de la región es templado, semiárido. La temperatura media anual del aire es de 15,5 °C (media del mes de julio 7 °C, y media del mes de enero 24 °C). La fecha media de primera helada es el 10 de abril ($\pm 15-20$ días) y de última el 18 de octubre ($\pm 15-20$ días), lo que determina un período libre de heladas de 150–160 días (INTA, 1980).

La precipitación media anual para el periodo 1961–2019 fue de 495 mm, según datos de la estación meteorológica del Campo Anexo Chacharramendi, con una elevada variabilidad intra e interanual (CV= 31 %), y distribución principalmente primavero–estival. Las lluvias durante dicho período representan aproximadamente el 75 % de la precipitación anual (Roberto *et al.*, 1994). La evapotranspiración potencial según Thornthwaite (1948) para el período 1976–1996 fue de 789 mm, y la deficiencia hídrica media anual de 297 mm. Si bien el régimen de precipitaciones es primavero–estival, la elevada evapotranspiración que se produce entre los meses de octubre y marzo provoca una marcada deficiencia hídrica, ubicando a esta región bajo un régimen hídrico semiárido (Jacyszyn y Pittaluga, 1977).

Durante el periodo de estudio, la precipitación anual fue de 520, 418 y 264 mm, para los años 2017, 2018 y 2019, respectivamente. El año 2017 (cuando se aplicó el control químico de leñosas) fue el único en el que la precipitación anual superó el promedio anual histórico (495 mm), con una distribución mensual tal que en el 50 % de los meses se ubicó por encima de la media mensual histórica (Figura 2). En tanto la temperatura media anual del aire para los años 2017, 2018 y 2019 fue de 16,3 °C, 16,1 °C y 15,3 °C, respectivamente, siendo cercanas al promedio histórico (15,5 °C).

Los vientos predominantes son de los cuadrantes norte y noreste, con una velocidad media anual de 12 km/h, y de mayor intensidad en la época primaveral (Jacyszyn y Pittaluga, 1977).

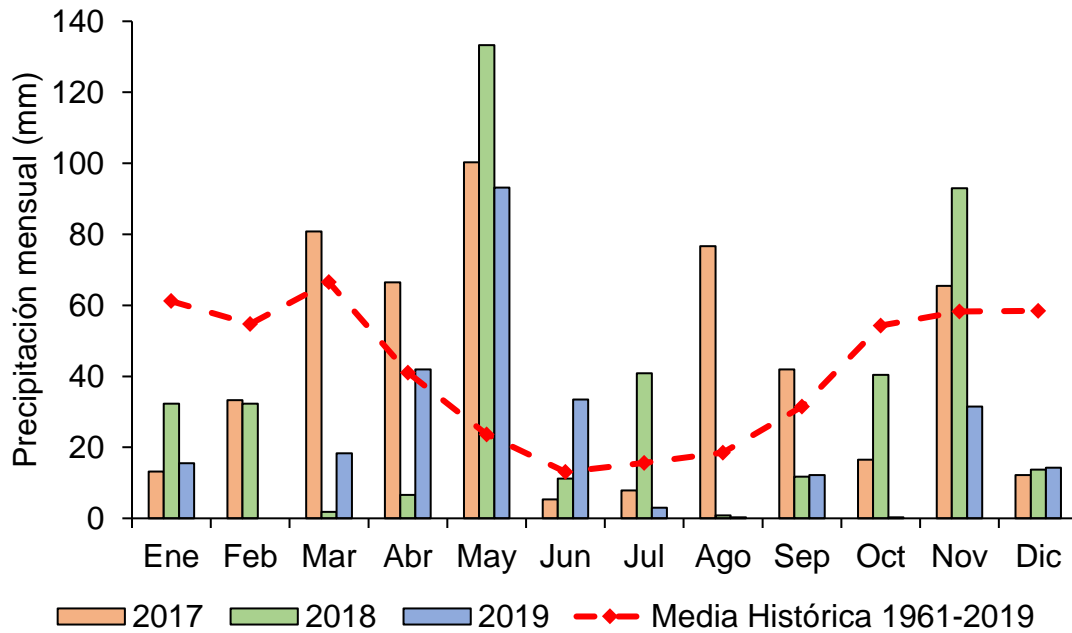


Figura 2. Distribución mensual de las precipitaciones históricas (promedio 1961-2019), y la correspondiente a los años 2017, 2018 y 2019, en el Campo Anexo INTA Chacharramendi.

Geología y suelo

El material original de los suelos está constituido por sedimentos de origen eólico, con carbonato de calcio pulverulento, cenizas volcánicas y gravilla. Los suelos predominantes han sido clasificados como Ustipsamientos típicos y Ustortentes típicos (Jacyszyn y Pittaluga, 1977). Poseen textura arenosa franca fina a franco arenosa fina, y profundidad variable sobre el manto calcáreo, aunque sin limitaciones por espesor del perfil.

Vegetación

De acuerdo a Adema (2006) la fisonomía del paisaje corresponde a un bosque abierto de *Prosopis flexuosa* DC. con arbustal mixto de *Larrea divaricata* Cav., *Chuquiraga erinacea* D. Don, *Condalia microphylla* Cav., *Prosopis alpataco* Phil. y *Prosopidastrum globosum* (Hill. Ex Hook. et Arn.) Burk. En el estrato herbáceo predominan poáceas forrajeras invernales como *Nassella tenuis* (Phil.) Barkworth, *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hackel y *Poa ligularis* Nees ex Steud., y en menor proporción especies estivales como *Digitaria californica* (Benth.) Henr., *Trichloris crinita* (Lag.) Parodi, *Setaria leucopila* (Scribn. & Merr.) K. Schum., y *Sporobolus cryptandrus* (Torr.) A. Gray.

En la Tabla 1 se lista las especies presentes en la parcela donde se realizó la investigación.

Tabla 1. Listado de especies presente en el sitio de estudio. Fuente: adaptado de Butti (2015) y The World Flora Online (2023).

	Nombre científico	Nombre Vulgar
Leñosas	<i>Bredemeyera microphylla</i> Hieron	hualan
	<i>Ephedra triandra</i> Tul.	tramontana
	<i>Lycium chilense</i> Miers	yao-yin
	<i>Verbena aspera</i> Gillies & Hook	rama blanca
	<i>Brachyclados lycioides</i> D. Don	mata negra
	<i>Ephedra ochreatea</i> Miers	solupe
	<i>Aloysia gratissima</i> (Gillies & Hook.) Tronc	cedrón del monte; azahar del campo; palo amarillo
	<i>Prosopis alpataco</i> Phil.	alpataco
	<i>Prosopis flexuosa</i> DC.	algarrobo
	<i>Acantholippia seriphioides</i> (A. Gray) Moldenke	tomillo; tomillo de campo
	<i>Chuquiraga erinacea</i> D. Don	chilladora; uña de gato
	<i>Condalia microphylla</i> Cav.	piquillín
	<i>Larrea divaricata</i> Cav.	jarrilla hembra
	<i>Lycium gilliesianum</i> Miers	piquillín de víbora
<i>Prosopidastrum globosum</i> (Gill. Ex. Hook. et Arn.) Burkart	manca caballo; manca potrillo; mata perro; barba de chivo	
<i>Junellia seriphioides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke	tomillo macho; tomillo de campo	
Poáceas perennes estivales	<i>Digitaria californica</i> (benth.) Henrard	pasto plateado; punta blanca
	<i>Eragrostis lugens</i> Nees	pasto ilusión
	<i>Setaria leucopila</i> K. Schum.	cola de zorro
	<i>Sporobolus cryptandrus</i> A. Gray	gramilla cuarentona; esporobolo
	<i>Trichloris crinita</i> (Lag.) Parodi	plumerito; pasto de hoja; trichloris
	<i>Aristida subulata</i> Henrard	pasto crespo
Poáceas perennes invernales	<i>Piptochaetium napostaense</i> Hack. ex Stuck.	flechilla negra
	<i>Poa lanuginosa</i> Poir.	pasto hilo; pasto hebra
	<i>Poa ligularis</i> Nees ex. Steudel	unquillo; coirón; coirón azul; coirón poa

	<i>Nassella tenuis</i> (Phil.) Barkworth	flechilla fina; flechilla; flechilla común; pasto raíz
	<i>Nassella tenuissima</i> (Trin.) Barkworth	paja fina
Poáceas anuales	<i>Hordeum</i> spp.	centenillo tierno,
	<i>Schismus barbatus</i> (L.) Thell.	pasto fino; pasto de invierno; pasto cuarenton
	<i>Bromus</i> spp.	cebadilla; cebadilla pampeana
Dicotiledóneas herbáceas	<i>Chenopodium album</i> Bosc ex Moq.	cenizo, quihuilla
	<i>Salsola kali</i> L.	cardo ruso
	<i>Sphaeralcea</i> spp.	coral malvisco; malvisco; malva blanco
	<i>Baccharis ulicina</i> Hook. & Arn.	yerba de oveja

Sitio de estudio

El ensayo se realizó en una parcela de 25 ha. El suelo presenta poco desarrollo, tres horizontes (AC, C y Ck), textura arenosa franca, y profundidad mayor a 1,2 m. El pH es de 7,6 y la concentración de materia orgánica, fósforo y nitrógeno es de 0,4 %, 17 ppm y 0,06 %, respectivamente (Butti, 2015).

La vegetación que habita en el sitio se agrupa dentro de la clase Dicotiledóneas representado en su mayor proporción por especies leñosas y, Monocotiledóneas, siendo las más representativas las poáceas perennes invernales. La Tabla 1 presenta un listado de las principales especies presentes en el pastizal.

En enero de 2016 el sitio de estudio fue afectado por un incendio natural. Antes de dicho disturbio la densidad de plantas leñosas era de 7901 pl/ha, de los cuales el 66 % eran arbustos no valiosos para el ganado (Butti, 2015).

En septiembre de 2008 y agosto de 2016 se realizó un rolado selectivo de baja intensidad en el sitio de estudio, como prácticas programadas de intervención. Se utilizó un rolo cortador de 1,5 m de diámetro por 2,5 m de ancho de labor, con 9 hileras de cuchillas intercaladas y un peso aproximado de 6000 kg.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. En cada bloque se delimitaron cinco parcelas de 20 m de ancho por 200 m de largo, separadas entre sí por una distancia de 10 m (Figura 3). Los tratamientos comprendieron la aplicación de dos herbicidas, a dos dosis, y un control sin aplicación de herbicida. Dada la escasa información sobre herbicidas hormonales selectivos en los ecosistemas Caldenal y Monte Occidental, la elección de las dosis que se utilizaron en el presente trabajo de tesis se basó en estudios realizados en pastizales lignificados de otras partes del mundo (ej., Jacoby *et al.*, 1990 a, b; Ansley *et al.*, 2003; Ansley *et al.*, 2004; Mitchell *et al.*, 2004; Ansley y Castellano, 2006) y de nuestro país (ej., Rodríguez Rey y Rovati, 1981, 1983; Bissio y Luisoni, 1984; Cordoba *et al.*, 2008; Rollhauser y Uhaldegaray, 2015; Tolozano *et al.*, 2017), y en las recomendaciones de la empresa fabricante de los herbicidas.

Los tratamientos fueron:

- Testigo (sin aplicación de herbicida).
- Pastar Gold 1 l/ha (Aminopyralid + Picloram + Triclopyr).
- Pastar Gold 2 l/ha (Aminopyralid + Picloram + Triclopyr).
- Sendero 3 l/ha (Aminopyralid + Clopyralid).
- Sendero 4 l/ha (Aminopyralid + Clopyralid).

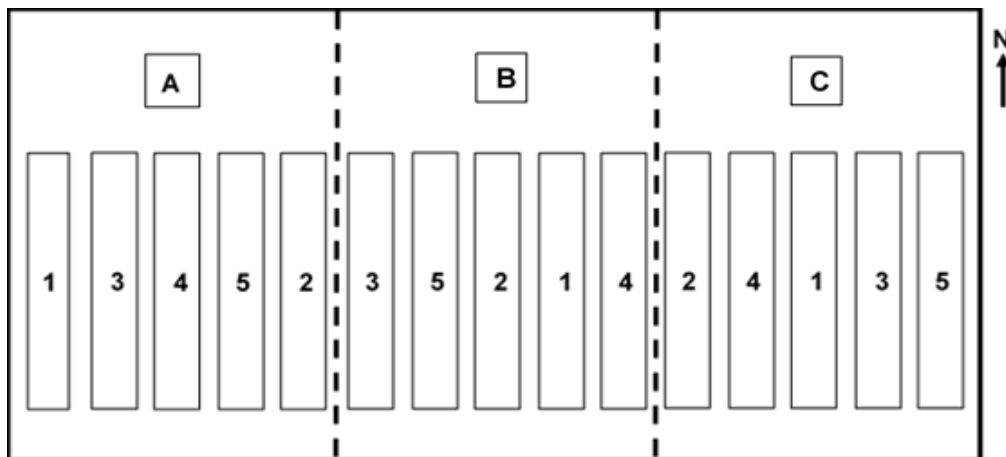


Figura 3. Croquis del diseño experimental. A, B, C son bloques. 1: Testigo; 2: Pastar Gold 1 l/ha; 3: Pastar Gold 2 l/ha; 4: Sendero 3 l/ha, y 5: Sendero 4 l/ha.

Aplicación de los tratamientos

Cada tratamiento se aplicó con sulfato de amonio al 2 % v/v y aceite vegetal metilado al 1 % v/v, a razón de 240 l de caldo por hectárea.

La fecha de aplicación se definió en base a condiciones ambientales y características fenológicas y anatómicas de las especies, que se conoce aumentan la eficacia del control químico.

La aplicación de los tratamientos se realizó el 16 de noviembre de 2017, entre las 7:00 y 11:00 hs. En la Tabla 2 se detallan las condiciones meteorológicas durante la aplicación de los tratamientos.

Tabla 2. Condiciones meteorológicas al inicio (7 h) y al final (11 h) de la aplicación de los herbicidas.

	Temperatura del aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad Viento (km/h)	Dirección viento	$\Delta t^{(1)}$
16/11/2017 (7 – 11 hs)	18 - 25	41 - 22	5 – 14,5	NO	6,6 - 10

⁽¹⁾ Diferencial termómetro seco – termómetro húmedo según humedad relativa de la tabla psicrométrica. NO: noroeste.

Según el índice de la tabla psicrométrica (Δt), gran parte de la aplicación se realizó con condiciones meteorológicas adecuadas, aunque hacia el final las condiciones pasaron a ser marginales a no adecuadas (Matthews, 1988; Carrancio y Massaro, 2019). En cuanto a la condición de velocidad de viento, la aplicación se realizó en condiciones óptimas, de acuerdo a lo indicado en trabajos sobre el tema (ej., Etiennot y Piazza, 2010).

Equipo pulverizador

La aplicación se realizó con un equipo pulverizador marca Mecmaq, el cual cuenta con un depósito de 600 l de capacidad, bomba accionada por toma de fuerza (560 rpm), acumulador hidroneumático, regulador de caudal y presión, barra de distribución, manómetro y dos válvulas manuales. La barra de distribución está conformada por 2 alas de 87 cm de longitud cada una, las cuales están montadas sobre un bastidor regulable en altura. En cada ala se colocaron dos picos con válvulas antigoteo, uno en el extremo con pastilla Hypro XT-020 de abanico descentrado, y otro en el centro con pastilla Turbo Floodjet de abanico plano.

El pulverizador se montó sobre un chasis de arrastre de un eje, y se traccionó con un tractor Agco Allis de 155 hp. La velocidad de trabajo fue de 5 km/h, a 1500 RPM. La presión de trabajo fue de 4 bares, logrando un tamaño de gota de 400 micrones. La barra se colocó a 2,4 m de altura, brindando un ancho de labor de 10 m. Previo a la aplicación se realizó la calibración del pulverizador y del conjunto tractor-pulverizador, de forma estática y dinámica.

Calidad de agua

Se utilizó agua limpia, sin partículas en suspensión, provista por el acueducto Puelén-Chacharramendi. La Tabla 3 contiene los datos de calidad del agua.

Según la clasificación de Andersen (2012) el agua utilizada califica como moderadamente dura (120 – 600 ppm CaCO₃). Dado que el valor de pH superaba el valor recomendado (entre 4 y 6, según lo indicado por Rodríguez, 2000) se agregó un corrector de pH (Rizospray), a razón de 25 cm³ por cada 100 l de agua, para bajar el pH a 5.

Tabla 3. Análisis químico del agua utilizada para la aplicación de los herbicidas. Fuente: Laboratorio Integral ESAGRO.

Parámetro	Valor	
pH	7,1	-----
Conductividad eléctrica	2,9	ds/m
Carbonatos	Negativo	-----
Bicarbonatos	645,7	ppm
Cloruros	396,0	ppm
Sulfatos	232,0	ppm
Sodio	466,9	ppm
Potasio	25,4	ppm
Calcio	23,7	ppm
Magnesio	89,0	ppm
Dureza (exp. CaCO ₃)	430,1	ppm
Bicarbonato de sodio	167,2	ppm

Efecto de los herbicidas sobre las especies leñosas y herbáceas

Se evaluó el grado de daño causado por los herbicidas en la vegetación leñosa y herbácea. El grado de daño se define como la proporción de tejido que presenta signos claros de afección por el herbicida, y se cuantificó en base a una adaptación propia de la escala de evaluación visual de daño para malezas arbustivas propuesta por la Asociación Latinoamericana de Malezas en el año 1974 (tomado de Chaila, 1986, Tabla 4).

Tabla 4. Escala de evaluación visual de daño por herbicida.

INDICE		SÍNTOMAS
0	Ningún Daño	
1	Daño Leve	Clorosis ligera; manchas necróticas; leves malformaciones.
2	Daño Moderado	Clorosis intensa; necrosis; malformaciones acentuadas; caída parcial de hojas.
3	Daño Severo	Defoliación total; presencia de rebrotes/tallos verdes; muerte de ramas.
4	Muerte Total	Muerte total de la planta y rebrotes.

Se evaluó el grado de daño en cada parcela, seleccionando al azar y marcando 10 individuos de cada una de las siguientes especies leñosas: *P. flexuosa*, *P. alpataco*, *C. microphylla*, y *L. chilense*. Las especies leñosas *L. gillesianum*, *P. globosum*, *V. seriphioides*, *A. seriphioides* y *C. erinacea*, también fueron evaluadas, pero los resultados se muestran en la sección *APÉNDICE* por contribuir en menor medida que las anteriores en el proceso de lignificación que se observa en la región de estudio. Los primeros 90 días posaplicación se realizaron evaluaciones cada 30 días, y luego cada 60 días hasta los 720 días posaplicación (Tabla 5).

En el estrato herbáceo se evaluó el grado de daño en las poáceas perennes, poáceas anuales y dicotiledóneas. Para ello, en cada parcela se instaló una transecta fija de 30 m de longitud, sobre la cual se distribuyeron 10 unidades de muestreo de 0,5 m² a intervalos de 3 m de distancia. Los primeros 90 días posaplicación se realizaron evaluaciones cada 30 días, y luego cada 60 días hasta los 360 días posaplicación (Tabla 5).

Con los datos obtenidos se determinó:

- El grado de daño promedio en cada especie leñosa y por grupo del estrato herbáceo: compuesto del promedio del grado de daño observado en todas las fechas de lectura en las 3 réplicas.
- La contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio de cada especie leñosa y de las dicotiledóneas herbáceas por tratamiento.
- El porcentaje de mortandad (grado de daño 4) y de daño mayor (sumatoria de los porcentajes de mortandad y daño severo –grado de daño 3-), de cada especie leñosa por tratamiento.

Efecto del control de leñosas sobre la producción de biomasa herbácea aérea

Se determinó la producción de la biomasa aérea de poáceas perennes (BAPP) y la biomasa herbácea aérea total (BHAT), la cual se compuso como la suma de la BAPP más la biomasa aérea del resto de las especies herbáceas (poáceas anuales y dicotiledóneas herbáceas).

La BAPP y BHAT se determinó inmediatamente antes, y transcurrido 6, 12 y 18 meses desde la aplicación (MDA) del control químico de leñosas (Tabla 5). A los 24 MDA no se pudo realizar la determinación de BHAT y BAPP (como estaba planificado), ya que las escasas precipitaciones limitaron marcadamente el crecimiento del pastizal.

Para la determinación de BAPP y BHAT, en cada parcela experimental (n=15) se ubicó al azar una transecta lineal de 30 m de longitud, sobre la cual se distribuyeron en forma sistémica 10 unidades de muestreo de 0,5 x 1 m cada 3 m. En cada unidad de muestreo el material herbáceo se cortó al ras del suelo, se separó en poáceas perennes y otras especies (poáceas anuales más dicotiledóneas herbáceas), y se secó a 70 °C hasta peso constante. Los resultados se expresaron en kgMS/ha.

Tabla 5. Cronograma de trabajo de las evaluaciones a campo.

Mes	Año	Lectura grado daño en leñosas	Lectura grado de daño estrato herbáceo	Corte de biomasa herbácea área
Noviembre	2017			X
16/11		APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS		
Diciembre		X	X	
Enero	2018	X	X	X
Febrero		X	X	
Abril		X	X	
Mayo				
Junio		X	X	
Agosto		X	X	
Octubre		X	X	
Noviembre				X
Febrero	2019	X		X
Abril		X		
Mayo		X		
Agosto		X		
Diciembre		X		

X= marca el mes y qué lectura y/o corte de biomasa se realizó.

Análisis estadístico

El grado de daño promedio sobre cada especie leñosa y de las dicotiledóneas herbáceas, el porcentaje de mortandad y porcentaje de daño mayor sobre cada especie leñosa se analizaron por separado mediante ANOVA, según un diseño anidado en bloques completos. Las medias se compararon por medio de la prueba LSD de Fisher, con un nivel de significancia de 0,05. Previamente se comprobaron los supuestos de independencia, normalidad y homocedasticidad.

Las poáceas perennes y las poáceas anuales no fueron sometidas a un análisis estadístico por no presentar daño por herbicida.

Los datos de BAPP y BHAT obtenidos inmediatamente antes de realizar la aplicación de los herbicidas, se sometieron a un análisis descriptivo (media y desvío estándar). Las fechas posteriores a la aplicación se analizaron por separado mediante ANCOVA, según un diseño anidado en bloques completos, utilizando los datos de las variables BAPP y BHAT obtenidos con anterioridad a la aplicación de los tratamientos como covariables. Previo al análisis, los datos de las variable BAPP y BHAT correspondientes a 12 y 18 MDA se transformaron

a raíz cuadrada para lograr un mejor ajuste a los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Las medias se compararon por medio de la prueba LSD de Fisher, a un nivel de significancia de 0,05.

Todos los análisis se realizaron utilizando el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2019).

RESULTADOS

Efecto de los herbicidas sobre las especies leñosas

El grado de daño promedio en las especies *Prosopis alpataco*, *Prosopis flexuosa*, *Condalia microphylla* y *Lycium chilense* se vio afectado por la aplicación de los diferentes tratamientos ($p \leq 0,05$) (Figura 4).

En *P. flexuosa*, *C. microphylla* y *L. chilense* los tratamientos con aplicación de herbicidas no presentaron diferencias entre sí en el grado de daño promedio, pero sí presentaron diferencias significativas con el testigo, y en *P. alpataco* se presentaron diferencias significativas entre todos los tratamientos (Figura 4).

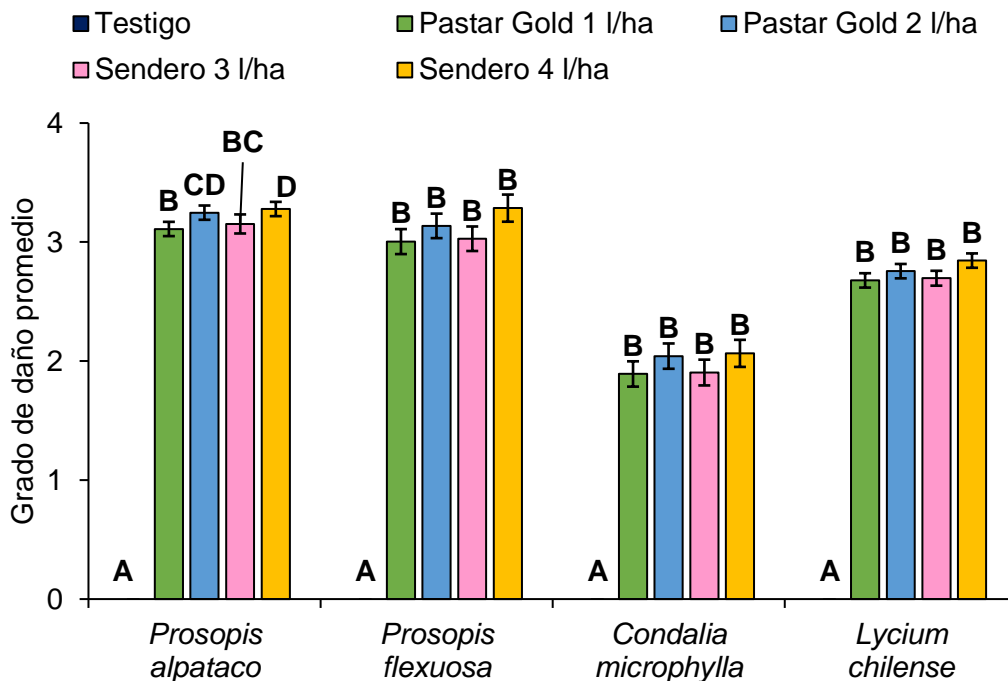


Figura 4. Grado de daño promedio observado en *Prosopis alpataco*, *Prosopis flexuosa*, *Condalia microphylla* y *Lycium chilense* para cada tratamiento. En cada especie, letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. Cada valor representa el promedio de 12 fechas de lecturas y 3 réplicas. En cada columna la barra por encima y por debajo representa ± 1 error estándar.

En las especies *Lycium gillesianum*, *Prosopidastrum globosum*, *Verbena seriphioides*, *Acantholippia seriphioides* y *Chuquiraga erinacea* el grado de daño promedio se vio afectado por la aplicación de los diferentes tratamientos ($p \leq 0,05$) (Figura 10, Apéndice).

La Figura 5 muestra la contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio en cada tratamiento. En los tratamientos de aplicación de herbicida, el nivel de daño que mayor participación tuvo fue el 3 (daño severo) en las especies *P. alpataco* y *P. flexuosa*, 2 (daño moderado) en *C. microphylla* y, en *L. chilense* correspondió al grado 2 y 3.

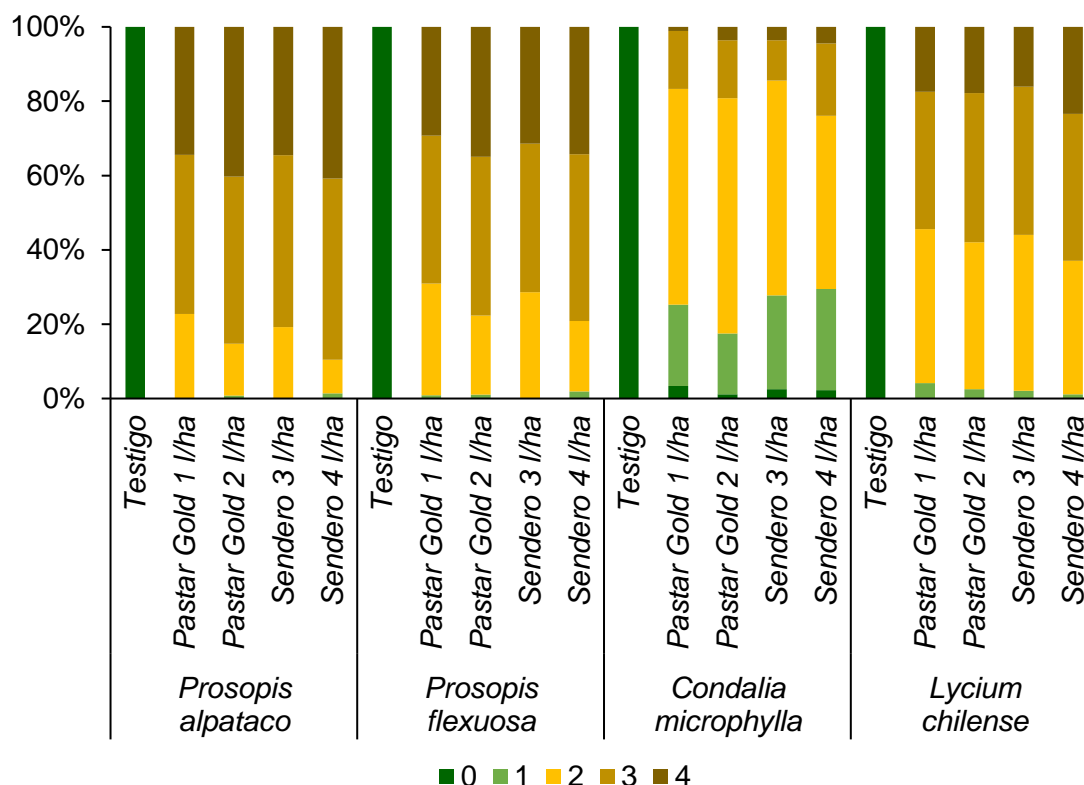


Figura 5. Contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio en *Prosopis alpataco*, *Prosopis flexuosa*, *Condalia microphylla* y *Lycium chilense* por tratamiento. Cada columna representa el porcentaje en las 12 fechas de lecturas y 3 réplicas.

En las especies *L. gillesianum* y *P. globosum*, el nivel de daño que mayor contribución porcentual tuvo fue el 2 (daño moderado), en *V. seriphioides*, *A. seriphioides* y *Ch. erinacea* fue el 1 (daño leve) en los tratamientos de aplicación de herbicida (Figura 11, Apéndice).

En lo que respecta al porcentaje de mortandad (grado 4) entre los tratamientos con herbicidas, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en las especies *P. alpataco* y *L. chilense*. En el porcentaje de daño mayor (grado de daño 3 + grado de daño 4) se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) solamente en *P. alpataco* entre los tratamientos (Figura 6).

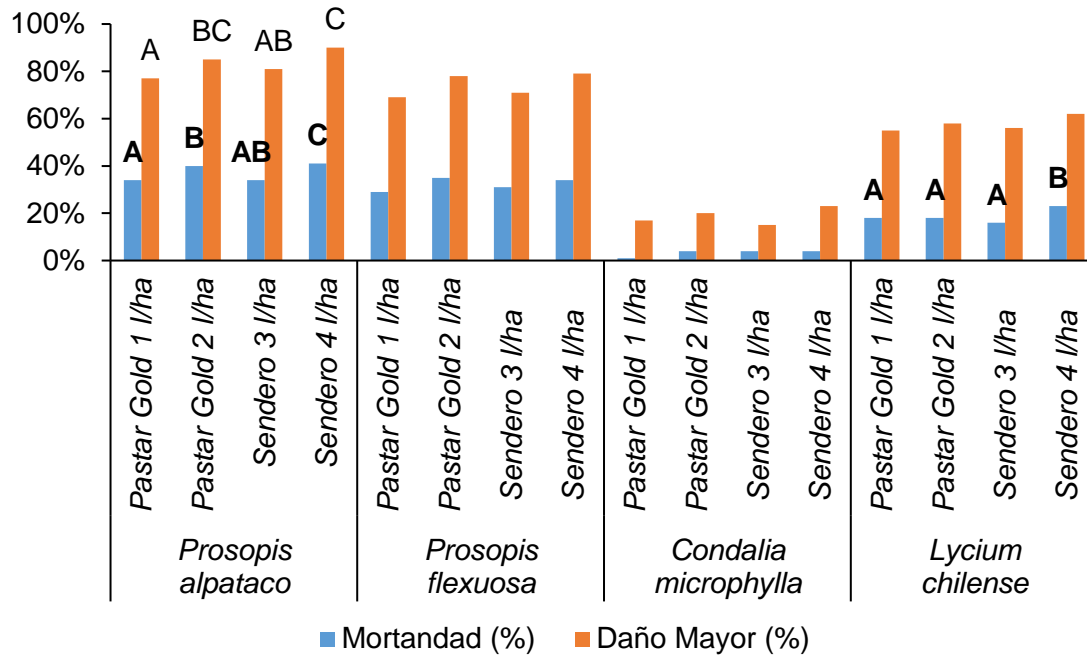


Figura 6. Porcentaje de mortandad (grado de daño 4) y de daño mayor (grado de daño 3 + grado de daño 4) promedio observado en *Prosopis alpataco*, *Prosopis flexuosa*, *Condalia microphylla* y *Lycium chilense* para cada tratamiento. En cada especie y grado de daño, letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. Cada columna representa el porcentaje en las 12 fechas de lecturas y 3 réplicas.

Efecto de los herbicidas sobre el estrato herbáceo

Las poáceas perennes y anuales no se vieron afectadas por la aplicación de los herbicidas, presentando grado de daño 0. En dicotiledóneas herbáceas, en cambio, el grado de daño promedio sí se vio afectado por la aplicación de los diferentes tratamientos ($p \leq 0,05$) (Figura 7).

La Figura 8 muestra la contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio en cada tratamiento. Numéricamente, en todos los tratamientos el mayor porcentaje de daño correspondió al grado de daño 0.

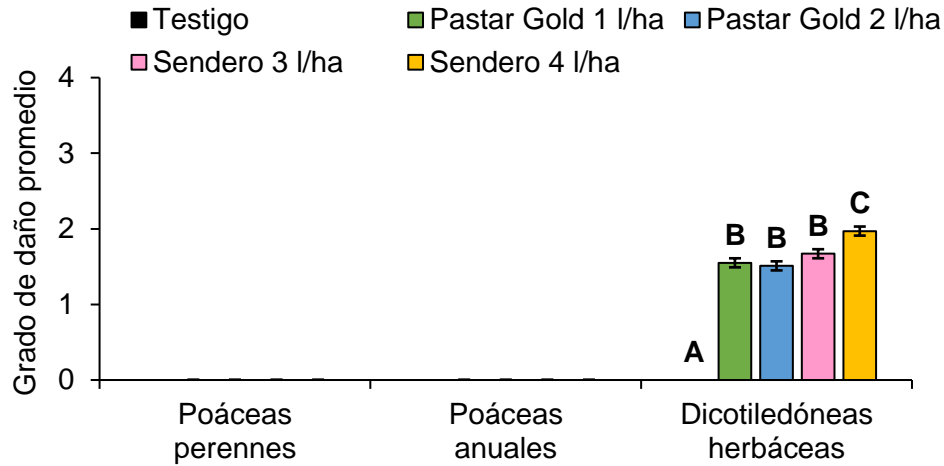


Figura 7. Grado de daño promedio observado en Poáceas perennes, poáceas anuales y Dicotiledóneas herbáceas para cada tratamiento. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. Cada valor representa el promedio de 7 fechas de lecturas y 3 réplicas. En cada columna la barra por encima y por debajo representa ± 1 error estándar.

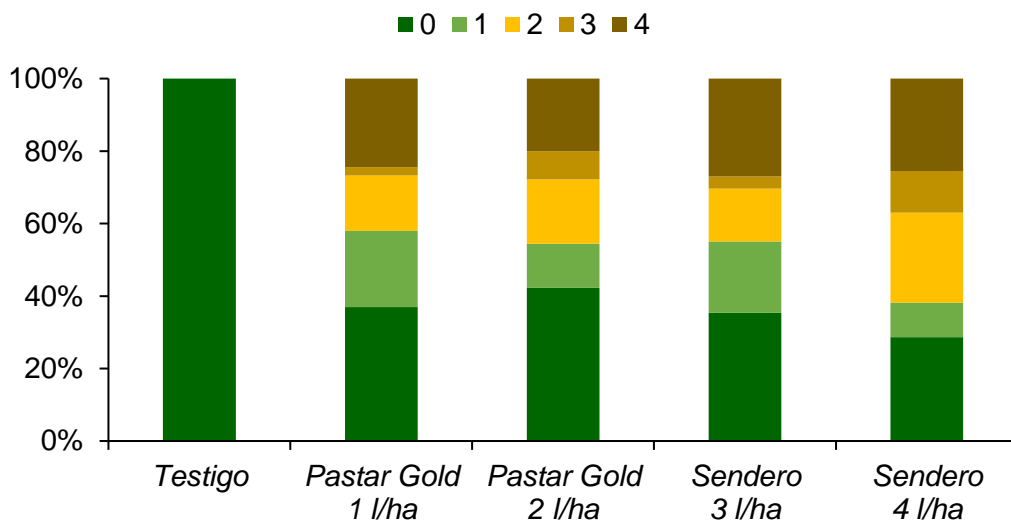


Figura 8. Contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio en Dicotiledóneas herbáceas por tratamiento. Cada columna representa el porcentaje en las 7 fechas de lecturas y 3 réplicas.

Efecto del control de leñosas sobre la producción de biomasa herbácea aérea

Previo a la aplicación de los herbicidas para el control selectivo de leñosas arbustivas, la BHAT del total de las parcelas experimentales fue de ~ 600 KgMS/ha y estuvo constituida en un $\sim 36\%$ por poáceas perennes (Figura 9), principalmente por las especies *Piptochaetium napostaense*, *Nassella tenuis* y *Poa lanuginosa*.

Transcurridos 6 meses desde la aplicación de los herbicidas, se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) en la producción de BHAT por efecto de la aplicación de los tratamientos (Figura 9). Contrariamente, la producción de BAPP no presentó diferencias ($p \geq 0,05$) entre tratamientos (Figura 9).

La producción de BHAT y BAPP a los 12 meses desde la aplicación de los herbicidas se vio afectada por la aplicación de los diferentes tratamientos ($p \leq 0,05$). Los tratamientos con aplicación de herbicidas no presentaron diferencias entre sí en la producción de BHAT, pero sí con el testigo (Figura 9). En tanto la producción de BAPP únicamente presentó diferencias entre el testigo y los tratamientos Pastar Gold 2 l/ha, Sendero 3 l/ha y Sendero 4 l/ha (Figura 9).

Transcurridos 18 meses desde la aplicación de los herbicidas, no se encontraron diferencias ($p \geq 0,05$) en la producción de BHAT y BAPP por la aplicación de los diferentes tratamientos (Figuras 9).

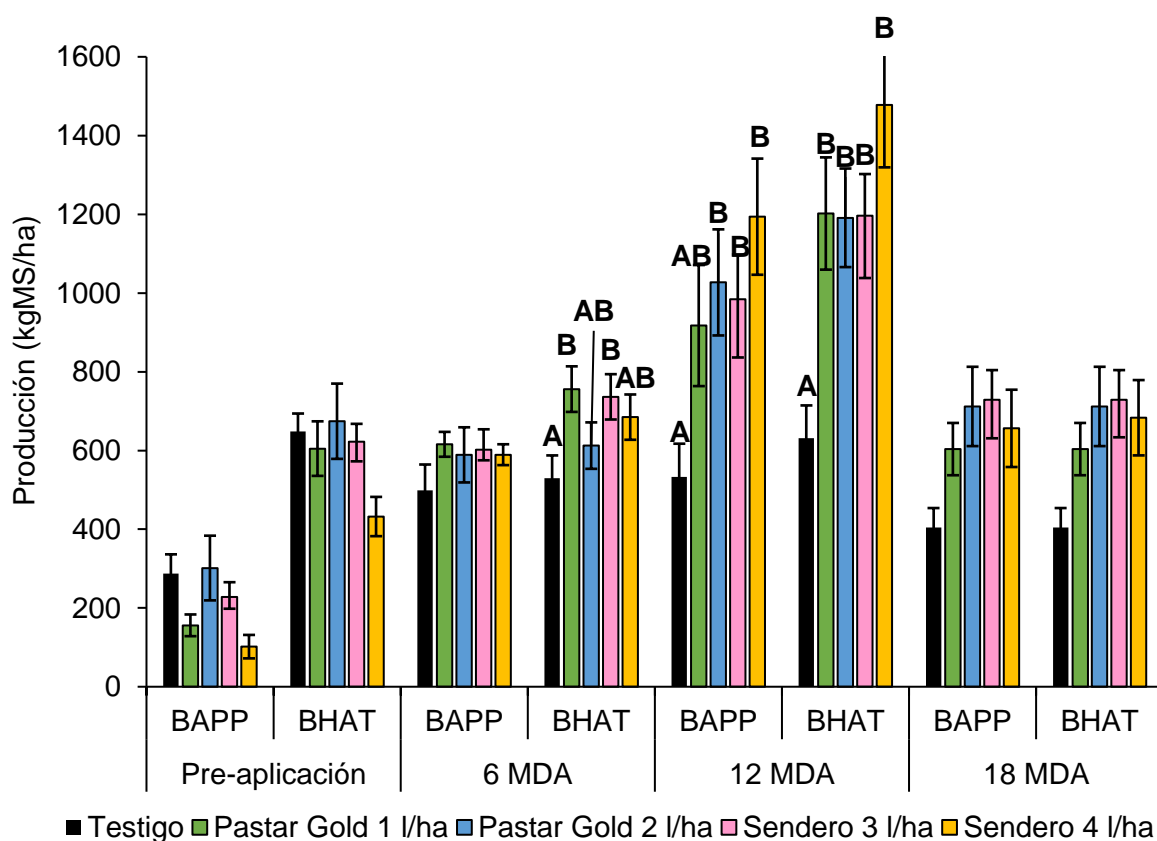


Figura 9. Biomasa herbácea aérea total (BHAT) y biomasa aérea de poáceas perennes previo y transcurridos 6, 12 y 18 meses después de la aplicación (MDA) de los tratamientos de control químico de leñosas. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. En cada columna la barra por encima y por debajo representa ± 1 error estándar.

DISCUSIÓN

Efecto de los herbicidas sobre las especies leñosas y herbáceas

En el año que se realizó la aplicación de los herbicidas (2017) la precipitación anual fue superior al promedio anual histórico del establecimiento. En la mitad de los meses del año la precipitación estuvo por encima de la media mensual histórica (1961-2019) (Figura 2). Al momento de aplicación de los herbicidas, se presume que la vegetación no estaba en situación de estrés hídrico, lo cual permite inferir una facilitación en la penetración y circulación de los mismos, dado que bajo condiciones de buena humedad de suelo, se incrementa el espesor de la matriz de cutina y la separación de las plaquetas de cera, facilitando el tránsito del caldo de aspersión hacia la parte viva de la hoja (García Torres y Fernández Quintanilla, 1991; Kogan Alterman y Pérez Jones, 2003; Sanyal *et al.*, 2006; Leiva, 2013).

El comportamiento de los herbicidas foliares está determinado, en parte, por las condiciones climáticas que ocurren durante la aplicación, dado que, la translocación de herbicidas ocurre en forma conjunta con la translocación de fotosintatos, entonces las condiciones ambientales que favorecen la fotosíntesis (alta iluminación, humedad y temperatura adecuada) también benefician el movimiento del herbicida (García Torres y Fernández Quintanilla, 1991). Según el índice de la tabla psicrométrica (Δt) la aplicación de los herbicidas se realizó en condiciones adecuadas (Matthews, 1988; Carrancio y Massaro, 2019).

Las especies leñosas estudiadas mostraron ser afectadas en distintos grados por los herbicidas y dosis utilizados, resultando en diferentes grados de control. En el caso de *Prosopis alpataco* y *Prosopis flexuosa*, en general se observaron niveles de mortandad de plantas (Figura 5 y 6) dentro del rango de lo informado para *P. glandulosa* en los Estados Unidos utilizando los herbicidas clopiralyd, triclopyr o la mezcla de ambos (Bovey *et al.*, 1998; Ansley y Castellano, 2006). No obstante, la mortandad de plantas fue mayor en *P. alpataco* (34-41 %) que en *P. flexuosa* (29-35 %) (Figura 5 y 6).

Diferencias morfológicas y de arquitectura de dosel entre *P. flexuosa* y *P. alpataco* podrían explicar la susceptibilidad diferencial de las mismas a los herbicidas utilizados. Por un lado, la mayor altura de planta de *P. flexuosa*

determina que la distancia a recorrer por el herbicida hasta los puntos de crecimiento sea mayor, lo cual aumenta la probabilidad de metabolización en el recorrido y llegar en menor cantidad a la base del tallo (Jacoby *et al.*, 1990b). Asimismo, parte de la copa se encontraba a mayor altura que la barra de aplicación, determinando un menor ingreso de herbicida a la planta. Sumado a lo anterior, el follaje más tupido de *P. flexuosa* podría haber generado un efecto protector sobre las hojas ubicadas más internamente en el dosel, provocando que menor cantidad de herbicida estuviera disponible para ser absorbido (Eddy *et al.*, 2020). Bovey *et al.* (1998) observaron mayor mortandad de planta de *P. glandulosa* rociadas con clopiralyd y triclopyr cuando se las defolió un 25 % en comparación con plantas no defoliadas. Para la misma especie, Eddy *et al.* (2020) trabajando con herbicidas hormonales observaron menor daño en ejemplares bajos protegidos por ejemplares de mayor altura. También, *P. flexuosa* desarrolla raíces profundas (Alvarez y Villagra, 2010) que responderían más lentamente al calentamiento del suelo, factor influyente en la eficacia de los herbicidas ya que, existe una correlación entre la temperatura del suelo y la respuesta de las especies a los herbicidas. Por ejemplo, en *P. glandulosa* los mejores resultados se obtienen con temperaturas de suelo de ~25 °C a 30 cm de profundidad (Dahl y Sosebee, 1984; Welch, 1995). Las causales sugeridas concuerdan con las argumentadas por Jacoby *et al.* (1990a y b) y Cordoba *et al.* (2008).

Por el contrario, en la aplicación de los tratamientos, los tallos de *P. alpataco* quedaron ubicados por debajo de la barra de pulverización (colocada a una altura de 2,4 m), lo que aumentó la probabilidad de que todas las hojas fueran mojadas, logrando así una aplicación más homogénea. Además, las hojas de mayor tamaño y el follaje más ralo de esta especie generan una superficie de intercepción mayor, aumentando la retención y absorción del herbicida.

Asimismo, entre las especies del género *Prosopis* que habitan la región del Caldenal y Monte en nuestro país, *P. alpataco* es la que menor grosor cuticular presenta (Vega Riveros *et al.*, 2011), lo que contribuiría a explicar su mayor susceptibilidad al tratamiento con herbicida comparado con *P. flexuosa*. La membrana cuticular es el primer obstáculo que debe atravesar cualquier producto químico aplicado sobre la superficie foliar. Constituye una capa

protectora de las partes aéreas de las plantas superiores, compuesta principalmente por cera y cutina, de una fracción de milímetro de espesor, y que limita la pérdida de agua del interior de la planta (Fernández, 1968). La estructura cuticular varía entre las especies (Peláez *et al.*, 1985), por las condiciones ambientales, parte de la planta y estado de desarrollo (Hull *et al.*, 1979; Lallana, *et al.*, 2006). El estado fenológico al momento de la aplicación es otro factor que determina la susceptibilidad de una especie a un herbicida, debido principalmente al desarrollo de las hojas y el espesor de la cutícula. Meyer *et al.* (1972) observaron que los tratamientos con herbicidas hormonales más efectivos sobre *P. glandulosa* ocurrían cuando las hojas estaban totalmente formadas y presentaban un color verde oscuro. Así, por ejemplo, el espesor cuticular de *P. flexuosa* y *P. caldenia* fue menor en noviembre, que en diciembre y enero (Peláez *et al.*, 1985).

De las especies leñosas bajo estudio, *C. microphylla* fue la que menor porcentaje de mortandad de planta (grado de daño 4) presentó. Los mayores porcentajes (48 a 63 %) (Figura 5) de daño se ubicaron en grado 2 (clorosis, necrosis, malformaciones o caída parcial de hojas) aunque, la respuesta de las plantas tratadas fue muy variable. En algunos casos de plantas dispares que crecían a la par, la planta más grande presentó mayores síntomas de fitotoxicidad que la más pequeña, mientras que en otros casos la respuesta se invirtió. Estas respuestas diferenciales podrían deberse a relaciones tallo:raíz diferentes. En plantas con relación tallo:raíz reducida, la cantidad de herbicida que ingresa por el follaje podría ser insuficiente para provocar la muerte de la planta (Rivoir y Mezquita 1975; Jacoby *et al.*, 1990a).

También, al momento de realizar la pulverización, *C. microphylla* presentaba hojas nuevas y viejas, éstas últimas con mayor espesor cuticular y resistencia a la entrada de herbicida, y una copa densa que limita el mojado de las hojas interiores. Para esta especie, la literatura informa diferentes valores de grado de daño, que responderían a diferencias en características (morfo-fisiológicas, anatómicas, fenológicas, estructurales) propias de las plantas, producto químico, dosis aplicada y condiciones ambientales. Cordoba *et al.* (2008) informan grados de daño entre 1 y 3 (escala de 0 a 10) utilizando diferentes herbicidas, combinaciones de los mismos y dosis. Por su parte, Rodríguez (1975) informa

valores de mortandad de planta entre el 70 % y 90 % mediante aplicación de herbicidas hormonales, y Peláez y Bóo (1987) valores de mortandad de planta entre el 80 y 100 %, con los mejores resultados en aplicaciones de diciembre y enero. Por el contrario, Rivoir y Mezquita (1975) no observaron daño por tratamiento químico. Lo atribuyeron al hecho de que se trataron rebrotes de ejemplares grandes quemados hasta el nivel de suelo, incapaces de absorber y transportar a las raíces la cantidad de producto activo suficiente para matar la planta.

Por último, *L. chilense* presentó valores intermedios de mortandad de planta (16 a 23 %) (Figura 5 y 6), prevaleciendo los grados de daño 2 y 3 (malformaciones, caída de hojas, rebrotes). No obstante, la particularidad de esta especie leñosa es su alta preferencia por el ganado, debido a su contenido relativamente alto de proteína y bajo de fibra (Cano, 1988). Por lo tanto, los valores de daño observados se los podría considerar como positivos, ya que un alto grado de daño por control químico podría significar importantes reducciones en la oferta forrajera, principalmente en lugares donde el ramoneo de arbustos adquiere importancia en la dieta del ganado.

Considerando todas las especies leñosas bajo estudio y tratamientos con herbicida en forma conjunta, los mayores porcentajes de daño correspondieron a los grados 2 y 3 (ligeras clorosis, necrosis, malformaciones, caída parcial de hojas a defoliación total, muerte de ramas y/o presencia de rebrotes/tallos verdes). Está sintomatología, por un lado, evidencia la penetración de los herbicidas en las plantas y la inducción de efectos adversos, y por otro la susceptibilidad de las especies. Si bien la mortandad de las leñosas arbustivas indeseables representa el efecto más contundente y esperado del tratamiento con herbicidas, el resto de los daños que causan tienen efectividad en la medida que disturban la fisiología, morfología y crecimiento de las mismas (Eddy *et al.*, 2020). Aún sin causar la muerte de la planta, este tipo de disturbio reduce la habilidad competitiva de las leñosas, liberando recursos (agua, nutrientes, luz) que favorecen el establecimiento y crecimiento de las especies herbáceas deseables.

En *P. glandulosa*, si al menos el 20 % del dosel original sobrevive al tratamiento con herbicida, la dominancia apical generalmente se mantiene

evitando el rebrote de yemas basales (Ansley *et al.*, 2003). Las plantas con rebrotes basales tienen mayor consumo de agua, aumentando su capacidad competitiva (Ansley y Castellano, 2006; Cooper *et al.*, 2020). Con grado de daño 2 la defoliación es parcial y no se produciría una ruptura de la dominancia apical. Esta situación se evidenció en *C. microphylla* para todos los tratamientos con herbicidas, y en *L. chilense* para Pastar Gold 1l/ha y Sendero 3 l/ha.

En las especies donde prevaleció el grado de daño 3, como fue el caso de *P. alpataco*, *P. flexuosa* y *L. chilense* se esperaba que la defoliación total indujera un rebrote desde la base. No obstante, transcurridos 24 meses desde la aplicación de los herbicidas, estas especies no presentaron rebrotes basales, sino tallos y ramas verdes con material muerto entremezclado. Este resultado concuerda con lo informado para *Prosopis reptans*, *Geoffrea decorticans*, *Acacia Caven* y *Prosopis nigra* en un trabajo realizado en el norte argentino, donde luego de 20 meses de la aplicación de Sendero y Pastar Gold se redujo la producción de rebrotes basales en comparación con tratamientos de rolados y testigo (Ledesma *et al.*, 2020b).

En el estrato herbáceo, las poáceas, tanto anuales como perennes, no resultaron dañadas (grado de daño 0) por los herbicidas aplicados (Figura 7). Estos resultados concuerdan con lo esperado por la utilización de herbicidas auxínicos, los cuales permiten el control selectivo de especies dicotiledóneas sin causar efectos negativos sobre las monocotiledóneas (Van Wilgen *et al.*, 2001). Por otra parte, las dicotiledóneas herbáceas evidenciaron diferentes sintomatologías en respuesta a los herbicidas utilizados, prevaleciendo los grados de daño 0 y 4 (Figura 8). La variabilidad del daño podría atribuirse a diferencias en el mojado de las plantas, debido a variaciones del efecto protector del follaje de otras plantas herbáceas o leñosas.

En la primavera posterior a la aplicación de los herbicidas, se observó emergencia de plántulas de dicotiledóneas y poáceas anuales y perennes, sin síntomas de fitotoxicidad (grado de daño 0). Si bien en el presente estudio no se analizó la composición florística post aplicación de los herbicidas, este resultado permite inferir un escaso impacto sobre la composición botánica del estrato herbáceo. Coincidentemente, la aplicación de herbicidas hormonales selectivos

en un bosque nativo de Entre Ríos no tuvo efecto sobre la composición florística del estrato herbáceo (Sabattini *et al.*, 2019).

Los resultados obtenidos muestran un importante impacto negativo de los herbicidas hormonales utilizados sobre la vegetación leñosa arbustiva, particularmente en dos de las especies más problemáticas de la región de estudio: *P. alpataco* y *P. flexuosa*. En estas especies prevalecieron marcadamente los grados de daño 4 (muerte de planta, 34 – 41 % y 29 – 35 %, respectivamente) y 3 (defoliación total, muertes de ramas y rebrotes) (Figura 5 y 6). La defoliación total y muerte parcial del dosel, por un lado retrasa en forma duradera la recuperación de las plantas reduciendo su capacidad competitiva, y por otro lado evita o reduce el rebrote basal por dominancia apical creando un dosel (con menos tallos, más abierto) favorable para el crecimiento de la vegetación herbácea. Los dos grados de daño en forma conjunta contribuyen a la formación de una fisonomía tipo sabana, favorable para la diversidad vegetal y los variados servicios ecosistémicos del sistema pastoril.

Efecto del control de leñosas sobre la producción de biomasa herbácea aérea

El pastizal en estudio, Butti (2015) lo clasificó con una condición regular a buena (método de Huss *et al.*, 1986). Previo a la aplicación de los diferentes tratamientos la biomasa herbácea aérea total (BHAT) fue de ~600 kgMS/ha. Dicha situación es semejante con resultados de otras investigaciones realizadas en la misma área de estudio (Adema *et al.*, 2003; Adema, 2006; Butti, 2015).

En concordancia con lo observado en otros trabajos de control químico de especies leñosas (ej., Wonkka *et al.*, 2016), las poáceas perennes no presentaron síntomas de fitotoxicidad por la aplicación de herbicida, tal como se preveía por el modo de acción de los herbicidas utilizados. Por otra parte, en general, el control químico de las especies leñosas realizado aumentó de manera significativa y/o numérica la producción de BHAT y de biomasa aérea de poáceas perennes (BAPP) con respecto al tratamiento testigo (sin control químico de las especies leñosas) (Figura 9). Los resultados fueron consistentes con los obtenidos mediante control químico de especies leñosas en otros pastizales (ej., Bovey *et al.*, 1972; Kruger, 2014; Sabattini *et al.*, 2019). Las especies

leñosas compiten con el estrato herbáceo por la disponibilidad de recursos como luz, agua y nutrientes (Burkart, 1969; Böker *et al.*, 1989; Smit y Rethamn, 2000). Al disminuir la competencia de las especies leñosas se liberan recursos que son utilizados por las especies del estrato herbáceo (Scholes y Archer, 1997; Ansley *et al.*, 2004; Throop y Archer, 2007; Wonkka *et al.*, 2016), aumentando su producción (Ansley *et al.*, 2004; Ansley y Castellano 2006), tal como sucedió en esta investigación.

La producción de BHAT se vio afectada de manera positiva y significativa por la utilización de herbicidas hormonales transcurridos 6 y 12 meses desde la aplicación de los tratamientos, aumentando la producción entre 15 y 43 % y entre 89 y 134 % (según tratamiento), respectivamente, en comparación con el testigo (Figura 9). A manera de ejemplo comparativo, en un pastizal de la provincia de Entre Ríos, Sabbatini *et al.* (2019) observaron un aumento en la productividad primaria aérea del 77 % en las áreas tratadas con herbicidas respecto a las no tratadas, al reducir la cobertura de *Baccharis punctulata*. Tras 18 meses desde la aplicación (mayo 2019) la BHAT de los tratamientos con control químico no se diferenció estadísticamente del testigo, lo cual podría atribuirse a escasez de precipitaciones en los meses previos al corte (Figura 2) y/o a la alta variabilidad de los datos, ya que numéricamente la BHAT de los tratamientos con aplicación de herbicida fue superior (49-80 %, según tratamiento) a la del testigo (Figura 9). Similarmente, Ansley y Castellano (2006) observaron que el aumento en la producción herbácea de un pastizal en Texas (EEUU) permanecía, habiendo transcurrido 6 a 8 años desde la aplicación de herbicidas hormonales para el control de leñosas.

En lo que respecta a la producción de BAPP, no se observó una respuesta positiva significativa a los tratamientos con herbicidas transcurridos los primeros 6 meses (noviembre 2017 a mayo 2018) desde la aplicación de los mismos. Sin embargo, numéricamente la BAPP de los tratamientos con aplicación de herbicida fue superior (18 al 23 %, según tratamiento) a la del testigo (Figura 9). La escasa respuesta de las poáceas perennes podría haberse debido, al menos en parte, al contraste fenológico entre las especies leñosas caducifolias y las poáceas perennes. Las primeras presentan sus mayores tasas de crecimiento en primavera-verano, mientras que las últimas lo hacen en otoño y primavera

(Distel y Peláez, 1985). Por lo tanto, las poáceas perennes tuvieron un periodo corto de activo crecimiento (dos primeros meses del otoño 2018), durante este primer semestre de evaluación. Además, el tiempo de evaluación puede ser escaso en comparación con el tiempo que necesitan los herbicidas para ejercer toda su acción fitotóxica sobre las especies leñosas (Cottani y Sabattini, 2006), y quedar una mayor cantidad de recursos disponibles para el crecimiento de las herbáceas.

A los 12 meses desde el control químico de las especies leñosas, la producción de BAPP en los tratamientos con aplicación de herbicidas fue 72 % a 124 % mayor (según tratamiento) en comparación con el testigo (Figura 9), lo cual coincidió con buena disponibilidad de agua (Figura 2) para el crecimiento de las poáceas perennes en los meses que presentan su mayor tasa de crecimiento (septiembre, octubre, noviembre) (Distel y Peláez, 1985) y, un mayor tiempo de acción fitotóxica de los herbicidas sobre las especies leñosas, lo cual puede haber dejado mayores recursos para ser utilizados por las poáceas. En un estudio en el Caldenal, Blazquez *et al.* (2020) reportaron que la producción de biomasa área de *Nassella clarazzi* era más baja cuando crecía debajo del dosel de especies leñosas (*Prosopis caldenia* y *Larrea divaricata*), lo que atribuyen posiblemente a una baja tolerancia a la sombra por parte de la especie, es decir, el control de las leñosas permite un mayor ingreso de luz solar, favoreciendo la fotosíntesis.

Finalmente, a los 18 meses desde el control químico de las especies leñosas la producción de BAPP en los tratamientos con aplicación de herbicidas no se diferenció estadísticamente en comparación con el tratamiento testigo, aunque numéricamente fueron entre el 49 % a 80 % (según tratamiento) superior que el testigo (Figura 9). Al igual que lo argumentado para la producción de BHAT, la escasez de precipitaciones en los meses previos al corte (Figura 2) y/o la alta variabilidad de los datos contribuirían a explicar los resultados obtenidos.

Las especies leñosas tienen la capacidad de retener agua de lluvia en su biomasa aérea, la cual por evaporación retorna a la atmósfera y no puede ser utilizada por las especies del estrato herbáceo. Las leñosas como *Chuquiraga erinacea*, *Larrea divaricata* y *Condalia microphylla* tenían una capacidad de retención de agua del 38 %, 26 % y 23 %, respectivamente (Alvarez Redondo,

2015). Al realizar el control de las especies leñosas, el agua pasaría a estar disponible para ser utilizada por el estrato herbáceo, situación que se corrobora en los mayores valores de producción que se obtuvieron de BHAT y BAPP en los tratamientos con herbicidas frente al testigo, principalmente en el año con mayor restricción pluviométrica (2019) (Figura 2).

En teoría, hasta un cierto valor de cobertura de especies leñosas, la producción de las especies herbáceas no estaría afectada de manera negativa (Warren *et al.*, 1996; Ansley *et al.*, 2004; Ansley y Castellano, 2006). A modo de ejemplo, Blazquez *et al.* (2020) informan mayor producción de biomasa aérea de *Piptochaetium napostaense* en plantas ubicadas debajo del dosel de *L. divaricata* con respecto a las ubicadas en áreas abiertas. Los mayores contenidos de nutrientes, la disponibilidad de agua en el suelo y la mayor eficiencia en la utilización de los recursos disponibles, explicarían los mayores valores de producción de las especies herbáceas que crecen debajo de las leñosas (Dawson, 1993; Pugnaire, *et al.*, 1996; Scholes y Archer, 1997; House *et al.*, 2003; Ludwig, *et al.*, 2004). Por el contrario, un valor elevado de cobertura de especies leñosas, la producción herbácea comenzaría a disminuir. Este modelo conceptual presenta alta implicancia práctica, e indica la importancia de conocer el valor umbral de cobertura de especies leñosas en cada sistema en particular.

En síntesis, la utilización del control químico de especies leñosas en busca de revertir la degradación del pastizal, mostró resultados alentadores. El aumento en la producción del estrato herbáceo, sin ningún síntoma de fitotoxicidad en las poáceas perennes, permitiría aumentar la producción ganadera de la zona, en coincidencia con lo expresado por diferentes autores en investigaciones en otras regiones del país y del mundo (Tiedemann y Klemmedson, 1977; Jacoby y Meadors, 1982; Ueckert, *et al.*, 1982; Cottani y Sabbattini, 2006; Sabbattini *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES GENERALES Y PROYECCIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de tesis fueron consistentes con la hipótesis: la aplicación de herbicidas hormonales en ambientes de pastizales lignificados del ecotono Caldenal – Monte Occidental posibilita el control de especies leñosas, sin perjudicar a las poáceas perennes y aumentando la producción del estrato herbáceo.

Aquellas especies leñosas que en mayor medida contribuyen al proceso de lignificación (*Prosopis alpataco*, *Prosopis flexuosa*, *Condalia microphylla* y *Lycium chilense*), las que lo hacen en menor medida (*Lycium gillesianum*, *Prosopidastrum globosum*, *Verbena seriphioides*, *Acantholippia seriphioides* y *Chuquiraga erinacea*) y las dicotiledóneas herbáceas, mostraron ser afectadas en distintos grados por los herbicidas y dosis utilizadas, resultando en diferentes grados de control. Los porcentajes de mortandad de planta observados en las especies leñosas problemáticas de la región de estudio estuvieron en el rango de valores informados para otras especies leñosas en otros pastizales de Argentina y el mundo. En las dos especies más problemáticas, *P. flexuosa* y *P. alpataco*, la mortandad de plantas varió entre 29 a 35 % y 34 a 41 % (Figura 5 y 6), respectivamente, según tipo y dosis de herbicida aplicado. Si bien la mortandad constituye el grado de daño terminal, el resto de los daños observados en la presente investigación (ej., defoliación, clorosis, malformaciones) alteran la fisiología y morfología de la planta retardando su crecimiento. Aún sin causar la muerte, este tipo de daño reduce la habilidad competitiva de las especies leñosas, liberando recursos que favorecen el establecimiento y crecimientos de las poáceas.

Las poáceas, tanto anuales como perennes, no resultaron dañadas. La selectividad mostrada por los herbicidas, sumado a la disminución de la captura de recursos por parte de las especies leñosas producto del control, quedó reflejado en un aumento de la producción de biomasa herbácea aérea total y de las poáceas perennes. En estas últimas, el control químico de las leñosas resultó en un incremento de la producción de biomasa aérea del 18 al 23 % a los 6 meses, del 72 al 124 % a los 12 meses y del 49 al 80 % a los 18 meses, desde la aplicación de los herbicidas (Figura 9).

Por otra parte, está investigación también ha generado interrogantes, y alumbrando potenciales líneas de investigación para el futuro. Una de las líneas que cobra gran importancia es la de evaluar la calidad de la aplicación en las diferentes especies leñosas y en el estrato herbáceo. Para esto, cuando se realiza la pulverización se colocan tarjetas hidrosensibles a distintas alturas dentro de las especies leñosas y en las herbáceas, para luego por medio de programas especializados obtener los índices de diámetro volumétrico medio, diámetro numérico medio, coeficiente de dispersión y cobertura. Estos datos contribuirían a la interpretación de los resultados obtenidos, y servirían para ajustar la calibración en aplicaciones futuras.

Una segunda línea de investigación propuesta es conocer la temperatura de suelo óptima para cada especie leñosa problema del Caldenal y Monte Occidental, ya que, existe una correlación entre la temperatura del suelo y la respuesta de las especies a los herbicidas.

En tercer lugar, se propone ahondar en el conocimiento del espesor de la membrana cuticular, dado que esta es la primera barrera que tiene que sortear cualquier herbicida para penetrar en la planta. El espesor de la misma varía según la especie, parte de la planta, estado de desarrollo y condiciones ambientales. Por lo cual, conocer la variación del espesor cuticular en el transcurso del ciclo anual de crecimiento de las especies leñosas de interés, en correlación con las condiciones ambientales, aportaría información valiosa para determinar la época más apropiada de aplicación de herbicidas. También, en aquellas especies perennifolias (ej., *C. microphylla*) coexisten hojas de diferentes edades, que presentan diferente espesor cuticular, por lo cual determinar un valor de la relación hojas nuevas/viejas en la cual la aplicación provoque mayores mortandades de planta constituirá una información valiosa para futuras aplicaciones.

La cuarta línea de investigación que surge es determinar la duración del efecto beneficioso del control químico. Continuar con el seguimiento del pastizal en lo referido a producción de biomasa aérea, evolución de las especies leñosas y composición botánica durante un periodo de tiempo mayor al que duró la presente investigación, aportaría información valiosa.

Finalmente, y considerando el aprovechamiento del pastizal para la producción animal, es importante enfatizar que el control de leñosas debe complementarse con el manejo adecuado del pastoreo, principalmente en lo referido a la carga animal. El manejo del pastoreo debe planificarse de forma que las poáceas perennes preferidas mantengan un estado de vigor que posibilite la expresión de su potencial productivo, reproductivo y competitivo. En este sentido se resalta la importancia de adecuados tiempos de pastoreo y de descanso. Adecuado tiempo de pastoreo es el que evita el consumo de rebrote, y no sobrepasa el nivel mínimo de biomasa residual a la defoliación que protege al suelo y facilita el rebrote. En tanto adecuado tiempo de descanso es el que permite la recuperación plena de los pastos entre eventos sucesivos de pastoreo. Para poder regular de manera adecuada los tiempos de pastoreo y descanso es central contar con un adecuado apotramiento y distribución de agua para consumo ganadero. En lo que respecta al manejo de la carga animal, la clave es la flexibilidad, para poder modificarla con facilidad y ajustarla a los cambios en la disponibilidad forrajera.

BIBLIOGRAFÍA

- Adema, E. (2006). Recuperación de pastizales mediante rolado en el Caldenal y Monte Occidental. *Publicación Técnica*, (65), 52.
- Adema, E. O., Buschiazzo, D. E., Babinec, F. J., Rucci, T. E., & Gomez Hermida, V. F. (2004). Mechanical control of shrubs in a semiarid región of Argentina and its effect on soil water content and grassland productivity. *Agricultural Water Management*, 68(3), 185-194.
- Adema, E. O., Buschiazzo, D. E., Babinec, F. J., Rucci, T., & Gómez Hermida, V. F. (2003). Balance de agua y productividad de un pastizal rolado en Chacharramendi, La Pampa. *Publicación Técnica*, (50), 20.
- Alvarez Redondo, M. P. (2015). *Efecto del dosel de los arbustos sobre la intercepción de lluvia en la región semiárida central de Argentina* [Tesis de Magister, Universidad Nacional de La Pampa]. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/939> .
- Alvarez, J. A. & Villagra, P. E. (2010). *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosoideae). *Kurtziana*, 35(1), 47-61.
- Anadón, J. D., Sala, O. E., Turner, B. L., & Bennett, E. M. (2014). Effect of woody-plant encroachment on livestock production in North and South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(35), 12948–12953.
- Andersen, B. (2012). Water quality effects herbicides effectiveness. Saskatchewan Agriculture.
- Ansley, R. J., & Castellano, M. J. (2006). Strategies for savanna restoration in the southern great plains: effects of fire and herbicides. *Restoration Ecology*, 14(3), 420-428.
- Ansley, R. J., Kramp, B. A., & Jones, D. L. (2003). Converting mesquite thickets to savanna through foliage modification with clopyralid. *Journal of Range Management Archives*, 56(1), 72–80.

- Ansley, R. J., Pinchak, W. E., Teague, W. R., Kramp, B. A., Jones, D. L., & Jacoby, P. W. (2004). Long-term grass yields following chemical control of honey mesquite. *Journal of Range Management*, 57(1), 49–57.
- Archer, S. (1994). Woody plant encroachment into southwestern grasslands and savannas: Rates, patterns and proximate causes. En M., Vavra, W., Laycock, R., Pieper, & C. O Denver (Eds), *Ecological implications of livestock herbivory in the west*, Society for Range Management.
- Archer, S. (2010). Rangeland conservation and shrub encroachment: new perspectives on an old problem. *Wild Rangelands: Conserving Wildlife While Maintaining Livestock in Semi-Arid Ecosystems*, 53-97.
- Archer, S. R., Andersen, E. M., Predick, K. I., Schwinning, S., Steidl, R. J. & Woods, S. R. (2017). Woody plant encroachment: causes and consequences. En D. D., Briske (Ed), *Rangeland Systems: Processes, Management and Challenges* (25-84).
- Archer, S., Schimel, D. S., & Holland, E. A. (1995). Mechanisms of shrubland expansion: land use, climate or CO₂? *Climatic Change*, 29(1), 91–99.
- Asner, G. P., Archer, S., Hughes, R. F., Ansley, R. J. & Wessman, C. A. (2003). Net changes in regional woody vegetation cover and carbon storage in Texas drylands, 1937–1999. *Global Change Biology*, 9(3), 316–335.
- Asner, G. P., Elmore, A. J., Olander, L. P., Martin, R. E. & Harris, A. T. (2004). Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annual Review of Environment and Resources*, 29, 261–299.
- Auld, T. D. (1990). Regeneration in populations of the arid zone plants *Acacia carnei* and *A. oswaldii*. *Proceedings of the Ecology Society of Australian*, 16, 267-272.
- Belsky, A. J., Amundson, R. G., Duxbury, J. M., Riha, S. J., Ali, A. R. & Mwonga, S. M. (1989). The effects of trees on the their physical, chemical and

biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology*, 1005-1024.

Bissio, J. C., & Luisoni, L. H. (1984). Respuesta de un pastizal natural invadido por chañar *Geoffroea decorticans* (Gill) Burkart, a la aplicación de un arbusticida. *Publicación Técnica* (4), 1984 -1994.

Blanco, L. (2006). Proyecto específico de los proyectos propios de la red: Evaluación de los recursos forrajeros naturales. Proyecto propio de la red: manejo sostenible de los pastizales naturales. Res Área estratégica forrajes y pasturas. INTA. 25

Blazquez F. R., Peláez, D. V., Andrioli, R. J., & Elia, O.R. (2020). Influence of woody species on aboveground biomass production and quality of two perennial grasses in semi-arid rangelands of central Argentina. *Russian Journal of Ecology*, 51(1), 90–98.

Böker, R., Gulielmetti, B., & Knudtsen, O. (1989). Control de malezas leñosas en pasturas. *Revista de la Sociedad Rural de Jesús María*, 53, 45-48.

Bóo, R. M., Peláez, D. V., Bunting, S., Elía, O., & Mayor, M. D. (1997). Effect of fire on woody species in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments*, 35(1), 87-94.

Bovey, R. W. (2001). *Woody Plants and Woody Plant Management: Ecology, Safety, and Environmental ImPatt*. CRC Press.

Bovey, R. W., Haas, R. H., & Meyer, R. E. (1972). Daily and seasonal response of huisache and Macartney rose to herbicides. *Weed Science*, 20(6), 577–580.

Bovey, R. W., Pace, P. F., & Cralle, H. T. (1998). Effect of hand defoliation on herbicide efficacy in honey mesquite. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 51(4), 432-435.

- Brassiolo, M., Lorea, L., González, D. P., & Zárate, M. H. (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.
- Brown, J. R. & Thorpe, J. (2008). Climate change and rangelands: responding rationally to uncertainty. *Rangelands*, 30(3), 3-6.
- Browning, D., & Archer, S. (2011). Protection from livestock fails to deter shrub proliferation in a desert landscape with a history of heavy grazing. *Ecological Applications*, (21)5, 1629-1642.
- Buitenwerf, R., Bond, W. J., Stevens, N., & Trollope, W. (2012). Increased tree densities in South African savannas: > 50 years of data suggests CO₂ as a driver. *Global Change Biology*, 18(2), 675–684.
- Burkart, A. (1969). Leguminosas nuevas o críticas, VII. *Darwiniana*, 15(3-4), 501-549.
- Butti, L. R. (2015). *Composición botánica de la dieta de novillitos en un pastizal rolado en la región semiárida central de Argentina* [Tesis de Magister, Universidad Nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2737>.
- Campbell, B. D., & Stafford Smith, D. M. (2000). A synthesis of recent global change research on pasture and range production: Reduced uncertainties and their management implications. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1-3), 39–55.
- Carrancio, L. A., & Massaro, R. A. (2019). El Delta T (Δt) como indicador del ambiente meteorológico para pulverizaciones. *INTA EEA Oliveros*, 7, 193-201.
- Case, M. F., & Staver, A. C., (2017). Fire prevents woody encroachment only at higher-than-historical frequencies in a South African savanna. *Journal of Applied Ecology*, 54(3), 955–962.

- Cooper, C. E., Zhang, T., & Ansley, R. J. (2020). Honey Mesquite water relations and gas exchange following herbicide-induced morphological change. *Rangeland Ecology & Management*, 73(5), 673-686.
- Cordoba, L., Adema, E., Babinec, F., Rodríguez, N., & Ernst, R. (2008). Control químico de arbustos para prevenir la destrucción de alambrados por incendios. *Publicación Técnica*, (75), 40.
- Cornelius, R., & Schultka, W. (1997). Vegetation structure of a heavily grazed range in northern Kenya: ground vegetation. *Journal of Arid Environments*, 36(3) 459-474.
- Cottani, F., & Sabattini, R. A. (2006). Notas: Manejo y control de arbustivas en un pastizal con alta carga animal en pastoreo rotativo. *Revista Científica Agropecuaria*, 10(2), 109-120.
- Dahl, B. E., & Sosebee, R. E. (1984). Timing-the key to herbicidal control of mesquite. Manage. Texas Tech University.
- Dawson, T. E. (1993). Hydraulic lift and water use by plants: Implications for water balance, performance and plantplant interactions. *Oecologia*, 95(4), 565–574.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., & Tablada, M., Robledo, C. W. (2019). InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Distel, R. A., & Peláez, D. V. (1985). Fenología de algunas especies del distrito del Caldén, *Prosopis caldenia* Burk. *IDIA*, 35-40.
- Eddy, J. D., Stockbridge, D., Hart, C. R., Cross, J. G., & Luna, R. S. (2020). Herbicide treatment of Western honey mesquite. *Rangelands*, 42(6), 179-190.

- Ernst, R., Morici, E., Estelrich, H., Muiño, W., & Ruiz, M. D. L. A. (2015). Efecto de la quema controlada sobre el banco de semillas de gramíneas en diferentes parces del bosque de caldén en la región semiárida central Argentina. *Archivos de Zootecnia*, 64(247), 245-254 pp.
- Estelrich, H. D., Fernández, B., Morici, E. F. A., & Chirino, C. (2005). Persistencia de los cambios provocados por los fuegos controlados en diferentes estructuras del bosque de caldén (*Prosopis caldenia* Burk.). *Semiárida*, 16(1/2), 23-30.
- Etiennot, A., & Piazza, A. (2010). Buenas prácticas de aplicación en cultivos planos extensivos. Distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones. *Acta Toxicológica Argentina*, 18(2), 40-53.
- FAO, F. (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAOSTAT, <https://www.fao.org/faostat/en#data>.
- Fernández, O. A. (1968). Penetración foliar de herbicidas. *Ciencia e investigación*, 24(12), 547-559.
- García Torres, L., & Fernandez-Quintanilla, C. (1991). Comportamiento de los herbicidas en la planta. *Fundamentos sobre Malas Hierbas y Herbicidas*. Madrid, Mundi-Prensa, 129-157.
- Grice, A. C., & Hodgkinson, K. C. (2002). Challenges for rangeland people. *Global Rangelands: Progress and Prospects*, CABI Publishing, New York, 1-11.
- Grossmann, K. (2010). Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 66(2), 113–120.
- Grover, H. D., & Musick, H. B. (1990). Shrubland encroachment in southern New Mexico, USA: an analysis of desertification processes in the American Southwest. *Climatic Change*, 17(2-3), 305–330.

- Hamilton, W. T., McGinty, A., Ueckert, D. N., Hanselka, C. W., & Lee, M. R. (2004). *Brush management: Past, present, future* (Vol. 7). TX: Texas A&M University Press.
- Holdo, R. M., Mack, M. C., & Arnold, S. G. (2012). Tree canopies explain fire effects on soil nitrogen, phosphorus and carbon in savanna ecosystem. *Journal of Vegetation Science*, 23(2), 352-360.
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35.
- House, J. I., Archer, S. Breshears, D. D., & Scholes, R. J. (2003). Conundrums in mixed woody-herbaceous plant systems. *Journal of Biogeography*, 30(11), 1763-1777.
- Hull, H. M., West, T. W., & Blackman, C. A. (1979). Environmental modification of epicuticular wax structures of *Prosopis* leaves. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science*, 14(2), 39-42.
- INTA. Provincia de La Pampa, UNLPam. (1980). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa, 493.
- Jackson, L. E., Strauss, R. B., Firestone, M. K., & Bartolome, J. W. (1990). Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 32(1-2), 89-105.
- Jacoby, P. W., & Meadors, C. H. (1982). Control of sand shinnery oak (*Quercus havardii*) with pelleted picloram and tebuthiuron. *Weed Science*, 30(6), 594-597.

- Jacoby, P. W., Ansley, R. J., Meadors, C. H., & Cuomo, C. J. (1990a). Control of honey mesquite with herbicides: influence of stem number. *Journal of Rangeland Ecology & Management*, 43(1), 36-38.
- Jacoby, P. W., Meadors, C. H., & Ansley, R. J. (1990b). Control of honey mesquite with Herbicides: influence of plant height. *Journal of Rangeland Ecology & Management*, 43(1), 33-35.
- Jacyszyn, B., & Pittaluga, A. (1977). Suelos del área de Chacharramendi, provincia de La Pampa. *INTA. Departamento de Suelos. Castelar*, 42.
- Knudtsen, O. (1983). El uso de arbusticidas para mejorar la producción de forraje y el manejo del ganado en campos de cría con malezas leñosas. *II Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas. Villa Dolores, Córdoba (Argentina)*. 15-16 Abril 1983.
- Kogan Alterman, M., & Pérez Jones, A. (2003). Herbicidas: fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. 1ª. edición. Santiago, Chile, *Universidad Católica de Chile*.
- Kruger, R. A. (2014). *Manejo y control de Baccharis punctulata (chilca blanca) para la recuperación productiva del pastizal natural en un monte sometido a pastoreo rotativo con alta carga instantánea*. [Trabajo Final de Graduación Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias].
- Kulmatiski, A., & Beard, K. H. (2013). Woody plant encroachment facilitated by increased precipitation intensity. *Nature Climate Change*, 3(9), 833–837.
- Lallana, M.D. C., Billard, C. E., Elizalde, J. H., & Lallana, V. H. (2006). Breve revisión sobre características de la cutícula vegetal y penetración de herbicidas. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 33, 229-241.
- Ledesma, R., Saracco, F., Gerlero, G., Wolf Celoné, U. I., Valiente, S., Silvetti, J. G., & Díaz Falú, E. (2020a). Cambios en la estructura aérea de las leñosas arbustivas luego de la aplicación de tratamientos químicos y rolado en un

- sitio de pastizal del Chaco semiárido, Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal*, 40(1), 129.
- Ledesma, R., Saracco, F., Gerlero, G., Wolf Celoné, U. I., Valiente, S., Silvetti, J. G., & Díaz Falú, E. (2020b). Evaluación del rebrote de leñosas arbustivas luego de la aplicación de tratamientos químicos y rolado en un sitio el Chaco semiárido, Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal*, 40(1), 128.
- Leiva, A. P. D. (2013). Ámbito de recomendación de aditivos o coadyuvantes en pulverizaciones agrícolas. *INTA Pergamino*.
- Llorens, E. M., & Frank, E. O. (1999). Aspectos ecológicos del estrato herbáceo del caldenal y estrategias para su manejo. AACREA, *Subsecretaria de Asuntos Agrarios-Provincia de La Pampa, E.E.A. INTA Anguil*.
- Ludwig, F., de Kroon, H., Berendse, F., & Prins, H. H. (2004). The influence of savanna trees on nutrient, water, light availability, and the understory vegetation, *Plant Ecology*, 170(1), 93-105.
- Madany, M. H., & West, N. E. (1983). Livestock grazing-fire regime interactions within montane forests of Zion National Park, Utah. *Ecology*, 64(4), 661–667.
- Marchesini, E. (2003). Control de chilca. Hoja Informativa Electrónica. *Publicación Técnica*, (87), 25.
- Maroder, H. L., & Prego, A. I. (1986). Aspectos fisiológicos del control químico en “vinal” (*Prosopis ruscifolia* Gris.). Características de la foliación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias. INTA*, 21(1), 11-16.
- Martín, J., Adema, E., Aimar, S., & Babinec, F. (2008). Efecto del rolado sobre propiedades fisicoquímicas del suelo en el ecotono Caldenal – Monte Occidental. *Publicación Técnica*, (76), 29.

- Matthews, G. A. (1988). Métodos para la aplicación de pesticidas. 2^{da} Edición. *Compañía Editorial Continental, SA de CV, México.*
- Meyer, R. E., Bovey, R. W., McKelvy, W. T., & Riley, T. E. (1972). Influence of plant growth stage and environmental factors on the response of honey mesquite to herbicide. *Texas FARMER Collection.*
- Mitchell, R., Whisenant, S., & Sosebee, R. (2004). *A paradigm shift. Brush Management-Past, Present and Future*, 67–75.
- Nazar Anchorena, J. B. (1990). Fuegos controlados, parámetros para determinar la conveniencia del uso de fuegos controlados sobre las pasturas naturales. Universidad Nacional de La Pampa. *Revista Facultad de Agronomía*, 5, 127-129.
- Peláez, D. V., & Bóo, R. M. (1987). Relación de algunos factores ambientales y morfológicos con la aplicación de herbicidas en cinco especies arbustivas del *Caldenal*. *Malezas-ASAM (Argentina)*, 15(1), 5-33.
- Peláez, D. V., Andrioli, R. J., Elía, O. R., Bontti, E. E., & Tomas, M. A. (2012). Response of woody species to different fire frequencies in semiarid rangelands of central Argentina. *The Rangeland Journal*, 34(2), 191-197.
- Peláez, D. V., Blazquez, F. R., & Andrioli, R. J. (2021). Twenty-five years of fire research in the temperate semi-arid rangelands of central Argentina: a synthesis. *Russian Journal of Ecology*, 52, 49–58.
- Peláez, D. V., Bóo, R. M., & Elía, O. R. (1985). Variación del espesor cuticular de cinco especies arbustivas del sur del *Caldenal*, provincia de La Pampa, Argentina. *Revista Facultad de Agronomía*, 6, 177-182.
- Pugnaire, F. I., Haase, P., Puigdefábregas, J., Cueto, M., Clark, S. C., & Incoll, L. D. (1996). Facilitation and succession under the canopy of a leguminous shrub, *Retama sphaerocarpa*, in a semi-arid environment in south-east Spain, *Oikos*, 76(3), 455–464.

- Puricelli, E. C. J., & Arregui, M. C. (2013). Mecanismo de acción de plaguicidas. ISSN 978-987-702-017-5. Ed UNR.
- QGIS. 2022. QGIS 3.22. Geographic Information System Developers Manual. QGIS Association. Electronic document: https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/developers_guide/index.html
- Rabotnikof C. M., Sáenz, A. M., Morici, E. F. A., & Lentz, B. C. (2013). Efecto de la quema invernal sobre el valor nutritivo de especies codominantes del pastizal mixto del Caldenal en la región semiárida central de Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 22, 67-72.
- Reynolds, J. F., Maestre, F. T., Kemp, P. R., Stafford-Smith, D.M., & Lambin, E. (2007). Natural and human dimensions of land degradation in drylands: causes and consequences. *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*, 247–257.
- Rivoir, D. N., & Mezquita, P. (1975). Control de rebrote de la vegetación leñosa en la zona de monte mediante uso de herbicidas. En: Empleo del fuego para la conservación del monte en la región semiárida pampeana. Dpto. de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur.
- Roberto Z. E, Casagrande, G., & Viglizzo, E. (1994). Lluvias en la Pampa central, tendencias y variaciones del siglo. *INTA. Centro Regional La Pampa-San Luis. Publicación*, 2, 25.
- Rodríguez Rey, J. C., & Rovati, A. S. (1981). Recuperación de pasturas naturales en montes, mediante el uso de herbicidas hormonales. *Revista Avance Agroindustrial EEAOC*, 2(5), 19-23.
- Rodríguez Rey, J. C., & Rovati, A. S. (1983). Habilitación de pasturas naturales en el Noroeste Argentino mediante la aplicación aérea del herbicida Tordón 12-E. *II Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas*, 295-305.

- Rodriguez, N. M. (1975). Control de malezas leñosas en la región semiárida pampeana. Estación Experimental Anguil, INTA, La Pampa.
- Rodríguez, N. M. (2000). Calidad de agua y agroquímicos. *Boletín de Divulgación Técnica*, 68, 1-24.
- Rollhauser, M., & 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. [Trabajo final de graduación, Facultad de Agronomía Universidad Nacional de La Pampa].
- Sabattini, J. A., Sabattini, R. A., Urteaga Omar, F., Bacigalupo, M., Cian, J. C., Sabattini, I. A.; & Dopazo, V. M. (2019). Recuperación del pastizal natural en un bosque nativo degradado del Espinal argentino mediante el control químico aéreo de arbustivas. *Investigación Agraria*, 21(2), 93-107.
- Saggar, S., Luo, J., Giltrap, D. L., & Maddena, M. (2009). Nitrous oxide emissions from temperate grasslands: processes, measurements, modelling and mitigation. Nitrous oxide emissions research progress. *Environmental Science, Engineering and Technology Series. Nova Science Publishers, New York, USA*, 1-66.
- Sala, O. E., & Maestre, F. T. (2014). Grass–woodland transitions: determinants and consequences for ecosystem functioning and provisioning of services. *Journal of Ecology* 102(6), 1357–1362.
- Sala, O. E., Vivanco, L., & Flouham, P. (2013). Grassland Ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*, 4, 1-7.
- Sanyal, D., Bhowmik, P. C., & Reedy, K. N. (2006). Leaf characteristic and surfactants affect primisulfuron droplets spread in three broadleaf weeds. *Weed Science*, 54(1), 16-22.
- Scholes, R. J., & Archer, S. R. (1997). Tree-grass interactions in savannas. *Annual review of Ecology and Systematics*, 28(1), 517-544.

Smit, G. N., & Rethman, N. F. G., (2000). The influence of tree thinning on the soil water in a semi-arid savanna of southern Africa. *Journal Of Arid Environments*, 44(1), 41-59.

The World Flora Online. <http://www.worldfloraonline.org/>.

Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94

Throop, H. L., & Archer, S. R. (2007). Interrelationships among shrub encroachment landmanagement and litter decomposition in a semidesert grassland. *Ecological Applications*, 17(6), 1809-1823.

Tiedemann, A. R., & Klemmedson, J. O. (1977). Effect of mesquite tree on vegetation and soil in the desert grassland. *Rangeland Ecology & Management/Jornal of Range Management Archives*, 30(5), 361-367.

Tolozano, B., Pisani, J. M., & Puricelli, E. C. (2017). Control mecánico y químico de *Tessaria dodoneifolia* (Hook. et Arn.) Cabrera (chilca dulce). *RIA Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43(2), 128-134.

Ueckert, D. N., Jacoby, P. W., & Hartmann, S. (1982). Tarbusch and forage response to selected pelleted herbicides in the westerns Edwards Plateau. *Texas FARMER Collection*, 1393, 6.

Van Auken, O. W. (2000). Shrub invasions of North American semiarid grasslands. *Annual review of ecology and systematics*, 31(1),197-215.

Van Wilgen, B., Richardson, D., & Higgines, S. I. (2001). Integrated control of invasive alien plants in terrestrial ecosystems. *Land Use and Water Resources Research*, 1.

Vázquez P. M., Adema, E. O., Llorens, E., Butti, L. R, Poey, M. S., Stefanazzy, I. N., & Babinec, F. J. (2016). Modelado y predicción de la productividad neta de forraje en el árido-semiárido de la provincia de La Pampa. *Publicación Técnica*, 102, 35.

- Vega Riveros, C., Meglioli, P. A., & Villagra, P. E. (2011). *Prosopis alpataco* Phil. (Fabaceae, Mimosoideae). *Kurtziana*, 36(2), 53-64.
- Warren, A., Holocheck, J., & Cardenas, M. B. (1996). Honey mesquite influences on Chihuahuan desert vegetation. *Journal of Range Management*, 49, 46-52.
- Welch, T. G. (1995). Chemical weed and brush control suggestions for rangeland. The Texas A&M University System, Texas, 20, 1466.
- Westoby, M., Walker, B., & Noy-Meir, I. (1989). Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 42(4), 266-274.
- Wonkka, C. L., West, J. B., Twidwell, D., & Rogers, W. E. (2016). Grass mortality and turnover following core rangeland restoration practices. *Rangeland Ecology & Management*, 70(3), 290-300.

APÉNDICE

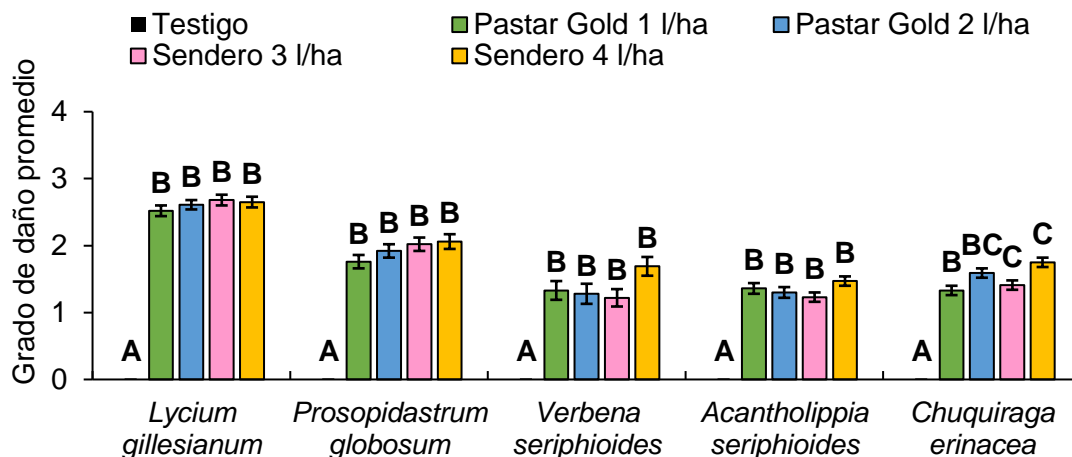


Figura 10. Grado de daño promedio observado en *Lycium gillesianum*, *Prosopidastrum globosum*, *Verbena seriphioides*, *Acantholippia seriphioides* y *Chuquiraga erinacea* para cada tratamiento. En cada especie, letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las medias comparadas. Cada valor representa el promedio de 12 fechas de lecturas y 3 réplicas. En cada columna la barra por encima y por debajo representa ± 1 error estándar.

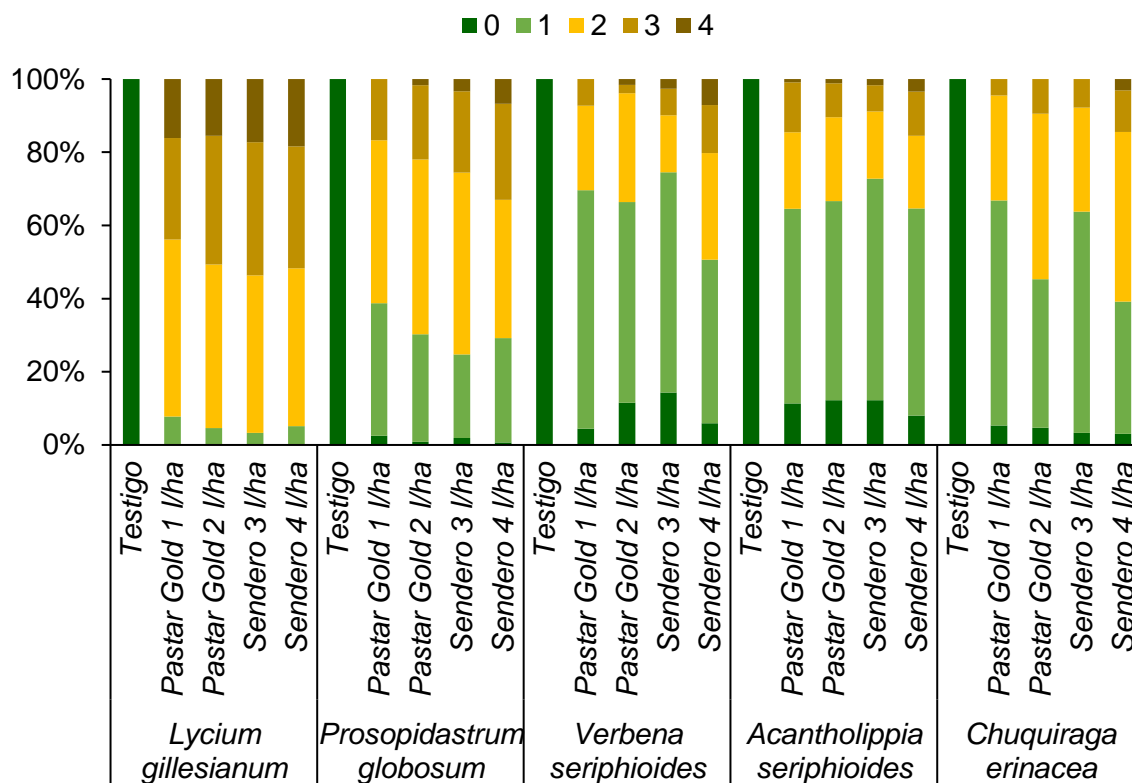


Figura 11. Contribución porcentual de cada nivel de daño al grado de daño promedio en *Lycium gillesianum*, *Prosopidastrum globosum*, *Verbena seriphioides*, *Acantholippia seriphioides* y *Chuquiraga erinacea* por tratamiento. Cada columna representa el porcentaje en las 12 fechas de muestreo y 3 réplicas.