

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL MANEJO DEL PASTOREO EN LA RECRÍA DE BORREGAS EN
CAMPO NATURAL**

por

Fernanda BENTANCUR COPPETTI

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2025**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
"Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**".



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Zoot. (Dr.) Jean Víctor Savian.

Co-director:

Ing Agr. (Dr.) Javier García Favre.

Tribunal:

Zoot. (Dr.) Jean Fedrigo

Ing Agr. (Mag.) Amparo Quiñones

Fecha:

23 de mayo de 2025

Estudiante:

Fernanda Bentancur Coppetti

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía y a INIA Treinta y Tres, por brindarme la oportunidad y los medios para desarrollar mi formación académica. En especial, a INIA por hacer posible la realización de la etapa práctica de este Trabajo Final de Grado.

Al director de este trabajo, Zoot. (Dr.) Jean Savian, y al co-director Ing Agr. (Dr.) Javier García Favre, por su dedicación, guía, conocimientos y el valioso aprendizaje compartido a lo largo de estos años.

A los funcionarios de INIA Treinta y Tres, especialmente al equipo del área de pasturas, y en particular a Darío Piccioli y Jhon Jackson, por su constante disposición y apoyo durante la etapa práctica.

A mi familia, por acompañarme y sostenerme en todo momento, siendo pilares fundamentales a lo largo de toda la carrera.

A mis amigas y compañeros, por el apoyo incondicional y por los momentos inolvidables compartidos durante esta etapa tan significativa de mi vida.

TABLA DE CONTENIDOS

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 EL CAMPO NATURAL.....	12
2.2 EL CAMPO NATURAL EN SIERRAS Y LOMADAS DEL ESTE	13
2.3 MANEJO DEL PASTOREO.....	14
2.3.1 Manejo del pastoreo en sistemas heterogéneos	16
2.3.2 Cómo el manejo y los animales afectan la vegetación	16
2.3.3 Cómo la estructura de la pastura afecta el comportamiento ingestivo de los animales.....	18
2.4 PRODUCCIÓN VEGETAL SOBRE CAMPO NATURAL.....	20
2.5 PRODUCCIÓN ANIMAL SOBRE CAMPO NATURAL	22
2.6 RECRÍA OVINA EN CAMPO NATURAL	24
3. HIPÓTESIS	26
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL ...	27
4.1.1 Características del suelo	27
4.1.2 Composición florística.....	27
4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	28
4.3 ANIMALES Y MANEJO	29
4.4 MEDICIONES Y ESTIMACIONES.....	30
4.4.1 Altura del pasto	30
4.4.2 Masa de forraje.....	30
4.4.4 Ganancia de peso vivo animal	31
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1 DATOS METEOROLÓGICOS	33
5.2 ESTRUCTURA DEL FORRAJE	34
5.2.1 Altura	34
5.2.2 Masa de forraje.....	38

5.3 PRODUCCIÓN ANIMAL.....	41
5.3.1 Carga animal, número de animales y unidades ganaderas por área.....	41
5.3.2 Ganancia animal individual.....	44
5.3.3 Ganancia de peso animal por área.....	47
6. CONSIDERACIONES FINALES.....	49
7. CONCLUSIONES.....	51
8. BIBLIOGRAFÍA.....	52
9. ANEXOS.....	59

LISTA DE TABLA Y FIGURAS

Tabla No.	Página
Tabla 1 Lista de las diez especies más abundantes del ensayo	28
Figura No.	Página
Figura 1 Distribución de bloques y tratamientos del ELP	29
Figura 2 Precipitaciones y temperatura del ELP (2021-2024) y su comparación con las medias históricas.....	33
Figura 3 Gráfico de densidad para las alturas promedio de pasto por tratamiento, para cada periodo.....	34
Figura 4 Gráfico de densidad para las alturas promedio en cada tratamiento para cada año de evaluación.....	36
Figura 5 Gráfico de cajas de alturas promedio por tratamiento en el periodo de evaluación (2021-2024)	37
Figura 6 Masa de forraje promedio (kg MS/ha) por tratamiento y año de evaluación..	38
Figura 7 Gráfico de barras para masa de forraje promedio (kg MS/ha) por tratamiento, 2021-2024)	40
Figura 8 Gráfico de barras para la carga animal por tratamiento, 2021-2024.....	41
Figura 9 Gráfico de cajas de carga animal por tratamiento en cada periodo de evaluación.....	43
Figura 10 Evolución del peso vivo promedio de las borregas, 2021-2024.....	44
Figura 11 Gráfico de barras para la ganancia de peso promedio (kg/animal/día) por tratamiento, 2021-2024	46
Figura 12 Gráfico de barras para la ganancia animal por área promedio de todo el periodo de evaluación, durante la estación de pastoreo (240 días).....	47

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA Treinta y Tres, Uruguay (33°15'10"S, 54°30'15"O, a 45 m de altitud), en la Región Sierras y Lomadas del Este, dentro de un experimento de largo plazo (ELP) que durará 30 años. Este Trabajo Final fue desarrollado con datos de los tres primeros años de evaluación (2021-2022, 2022-2023 y 2023-2024) de ese experimento. La problemática central que se plantea es cómo el manejo del pastoreo, mediante distintas intensidades de pastoreo, basadas en la altura, afectan a la estructura del forraje y a la producción animal. En este sentido, el objetivo es identificar cuáles son la/s estructura/s de la pastura óptimas para el manejo adecuado de la misma y así poder obtener mayor producción animal. Esto permitirá poder incrementar la producción, reducir los riesgos frente a condiciones adversas (sequía, por ejemplo). El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con cuatro distintas estructuras de forraje, basadas en la altura del pasto (T4 = 4 cm, T8 = 8 cm, T12 = 12 cm y T16 = 16 cm). Se estimaron las variables claves como la altura del pasto, el stock de forraje, la carga animal, la ganancia de peso vivo individual y la producción por unidad de superficie. Se hizo un seguimiento climático a través de registros de la estación meteorológica que se encuentra en el lugar del ensayo. Para el análisis de datos, se emplearon modelos lineales mixtos utilizando el software R. Las variables relacionadas al forraje (altura y masa de forraje), se consideró el tratamiento como efecto fijo, y el bloque, la medición y el año como efectos aleatorios. Para las variables relacionadas con la producción animal (ganancia individual y por hectárea), también se consideró el tratamiento como efecto fijo, mientras que bloque y año como efectos aleatorios. Se realizaron comparaciones pareadas entre tratamientos mediante el test de Tukey, considerando un nivel de significancia del 5%. Las alturas de pasto promedio para cada tratamiento fueron de 3,8 para el T4, 7,9 para el T8, 10,1 para el T12 y 12,3 para T16, no alcanzando así la altura objetivo estos últimos dos tratamientos. En cuanto a la masa de forraje, hubo diferencias significativas entre tratamientos (T4 = 508 kgMS/ha; T8 = 1731 kgMS/ha; T12 = 2313 kgMS/ha y T16 = 2682 kgMS/ha). Los resultados indicaron que para los tratamientos de mayor altura (T12 y T16) se favoreció la ganancia de peso individual (0,048 y 0,051 kg/animal/día, respectivamente). Mientras que los tratamientos de menor altura (T4 y T8) optimizan la producción por hectárea, aunque con un menor desempeño individual (0,035 y 0,041 kg/animal/día, respectivamente). En conclusión, los tratamientos T8 y T12 promovieron el mejor equilibrio funcional entre la estructura del pastizal, la ganancia individual y la productividad por hectárea de las borregas. Esta franja de altura (8-12 cm) permitió una adecuada recuperación del tapiz, favoreciendo estructura del dosel vegetal. Estos hallazgos contribuyen al desarrollo de estrategias de manejo del pastoreo que equilibren la productividad animal con la conservación del recurso forrajero.

Palabras claves: manejo del pastoreo, altura, estructura del forraje, carga animal, modelos lineales mixtos

SUMMARY

This study was conducted at the Palo a Pique Experimental Unit of INIA Treinta y Tres, Uruguay (33°15'10"S, 54°30'15"W, at 45 m above sea level), located in the Sierras and Lomas del Este region, within a 30-year long-term experiment (LTE). This Final Degree Project was developed using data from the first three years of the experiment (2021–2022, 2022–2023, and 2023–2024). The central issue addressed is how grazing management, through different grazing intensities based on sward height, affects forage structure and animal production. In this context, the objective is to identify the optimal sward structure(s) for proper management, aiming to achieve higher animal productivity. This would allow for increased production and reduced risk under adverse conditions (e.g., drought). The experimental design was a randomized complete block design with four different forage structures based on pasture height (T4 = 4 cm, T8 = 8 cm, T12 = 12 cm, and T16 = 16 cm). Key variables such as sward height, forage mass, stocking rate, individual live weight gain, and productivity per unit area were estimated. Climatic monitoring was carried out using records from the on-site weather station. For data analysis, mixed linear models were applied using R software. For forage-related variables (height and biomass), treatment was considered a fixed effect, while block, measurement, and year were treated as random effects. For animal production variables (individual and per-hectare gains), treatment was also considered a fixed effect, and block and year as random effects. Pairwise comparisons between treatments were performed using Tukey's test, with a significance level of 5%. The average pasture heights for each treatment were 3.8 cm for T4, 7.9 cm for T8, 10.1 cm for T12, and 12.3 cm for T16, with the latter two not reaching the target heights. Regarding forage mass, significant differences were observed among treatments (T4 = 508 kg DM/ha; T8 = 1,731 kg DM/ha; T12 = 2,313 kg DM/ha; T16 = 2,682 kg DM/ha). Results indicated that the higher height treatments (T12 and T16) promoted greater individual weight gain (0.048 and 0.051 kg/animal/day, respectively), while the lower height treatments (T4 and T8) optimized productivity per hectare, albeit with lower individual performance (0.035 and 0.041 kg/animal/day, respectively). In conclusion, treatments T8 and T12 promoted the best functional balance between pasture structure, individual gain, and productivity per hectare of the ewe lambs. This intermediate height range (8–12 cm) allowed for adequate sward recovery, favoring canopy structure. These findings contribute to the development of grazing management strategies that balance animal productivity with the conservation of the forage resource.

Keywords: grazing management, height, forage structure, stocking rate, linear mixed models

1. INTRODUCCIÓN

El territorio uruguayo está comprendido en su totalidad en la región de los pastizales del Río de la Plata, la cual forma parte del bioma Pampa y es caracterizada por la presencia de pastizales templados húmedos y subhúmedos más extensos del mundo. Una fracción sustancial de los mismos es aún preservada en Uruguay, la cual se estima que aproximadamente el 60% del territorio está cubierto por esta formación. Una descripción precisa de la heterogeneidad de estos pastizales es fundamental para comprender su funcionamiento y para el desarrollo de estrategias efectivas de manejo y conservación (Lezama et al., 2017).

Por otra parte, una mayor proporción del campo natural de la región se concentra en la Pampa inundable y en los Campos Uruguayos, esto implica que, a su vez, exista una gran heterogeneidad ambiental que se traduce en diferencias fitogeográficas (Paruelo et al., 2004). En este sentido, la descripción y comprensión del concepto de heterogeneidad espacial resulta de importancia central para la conservación y optimización de ecosistemas pastoriles (Casalás et al., 2019).

Los pastizales naturales representan la riqueza básica del Uruguay y su propósito no sólo consiste en salvaguardar el suelo, patrimonio nacional insustituible, sino que también constituyen el principal recurso forrajero de la producción extensiva. De ahí que este país sea considerado justificadamente como un país ganadero por excelencia, no obstante, las deficiencias que presentan dichos pastizales requieren creciente atención (Vaz, 1993).

La ganadería es una de las actividades económicas más importantes de Uruguay, la mayor parte es de tipo extensiva y realizada sobre campo natural. Lo que plantea varios desafíos, como lo es aumentar la eficiencia y productividad de los sistemas ganaderos y de esta manera preservar el nivel de provisión de servicios ecosistémicos de estos sistemas, tales como el secuestro de carbono, mantenimiento de la biodiversidad y rendimiento hidrológico. Para esto, es necesario ampliar el conocimiento sobre su funcionamiento, y generar un marco que permita avanzar hacia un manejo adaptativo, así como promover su uso de forma sostenible (Lezama et al., 2019).

Entre los problemas prioritarios existentes, que impiden lograr el buen desarrollo de la ganadería uruguaya, se encuentra en primer lugar la necesidad de aumentar el volumen y el valor nutritivo del forraje ofrecido a los animales. Así como también mejorar su distribución a lo largo del año. Por lo que la solución implica desarrollar técnicas que involucren a los pastizales naturales como principal objetivo, integrando todos los aspectos que contempla la compleja interacción suelo-planta-animal-clima (Vaz, 1993).

El pastoreo es el principal proceso el cual modifica los componentes de la estructura del tapiz del campo natural y al mismo tiempo esa estructura afecta a los animales en pastoreo (Carvalho, 2013).

El hombre debe manejar una cantidad de factores para hacer que este sistema tan complejo, sea productivo, eficiente y sobre todo sostenible en el tiempo. La carga animal es uno de los factores determinantes directo de la producción animal de un campo y a su vez es el que más incide en la sostenibilidad del campo natural (Pizzio & Pallares, 1998).

Además, la estructura del tapiz afecta el patrón de defoliación y la oportunidad de pastoreo (Gonçalves et al., 2009).

Los efectos del pastoreo no solo producen cambios en la estructura del canopeo o en la composición de especies, sino que también tienen potenciales consecuencias sobre el funcionamiento del ecosistema. A nivel de plantas individuales, la defoliación reduce el área foliar y por lo tanto la capacidad de fijar carbono, la tasa de crecimiento relativa y la acumulación de biomasa. A nivel de población y a escalas evolutivas, el pastoreo ejerce presión de selección favoreciendo aquellas formas postradas con alta tasa de crecimiento y de menor relación tallo raíz. Entre otras modificaciones, a nivel de comunidad, promueve cambios florísticos que generalmente resultan en la pérdida de especies “palatables” en favor de las que no lo son. Este reemplazo de especies coincide a veces con incrementos en la proporción de especies leñosas (Paruelo et al., 2004).

Por tanto, disponer de una caracterización de los pastizales naturales del Uruguay basada en un protocolo objetivo y repetible constituye un aporte fundamental para evaluar el potencial productivo y diseñar estrategias de manejo del principal recurso forrajero del país (Lezama et al., 2011).

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del manejo del pastoreo en la cría de borregas sobre campo natural bajo pastoreo continuo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el efecto del manejo del pastoreo, basado en distintas alturas en pastoreo continuo, sobre el stock de forraje del campo natural.

Evaluar el efecto del manejo del pastoreo, basado en distintas alturas en pastoreo continuo, sobre la ganancia de peso individual y por unidad de área de borregas, pastoreando campo natural.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EL CAMPO NATURAL

El campo natural, también denominado pastizal natural, se define como una cobertura vegetal formada por pastos, con arbustos y hierbas enanas como asociados. La familia botánica más numerosa es la de gramíneas, particularmente las estivales (C4) y templadas (C3). La presencia de especies invernales varía con el tipo de suelo, la topografía, la altitud, la fertilidad y el manejo del pastoreo, lo que resulta en una menor proporción en comparación con las especies estivales. La tribu más importante es la Paniceae, incluidos los géneros de la mayoría de las especies *Paspalum*, *Panicum*, *Axonopus*, *Setaria*, *Digitaria*, *Andropogon*, *Bothriochloa*, *Schizachyrium*, *Eragrostis*, *Distichlis*, *Chloris*, *Eleusine*, *Bouteloua*, entre otras (Del Puerto, 1993).

Los pastizales del Río de la Plata (bioma Pampa), están ubicados en la mitad sur del estado de Rio Grande do Sul en Brasil, todo el territorio de Uruguay y el centro-este de Argentina (Andrade et al., 2019).

Estos pastizales constituyen una de las mayores áreas de pastizales templados húmedos y sub-húmedos de las ecorregiones en América y el mundo. Presentan una alta diversidad de especies de plantas vasculares: 3000 para Rio Grande do Sul, 1600 en Argentina y 2500 en Uruguay. Esta riqueza de especies encontrada en toda la región probablemente se deba a su ubicación en una zona biogeográfica, zona de superposición (es decir, transición subtropical a templada) (Andrade et al., 2018).

En Uruguay se diferencian cuatro regiones geomorfológicas eminentemente ganaderas extensivas: la Cuesta Basáltica, la Región Centro Sur, la Región Sierras del Este y la Cuenca Sedimentaria del Noreste (Lezama et al., 2011).

Según Lezama et al. (2019), se identificaron cinco comunidades de pastizal en el Uruguay; dos de ellas restringidas a la región de la Cuesta Basáltica y las otras tres distribuidas a través de las regiones de Sierras del Este, Cuenca Sedimentaria del Noreste y Centro Sur. Tres de las comunidades corresponden a pastizales densos asociados a suelos medios y profundos, y las restantes dos, a pastizales ralos asociados a suelos superficiales. Cabe destacar que todas las comunidades de pastizal del territorio uruguayo presentaron una heterogeneidad interna asociada a cambios en la altura del estrato basal, la cobertura total, la estratificación, la frecuencia de especies decrecientes con el pastoreo, la proporción de tipos funcionales de plantas y el grado de invasión de especies exóticas.

El campo natural tiene una capacidad de regeneración luego de un periodo extenso de sobrepastoreo, por lo que, si se lo somete a una exclusión del mismo, provoca mejoras significativas tanto en la masa de forraje, radiación interceptada como en la altura del forraje, lo que reafirma la buena capacidad de resiliencia que presenta luego de un pastoreo intenso a largo plazo (Fedrigo et al., 2018).

Por otro lado, según lo descrito por Formoso (1996), el campo natural se encuentra en estrecha relación frente a condiciones climáticas del área o región. Su composición florística (potencial) puede encontrarse en un determinado grado de disturbio causado por la acción del hombre. El grado de deterioro es difícil de identificar, pero necesariamente hay que realizarlo para evaluar si la acción del hombre es reversible o el sistema perdió su capacidad de resiliencia y se encuentra de esta manera en una etapa de transición con

un menor nivel productivo. Esta identificación determina las prácticas de manejo a seguir para revertir la degradación y por ende poder acelerar la sucesión progresiva.

2.2 EL CAMPO NATURAL EN SIERRAS Y LOMADAS DEL ESTE

La región Sierras del Este se encuentra al Este de Uruguay, ocupa una superficie aproximada de 2.52 millones de ha (14,3% de la superficie del país). Se extiende en gran parte por los departamentos de Treinta y Tres, Lavalleja, Maldonado, Cerro Largo, noreste de Florida, centro sur de Rocha y este de Durazno (Lezama et al., 2011).

Estos pastizales, muestran una marcada predominancia de gramíneas estivales perennes (80-85%). Además, presentan una diversidad muy importante de especies, pero el 77% del forraje total producido es aportado solamente por 10 especies *Paspalum notatum* (16.7%), *Axonopus affinis* (13.5%), Ciperáceas (8.8%), *Coleorhachis selloana* (8.7%), *Paspalum dilatatum* (7.4%), *Stenotaphrum secundatum* (6.6%), *Panicum milioides* (4.3%), *Cynodon dactylon* (3.9%), *Setaria geniculata* (3.7%) y *Axonopus argentinus* (3.5%) (Bermúdez & Ayala, 2005).

A su vez, manifiestan una marcada estacionalidad con máximas tasas de crecimiento en primavera y verano, dependiendo de las lluvias, y mínimas en invierno. Hay predominio de gramíneas estivales perennes (80-85%) de bajo valor nutritivo, por el mal manejo al que fueron sometidas durante décadas, lo que limita su potencial de producción (Bermúdez & Ayala, 2005).

Por tanto, la región sigue el patrón que caracteriza a todo el país que es un marcado déficit de producción invernal, existiendo periodos en los cuales el crecimiento es nulo. El mismo, puede estar más o menos desfasado dentro de la temporada invernal, según las condiciones propias de cada año. Por otra parte, la estación más variable en producción de forraje es el verano y este comportamiento es función principalmente de la ocurrencia o no de precipitaciones en dicha estación. El invierno es la estación que presenta menos variaciones, pero también la de menor producción de materia seca. Por tanto, se los considera como campos de producción marcadamente estival con un importante déficit invernal (Mas et al., 1993).

La producción vegetal promedio de la región Sierras y Lomadas del este de los 13 años evaluados (período 1992-2004) fue de 3425 ± 1055 kg/ha de materia seca (MS), la cual corresponde en un 35% a la producción de verano, un 26% a la de otoño, un 11% a la de invierno y un 28% a la de primavera. También se encontró una importante variación dentro de las estaciones siendo el verano, otoño e invierno las que presentan valores más altos de coeficiente de variación y con la menor variación aparece la primavera. La producción anual de forraje del mejor año (5245 MS kg/ha) triplicó a la del peor año (1192 MS kg/ha), por lo que se puede deducir que la capacidad de carga animal también se podría multiplicar en los años favorables (Ayala & Bermúdez, 2005).

Estos resultados sugieren que hay que tener cautela a la hora de fijar la carga de un potrero. En relación a tasa de crecimiento y con base en estos estudios, la desviación estándar de los meses de invierno mostró que no se debe esperar grandes diferencias atribuibles al clima, mientras que los meses que corresponden al verano y otoño son los que presentan mayores variaciones, la primavera mostró valores intermedios. Por otra parte, en primavera, verano y otoño es donde se pueden dar los mayores cambios por

efectos climáticos mientras que en invierno no es de esperar cambios sustanciales por efecto del clima (Ayala & Bermúdez, 2005).

2.3 MANEJO DEL PASTOREO

En las plantas forrajeras los atributos morfogenéticos determinan la arquitectura de la planta y afectan la accesibilidad de los animales al forraje. La morfología de las plantas individuales, a su vez, afecta la estructura y funcionamiento de las poblaciones y comunidades, determinando las interacciones competitivas entre las especies y entre individuos de una misma especie. El pastoreo altera esas relaciones competitivas al defoliar diferencialmente a las distintas especies, modificando la expresión de los mecanismos de rebrote, a favor de unas y en detrimento de otras. Esto provoca cambios en la composición botánica que pueden afectar la cantidad, valor nutritivo y estacionalidad de la producción de la pastura, por ende, también afectará la producción animal. Por lo tanto, la implementación de estrategias de manejo debe contemplar tanto las características morfogenéticas de las plantas dominantes en la pastura como también la respuesta del comportamiento ingestivo de los animales (Nabinger et al., 2011).

El pastoreo provoca muchos cambios a nivel de comunidad, comienza a dominar el tipo de crecimiento postrado en zonas de intenso pastoreo como mecanismo de defensa de la planta para evadir este proceso. También influye en la biogeoquímica y propiedades físicas de los suelos. Los efectos del pastoreo en los contenidos de materia orgánica del suelo son variables, mostrando tanto un aumento como una disminución de la misma. El pastoreo induce cambios en la distribución de raíces y biomasa, alterando la dinámica del agua y del carbono; también puede afectar la abundancia y composición de la fauna del suelo debido a que la presión de pastoreo reduce la densidad aparente y retención de agua del suelo (Rodríguez & Cayssials, 2011).

Según Carvalho (2005), el concepto moderno en el manejo del pastoreo debería ser la construcción de ambientes pastoriles compatibles con un alto nivel de bienestar y nutrición, ya sea en su dimensión cualitativa (accesibilidad a los nutrientes), o en su dimensión temporal (estacionalidad). Resultando así en una alta producción animal sin poner en riesgo la sostenibilidad del ecosistema. Por lo tanto, es clave determinar las variables de manejo para lograr así una adecuada heterogeneidad en la composición florística y aumentar la producción de MS en cantidad y en su valor nutricional. Para ello, Formoso (1996) determinó cuales son las estrategias más adecuadas para alcanzar los resultados planteados, como lo son la carga animal, el sistema de pastoreo y la relación lanar/vacuno dado que son las más fácilmente aplicables en un sistema de producción.

La carga animal es uno de los factores determinantes directo de la producción animal de un campo y a su vez es el que más incide en la sostenibilidad de una pastura natural. La aplicación de diferentes cargas durante varios años puede dar como resultado tapices bien diferenciados. Por un lado, hay un incremento de las especies rastreras del género *Paspalum*, con el aumento de la carga, y por otro una disminución de las especies cespitosas como *Coelorhachis selloana* (Pizzio & Pallares, 1998).

Para Berretta (1995) determinar la dotación adecuada a cada tipo de campo es una de las decisiones más cruciales en el manejo de los recursos. Cada tipo de vegetación tiene una producción potencial que define la capacidad de carga, es decir, la cantidad máxima de animales que puede sostener el ecosistema sin deteriorarse. Para ello es necesario aplicar un método de pastoreo específico, que se puede ejecutar dentro de un

período determinado, teniendo en cuenta siempre al bienestar del ecosistema en su conjunto. Uno de los principales desafíos en el desarrollo del criterio de carga óptima para el manejo de las pasturas naturales es la necesidad de reservar forraje para su uso en épocas en las que el crecimiento de los pastos se ve limitado por factores como la escasez de humedad o las bajas temperaturas.

En este sentido, Berretta (1995) concluyó que, en campos de Basalto, manejando una dotación 0,8 UG/ha con un sistema de pastoreo continuo y relación lanar/vacuno 2/1 no provocó cambios importantes en la vegetación. Cuando la dotación, con el mismo sistema de pastoreo, se incrementa, comienzan a registrarse algunos cambios, en particular en la frecuencia de hierbas enanas y pastos de porte bajo, estoloníferos. Si además del aumento de dotación, la relación lanar/vacuno pasa a 5/1, la sustitución de especies más productivas por otras menos productivas se hace más notable. En este último caso hay una disminución de especies cespitosas, de porte erecto y se incrementan plantas de bajo porte. En cambio, cuando se pasa a un sistema de pastoreo rotativo, con una dotación de 1 UG/ha, las diferencias entre las relaciones lanar/vacuno son escasas. Las especies dominantes en estas vegetaciones son cespitosas; las de bajo porte y arrosetadas tienden a reducirse en estas condiciones. Posiblemente, debido a un período de descanso excesivo para el tipo de vegetación analizada, se verifica un incremento de pastos tierno-ordinarios y ordinarios como *Andropogon ternatus*, *Aristida uruguayensis*, *Paspalum plicatulum* y *Schizachyrium spicatum*. Sin embargo, es posible administrar mejor el forraje, particularmente con reservas en pie para la época invernal.

Si la dotación excede la capacidad de carga, generalmente se produce un cambio en la composición de una comunidad vegetal a otra que es menos productiva o de menor valor para la alimentación de los animales que está asociado a un cambio en los tipos vegetativos. Esto ocurre porque el pastoreo selectivo coloca en desventaja para competir a aquellas plantas más utilizadas (Berretta, 1995). La producción de carne por hectárea generalmente aumenta con la carga animal. Sin embargo, cuando esta se mantiene alta por períodos prolongados, el deterioro del forraje puede reducir el desempeño individual, lo que impide que una mayor carga se traduzca en mayor producción. Por eso, es clave equilibrar la carga con la capacidad de recuperación del pastizal (Pizzio & Pallares, 1998).

Al diagramar los sistemas de pastoreo hay que tener en cuenta particularmente la proporción de pastos ordinarios y duros porque con descansos prolongados y cargas instantáneas insuficientes puede dar lugar al aumento de éstos. La maduración del forraje, por baja frecuencia de defoliación sobre un número importante de plantas, ocasiona una pérdida del valor nutritivo y aumenta las diferencias en palatabilidad. También debe considerarse que la intensidad de pastoreo tiene un mayor impacto sobre la vegetación que la selectividad, pero los animales dependen de ésta para balancear su dieta, por lo que debe ser tenida en cuenta en los sistemas de pastoreo (Berretta, 1995).

Al comparar los sistemas de pastoreo continuo y rotativo, se ha demostrado que no existen diferencias significativas entre ambos cuando son manejados con carga adecuada, tanto para producción vegetal como animal arrojan resultados similares. Por lo que existen estrategias de manejo potencialmente efectivas, ninguna de las cuales tiene propiedades únicas que separen a un sistema del otro en términos de efectividad ecológica. El continuo abordaje de que el pastoreo rotacional tiene superioridad frente al continuo, está fundado en la percepción de interpretaciones anecdóticas más que en una evaluación objetiva de la vasta evidencia experimental (Briske et al., 2008).

2.3.1 Manejo del pastoreo en sistemas heterogéneos

2.3.1.2 Qué son los sistemas pastoriles heterogéneos

Los sistemas pastoriles heterogéneos son aquellos en los que la vegetación y la actividad ganadera presentan una variabilidad espacial significativa. Esta heterogeneidad es clave para comprender como se estructuran y funcionan estos ecosistemas, así como para diseñar estrategias de manejo que favorezcan tanto la productividad como la conservación (Chaneton, 2005).

Según Chaneton (2005), la heterogeneidad está definida como la variabilidad espacial de la composición de especies en un área determinada, lo que representa el componente geográfico de la diversidad vegetal. Esta variabilidad responde a múltiples factores ecológicos que inciden sobre el crecimiento, la supervivencia y la reproducción de las plantas, y que determinan qué especies pueden habitar un sitio específico. Así, la heterogeneidad no solo refleja la presencia o ausencia de especies, sino también los cambios en su abundancia relativa en el espacio.

Una vez consideradas las variables ambientales, el pastoreo se destaca como un factor crucial en la generación de heterogeneidad. El síndrome pastoreo – que incluye procesos como defoliación, pisoteo y fertilización por excreciones – actúa de forma compleja sobre la vegetación, generando patrones diversos incluso dentro de una misma comunidad vegetal. Además, factores como el clima, la intensidad de sequías, la historia de uso agrícola y eventos como la quema también contribuyen a esta variabilidad (Altesor et al., 2019).

La heterogeneidad del pastoreo tiene efectos clave sobre la dinámica del ambiente pastoril. Los animales modifican sus estrategias de alimentación según la estación y el estado de la vegetación, generando patrones heterogéneos de uso del espacio (Casalás et al., 2019). Casalás et al. (2019) observaron que la primavera es la estación en la que se alcanza el mayor nivel de heterogeneidad, debido a que el pastoreo altera un entorno que no está limitado por factores abióticos, como ocurre en otras estaciones.

Aunque muchas veces se percibe negativamente, la heterogeneidad es un componente valioso. Entenderla y trabajar con ella permite promover sistemas pastoriles más resilientes, selectivos y funcionales. Algunas especies vegetales, aunque no sean clave en la dieta, juegan un rol importante al modificar el comportamiento de los animales durante el pastoreo, afectando su desplazamiento y selectividad (Pinto et al., 2017).

Por lo tanto, los sistemas pastoriles heterogéneos no solo reflejan la complejidad de la interacción entre el ambiente y los animales, sino que también ofrecen oportunidades para un manejo más sustentable y multifuncional del paisaje (Casalás et al., 2019).

2.3.2 Cómo el manejo y los animales afectan la vegetación

Las características taxonómicas y la estructura de la vegetación en una pastura natural dependen principalmente de las condiciones del suelo y del clima, así como de sus variaciones estacionales y anuales. Estos factores abióticos definen el grupo de especies capaces de colonizar el área mediante la expansión de sus sistemas radiculares y desarrollo aéreo; dotadas de las correspondientes estrategias de defensa contra factores climáticos adversos (hídricos y térmicos) (Millot, 1997).

La conducción del pastoreo es una intervención antrópica que determina la distribución temporal y espacial de los animales dada la especie, la categoría utilizada y su densidad. De esta forma, al definir estrategias de pastoreo el hombre define la naturaleza y el impacto del mismo sobre los compartimentos suelo y planta. A su vez, determina la dirección de la sucesión vegetal, el flujo de nutrientes y de energía, vía capacidad de absorción de carbono atmosférico, además de la producción animal (Nabinger et al., 2011).

Para Lezama y Paruelo (2016), todos los componentes del pastoreo (pisoteo, defoliación y deposición de orina) tienen al menos algún efecto sobre la estructura de la vegetación. En este sentido, Pinto et al. (2004), afirmaron que el impacto del animal sobre la pastura, especialmente debido a la presión de pastoreo que ejerce sobre las plantas, es decir la frecuencia e intensidad con la que estas son defoliadas, se manifiesta en cambios en la proporción de especies que conforman la composición botánica.

Especies como *Paspalum notatum* tienden a aumentar su frecuencia cuando se incrementa la carga animal de baja a alta, debido a su mayor resistencia al pastoreo. Esta característica se debe a su hábito de crecimiento postrado, que le permite escapar del horizonte de pastoreo, lo que la convierte en una especie altamente adaptada a situaciones de pastoreo intensivo. En condiciones de alta oferta forrajera (16% del PV), se observa una tendencia al aumento en la participación de especies cespitosas. En contraste, cuando la oferta forrajera es muy baja (4% del PV), la tasa de acumulación de forraje también disminuye, ya que las plantas presentan un menor número de hojas verdes como consecuencia de su remoción intensiva por efecto del pastoreo (Pinto et al., 2004).

La defoliación por parte de los animales, principalmente en niveles moderados de oferta de forraje, aumenta la heterogeneidad espacial de la vegetación, formando un mosaico con distintas proporciones de estratos superior e inferior. En el primero predominan especies cespitosas formadoras de matas que si bien no son las más palatables para los animales tienen una importante función ecosistémica. Mientras que el estrato inferior está formado por gramíneas y leguminosas de mayor valor nutritivo (Pinto et al., 2017).

Entonces, los animales en pastoreo prefieren ciertos tipos de vegetación más que otros, por lo que las diferentes comunidades dentro de un potrero tienen distinta utilización. Ellos tienden a frecuentar zonas donde los pastos poseen mayor valor nutritivo y pueden cubrir sus necesidades alimenticias (Berretta, 1995). La tasa de ingesta de materia seca, que es el producto de la masa y tasa de bocado, generalmente considera un factor importante que es la selección por parte de los animales. Por lo que se evaluaron distintas clases desde la 1 con una mayor concentración de nutrientes, pero limitada disponibilidad hasta la 5 con un mayor contenido de fibra, de menor valor nutritivo. Y se llegó a la conclusión que la tasa de ingesta fue menor en la clase 2, la cual presentó características nutricionales similares a la 1, pero fue mayor en la clase 5. Esto supone que, aunque la clase 2 sea muy nutritiva, probablemente sea menos interesante para los animales en pastoreo, por el contrario, la alta tasa de admisión de la clase 5 podría hacerla más atractiva en el caso de que sea compensada su baja digestibilidad con una mayor tasa de consumo (Azambuja Filho et al., 2020).

Por otra parte, cuando la proporción de matas en el pastizal es baja, los animales tienden a seleccionarlas con mayor intensidad, debido a su mayor valor nutritivo o

palatabilidad en comparación con otras especies presentes. Sin embargo, a medida que aumenta la cobertura de matas, su disponibilidad deja de ser un recurso limitado, lo que reduce la selectividad de los animales hacia ellas. En estas condiciones, los animales diversifican su dieta e incluyen en mayor proporción otras especies vegetales, disminuyendo así la presión de pastoreo específica sobre las matas (Wallau et al., 2024).

La carga animal relacionada a la disponibilidad de forraje (oferta de forraje = kg materia seca por 100 kg de peso vivo por día) es la determinante de la intensidad de pastoreo (Nabinger et al., 2011). La carga animal influye directamente sobre la disponibilidad de forraje, al modificar la probabilidad de defoliación de cada componente de la pastura. Esta probabilidad está estrechamente relacionada con la capacidad de selección del animal, que busca maximizar el valor nutricional de su dieta (Gonçalves et al., 2009).

La aplicación de determinadas prácticas de manejo como lo es una alta dotación, combinada con factores ambientales adversos (sequía), son la causa más frecuente de degradación de la pastura natural. Debido a la alta variabilidad en la producción estacional y anual de forraje, cargas relativamente altas por períodos prolongados, tienden a provocar un debilitamiento de las plantas consumidas por los animales, las que se vuelven más susceptibles a fenómenos climáticos adversos (Díaz et al., 2008).

En este sentido, el pastoreo desempeña un papel crucial en la regeneración y productividad de los ecosistemas al eliminar selectivamente biomasa vegetal, dispersar propágulos y aportar nutrientes mediante las excreciones de los animales. Además, el manejo adecuado del pastoreo puede maximizar la producción de biomasa al favorecer a especies claves y reducir la proliferación de invasoras. Sin embargo, el manejo debe adaptarse a las condiciones locales para equilibrar la producción vegetal con la conservación de la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos para garantizar una gestión sostenible y resiliente de los sistemas vegetales (Török et al., 2024).

2.3.3 Cómo la estructura de la pastura afecta el comportamiento ingestivo de los animales

La estructura de la pastura ha sido definida como la disposición espacial de biomasa aérea en la comunidad vegetal. Es una característica central y determinante tanto en la dinámica de crecimiento y competencia dentro de las comunidades como en el comportamiento ingestivo de los animales en pastoreo (Carvalho et al., 2001).

La productividad de los rumiantes está restringida fundamentalmente por limitaciones en el consumo, el cual se ve afectado principalmente por la digestibilidad de la pastura. Por lo que tanto el forraje disponible como su valor nutritivo son los elementos que se pueden manejar a nivel de campo (Olmos, 1992).

El foco en la estructura de la vegetación permite grandes avances en entender los procesos productivos y ecológicos de la pastura natural. Resultados evidencian la necesidad de utilizar, en los sistemas productivos, herramientas como ajuste de carga, planeamiento forrajero en tiempo y espacio, diferimiento de forraje, entre otras, con el objetivo de construir ambientes pastoriles adecuados a la ingestión de forraje para el animal en pastoreo (Rosa et al., 2017).

Según Gonçalves et al. (2009), el aumento de altura en la pastura dificulta la recolección de las láminas de las hojas, lo que limita la oportunidad de que los animales encuentren hojas en expansión. Esto se debe a la menor densidad de las hojas en los estratos superiores ya que los animales tienden a seleccionar preferentemente las hojas más jóvenes. Por el contrario, en pasturas de muy baja altura, aunque la distribución de las hojas facilita su selección, los animales encuentran dificultad para ingerirlas debido a su longitud reducida, lo que limita la profundidad de bocado.

Esto caracteriza el alto grado de complejidad que debe afrontar el animal para alimentarse, ya que debe “sobrevivir” en este entorno e interactuar con diferentes tipos de estructura. Por ello, los herbívoros han desarrollado una serie de mecanismos o herramientas de pastoreo que conforman lo que se conoce como comportamiento ingestivo. Dicho mecanismo, a lo largo de una coevolución con las plantas, permiten a estos animales cosechar una dieta de mayor valor nutricional que la media del ambiente en que se encuentren. Este forraje del que dispone el animal es lo que se conoce como estructura y es la responsable en última instancia de la cantidad de nutrientes ingeridos durante el pastoreo (Carvalho et al., 2001).

El comportamiento ingestivo de un animal en pastoreo puede describirse mediante variables que componen a este proceso en sí. Por lo tanto, el consumo total de forraje de un animal en pastoreo resulta de la acumulación de forraje ingerido en cada acción de pastoreo, la tasa de bocado y la frecuencia con que se realiza a lo largo del tiempo que el animal dedica a alimentarse. En otras palabras, depende del tiempo de pastoreo y de la tasa y peso del bocado (Carvalho et al., 2001).

En relación al concepto de oferta de forraje (OF), la utilización de OF moderadas (12% PV) permite que se consuma un forraje con un mayor valor nutricional, pero cuando se pasa de una oferta de 4% para 16% provoca una disminución en la PB de 12 a 9.5%, y aumento en la FDN de 71.5 a 77.6%, por lo que el valor nutritivo decae. Por ello, se concluye que a medida que aumenta la OF disminuye el valor nutritivo, pero aumenta la posibilidad de selección, por lo que esa depresión en la performance nutricional del forraje es altamente compensada por el aumento en el consumo. Esto provoca que a ofertas moderadas se obtenga una mayor producción animal explicada por un aumento en el consumo y no en el valor nutritivo del forraje. Por esto, se deduce que en situaciones de CN la mayor parte del consumo está controlada por la estructura de la pastura y no por el valor nutricional como se pensaba (Pinto et al., 2017).

De acuerdo a Da Trindade et al. (2012), la tasa de desplazamiento no tiene relación con la OF ni con la estructura del pasto, pero muestra una relación lineal positiva con el desplazamiento diario de los animales. Incrementos en el tiempo de pastoreo están asociados con incrementos en el desplazamiento diario. Con este estudio queda demostrada la importancia de la estructura de la pastura al constatar que independientemente del nivel de oferta y de la época del año evaluada, los valores más bajos de tiempo de pastoreo están asociados a estructuras, basadas en la altura.

Wallau et al. (2024) afirmó que a medida que aumenta la cobertura de matas, se observa una disminución lineal en la tasa de ingesta a corto plazo, lo cual está relacionado con un mayor tiempo de pastoreo. Esto se debe a la dificultad para acceder a las hojas verdes, a un menor valor nutritivo de la vegetación y a un peso de bocado reducido, lo que genera un aumento en el tiempo de masticación y rumia. Como consecuencia, se

incrementa el gasto energético del animal, lo que provoca una disminución de su consumo.

Para Rosa et al. (2017), componentes de la estructura de la pastura como la masa de forraje, la altura y la frecuencia de matas, afectan el proceso de pastoreo de los animales. Y en base a los estudios realizados aportaron evidencia de que manejando intensidades de pastoreo moderadas proporcionan beneficios en términos de producción de pasto, desempeño animal, manutención de la biodiversidad y consecuentemente la prestación de servicios ecosistémicos. Sin embargo, cuando se manejan alturas de pasto bajas (menores a 4 cm) se puede ver reducida tanto producción vegetal como animal, debido a un mayor impacto de la capacidad de rebrote del pasto lo que afecta significativamente a dichos componentes (Maher et al., 2025).

Según Wallau et al. (2024), un manejo con baja asignación, es decir, de alta intensidad, genera un aumento en el tiempo de pastoreo en comparación con una asignación moderada. Sin embargo, este aumento no es suficiente para compensar el bajo peso de bocado asociado a una estructura de la pastura limitante, caracterizada por una baja masa de forraje y una altura reducida del dosel.

Por otra parte, en el sur de Brasil, se evaluaron distintos tipos de pastizales y se determinó que la estructura de la pastura (es decir, la altura y la masa de forraje) tiene una mayor influencia que la composición nutricional (como el contenido de proteína cruda, FDN y FDA) en la ingesta de MS, la ganancia media diaria (GMD) y las emisiones de metano (CH₄) en rumiantes. Aunque la composición química del forraje muestra una relevancia limitada, se observó que su valor nutritivo varía según la asignación de forraje: una baja asignación produce un forraje más nutritivo, pero no necesariamente mejora el rendimiento animal. En conclusión, la estructura de la pastura es un factor clave en el pastoreo, ya que influye tanto en el consumo de forraje como en las emisiones de CH₄ en los rumiantes (Da Cunha et al., 2023).

2.4 PRODUCCIÓN VEGETAL SOBRE CAMPO NATURAL

La variación de comunidades de los campos naturales en cuanto a densidad, composición botánica y productividad, es lo que provoca que el rendimiento anual de forraje se distribuya en un amplio rango. En los suelos superficiales o de baja fertilidad la producción es de alrededor de los 2500 kg MS/ha, en suelos medios asciende a los 3500 kg MS/ha, en los profundos de alta fertilidad y en los arenosos pueden sobrepasarlos 5000 kg MS/h. En campos con predominio de pastos duros de alto porte (pajas) la producción puede superar estos valores, pero al no ser palatables, los animales los consumen sólo en situaciones extremas. Esta producción anual, para la gran mayoría de las comunidades, se concentra principalmente en primavera y verano, siendo de 80-85% en campos arenosos y 60-70% en vegetaciones con un pico de crecimiento otoñal. La proporción invernal varía entre 6-7% en los arenosos a 10 y 15% en otros tipos de campos (Berretta, 1995).

Los cambios estacionales son más o menos regulares en el ecosistema de la pradera natural, pero dentro de las estaciones el efecto incontrolable del tiempo con eventos inesperados, aumenta la variabilidad de la producción de forraje y por lo tanto tiene una influencia marcada en aquellas estaciones donde se produce la mayor parte del crecimiento (Berretta, 1995).

En otoño e invierno aumenta la participación relativa de las especies invernales, pero no llega a superar a aquella de las estivales. Dentro de las invernales, alrededor del 50% son hierbas enanas y pastos ordinarios, mientras que los finos son escasos. Este predominio de especies estivales es lo que explica la mayor producción de forraje en primavera y verano, como se expresó anteriormente. Las diferencias contrastantes entre vegetaciones desarrolladas sobre distintos suelos, debidas a un conjunto de factores ecológicos, también se observan dentro de un potrero; pero, en este caso, están asociadas principalmente a la profundidad del suelo, la posición topográfica y al manejo del pastoreo que ha tenido anteriormente el campo (Berretta, 1995).

En la región Este, la estación más variable en producción de forraje es el verano y este comportamiento es función principalmente de la ocurrencia o no de precipitaciones en dicha estación. Los contenidos de humedad en el suelo en verano determinan la OF y ésta es causa determinante de la producción total anual, debido a lo marcadamente estival que son estas pasturas. El invierno, por el contrario, es la estación que menos variaciones presenta, si bien es la de menor producción de MS. En un punto intermedio se encuentran el otoño y la primavera, siendo el otoño algo más variable (Mas et al., 1993).

En este sentido y siguiendo lo expresado por Mas et al. (1993), hay un déficit de producción invernal muy importante en dicha zona, existiendo periodos en los cuales el crecimiento es nulo. Este déficit puede estar más o menos desfasado dentro de la temporada invernal, según las condiciones propias de cada año. Estas pasturas presentan un gran desequilibrio entre las producciones de invierno y de verano, como límites extremos. En base a las especies predominantes y a la distribución del forraje, se los puede considerar como campos de producción marcadamente estival con un importante déficit invernal.

La producción de forraje aumenta de acuerdo a la oferta de MS total, es decir, que es situaciones de mayor oferta hay una mayor producción de forraje (Pinto et al., 2008). Para Mezzalira et al. (2012), la tasa media diaria de acumulación de forraje denota el efecto directo del pastoreo sobre la producción de la pastura. El manejo de una OF variable, es decir, de 8% en primavera y 12% en las demás estaciones del año (8-12), provoca un aumento de la tasa de acumulación, resultando en la mayor producción de forraje anual. Las menores acumulaciones observadas se dieron en el tratamiento de 4% OF, ya que presentó la menor altura de pasto promedio.

La estrategia de manejo 8-12% provoca una estructura de la pastura la cual se ve favorecida por el proceso de pastoreo y consigo trae un aumento en la GMD, en comparación a un manejo de OF fija de 12%. Animales manejados bajo una OF 4%, caracterizada por presentar las menores alturas de la pastura, presentaron menor desempeño individual. No obstante, el pasaje de OF 12 para 16% tiene una gran influencia sobre el proceso de busca y colecta de forraje, provocando un aumento en la frecuencia de matas. Y combinado con el aumento de la disponibilidad de forraje, aumenta la complejidad de la estructura de la vegetación y, por tanto, se da un incremento de la dificultad para que los animales exploren la pastura. Estas consecuencias negativas en la estructura de la pastura se reflejan en el proceso de cosecha de forraje por los animales, un aumento en la OF trae consigo aumentos en la altura del pasto y la masa del forraje, pero esto no se ve reflejado en un aumento en el desempeño animal (Mezzalira et al., 2012).

Por otra parte, un estudio reciente demostró que un control adecuado de la carga animal y de la altura del forraje es fundamental para maximizar la capacidad de regeneración de las pasturas, al minimizar la competencia lumínica entre especies y fomentar una mayor eficiencia en el uso de la biomasa producida. Además, la estabilidad interanual observada en la producción vegetal resalta la resiliencia intrínseca de los pastizales nativos, resultado de su biodiversidad, así como la efectividad de las estrategias de manejo sostenible implementadas, que aseguran un equilibrio entre productividad y conservación (Rodríguez Palma et al., 2024).

2.5 PRODUCCIÓN ANIMAL SOBRE CAMPO NATURAL

Según Olmos (1992), la producción animal puede analizarse desde dos enfoques complementarios. El primero, de carácter general, se basa en la relación entre la producción primaria (producción de forraje en kg de MS) y la producción secundaria (producción animal), unidas a través del consumo. En este enfoque, se asume que, a mayor OF, mayor será la producción animal, aunque este aumento no siempre es proporcional y tiende a estabilizarse a partir de cierto punto. El segundo enfoque, más específico, se centra en la sensibilidad de los parámetros productivos. Aquí se estudia cómo pequeñas variaciones en la cantidad y calidad del forraje pueden generar respuestas notables en el desempeño animal (como la ganancia o pérdida de peso), y cómo ciertos indicadores del estado del pastizal permiten explicar mejor ese comportamiento.

Para Bremm et al. (2017) entender las relaciones entre la producción primaria y la secundaria es fundamental para establecer acciones de manejo que favorezcan el desempeño animal. Siempre que las condiciones climáticas determinen mayor producción de forraje, se debe aumentar la tasa de utilización de la pastura, en cambio cuando las condiciones son adversas, la misma debe reducirse. El ajuste en la OF sigue siendo una pieza clave para el éxito en la producción animal a pasto, siendo ésta una herramienta práctica y sin costo, que puede triplicar dicha producción.

El manejo de la OF tiene relación directa sobre la tasa de utilización, es decir, que a medida que esta aumenta, hay una reducción en la tasa de utilización. En un tratamiento de 4%PV de oferta exige una mayor tasa de utilización (600kgPV/ha) para mantener esa OF que se pretende. En cambio, para mantener una oferta de 16%PV la tasa de utilización es de solo 259 kg PV/ha. El tratamiento 8-12% es mantenido con una tasa de utilización inferior al tratamiento 8% y superior al de 12%, esta disminución de OF durante la primavera, permite un aumento en la ganancia de peso por hectárea sin desmedro de la ganancia individual en comparación con la OF 12% mantenida a lo largo del año (Bremm et al., 2017).

También hay que destacar el efecto estacional, el cual modifica sustancialmente el tipo y cantidad de forraje disponible para los animales, existiendo a su vez, variaciones inter-anales. Las variables relación verde/seco y disponibilidad de forraje aparecen como importantes al explicar el comportamiento de los animales. La implicancia primordial es que son aspectos sumamente accesibles de estimar y manejar a nivel de campo (Olmos, 1992).

En este sentido, se hizo un estudio en suelos de Salto, Uruguay. Donde con un manejo adecuado del pastoreo, manteniendo una altura de 6-12 cm permitió alcanzar ganancias de 282 kg PV/ha/año, como resultado de una elevada producción de forraje (kg MS). Sin embargo, al fertilizar estos suelos con N y P, este rendimiento se incrementó en

un 53% en comparación con el control (sin fertilización), debido a una mayor producción de forraje y una mejora en la eficiencia trófica. Además, estos efectos fueron especialmente pronunciados en años de mayores precipitaciones estivales (Rodríguez Palma et al., 2024).

Según Modernel et al. (2019), el PV de los animales acompañó estos resultados, donde en el invierno se experimentaron pérdidas de peso, mientras que, en primavera y verano, lograron incrementarlo. Además, la disminución en la tasa de acumulación de forraje, junto con la reducción de la masa total de forraje, provoca una disminución en el consumo de los animales.

El ajuste de la OF depende del crecimiento de la pastura, que es mayor en el período estival (primavera-verano), lo que requiere aumentar la tasa de utilización para adaptarla a la oferta disponible. En el otoño-invierno, las bajas tasas de crecimiento demandan una reducción en la tasa de utilización, que en promedio es un 23% menor que en el período estival. Sin embargo, incluso con esta reducción, no siempre se logra mantener la ganancia de peso de los animales, siendo este período el que más limita la producción animal en el CN (Bremm et al., 2017).

De acuerdo a Soares et al. (2005), los tratamientos evaluados con OF 8-12-16 expresadas como porcentaje de peso vivo en novillos, se obtuvo como resultado que manejando ofertas entre 8-12% se obtienen mayores ganancias en invierno, mientras que la productividad animal por hectárea fue inferior en los tratamientos 16 y 12. La variación de la oferta de forraje entre estaciones permitió manipular la estructura y composición de la vegetación para promover una mayor producción de materia seca y ganancia media diaria de los animales y su efecto se extendió por todas las estaciones.

Según los datos obtenidos por Bremm et al. (2017) si se gestiona una baja OF, del 4%PV, los animales pierden 300g diarios entre mayo y agosto debido a la escasa altura y masa de forraje, lo que limita el consumo. En contraste, al aumentar la OF a 8-16%PV, la pérdida de peso invernal se reduce, ya que la menor densidad animal permite un mejor acceso al alimento. En primavera, los tratamientos 8% y 8-12% ofrecen ganancias promedio de 400g/día, mientras que en el de 16% alcanzan 490g/día. Con una OF de 4%, las ganancias se reducen drásticamente a 170g/día. En verano, las ganancias son de 280g/día para 8% y 12%, y 380g/día para 8-12% y 16%. En síntesis, manejar una baja OF (4%PV) resulta en un 85% menos de ganancia de peso en comparación con OF intermedias (8-16%PV).

En este sentido, Cezimbra et al. (2021), concluyó que bajo una intensidad de pastoreo moderada con una asignación de forraje variable (8-12% PV) se obtuvo un mejor desempeño en términos de la producción de carne vacuna, presentando mejoras en el consumo de MS de forraje, ganancia de PV por animal por día y por unidad de área. Por el contrario, el sobrepastoreo, es decir, ofrecer una asignación de forraje del 4% del PV a los animales, representa una reducción 6,2 veces para la ganancia media diaria y de 3,6 veces para la ganancia por unidad de área, en comparación con el mejor manejo del pastoreo. Por lo tanto, la asignación de forraje del 8-12% del PV debería ser el objetivo de los ganaderos para equilibrar una actividad productiva.

Lo anterior es explicado por lo descrito según Pinto et al. (2017), manejando una OF entre 12 y 16% PV, se observa un mayor volumen de pasto, con mayor presencia de

matas que superan el 40% de cobertura y un diámetro mayor en comparación con ofertas más bajas. La altura del estrato inferior es de 8-9 cm, mejor que en ofertas inferiores, pero aún limitante para el pastoreo. También aumenta la cantidad de material muerto, lo que reduce el crecimiento de las plantas y la calidad del pasto. Esto resulta en menores ganancias por hectárea, debido a una menor carga, pero mayores ganancias por animal, ya que tienen acceso a una mayor oferta y pueden seleccionar forraje con un mayor valor nutritivo.

El manejo con una oferta de 8-12% PV, combina altas producciones tanto por área como individuales. Esta estrategia optimiza el aprovechamiento del forraje en primavera, gracias a una mayor carga animal y a una mayor TC de la pastura. Como resultado, este enfoque diferencial de la OF favorece un mejor desempeño animal durante todas las estaciones del año. Por otro lado, el manejo con un 4% de oferta, presenta una estructura de la pastura con valores inferiores tanto en altura como en masa de forraje, en comparación con los otros tratamientos. Esta diferencia se traduce en un menor PV animal en este tratamiento en relación con los demás. Si bien, por causa del diferimiento del forraje los animales presentan un aumento del peso inicialmente, pasado este periodo hay una acentuada pérdida de peso hasta llegada la primavera que si la misma presenta buenas condiciones para el crecimiento de la pastura los animales pueden lograr un aumento en el peso compensando las pérdidas (Mezzalira et al., 2012).

Según Caram et al. (2023), la expansión de la superficie ganadera y aumento del rendimiento animal son los factores principales que explican el crecimiento en la producción de carne, ya que al incrementar el área disponible para el ganado y mejorar su productividad, se genera un aumento significativo en la cantidad de carne producida. Por otro lado, la carga animal, aunque tiene un efecto, no muestra un impacto relevante en el aumento de la producción de carne. Ante esto, es necesario reconsiderar y ajustar el diseño del agroecosistema, adoptando estrategias de gestión del pastoreo más eficientes. Esto implica adaptar el manejo a las características específicas de las comunidades vegetales disponibles, lo que permitirá optimizar la productividad y la sostenibilidad del sistema. Además, se debe pensar en la creación de nuevos módulos intensificados que mejoren aquellas funciones del sistema que actualmente limitan su sostenibilidad, asegurando así un uso más eficiente de los recursos y una producción más sostenible a largo plazo (Jaurena et al., 2021).

2.6 RECRÍA OVINA EN CAMPO NATURAL

En los sistemas ovinos extensivos, es frecuente que las borregas se encarneren por primera vez recién al alcanzar la dentición de cuatro dientes, aproximadamente a los dos años y medio de edad. Esto ocurre porque una proporción considerable de las borregas de dos dientes, entre un 40-60%, no alcanza el peso mínimo requerido para iniciar la actividad reproductiva (San Julián et al., 1996).

Esta limitación tiene implicancias productivas y económicas para el productor. Cuanto menor es la producción de borregas encarneras tempranamente (a los dos dientes), o menor es el peso con el que lo hacen, menor será la cantidad de corderos que producirán a lo largo de su vida reproductiva (Banchemo et al., 2009).

Uno de los factores determinantes de esta situación es la inadecuada alimentación durante las etapas críticas del desarrollo de la borrega. En particular, el primer verano y el primer invierno son períodos donde el crecimiento se ve comprometido por la baja calidad y disponibilidad de forraje en el campo natural, lo que conlleva pérdidas de peso importantes. De hecho, se ha reportado que durante el invierno las borregas pueden perder un 10% o más de su peso vivo. Esta pérdida compromete no solo su crecimiento, sino también su posterior desempeño reproductivo (San Julián et al., 1996).

Desde el punto de vista fisiológico y productivo, es recomendable que las borregas alcancen un peso mínimo de entre 36 y 38 kg al momento de iniciar la fase reproductiva. Además, es deseable que mantengan una trayectoria de ganancia de peso durante la encarnerada, ya que esto mejora significativamente tanto la fertilidad como la prolificidad. Estas evidencias subrayan la necesidad de implementar estrategias de alimentación diferenciada y ajustada para esta categoría, especialmente durante las etapas críticas, con el fin de asegurar su desarrollo y maximizar su contribución futura a la producción del sistema (Banchero et al., 2009).

3. HIPÓTESIS

La hipótesis central es que la intensidad de pastoreo moderada (altura entre 8 y 12 cm) promueve una estructura vegetal que además de promover un buen stock de forraje, logra una mayor producción animal individual y por área.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL

Este Trabajo Final de Grado se enmarca dentro del experimento de largo plazo (ELP) El Pampeano, ubicado en la Unidad Experimental Palo a Pique (UEPP) de INIA Treinta y Tres (33° 15' 10" S, 54° 30' 15" O, a 45 m de altitud), iniciado en 2021, cuyo foco es la sostenibilidad del campo natural. A su vez, forma parte de la Plataforma Agroambiental de INIA, que integra una red de siete ELP en diferentes estaciones experimentales de INIA. En el presente Trabajo Final se analizarán los resultados de los primeros tres años del ELP El Pampeano.

La superficie total del experimento abarcó aproximadamente 11 hectáreas, distribuyéndose en 12 potreros de aproximadamente 1 ha, con un rango específico que varió entre 0,75 y 0,97 has. El periodo de evaluación fue desde octubre 2021 a setiembre 2024, o sea durante tres estaciones de pastoreo (2021-2022, 2022-2023 y 2023-2024).

4.1.1 Características del suelo

Al inicio del ensayo se realizó un muestreo del suelo a una profundidad de 0-15 cm, con el objetivo de determinar sus características químicas. Para ello, se seleccionaron 4 puntos de muestreo por potrero ($n = 48$) utilizando GPS. Se realizaron 40 pinchazos con un calador de 2 cm de espesor alrededor de cada punto de GPS, en un radio aproximado de 5 metros; las muestras fueron colectadas en dos capas 0-5 y 5-15 cm. El procesamiento consistió en pasar cada muestra por un tamiz de 2 cm para eliminar restos secos como raíces, piedras u otros elementos y luego fueron secadas en estufa a 40°C durante 5 días hasta estar totalmente secas. Luego, las muestras fueron enviadas al laboratorio para realizar análisis químicos.

A partir de los resultados de dicho análisis, el suelo del total del área experimental se caracterizó por ser de tipo franco, con algunas zonas areno-arcillosas (41% arena 33% limo 27% arcilla). En cuanto a las características químicas del suelo, se obtuvo como valor promedio de pH (H₂O) $5,5 \pm 0,2$, N (% del total) $0,1 \pm 0,1$, P (ppm) $3 \pm 1,3$, K (meq/100g) $0,2 \pm 0,1$, Mg (meq/100g) $1,9 \pm 0,3$ y para el carbono orgánico (% del total) $2,6 \pm 0,6$.

4.1.2 Composición florística

En relación a la composición de especies vegetales, se identificó un promedio de 124 especies durante los tres primeros años de evaluación. Esta estimación se obtuvo a partir de censos florísticos realizados en primavera, estación en la que se maximiza la expresión de la diversidad vegetal. Para ello, se establecieron diez puntos fijos de relevamiento por potrero (de 1 m² cada uno), donde se registraron tanto el número total de especies presentes como aquellas con mayor frecuencia relativa en la cobertura del pastizal. La cobertura de cada especie fue estimada visualmente utilizando una escala de abundancia-dominancia modificada de Braun-Blanquet (1950), con incrementos del 5%. La información detallada sobre las especies registradas y su cobertura (%) se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Lista de las diez especies de plantas del campo natural más abundantes del ELP

2021		2022		2023	
Especies	Cobertura (%)	Especies	Cobertura (%)	Especies	Cobertura (%)
<i>Paspalum notatum</i>	19	<i>Paspalum notatum</i>	18	<i>Paspalum notatum</i>	16
<i>Eryngium horridum</i>	12	<i>Eryngium horridum</i>	14	<i>Eryngium horridum</i>	16
<i>Carex sp</i>	11	<i>Andropogon ternatus</i>	11	<i>Aristida murina</i>	12
<i>Andropogon ternatus</i>	7	<i>Aristida murina</i>	9	<i>Paspalum plicatulum</i>	7
<i>Richardia humistrata</i>	6	<i>Axonopus suffultus</i>	7	<i>Axonopus suffultus</i>	7
<i>Axonopus suffultus</i>	5	<i>Paspalum plicatulum</i>	6	<i>Coelorhachis selloana</i>	5
<i>Axonopus fissifolius</i>	5	<i>Piptochaestium montevidense</i>	5	<i>Andropogon ternatus</i>	5
<i>Baccharis tirmera</i>	3	<i>Carex sp</i>	3	<i>Piptochaestium montevidense</i>	4
<i>Piptochaestium montevidense</i>	3	<i>Axonopus fissifolius</i>	3	<i>Carex sp</i>	4
<i>Eryngium nudicaule</i>	3	<i>Coelorhachis selloana</i>	2	<i>Vulpia australis</i>	2
Total	74		78		77

Nota. Según año de evaluación (A. Quiñones, comunicación personal, s.f.).

Cabe mencionar, que el 74%, 78% y 77% de la cobertura vegetal total registrada en los años 2021, 2022 y 2023, respectivamente, fue ocupada por las diez especies más abundantes. El porcentaje restante corresponde a un conjunto de especies adicionales, un total de 124 registradas, cada una con una participación individual menor en la cobertura total. Esta concentración de cobertura en pocas especies refleja una estructura vegetal con alta dominancia, donde un número reducido de especies desempeña un papel central en la conformación del dosel vegetal.

Entre los años 2021 y 2023, se observaron variaciones en la cobertura relativa de estas especies dominantes, lo que permite describir ciertos patrones de estabilidad y cambio dentro de la comunidad vegetal evaluada. *Paspalum notatum* se mantuvo como la especie con mayor cobertura durante los tres años consecutivos, con valores de entre 16 y 19%.

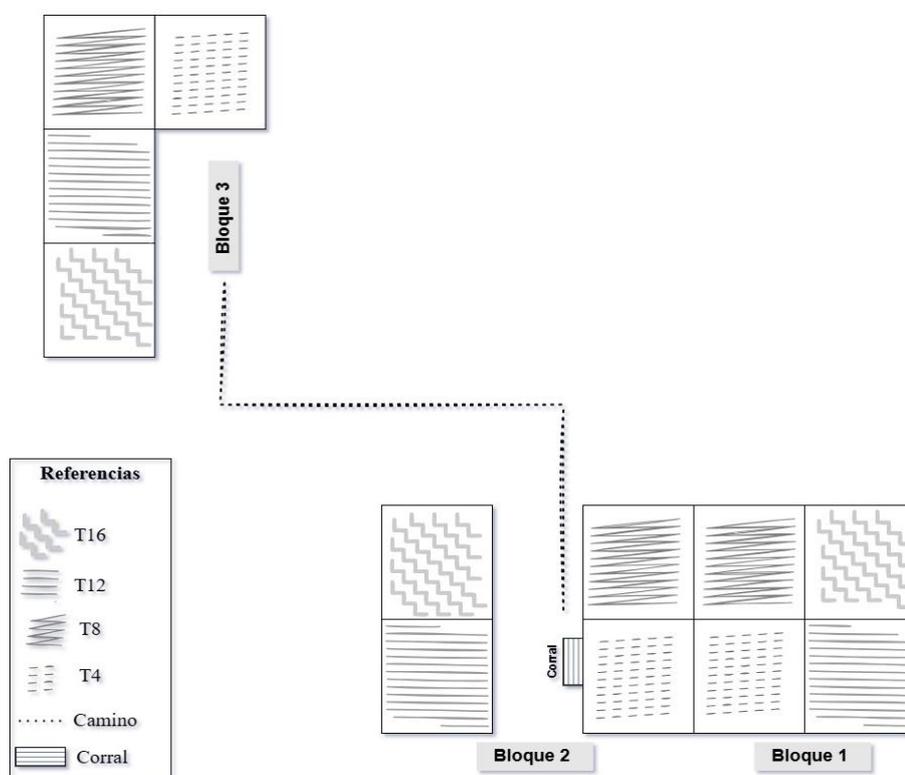
4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

Se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar, en el cual se evaluaron cuatro estructuras de forraje del campo natural, definidas según la altura promedio objetivo del pasto bajo pastoreo continuo (4, 8, 12 y 16 cm). Cada tratamiento fue replicado tres veces, totalizando 12 unidades experimentales (n = 12). Los

tratamientos se denominaron como sigue: T4 = 4 cm, T8 = 8 cm, T12 = 12 cm y T16 = 16 cm (Anexo A).

Figura 1

Distribución de bloques y tratamientos del ELP



Los bloques se diferenciaron según su posición topográfica: el Bloque 1 se ubicó a una altitud promedio de 50 m, el Bloque 2 correspondió a una zona baja con una altitud promedio de 44 m, mientras que el Bloque 3 presentó características topográficas similares a las del Bloque 1, con una altitud promedio de 48 m. Es importante destacar que, tal como se muestra en la Figura 1, el Bloque 2 se encuentra dividido por un camino que atraviesa la zona, el cual no pudo ser intervenido ni obstruido.

4.3 ANIMALES Y MANEJO

En el experimento se utilizaron borregas de la raza Corriedale Pro (Anexo B), esta raza se obtuvo a partir de mejoramiento genético a mediados de 2014 en un trabajo conjunto de Sociedad de Criadores de Corriedale (SCCU) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Se buscaba una alternativa que acortara los plazos productivos, aumentando la tasa ovulatoria y la habilidad materna, con el fin de mejorar los índices de señalada (cuello de botella de la producción). Es así, que a través de cruzamientos con razas prolíficas se planteó la incorporación de carneros media sangre cruzada de las razas Frisona Milchschaaf y Finnish Landrace o Finnsheep, sobre ovejas Corriedale, una raza con aptitudes como rusticidad, longevidad, adaptabilidad y buena producción de lana y carne. De esta forma, y luego de una estabilización de esta cruzada se

obtiene un animal 25% Frisona Milchschaf, 25% Finnish Landrace y 50% Corriedale, al que se denomina Corriedale Pro (Monzalvo et al., 2020).

Se utilizaron hembras de aproximadamente 11 meses de edad que pesan 31 kg (± 5 kg) en promedio para los 3 años del ensayo, al comienzo de la estación de pastoreo; todos los años ingresa un nuevo grupo de corderas al ELP. Se utilizaron 3 animales fijos por potrero ($n = 36$) y se ajusta la carga mediante el método *put-and-take* (Mott & Lucas, 1952) para mantener la altura deseada en cada tratamiento.

Las borregas pastorean de forma continua en sus respectivos potreros desde setiembre a mayo, lo que se denomina como estación de pastoreo (240 días promedio). Desde mediados de mayo a agosto el área experimental queda sin pastoreo (diferida), por las bajas tasas de crecimiento que presenta el campo natural en el invierno y la dependencia de mantener la altura deseada en cada tratamiento.

4.4 MEDICIONES Y ESTIMACIONES

4.4.1 Altura del pasto

Las mediciones de altura se realizaron cada 15 días con la regla denominada *sward-stick* (Barthram, 1986), la cual se caracteriza por presentar una varilla graduada en cm y una lengüeta que se utiliza con el fin de observar el contacto con las hojas de la pastura y así poder realizar la medición (Anexo C). En cada medición, se tomaban 100 puntos distribuidos en forma de zig-zag en cada potrero ($n = 1200$; 100 mediciones x 12 potreros) para luego obtener el promedio y evaluar si era o no necesario modificar la carga para mantener la altura del tratamiento correspondiente.

4.4.2 Masa de forraje

La masa de forraje instantánea (Mannetje, 2000) fue evaluada una vez al mes en todos los potreros. En cada uno de los cortes, se seleccionó al azar el lugar donde se realizaría el muestreo. Luego, se colocó un cuadro de 50 x 50 cm y se midieron 5 puntos de altura utilizando el *sward-stick* (Anexo D). Después de obtener las mediciones, se procedió a cortar el pasto al raz del suelo dentro del área delimitada por el cuadro, el cual fue colocado en una bolsa para su posterior procesamiento. Las muestras se dejan en la cámara de frío para al día siguiente comenzar con el procesamiento.

El procesamiento de las muestras se hace en el laboratorio, estas son pesadas individualmente con una balanza de precisión (0,01 g), registrando el peso fresco en una planilla, luego se toma una submuestra que pese aproximadamente 120 gramos se la coloca en una bolsa de papel con la respectiva identificación de número de muestra a la que corresponde (Anexo E) y se lleva a una estufa a 55°C por 72 horas. Posteriormente se saca la submuestra de la estufa y se registra el peso seco.

Una vez realizado lo anterior, la submuestra se muele en un molino de cuchillas con un tamiz de 1 mm, y posteriormente se coloca en una bolsa tipo ziploc con su correspondiente número de identificación.

Basado en análisis de MS analítica (105°C) se desarrolló un factor de corrección para el campo natural que fue de 0.95 (datos no publicados) y, por último, se estima el

stock de forraje en cada mes basado en la materia seca de forraje. Es decir, si el valor de la materia parcialmente seca es, por ejemplo 1000 kg/ha, este valor se multiplica por el factor de corrección, y el valor final de la masa de forraje sería de 950 kg de MS/ha.

4.4.4 Ganancia de peso vivo animal

En relación al desempeño animal, se evaluó la ganancia de peso, tanto individual como por hectárea. Para ello, se realizaron pesajes cada 30 días, durante la estación de pastoreo, con un ayuno previo de 12 horas de sólidos y líquidos, para reducir la variabilidad asociada al contenido digestivo (Anexo F).

La ganancia individual se determinó a partir de tres animales fijos por potrero, calculándose como la diferencia entre el peso final y el peso inicial durante el período evaluado. A partir de este resultado, se obtuvo la GMD dividiendo la ganancia total entre el número de días transcurridos entre pesadas.

La ganancia por hectárea se estimó multiplicando esta GMD individual promedio por la carga animal total expresada en número de animales por hectárea (incluyendo fijos y volantes). Para ello, se consideró el peso promedio de tres animales fijos como referencia para convertir la carga en animales por hectárea, mediante la fórmula:

$$\text{Número de animales/ha} = \frac{\text{Carga total (kg PV/ha)}}{\text{Peso promedio de los animales fijos (kg)}}$$

Por ejemplo, si la carga total es de 100 kg PV/ha y el peso de los tres animales fijos es de 35, la carga equivale a: $100/35 = 2,86$ animales/ha.

A su vez, esta carga puede expresarse en unidades ganaderas (UG/ha), considerando que una unidad ganadera corresponde a 380 kg PV: $100/380 = 0,26$ UG/ha.

Este procedimiento permitió cuantificar de forma precisa el desempeño animal a nivel individual y por superficie, integrando el efecto del manejo en la altura del pasto sobre la carga y el peso de los animales. Facilitando así la comparación entre tratamientos con diferente estructural del pastizal.

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para las variables relacionadas al forraje (altura y masa de forraje), se ajustó un modelo de efectos mixtos en R (software estadístico), utilizando el paquete *lme4*, considerando el tratamiento como efecto fijo, y el bloque, la medición (mes) y el año como efectos aleatorios. En el caso de las variables relacionadas con los animales (ganancia de peso vivo individual y por hectárea), también se utilizó un modelo mixto, donde el tratamiento se consideró como efecto fijo, y el bloque y el año como efectos aleatorios.

Se verificaron los supuestos del modelo, incluyendo la normalidad de los residuos y la homogeneidad de varianzas, mediante herramientas del paquete *performance*, que permite evaluar gráficamente la normalidad de los residuos a través de histogramas, QQ-plots y otros métodos.

Posteriormente, se realizaron comparaciones pareadas entre tratamientos mediante el test de Tukey, considerando un nivel de significancia del 5%. Fue utilizado el paquete emmeans, con ajuste para comparaciones múltiples.

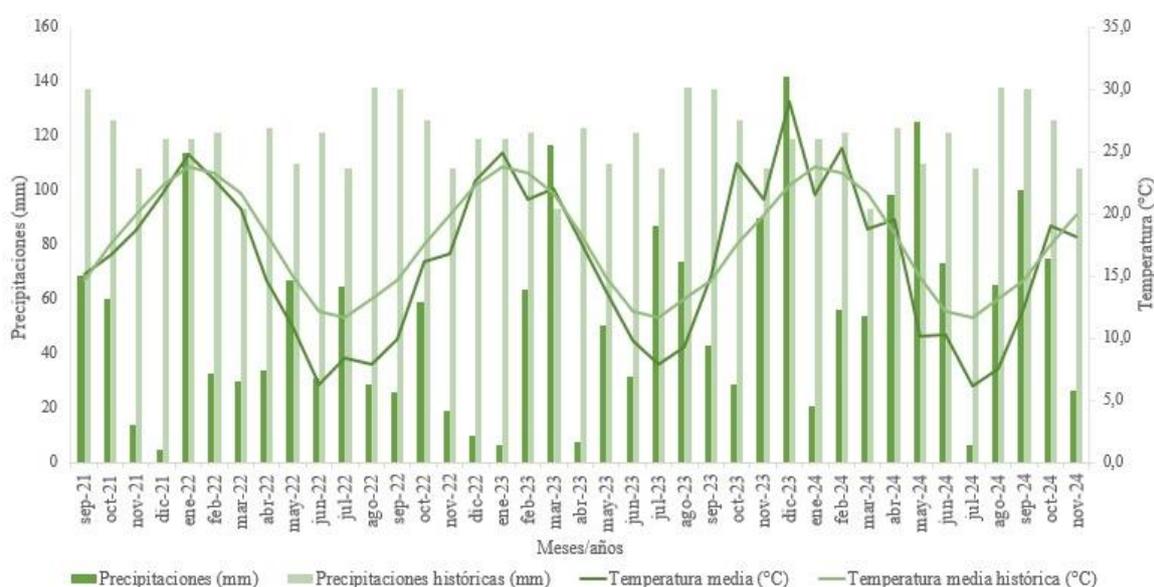
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DATOS METEOROLÓGICOS

A continuación, se analiza la evolución de las precipitaciones y la temperatura durante el periodo de evaluación del ELP (2021-2024), utilizando datos registrados en la Estación Meteorológica de la UEPP (A. Oxley, comunicación personal, 7 de abril, 2025). Estos se comparan con los promedios históricos mensuales de precipitaciones y temperatura media correspondientes al departamento de Treinta y Tres, calculados para el periodo 1991-2020, según la información provista por el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, 2025).

Figura 2

Precipitaciones y temperatura del ELP (2021-2024) y su comparación con las medias históricas



Nota. Elaborado a partir de los datos meteorológicos tomados de INUMET (2025) y de la Estación Meteorológica de la UEPP (A. Oxley, comunicación personal, 7 de abril, 2025).

El análisis climático del periodo de evaluación (2021-2024), representado en la Figura 2, permitió identificar importantes desviaciones en las variables de precipitación y temperatura. Cabe aclarar que el dato correspondiente a diciembre 2024 no se encontraba disponible al momento del análisis.

Durante gran parte del periodo 22-23 se registró un déficit hídrico sostenido, con precipitaciones mensuales por debajo del promedio histórico. Esta situación se extendió por varios meses consecutivos, acentuando las restricciones de agua para el crecimiento del forraje. A partir del segundo semestre del 2023 se observó una recuperación parcial de las precipitaciones, aunque con alta variabilidad intermensual, sin lograr estabilizarse completamente.

En cuanto a la temperatura media, se constató una relativa estabilidad en la mayoría de los meses, aunque con ciertos desvíos significativos. Particularmente durante los veranos 21-22 y 22-23, las temperaturas medias mensuales superaron los valores históricos, acentuando el estrés térmico y agravando los efectos de la sequía. Estas condiciones influyeron adicionalmente en la fisiología del pasto y en el comportamiento ingestivo de los animales, afectando la eficiencia del sistema pastoril.

Por tanto, estas condiciones climáticas adversas, especialmente la sequía prolongada, impactaron de forma directa sobre la dinámica del pastizal y la disponibilidad de forraje, reforzando la importancia de un manejo adaptativo centrado en la altura del pasto como variable clave para ajustar la carga animal y sostener la funcionalidad del sistema pastoril.

5.2 ESTRUCTURA DEL FORRAJE

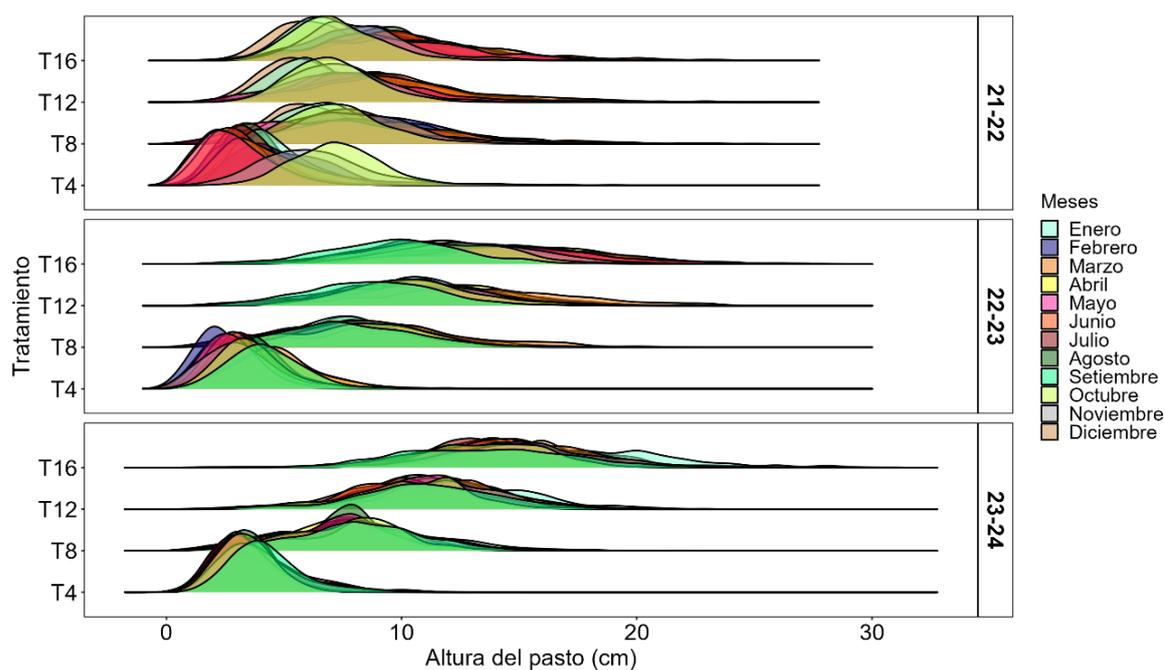
5.2.1 Altura

Para caracterizar el comportamiento de la altura del forraje en cada tratamiento, se presentan los datos mensuales y anuales correspondientes al año experimental (21-22, 22-23 y 23-24).

Con el objetivo de visualizar la distribución de las alturas mensuales en función del período y el tratamiento, se aplica un análisis descriptivo sin inferencia estadística. La Figura 3 muestra un gráfico de densidad, que permite visualizar la variabilidad y tendencia de los datos a lo largo del tiempo.

Figura 3

Gráfico de densidad para las alturas promedio de pasto por tratamiento, para cada periodo



El gráfico representa la distribución de la altura del pasto (cm) observada en los potreros, manejados bajo cuatro tratamientos experimentales definidos por la altura del pasto objetivo, 4, 8, 12 y 16 cm (T4, T8, T12 y T16). Los datos se muestran para tres ciclos anuales consecutivos: 21-22, 22-23, 23-24, organizados en paneles horizontales. Cada curva de densidad representa la distribución de alturas del pasto registradas mensualmente en cada tratamiento y los colores indican el mes del año según la leyenda lateral. Este enfoque permite visualizar simultáneamente la variación estacional e interanual de la altura del pasto en respuesta al manejo aplicado.

Con base en esto, se puede afirmar que las alturas registradas se mantuvieron relativamente estables dentro de cada tratamiento a lo largo del tiempo, sin evidenciar fluctuaciones mensuales marcadas. Esta estabilidad refleja la eficacia del manejo aplicado para mantener las alturas objetivo definidas en cada tratamiento, mediante ajustes dinámicos en la carga animal (Rosa et al., 2017). Durante la fase inicial del experimento (21-22), se observó una convergencia en las alturas promedio entre tratamientos. Esta similitud se explica por el hecho de que todos los potreros iniciaron el ensayo con una altura de forraje similar (~7,25 cm), lo que redujo la heterogeneidad estructural del pastizal. Sin embargo, con el transcurso del tiempo del ensayo, se realizaron ajustes en la intensidad del pastoreo – mediante incrementos o reducciones en la carga animal – con el fin de alcanzar o sostener las alturas establecidas en el diseño experimental (Da Silva et al., 2015).

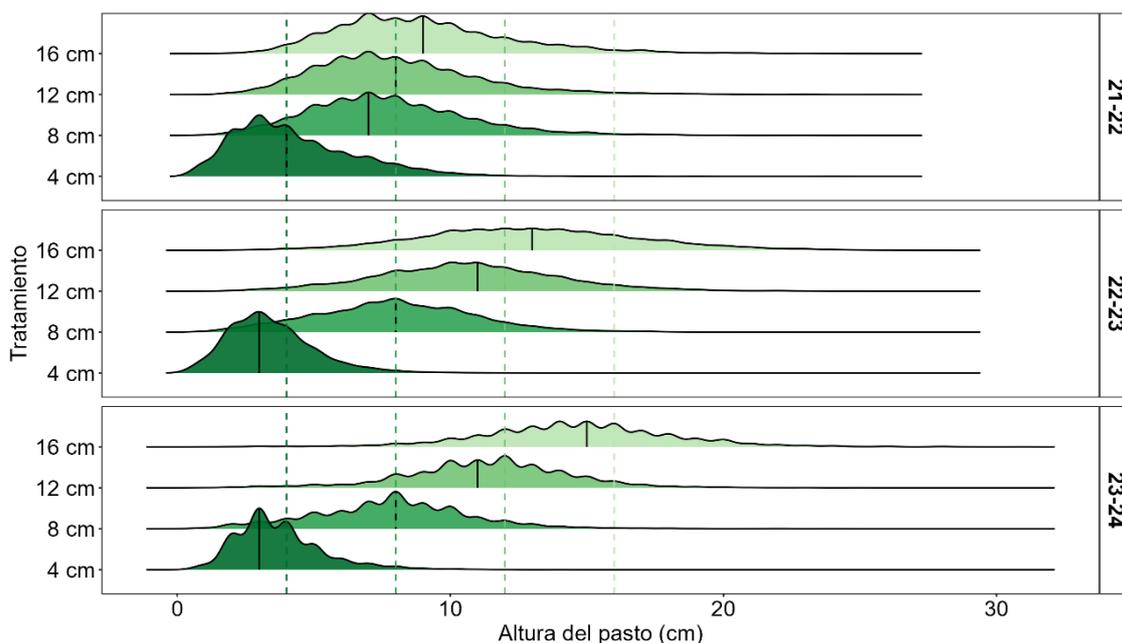
Estos ajustes permitieron una diferenciación clara entre tratamientos a lo largo del tiempo, como lo evidencia el desplazamiento de las distribuciones en el gráfico: tratamientos con alturas objetivo mayores (T12 y T16) mostraron distribuciones centradas en valores más altos, mientras que tratamientos con alturas más bajas (T4 y T8) se concentraron en rangos inferiores. A pesar de cierta superposición en algunos meses, particularmente durante periodos de mayor tasa de crecimiento del forraje, como ocurre en primavera, la diferenciación entre las distribuciones de altura se torna más marcada a partir del periodo 2022-2023, consolidándose en el periodo 2023-2024.

Al comparar el último ciclo evaluado con el inicial, se evidencia una reducción en la variabilidad de la altura del forraje dentro de cada tratamiento. Esto indica una mayor estabilidad estructural del pastizal y un cumplimiento más preciso de los valores objetivo, lo cual coincide con lo reportado por Sbrissia y Da Silva (2001) sobre la importancia de mantener una estructura funcional del dosel para maximizar la eficiencia del pastoreo. Esta consistencia es fundamental para garantizar una estructura de pasto adecuada y sostenida en el tiempo, de acuerdo con cada tratamiento (Fonseca et al., 2012).

El análisis descriptivo llevado a cabo para poder visualizar el comportamiento de cada tratamiento a nivel de cada año de evaluación (Figura 4), permitió identificar tendencias claras en la distribución de alturas del forraje. La línea punteada en el gráfico señala las alturas objetivo asignadas a cada tratamiento (T4, T8, T12 y T16) en tanto que los valores medios alcanzados durante cada periodo se sitúan en el centro de cada curva de densidad, reflejando el comportamiento real respecto a la meta establecida.

Figura 4

Gráfico de densidad para las alturas promedio en cada tratamiento para cada año de evaluación



En el primer periodo de evaluación (21-22), se observa una mayor discrepancia entre la altura media registrada y el valor objetivo en los tratamientos T12 y T16, lo cual es evidente en la distribución de densidad de estos tratamientos. En estos casos, la mayor parte de la densidad se encuentra desplazada por debajo de las líneas punteadas, que indican los valores de altura objetivo, lo que sugiere que el crecimiento del pasto fue menor al esperado. En contraste, los tratamientos T4 y T8 presentaron distribuciones más alineadas con las líneas punteadas, lo que indica que la altura media de estos tratamientos estuvo más cercana a las metas establecidas. Estos resultados concuerdan con estudios previos que indican que el crecimiento del pasto está influenciado no solo por la altura inicial de corte, sino también por factores como la disponibilidad de recursos y la competencia interespecífica por luz y nutrientes (Briske et al., 2008).

En los periodos subsiguientes (22-23 y 23-24), el gráfico refleja una reducción progresiva de la altura del pasto en la mayoría de los tratamientos, con excepción de T8. Esta tendencia se hace evidente en el desplazamiento de las distribuciones hacia la izquierda, lo que sugiere un menor crecimiento del forraje en estos periodos. La disminución sostenida de la altura media del pasto puede explicarse por el déficit hídrico registrado durante estos periodos (Figura 2), lo que habría reducido la capacidad de recuperación del forraje y su desarrollo estructural. Autores han sostenido que la disponibilidad de agua es uno de los principales factores limitantes para la producción de forraje, ya que afecta la tasa de crecimiento, la eficiencia en el uso del agua y la recuperación post-defoliación de las especies forrajeras (Volaire, 2018).

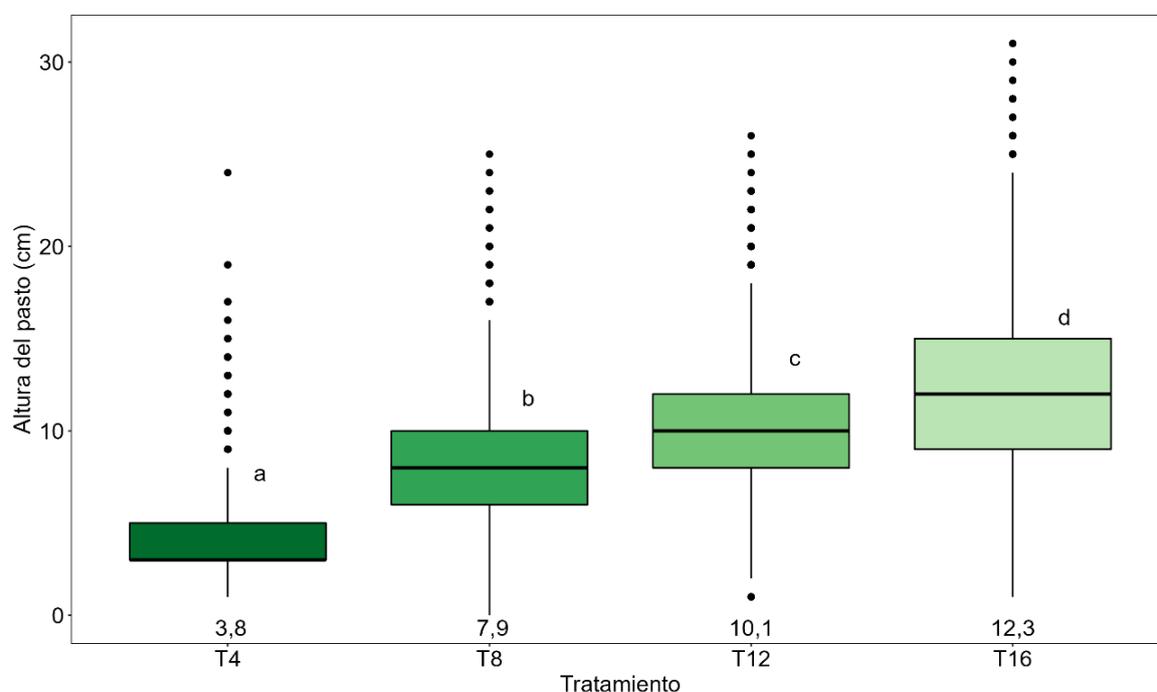
Además, la variabilidad observada en las distribuciones sugiere que la respuesta del pastizal no fue homogénea en todos los tratamientos. Esta heterogeneidad podría estar relacionada con diferencias en la resiliencia de las especies presentes en la comunidad

vegetal, así como con variaciones en la estructura del dosel y en la eficiencia del rebrote tras el pastoreo (Duru et al., 2012). Este patrón resalta la sensibilidad del sistema pastoril a las condiciones climáticas y destaca la importancia de un manejo adaptativo del pastizal que tome en cuenta la variabilidad en la disponibilidad hídrica y sus efectos sobre la producción forrajera (Paruelo et al., 2007).

Por otro lado, se analizó el comportamiento de los distintos tratamientos a lo largo del periodo de estudio de manera integral (Figura 5), mediante un análisis estadístico. Este enfoque permitió identificar las variaciones y patrones de los datos recopilados, proporcionando una caracterización detallada en la dinámica de la variable evaluada.

Figura 5

Gráfico de cajas de alturas promedio por tratamiento en el periodo de evaluación (2021-2024)



En primer lugar, el gráfico revela que existen diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro tratamientos analizados ($p < 0.05$). Destaca, además, la variabilidad en los datos de cada tratamiento, la cual se manifiesta en la amplitud intercuartílica y su relación con la media, reflejando la heterogeneidad en la distribución de los valores observados. Aunque las alturas de los tratamientos T12 y T16 no fueron alcanzadas cuando se observó el promedio global de los 3 años, los tratamientos son diferentes.

El T4 se caracteriza por ser el menos variable, lo que se evidencia en una menor distancia entre el primer y tercer cuartil. Esto indica que la mayoría de los valores se agrupan en un rango estrecho, sugiriendo mayor estabilidad y menor dispersión en los

datos de este tratamiento. Por otro lado, el T16 presenta la mayor variabilidad, lo que se refleja en un rango intercuartílico más amplio y una mayor dispersión de los datos en relación a la media. A pesar de esta mayor variabilidad general, los valores extremos en T16 son relativamente menos pronunciados en comparación con los observados en T4, lo que sugiere que, aunque los datos estén más dispersos no existen valores atípicos extremos altos o bajos.

En cuanto al T8 y T12, si bien presentan diferencias entre sí, ambos muestran una distancia similar entre sus cuartiles. Esto sugiere que su variabilidad es intermedia y relativamente homogénea en comparación con los tratamientos extremos (T4 y T16). La similitud en la dispersión de los datos de estos dos tratamientos podría indicar patrones de comportamiento comparables dentro de todo el periodo de evaluación.

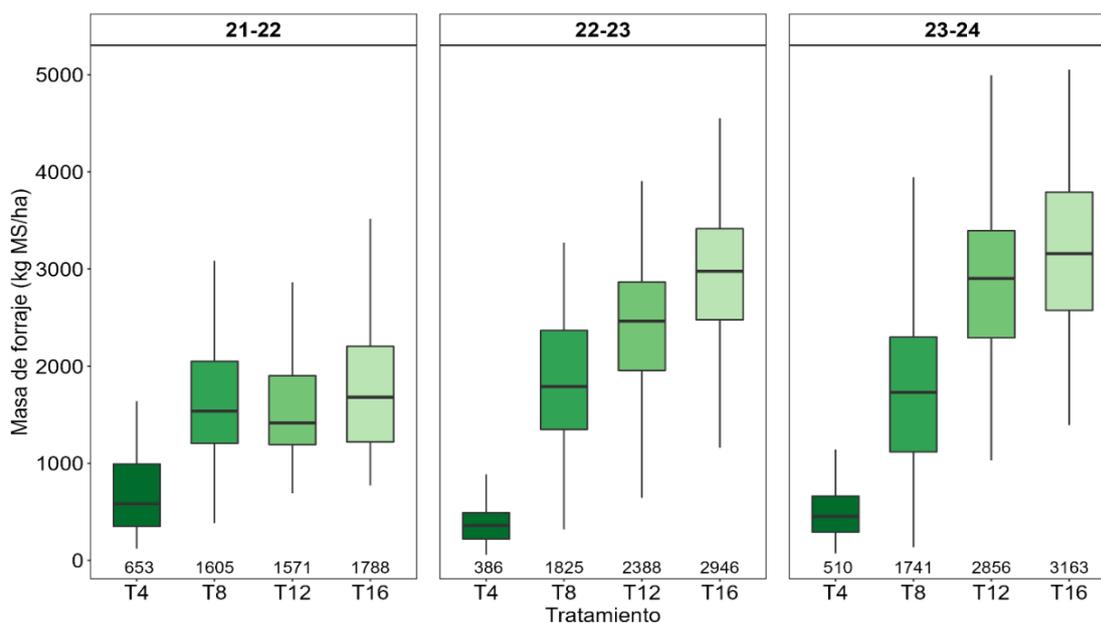
En conjunto, estos resultados permiten inferir que la variabilidad de cada tratamiento sigue un patrón diferenciado, donde el T4 exhibe mayor estabilidad, el T16 mayor dispersión y el T8 y T12 se ubican en un punto intermedio en términos de variabilidad.

5.2.2 Masa de forraje

Para evaluar la variabilidad en el stock de forraje instantáneo (kg MS/ha) a lo largo del tiempo entre los distintos tratamientos (Figura 6), se realizó un análisis descriptivo sin aplicación de métodos estadísticos. Este análisis permitió caracterizar el comportamiento de la masa de forraje dentro del conjunto de datos, identificando tendencias generales, fluctuaciones y posibles patrones en su distribución. Asimismo, facilitó la comparación del impacto de cada tratamiento en la producción de biomasa.

Figura 6

Masa de forraje promedio (kg MS/ha) por tratamiento y año de evaluación



Como se observa en la Figura 6, la masa de forraje fue más baja durante el primer periodo de evaluación. La distribución de los datos muestra que, para este periodo, en los tratamientos T4, T8 y T12, el primer cuartil se posicionó más próximo a la media que el tercer cuartil, lo que refleja una mayor dispersión hacia valores superiores. Esta asimetría sugiere una mayor variabilidad en la producción en estos tratamientos en comparación con T16, el cual presentó una producción más simétrica y homogénea. Esta dinámica podría estar relacionada con características estructurales del crecimiento inicial, considerando que el ensayo se inició con alturas de forraje similares entre tratamientos, lo que propició una producción relativamente uniforme de biomasa en cada uno de ellos (Gastal & Lemaire, 2015).

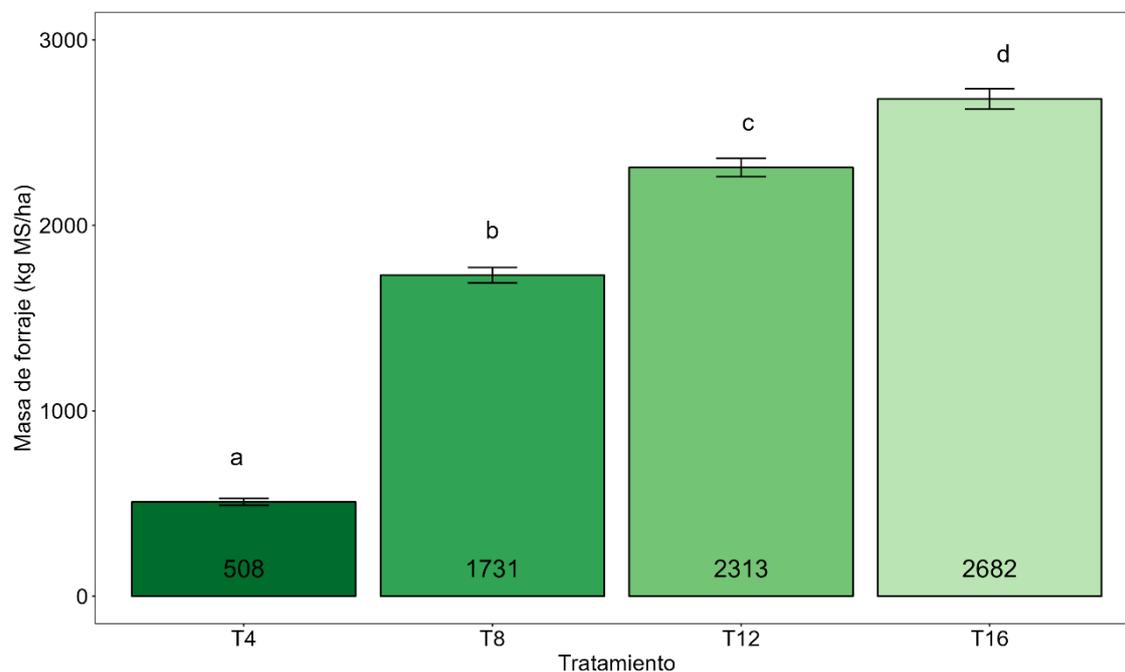
En el segundo período de evaluación (2022-2023), se observó un aumento general en el stock de forraje, con excepción del T4 que dicho stock se vio reducido a casi la mitad. Sin embargo, este incremento se vio limitado por la escasa disponibilidad de agua, consecuencia de un período de déficit hídrico (Figura 2). Esta condición de estrés limitó la expansión foliar, la tasa fotosintética y, por consiguiente, la acumulación de MS del forraje, en concordancia con lo reportado por diversos autores sobre los efectos negativos del estrés hídrico en gramíneas (Taiz et al., 2017).

Durante el último periodo de evaluación, si bien no hubo una mejora drástica en las condiciones hídricas, sí hubo precipitaciones que provocaron un ambiente más favorable para el crecimiento vegetal. Esta mejora se tradujo en un aumento marcado en el stock de forraje en todos los tratamientos. La respuesta positiva de las plantas a la disponibilidad de agua refuerza el papel fundamental de este recurso en la regulación del crecimiento y productividad de los sistemas pastoriles (Assuero & Tognetti, 2010).

Asimismo, con el objetivo de analizar de manera integrada el stock de forraje por tratamiento a lo largo de los tres años de evaluación (Figura 7), se llevó a cabo un análisis estadístico. En este se calcularon medidas de tendencia central, como la media, y parámetros de dispersión, incluyendo el error estándar de la media. Estos indicadores permitieron caracterizar la distribución de los datos, cuantificar la variabilidad entre tratamientos y evaluar la heterogeneidad en la producción de forraje a lo largo del periodo de estudio.

Figura 7

Gráfico de barras para masa de forraje promedio (kg MS/ha) por tratamiento, 2021-2024



El análisis de la representación gráfica (Figura 7) evidencia diferencias estadísticamente significativas en la masa de forraje entre los tratamientos T4, T8, T12 y T16 ($p < 0.05$). Se observa un aumento en los kg de MS a medida que se incrementa la altura del pasto, alcanzando su punto máximo en el tratamiento T16. Este patrón responde a la relación directa entre la altura del forraje y la masa de forraje, lo cual tiene implicancias sobre la oferta de forraje disponible para el pastoreo y, en consecuencia, sobre la carga animal y el equilibrio entre la oferta y demanda (Da Silva & Nascimento Júnior, 2007).

Sin embargo, en condiciones de baja altura, como el tratamiento T4, la alta intensidad de pastoreo reduce significativamente el stock de la biomasa, comprometiendo la capacidad de recuperación del forraje. Esta intensidad limita el área foliar remanente y restringe los procesos fisiológicos esenciales para la regeneración, afectando la tasa de crecimiento y acumulación de MS (Lemaire et al., 2009). Además, esta situación impacta negativamente sobre el consumo animal, al reducir la tasa de bocado y la eficiencia de pastoreo, y puede deteriorar el desempeño global del sistema productivo (Carnevalli et al., 2006).

Por otro lado, si bien alturas mayores como el tratamiento T16 promueven un mayor stock de forraje, debido a una menor frecuencia de defoliación y mayor interceptación lumínica, este aumento no necesariamente se traduce en una mejora en el valor nutritivo del forraje. La acumulación de tejido senescente o material muerto en el estrato inferior del dosel contribuye a reducir la digestibilidad, el contenido proteico y la palatabilidad del forraje, generando un efecto negativo sobre la selección y consumo animal (Moojen & Maraschin, 2002).

En este contexto, los tratamientos intermedios (T8 y T12) constituyen una alternativa de manejo que optimizan el stock de forraje. Estas alturas moderadas facilitan una mayor eficiencia de utilización del pasto, reducen las pérdidas por rechazo y favorecen un mejor desempeño animal, al mismo tiempo que mantienen una tasa adecuada de recuperación y persistencia del tapiz natural (Rodríguez Palma et al., 2024). Por lo tanto, el manejo del pastoreo con base en alturas intermedias podría representar una alternativa sostenible para mejorar la disponibilidad instantánea de forraje, la productividad vegetal y animal en sistemas pastoriles.

5.3 PRODUCCIÓN ANIMAL

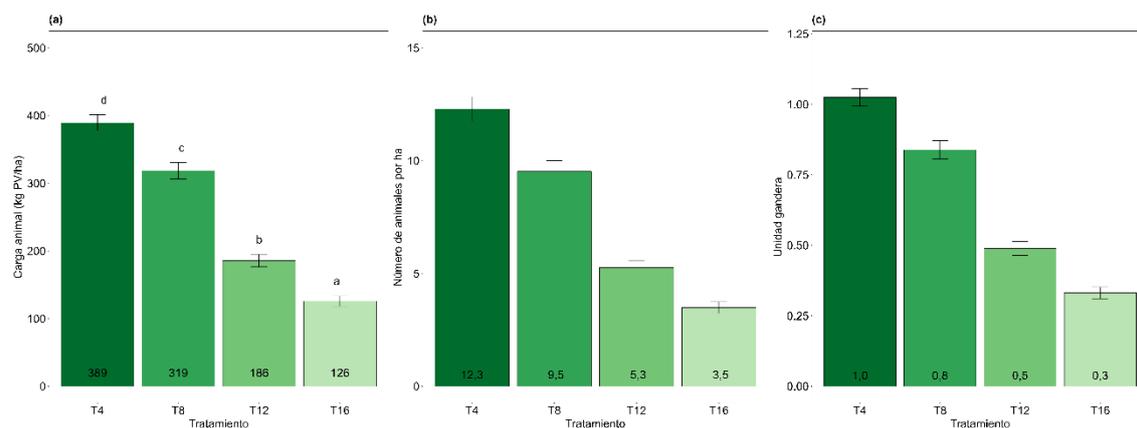
5.3.1 Carga animal, número de animales y unidades ganaderas por área

Para el análisis de la carga animal en los distintos tratamientos a lo largo de todo el periodo de evaluación, se empleó estadística con el objetivo de caracterizar la distribución de la variable y evaluar su comportamiento en función de los diferentes manejos aplicados.

Dado que la carga animal se expresa en términos de número de animales presentes por unidad de superficie, se procedió a su conversión a unidades ganaderas (UG) para estandarizar la comparación entre tratamientos (Figura 8 (a), (b) y (c)). Esta transformación permitió una representación más homogénea de la presión del pastoreo, ajustada al peso vivo de los animales, facilitando así la integración de esta variable con otros indicadores productivos.

Figura 8

Gráfico de barras para la carga animal por tratamiento, 2021-2024



Nota. (a) carga animal (kg PV/ha), (b) carga animal expresada en número de animales por ha y (c) expresada en unidades ganaderas por ha.

La equivalencia estadística entre el número de animales y las UG se debe a que ambas variables fueron derivadas de los mismos datos de carga animal, lo que garantiza la coherencia en la interpretación de los resultados. Asegurando de esta manera, que las diferencias observadas entre tratamientos reflejan con mayor fidelidad el impacto de la carga animal en la productividad del sistema.

De acuerdo con lo observado en el gráfico de barras (Figura 8), se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T4 registró la mayor carga animal, con 12.3 borregas/ha y 1 UG/ha, lo cual se tradujo en la mayor producción de peso vivo por hectárea (kg PV/ha). Esta mayor productividad se encuentra directamente asociada al número de animales por unidad de superficie, ya que la carga animal influye de manera determinante en la dinámica de consumo y utilización del forraje (Gonçalves et al., 2009). En este contexto, una mayor carga puede favorecer la eficiencia de cosecha del forraje disponible, siempre que se mantenga un equilibrio adecuado con la tasa de crecimiento del pasto y no se comprometan ni el consumo individual ni la persistencia del recurso forrajero (Da Trindade et al., 2012).

Sin embargo, cuando la presión de pastoreo supera la capacidad de recuperación del sistema, se reduce la disponibilidad de forraje, lo que limita el consumo voluntario y la ganancia de peso individual. A largo plazo, el sobrepastoreo sostenido puede deteriorar las propiedades físicas del suelo, disminuir la cobertura vegetal y afectar la resiliencia del sistema productivo, comprometiendo su sustentabilidad.

En contraste, el tratamiento T16 presentó la menor carga animal, con apenas 3.5 animales/ha y 0.3 UG/ha, lo cual resultó en la menor producción de kg PV/ha. Este bajo rendimiento se asocia a una subutilización del recurso forrajero, debido a una densidad animal insuficiente para convertir eficientemente la biomasa disponible en producción animal (Carvalho, 2013). La menor presión de pastoreo en este tratamiento probablemente resultó en una mayor acumulación de forraje de menor valor nutricional (senescente o muerto), reduciendo el consumo voluntario y, por ende, la eficiencia del sistema.

Los tratamientos intermedios T8 y T12, representaron situaciones de carga moderada. Entre ambos, el T8 produjo un 42% más de kg PV/ha que el T12, lo que pone de manifiesto la importancia de manejar el pasto en alturas intermedias. Este manejo no solo permite sostener cargas adecuadas y seguras, sino que también optimiza la productividad por hectárea sin afectar la ganancia de peso individual. Ello se debe a una mejor relación entre la oferta y el consumo de forraje por parte de los animales (Da Silva & de Faccio Carvalho, 2005). Además, este tipo de manejo permite mantener un mayor stock de forraje, lo cual es clave para enfrentar condiciones climáticas adversas, como sequías. En contraste, tratamientos como el T4, que mantienen una baja altura del pasto, presentan un stock de forraje muy limitado, lo que compromete seriamente la productividad en años secos.

Por lo tanto, la elección de una carga animal adecuada se consolida como un elemento clave para maximizar la eficiencia productiva en sistemas pastoriles. Es fundamental evitar tanto cargas excesivas (T4), que puedan reducir el consumo individual y comprometer el desempeño animal, como cargas demasiado bajas, que conducen a una subutilización del forraje disponible y disminuyen la productividad por unidad de superficie. El manejo estratégico de la carga animal permite equilibrar la oferta y demanda de forraje, optimizando así la conversión de biomasa en producto animal (Carvalho, 2013).

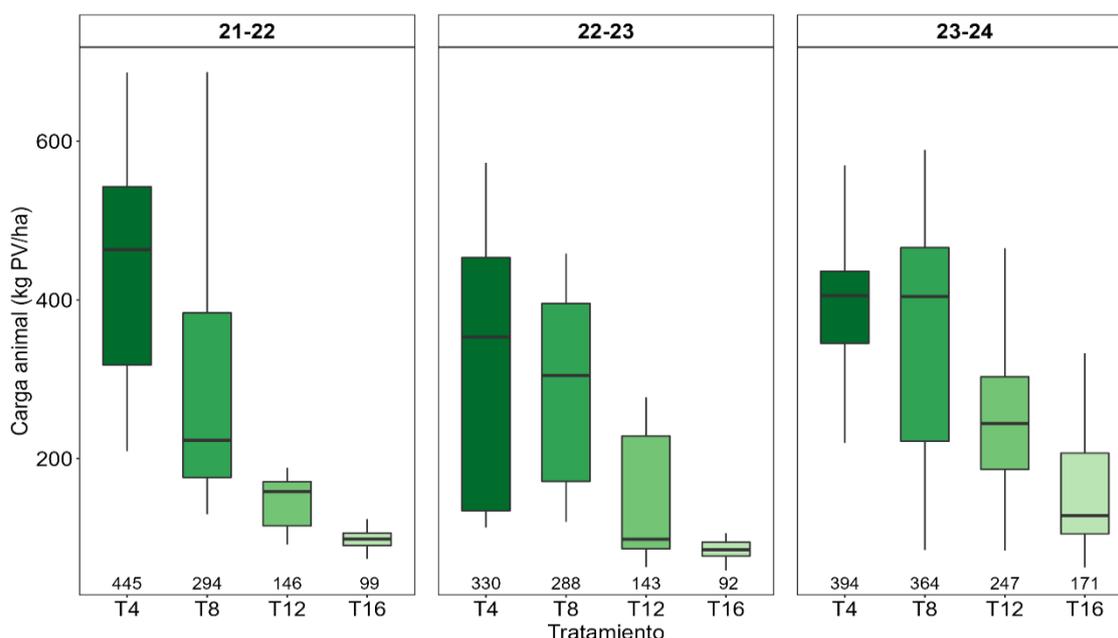
Sin embargo, es importante tener en cuenta que, para mantener un campo natural con una altura promedio de 8 cm (considerada ideal), a nivel predial, se requiere contar con áreas manejadas con menor carga animal (como en los tratamientos T12 o T16). Esto

asegura el mantenimiento y la ganancia de los animales durante todo el año, especialmente en invierno, cuando la producción de forraje es baja y es fundamental contar con una adecuada disponibilidad. Lo mismo ocurre en años secos.

Para el análisis de la carga animal correspondiente a cada tratamiento y año de evaluación, se empleó la metodología de análisis descriptivo (Figura 9), con el fin de caracterizar y comparar los valores observados en función de las variaciones temporales y los diferentes manejos aplicados en relación a la altura del forraje de cada tratamiento.

Figura 9

Gráfico de cajas de carga animal por tratamiento en cada periodo de evaluación



A partir del análisis del gráfico, se observa una clara variabilidad tanto entre tratamientos como entre años de evaluación. En lo que respecta a la variabilidad entre tratamientos, puede observarse que los tratamientos correspondientes a menores alturas (T4 y T8) presentan una mayor dispersión de los datos, expresada en la amplitud de las cajas y bigotes del gráfico. Esta mayor variabilidad puede atribuirse a una mayor sensibilidad del sistema a factores ambientales y de manejo cuando se trabaja con alturas más bajas, posiblemente debido a una mayor presión de pastoreo y a un menor margen de recuperación del forraje (Da Silva & Nascimento Júnior, 2007). Por el contrario, los tratamientos con manejo de alturas mayores (T12 y T16) muestran distribuciones más concentradas, lo que sugiere una respuesta más estable y consistente del sistema bajo este tipo de manejo, posiblemente como resultado de un menor estrés fisiológico sobre el forraje y una mayor resiliencia del pastizal (Lemaire et al., 2009).

Por otro lado, desde una perspectiva interanual, se destaca una disminución generalizada en la carga animal durante los años 2022-2023. Este comportamiento puede explicarse por el déficit hídrico registrado en ese periodo, el cual impactó negativamente sobre la tasa de crecimiento del forraje. Dado que el sistema busca mantener una altura objetivo de pasto para cada tratamiento, esta reducción en la tasa de crecimiento, obligó

a disminuir la carga animal – es decir, el número de animales por unidad de superficie – para evitar el sobrepastoreo y mantener la estructura deseada del pastizal. En el siguiente periodo (2023-2024), tras la recuperación de las condiciones hídrica, se observa un incremento en la carga animal en todos los tratamientos, lo que refleja una mejora en la disponibilidad de forraje y en la capacidad del sistema de sostener una mayor demanda animal.

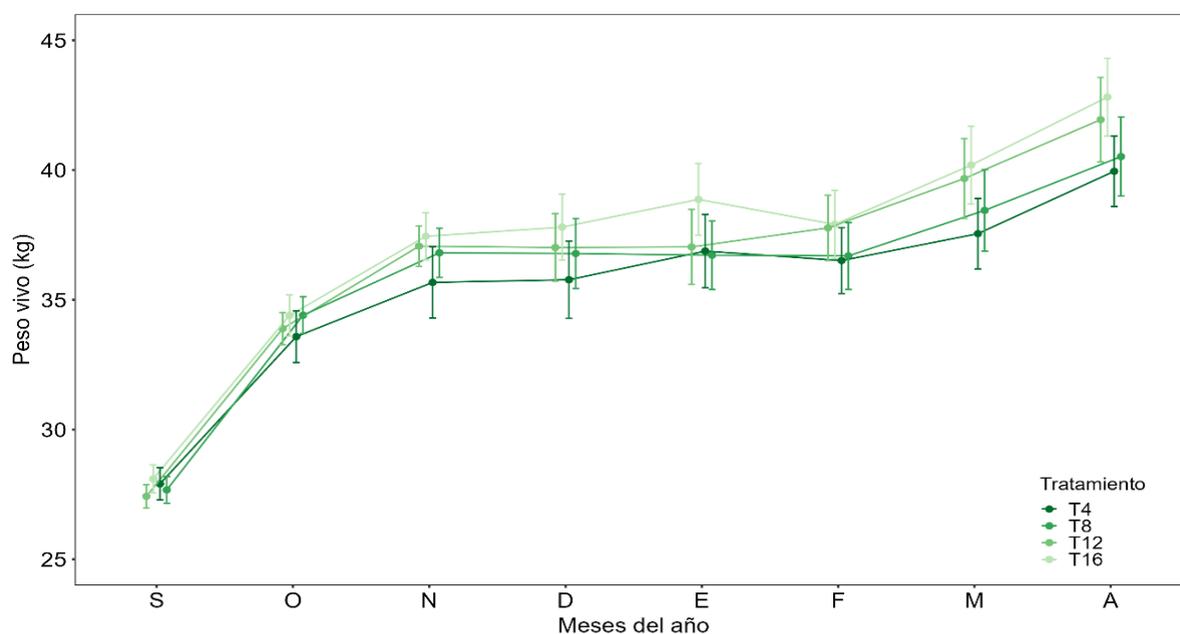
Estos resultados permiten establecer que la altura del pasto actúa como un determinante clave de la carga animal, influyendo tanto en la disponibilidad como en la estabilidad del recurso forrajero. Las alturas más bajas (T4 y T8) permiten una mayor cosecha de biomasa, pero a costa de una mayor variabilidad y potencial riesgo para la persistencia del pastizal. En cambio, alturas mayores ofrecen una mayor estabilidad, aunque con menor potencial de carga animal.

5.3.2 Ganancia animal individual

Con el objetivo de representar la evolución del peso vivo de los animales a lo largo de todo el período de evaluación, se realizó un análisis descriptivo de los datos obtenidos durante la estación de pastoreo. Este análisis tuvo carácter exploratorio y permitió observar las tendencias generales en la variación del peso vivo en función del tiempo, sin aplicar pruebas estadísticas.

Figura 10

Evolución del peso vivo promedio de las borregas 2021-2024



Nota. Durante la estación de pastoreo, 240 días promedio de los tres años de evaluación.

La Figura 10 representa la evolución del peso vivo de los animales a lo largo del período de pastoreo bajo los distintos tratamientos evaluados. A partir del análisis descriptivo de los datos, se observa un incremento pronunciado en el peso vivo durante el primer mes de evaluación (setiembre a octubre) en todos los tratamientos, lo cual refleja

una etapa inicial de adaptación favorable y una alta disponibilidad de forraje tras el ingreso al sistema.

Sin embargo, a partir de ese punto, las curvas de crecimiento comienzan a diferenciarse según la carga animal. En particular, el tratamiento T4 – caracterizado por la mayor carga (12.3 animales/ha) – presenta una estabilización temprana del peso vivo, con escasa evolución en los meses subsiguientes. Esta tendencia puede atribuirse al efecto negativo de una alta densidad animal sobre la disponibilidad individual de forraje, lo que repercute en una menor ganancia de peso individual, tal como se discutió previamente y según lo indicado por Gonçalves et al. (2009).

En contraste, los tratamientos con menor carga animal (especialmente T12 y T16) muestran una evolución más sostenida del peso vivo en el tiempo, aunque con menor producción por hectárea. Esto sugiere una mayor oferta individual de forraje, favoreciendo el desempeño individual, aunque con una menor eficiencia global del sistema.

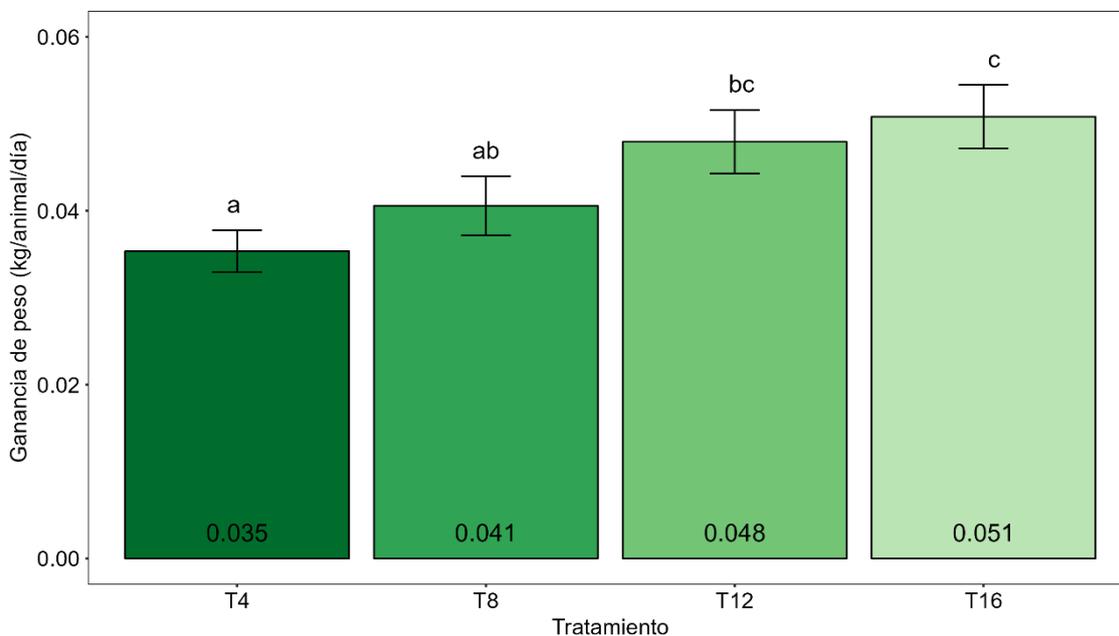
Durante los meses más cálidos (diciembre a febrero), se observa un estancamiento en el crecimiento del peso vivo en todos los tratamientos. Este fenómeno puede atribuirse a factores ambientales como las altas temperaturas, que afectan negativamente el comportamiento ingestivo de los animales. En condiciones de estrés térmico, los animales tienden a reducir su consumo voluntario de forraje como mecanismo de termorregulación, lo que limita la ganancia de peso (Blackshaw & Blackshaw, 1994). A partir del mes de febrero y con la llegada de condiciones otoñales más favorables (temperaturas más moderadas y potencial de recuperación del valor nutricional del forraje), se observa una recuperación general en la tasa de ganancia de peso en todos los tratamientos, reflejando una mejora en el consumo y la eficiencia individual.

No obstante, todos los tratamientos lograron que las borregas alcanzaran el peso mínimo requerido para la encarnera, establecido entre 36 y 38 kg de peso vivo (Banchemo et al., 2009). Esto indica que el manejo aplicado durante la recría fue adecuado y favoreció el desarrollo de los animales para su incorporación a la etapa reproductiva.

Por otra parte, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo con el objetivo de evaluar la ganancia media diaria (GMD) de peso vivo de los animales a lo largo del periodo experimental (Figura 11). Esto permitió obtener una estimación del desempeño productivo individual de los animales bajo diferentes alturas del forraje. La GMD es clave para interpretar el impacto del manejo del pastizal sobre la eficiencia de conversión individual y permite comparaciones directas entre tratamientos (Sollenberger & Burns, 2001).

Figura 11

Gráfico de barras para la ganancia de peso promedio (kg/animal/día) por tratamiento, 2021-2024



Nota. Durante la estación de pastoreo, 240 días promedio de los tres años de evaluación.

A partir de la Figura 11, se visualiza con mayor claridad el efecto de la carga animal sobre la ganancia de peso diaria individual (kg/animal/día) durante el periodo evaluado. Los resultados obtenidos revelan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, lo que evidencia que a medida que se reduce la carga animal, se incrementa la GMD.

En particular, el tratamiento T16, correspondiente a la menor carga (3.5 animales/ha), presentó la mayor GMD (0.051 kg/animal/día), mientras que el T4, con la mayor carga (12.3 animales/ha), mostró la menor GMD (0.035 kg/animal/día). Este comportamiento puede atribuirse, al menos en parte, a una mayor disponibilidad de forraje por animal en condiciones de carga reducida, lo que permite un mayor consumo voluntario, así como una mejor capacidad de selección, resultando en una dieta de mayor valor nutricional. En contraposición, cargas elevadas como las del tratamiento T4 intensifican la competencia por el recurso forrajero, lo que puede derivar en sobrepastoreo, disminuyendo tanto la disponibilidad como el valor nutritivo del forraje ofrecido, afectando negativamente el desempeño individual (Carvalho, 2013).

Asimismo, en los tratamientos intermedios (T8 y T12), se observa un incremento progresivo en la GMD (0.041 y 0.048 kg/animal/día, respectivamente), lo que sugiere que niveles de carga animal moderados podrían permitir un equilibrio entre la eficiencia de utilización del pastizal y el mantenimiento de un desempeño animal aceptable. Esta tendencia es coherente con lo señalado por Moojen y Maraschin (2002), así como por Gonçalves et al. (2009), quienes sostienen que existe una relación inversamente proporcional entre la carga animal y ganancia individual, especialmente en sistemas

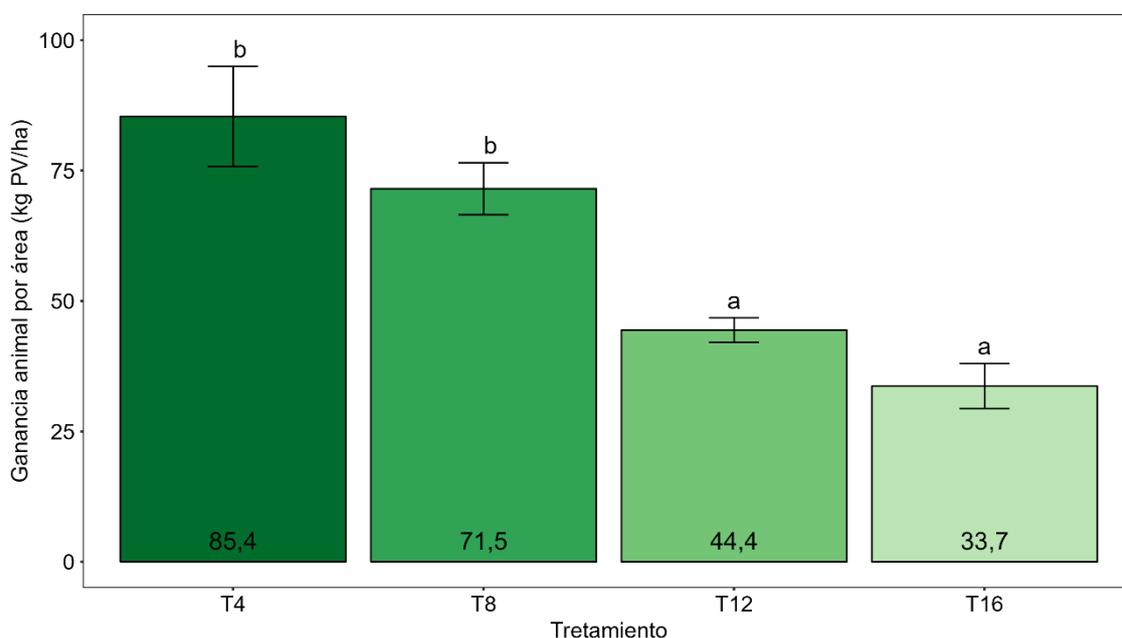
pastoriles donde el consumo está estrechamente condicionado por la disponibilidad y valor nutritivo del forraje.

5.3.3 Ganancia de peso animal por área

De manera análoga al análisis realizado para la GMD, se llevó a cabo un estudio estadístico descriptivo para evaluar la ganancia por unidad de superficie.

Figura 12

Gráfico de barras para la ganancia animal por área promedio, 2021-2024



Nota. Durante la estación de pastoreo, 240 días promedio de los tres años de evaluación.

El gráfico presentado en la Figura 12 muestra la ganancia animal por unidad de área (kg PV/ha) en los distintos tratamientos evaluados, correspondientes a las diferentes alturas del manejo del pasto. Existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), reflejadas por las letras que acompañan a cada barra. Los tratamientos T4 y T8, asociados a las menores alturas de pasto, presentaron los valores más altos de producción por hectárea (85,4 y 71 kg PV/ha, respectivamente), sin diferencias estadísticas entre ellos. Por el contrario, los tratamientos T12 y T16, correspondientes a las mayores alturas, mostraron las menores ganancias por unidad de superficie (44,4 y 33,7 kg PV/ha), también sin diferencias entre sí.

Estos resultados indican que un manejo basado en alturas más bajas, y consecuentemente con carga animal más alta, favorece una mayor productividad del sistema medida por unidad de superficie, explicada por una mayor densidad de animales. Sin embargo, este beneficio debe interpretarse con cautela. Desde un punto de vista ecológico y productivo, los resultados respaldan el concepto de que cargas animales elevadas intensifican la competencia por el forraje, lo que puede derivar en sobrepastoreo,

reducción del valor nutritivo y menor consumo de nutrientes por parte de los animales (Carvalho, 2013).

Por otro lado, los tratamientos T12 y T16, son los que exhibieron menores ganancias por hectárea, lo cual refleja la menor carga animal que presentaron. No obstante, esta baja productividad por hectárea está asociada a una mayor oferta forrajera por animal, lo que favorece el consumo individual, mejora el valor nutritivo de la dieta y, en consecuencia, se traduce en mayores ganancias de peso individual.

Finalmente, los resultados obtenidos evidencian que cargas elevadas (T4; 1 UG/ha) tienden a maximizar la producción por unidad de superficie, pero comprometen la ganancia de peso individual. En cambio, cargas bajas (T16; 0,3 UG/ha) favorecen el desempeño individual, aunque con menor productividad por hectárea. Esta relación inversa entre carga animal y eficiencia individual destaca la importancia de identificar un punto de equilibrio que optimice simultáneamente la ganancia por animal y el rendimiento total por superficie. Este equilibrio debe evaluarse tanto como una perspectiva productiva inmediata, así como también considerando la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

Un manejo eficiente debe ser capaz de adaptarse a condiciones variables, como los años secos, en los que una carga animal alta puede provocar un rápido agotamiento de las reservas forrajeras, afectando negativamente la estabilidad del sistema. En contraste, sistemas que operan con cargas bajas o moderadas (0,3-0,5 UG/ha), y que planifican adecuadamente el uso del forraje, pueden amortiguar tales efectos, reduciendo las pérdidas productivas. Por lo tanto, más allá de maximizar la producción en un momento determinado, resulta esencial adoptar estrategias que prioricen la resiliencia del sistema, favoreciendo su estabilidad y eficiencia ante efectos climáticos adversos y contribuyendo a su sostenibilidad a largo plazo.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que el manejo del pastoreo basado en la altura, ajustado mediante la carga animal, fue efectivo para mantener estructuras del dosel relativamente estables dentro de cada tratamiento a lo largo del tiempo. La estrategia permitió una diferenciación clara entre los tratamientos, consolidándose especialmente en los periodos 2022-2023 y 2023-2024, lo cual evidencia la eficacia de la estrategia aplicada para alcanzar las metas estructurales establecidas.

Desde un enfoque productivo y de sustentabilidad, los tratamientos con alturas intermedias (T8 y T12), demostraron ser alternativas de manejo que logran un balance entre stock de forraje y producción animal, ofreciendo niveles de biomasa adecuados con una presión de pastoreo moderada que permite una buena recuperación del tapiz, sin comprometer el desempeño animal. Además, favorecen tanto el rebrote del pastizal como la eficiencia en la cosecha y el aprovechamiento del forraje, contribuyendo a enfoques de intensificación sustentable (Wallau et al., 2024). Al tiempo que no comprometen la persistencia del pastizal ni su resiliencia frente a condiciones adversas.

En cuanto a los tratamientos extremos (T4 y T16), se identificaron limitaciones relevantes desde el punto de vista productivo y ecológico. El tratamiento T4, caracterizado por la menor altura de pasto y, en consecuencia, por la mayor carga animal, permitió alcanzar la máxima producción animal por unidad de superficie (sin diferencia con el T8). No obstante, este resultado se obtuvo a costa de una significativa reducción de la ganancia individual, debido a la intensificación de la competencia por el forraje disponible. Este tipo de manejo intensivo tiende a reducir la oferta individual de biomasa, limitando la capacidad de selección de los animales, lo cual repercute en su desempeño. Además, incrementa sustancialmente el riesgo de sobrepastoreo, comprometiendo la persistencia del recurso forrajero y la estabilidad del sistema, especialmente bajo condiciones climáticas adversas como los periodos de déficit hídrico.

Por otro lado, el tratamiento T16, asociado a la mayor altura del pastizal, y, por ende, a la menor carga animal, se tradujo en una mejora del desempeño individual de los animales (sin diferencia con el T12). Esta respuesta puede atribuirse a una mayor disponibilidad de masa forrajera por animal, derivada de la relación positiva que existe entre la altura y el stock de forraje. Dicha condición favoreció una mayor capacidad de selección, permitiendo a los animales consumir una dieta de mayor valor nutricional, lo que se reflejó en mayores ganancias de peso individuales. Sin embargo, esta estrategia condujo a una menor eficiencia de utilización del recurso forrajero a nivel de sistema, expresada en una baja producción por hectárea.

Además, se identificó que las condiciones climáticas, particularmente la disponibilidad hídrica, jugaron un rol determinante en la dinámica de crecimiento y disponibilidad del forraje y el desempeño animal. En años con déficit hídrico se observó una reducción significativa en la altura y stock forrajero, lo cual afectó negativamente la productividad global del sistema (Voltaire, 2018). Esta sensibilidad al clima destaca la necesidad de incorporar criterios de manejo flexible y adaptativo. Principalmente con mayor stock de forraje, que respondan a las variaciones ambientales, particularmente en escenarios de mayor incertidumbre climática (Pruel et al., 2007).

En este sentido, quedo comprobado que la relación existente entre la estructura del pastizal y la carga animal, stock de forraje y desempeño animal es altamente dinámica y requiere de un manejo estratégico. La identificación de puntos de equilibrio entre estos factores resulta clave para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de los sistemas pastoriles, maximizando la productividad sin comprometer la persistencia del recurso forrajero ni el bienestar animal. La flexibilidad en el manejo de la carga animal – ajustada según la altura del pasto, la estación y las condiciones climáticas – se consolida como una herramienta esencial para mejorar tanto la eficiencia como la resiliencia del sistema pastoril. Esta capacidad de adaptación se vuelve particularmente relevante en contextos de alta variabilidad interanual, como los observados en este estudio.

Por tanto, el manejo de la altura del pastizal, complementado con una planificación estratégica y flexible de la carga animal, constituye una herramienta clave para avanzar hacia sistemas pastoriles más productivos, estables y sustentables. Su aplicación permite mejorar la eficiencia del uso del recurso forrajero, sostener un adecuado desempeño animal y, al mismo tiempo, conservar la funcionalidad ecológica del sistema, contribuyendo a su resiliencia frente a condiciones ambientales cambiantes.

7. CONCLUSIONES

Manejar el campo natural basándose en la altura del tapiz, mediante un ajuste en la carga animal, demostró ser una estrategia efectiva para mantener una estructura relativamente estable del dosel vegetal. Hay una mayor estabilidad estructural, lo que demuestra el potencial del manejo dinámico, en cuanto a alturas, para alcanzar objetivos estructurales y productivos de forma más predecible.

Los tratamientos T8 y T12 promovieron un equilibrio funcional entre la estructura del pastizal, la ganancia individual y la productividad por hectárea. Esta franja de altura (8-12 cm) permitió una adecuada recuperación del tapiz, favoreció la estabilidad estructural del dosel vegetal y demostró ser la más eficiente desde el punto de vista productivo. Esto sugiere que manejar alturas de forraje entre 8 y 12 cm puede maximizar la eficiencia de uso del recurso forrajero.

Por el contrario, las alturas extremas presentaron limitaciones significativas. Las alturas bajas (T4), si bien promovieron una mayor producción por superficie, redujeron significativamente la ganancia individual, aumentaron el riesgo de sobrepastoreo y comprometieron la estabilidad del sistema, especialmente bajo condiciones climáticas restrictivas. En el otro extremo, las alturas elevadas (T16) favorecieron la ganancia individual al mejorar la selectividad y con ello el valor nutritivo del forraje consumido, pero resultaron en una subutilización del recurso forrajero y en una menor eficiencia global del sistema.

En este contexto, la altura del pasto debe asumirse como el objetivo central del manejo, y la carga animal como una herramienta flexible para alcanzarlo y sostenerlo. Su ajuste dinámico, en función de la altura objetivo planteada en cada tratamiento, y las condiciones climáticas, resultan clave para evitar desequilibrios en el sistema. Esta flexibilidad es fundamental para mantener la estabilidad estructural y productiva del pastizal, especialmente en contextos de alta variabilidad interanual.

Asimismo, la influencia del clima, en particular de la disponibilidad hídrica, en la dinámica del crecimiento forrajero resalta la importancia de considerar las condiciones ambientales dentro de la planificación del manejo del pastizal, adaptando las decisiones a las variaciones climáticas.

En síntesis, el presente estudio confirma que la interacción entre estructura del pastizal, carga y productividad animal es compleja y multifactorial. Por ello, es necesario adoptar una visión integrada del manejo, basada en principios de ofrecer una estructura de forraje a los animales que permita mantener un adecuado stock de forraje y mejorar tanto la ganancia individual como por unidad de superficie promoviendo así la sustentabilidad del sistema pastoril a largo plazo. Y eso es confirmado cuando el campo natural es manejado en alturas entre 8 y 12 cm.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Altesor, A., Ferrón, M., Gallego, F., Lopez-Mársico, L., Pezzani, F., Lezama, F., Baeza, S., Leoni, E., García, S., Pereira, M., Costa, B., Orihuela, D., Cáceres, D., Rossado, A., & Paruelo, J. M. (2019). ¿Pastizales degradados o conservados?: Una descripción objetiva de la heterogeneidad generada por el manejo ganadero. En A. Altesor, L. López-Mársico & J. M. Paruelo (Eds.) *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II* (pp. 51-72). INIA.
- Andrade, B. O., Bonilha, C. L., Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., Rolim, R. G., Bordignon, S. A. L., Schneider, A. A., Vogel Ely, C., Lucas, D. B., Garcia, É. N., dos Santos, E. D., Torchelsen, F. P., Vieira, M. S., Silva Filho, P. J. S., Ferreira, P. M. A., Trevisan, R., Hollas, R., Campestrini, S., Pillar, V. D., & Boldrini, I. I. (2019). Classification of South Brazilian grasslands: Implications for conservation. *Applied Vegetation Science*, 22(1), 168-184. <https://doi.org/10.1111/avsc.12413>
- Andrade, B. O., Marchesi, E., Burkart, S., Setubal, R. B., Lezama, F., Perelman, S., Schneider, A. A., Trevisan, R., Overbeck, G. E., & Boldrini, I. I. (2018). Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata grasslands. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 188(3), 250-256. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boy063>
- Assuero, S. G., & Tognetti, J. A. (2010). Tillering regulation by endogenous and environmental factors and its agricultural management. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, 4(S11), 35–48. https://www.researchgate.net/publication/228882510_Tillering_Regulation_by_Endogenous_and_Environmental_Factors_and_its_Agricultural_Management
- Ayala, W., & Bermúdez, R. (2005). Estrategias de manejo en campos naturales sobre suelos de lomadas en la región este. En R. Gómez & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (pp. 41-50). INIA.
- Azambuja Filho, J. C. R., Carvalho, P. C. F., Bonnet, O. F., Bastianelli, D., & Jouven, M. (2020). Functional classification of feed items in Pampa grassland, based on their near-infrared spectrum. *Rangeland Ecology and Management*, 73(3), 358-367. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.02.001>
- Banchero, G., de Barbieri, I., & Montossi, F., (2009). ¿Cómo preñar más ovejas y producir más corderos después de la sequía? *Revista INIA*, (17), 32-38.
- Barthram, G. T. (1986). Experimental techniques: The HFRO sward stick. En Hill Farming Research Organisation (Ed.), *Biennial Report 1984–1985* (pp. 29-30).
- Bermúdez, R., & Ayala, W. (2005). Producción de forraje de un campo natural de la zona de Lomadas del Este. En R. Gómez & M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural* (pp. 41-50). INIA.
- Berretta, E. (1995). Campo Natural: Valor nutritivo y manejo. En D. Risso, E. Berreta & A. Morón (Eds.), *Producción y Manejo de Pasturas* (pp. 113-127). INIA.

- Blackshaw, J. K., & Blackshaw, A. W. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34(2), 285-295.
- Braun-Blanquet, J. (1950). *Sociología Vegetal: Estudio de las comunidades vegetales*. ACME.
- Bremm, C., Rosa, F., & Machado, D. (2017). Desempenho animal em campo nativo. En P. C. F. Carvalho, M. Osório, O. Bonnet, J. Da Trindade, T. Silva, & F. Gomes (Eds.), *Boletim Técnico - NATIVAO: 30 años de pesquisa em campo nativo* (pp. 45-61). UFRGS.
- Briske, D. D., Derner, J. D., Brown, J. R., Fuhlendorf, S. D., Teague, W. R., Havstad, K. M., Gillen, R. L., Ash, A. J., & Willms, W. D. (2008). Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology and Management*, 61(1), 3-17. <https://doi.org/10.2111/06-159R.1>
- Caram, N., Soca, P., Sollenberger, L. E., Baethgen, W. E., Wallau, M. O., & Mailhos, M. E. (2023). Studying beef production evolution to plan for ecological intensification of grazing ecosystems. *Agricultural Systems*, 205, Artículo e103582. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103582>
- Carnevali, R. A., Da Silva, S. C., Bueno, A. A., Uebele, M. C., Bueno, F. O., Hodgson, J., & Silva, G. N. (2006). Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing management strategies. *Tropical Grasslands*, 40(3), 165-176.
- Carvalho, P. C. (2005). O Manejo da pastagem como gerador de ambientes pastoris adequados à produção. En C. G. S. Pedreira, J. C. de Moura, S. C. Silva, & V. P. Faria (Orgs.), *Teoria e prática da produção animal em pastagens* (pp. 7-32). FEALQ.
- Carvalho, P. C. (2013). Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(2), 137-155. https://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/Articles/2013/011_2_03.pdf
- Carvalho, P. C., Ribeiro Filho, H., De Moraes, A., & Delagarde, R. (2001). Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(3), 861-869.
- Casalás, F., Caram, N., Soca, P., Cadenazzi, M., Zanoniani, R., & Boggiano, P. (2019). Cambios en la composición de especies de campos sometidos a dos intensidades de pastoreo. En F. L. F. de Quadros, G. V. Kozloski, V. C. P. Silveira, & C. Nabinger (Eds.), *XXV Reunión del Grupo Campos: Pastagens Naturais e Serviços Ecosistêmicos: ¿Cómo construir estratégias de preservação da multifuncionalidade dos Ecosistemas Pastoris Do Cone Sul?* (pp. 170-171). Grupo Campos.
- Cezimbra, I. M., de Albuquerque Nunes, P. A., de Souza Filho, W., Tischler, M. R., Genro, T. C. M., Bayer, C., Savian, J. V., Bonnet, O., Soussana, J., & Carvalho, P. C. (2021). Potential of grazing management to improve beef cattle production and mitigate methane emissions in native grasslands of the Pampa biome. *Science of the Total Environment*, 780, Artículo e146582. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146582>

- Chaneton, E. J. (2005). Factores que determinan la heterogeneidad de la comunidad vegetal en diferentes escalas espaciales. En M. Oesterheld, M. R. Aguiar, C. M. Ghera & J. M. Paruelo (Comps.), *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas: Un homenaje a Rolando León* (pp. 19-42). Facultad Agronomía.
https://www.researchgate.net/publication/259176335_Factores_que_determinan_la_heterogeneidad_de_la_comunidad_vegetal_en_diferentes_escalas_espaciales
- Da Cunha, L., Bremm, C., Savian, J., Zubieta, Á., Rossetto, J., & Carvalho, P. (2023). Relevance of sward structure and forage nutrient contents in explaining methane emissions from grazing beef cattle and sheep. *Science of the Total Environment*, 869, Artículo e161695.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161695>
- Da Silva, S. C., & de Faccio Carvalho, P. C. (2005). Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. En D. A. McGilloway (Ed.), *Grassland: A global resource* (pp. 81-95). Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/9789086865512_007
- Da Silva, S. C., & Nascimento Júnior, D. (2007). Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: Características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(Supl. Esp.), 121-138. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000014>
- Da Silva, S. C., Sbrissia, A., & Pereira, L. (2015). Ecophysiology of C4 forage grasses: Understanding plant growth for optimising their use and management. *Agriculture*, 5(3), 598-625.
<https://doi.org/10.3390/agriculture5030598>
- Da Trindade, J. K., Pinto, C. E., Neves, F. P., Mezzalira, J. C., Bremm, C., Genro, T. C. M., Tischler, M. R., Nabinger, C., Gonda, H. L., & Carvalho, P. C. F. (2012). Forage allowance as a target of grazing management: Implications on grazing time and forage searching. *Rangeland Ecology & Management*, 65(4), 382-393. <https://doi.org/10.2111/REM-D-11-00204.1>
- Del Puerto, O. (1993). *La extensión de las comunidades arbóreas primitivas del Uruguay*. Universidad de la República.
- Díaz, R., Jaurena, M., & Ayala, W. (2008). Impacto de la intensificación productiva sobre el campo natural en Uruguay. *Revista INIA*, (14), 16-21.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4823/1/revista-INIA-14.pdf>
- Duru, M., Theau, J., & Cruz, P. (2012). Functional diversity of species-rich managed grasslands in response to fertility, defoliation and temperature. *Basic and Applied Ecology*, 13(1), 20-31.
<https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.10.006>
- Fedriago, J., Ataíde, P., Azambuja Filho, J., Oliveira, L., Jaurena, M., Laca, E., Overbeck, G. E., & Nabinger, C. (2018). Temporary grazing exclusion promotes rapid recovery of species richness and productivity in a long-term overgrazed Campos grassland. *Restoration Ecology*, 26(4), 677-685.
<https://doi.org/10.1111/rec.12635>

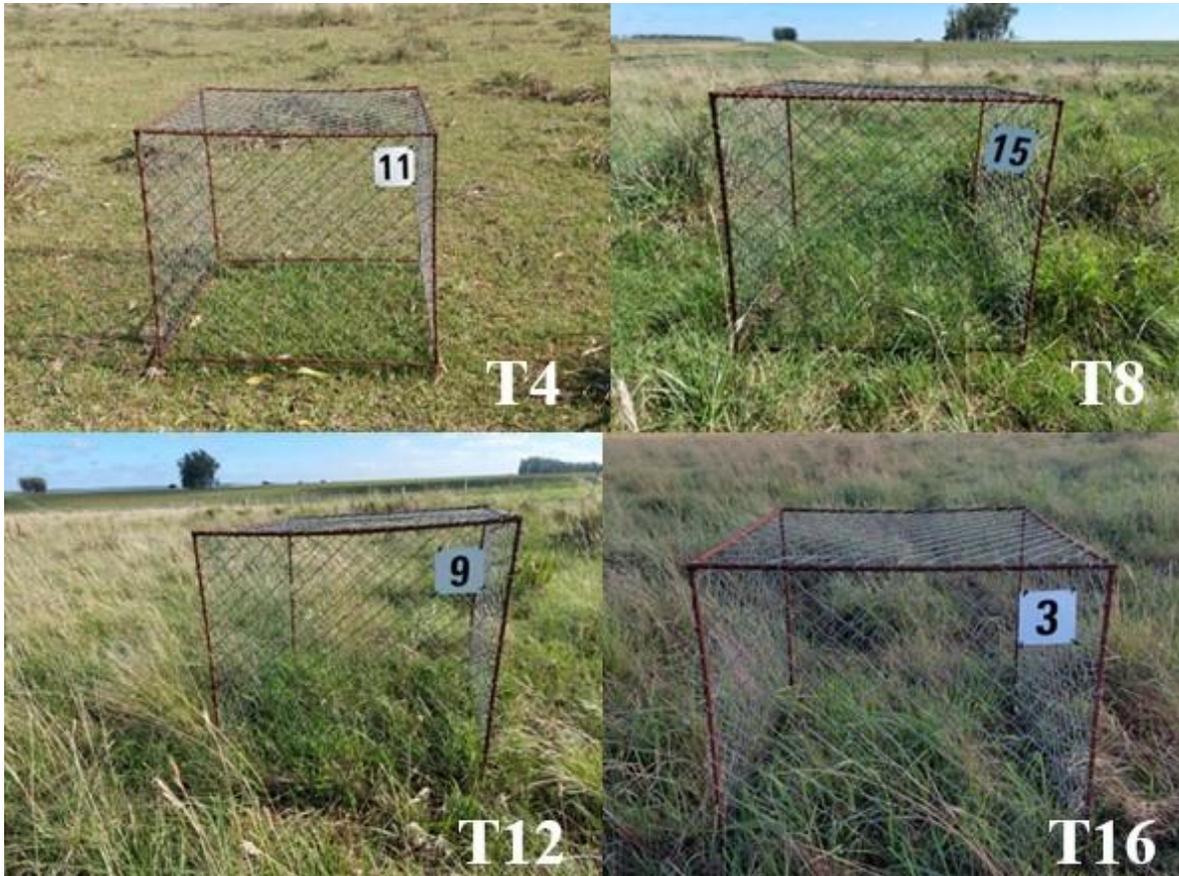
- Fonseca, L., Mezzalira, J. C., Bremm, C., Filho, R. S. A., Gonda, H. L., & Carvalho, P. C. de F. (2012). Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. *Livestock Science*, 145(1-3), 205-211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.003>
- Formoso, D. (1996). Estrategias de manejo de las pasturas naturales. *Producción ovina*, (9), 21-34.
- Gastal, F., & Lemaire, G. (2015). Defoliation, shoot growth, and yield. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger, & P. Carvalho (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 85-102). CAB International.
- Gonçalves, E. N., Carvalho, P. C. de F., Silva, C. E. G. da, Santos, D. T. dos, Díaz, J. A. Q., Baggio, C., & Nabinger, C. (2009). Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: Padrões de desfolhação e seleção de dietas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(4), 611–617.
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (2025). *Tablas estadísticas*. <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
- Jaurena, M., Durante, M., Devincenzi, T., Savian, J., Bendersky, D., Moojen, F., Pereira, M., Soca, P., Quadros, F., Pizzio, R., Nabinger, C., Carvalho, P., & Lattanzi, F. A. (2021). Native grasslands at the core: A new paradigm of intensification for the campos of southern South America to increase economic and environmental sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, Artículo e547834. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.547834>
- Lemaire, G., Da Silva, S. C., Agnusdei, M., Wade, M., & Hodgson, J. (2009). Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures. *Grass and Forage Science*, 64(4), 341-353. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00707.x>
- Lezama, F., Altesor, A., Pereira, M., & Paruelo, J. (2011). Descripción de la heterogeneidad florística de las principales Regiones Geomorfológicas de Uruguay. En A. Altesor, W. Ayala, & J. Paruelo (Eds.), *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales* (pp. 16-31). INIA.
- Lezama, F., & Paruelo, J. M. (2016). Disentangling grazing effects: Trampling, defoliation and urine deposition. *Applied Vegetation Science*, 19(4), 557-556. <https://doi.org/10.1111/avsc.12250>
- Lezama, F., Pereira, M., Altesor, A., & Paruelo, J. (2017). Clasificación de los pastizales naturales del Uruguay. En O. Alvarez (Eds.), *Reunión XXIV del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur: Tomando un camino de oportunidades para una producción ganadera sustentable* (pp. 51-52). INIA; Universidad de la República.
- Lezama, F., Pereira, M., Altesor, A., & Paruelo, J. (2019). ¿Cuán heterogéneos son los pastizales naturales en Uruguay? En A. Altesor, L. Lopez-Marsico, & J. Paruelo (Eds.), *Bases ecológicas del manejo de pastizales II* (pp. 64-71). INIA.
- Maher, P. J., Egan, M., Murphy, M. D., & Tuohy, P. (2025). Optimising intensive grazing: A comprehensive review of rotational grassland management, innovative grazing strategies, and infrastructural requirements. *The Journal of Agricultural Science*, 1-13. <https://doi.org/10.1017/S0021859625000073>

- Mannetje, L. t'. (2000). Measuring biomass of grassland vegetation. En L. t' Mannetje & R. M. Jones (Eds.), *Field and laboratory methods for grassland and animal production research* (pp. 151-178). CAB International.
- Mas, C., Bermúdez, R., & Ayala, W. (1993). Crecimiento de las pasturas naturales en dos suelos de la Región Este. En M. Carámbula, D. Vaz, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva*. (pp. 59-67). INIA.
- Mezzalira, J. C., Carvalho P. C. F., P., da Trindade, J. K., Bremm, C., Fonseca, L., do Amaral, M. F., & Reffatti, M. V. (2012). Produção animal e vegetal em pastagem nativa manejada sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. *Ciência Rural*, 42(7), 1398-1404. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000039>
- Millot, J. C. (1997). Manejo del pastoreo y su incidencia sobre la composición botánica y productividad del campo natural. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.). *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (2ª ed., pp. 68-70). INIA.
- Modernel, P., Picasso, V., Do Carmo, M., Rossing, W., Corbeels, M., Soca, P., Dogliotti, S., & Tiftonell, P. (2019). Grazing management for more resilient mixed livestock farming systems on native grasslands of southern South America. *Grass and Forage Science*, 74(4), 636-649. <https://doi.org/10.1111/gfs.12445>
- Monzalvo, C., Gallinal, R., Garcia Pintos, M., Gimeno, D., Barrios, E., & Ciappesoni, G. (2020). Corriedale Pro: Innovación y trabajo interinstitucional. *Revista INIA*, (60), 22-26.
- Moojen, E. L., & Maraschin, G. E. (2002). Potencial produtivo de uma pastagem nativa do Rio Grande do Sul submetida a níveis de oferta de forragem. *Ciência Rural*, 32(1), 127-132. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000100022>
- Mott, G. O., & Lucas, H. L. (1952). The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. En R. E. Wagner, W. M. Myers, S. H. Gaines, & H. L. Lucas (Eds.), *Proceedings of the 6th International Grassland Congress* (pp. 1380-1385). Pennsylvania State College.
- Nabinger, C., Carvalho, P. C. de F., Pinto, E. C., Mezzalira, J. C., Brambilla, D. M., & Boggiano, P. (2011). Servicios ecosistémicos de las praderas naturales: ¿Es posible mejorarlos con más productividad? *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 19(1), 27-34.
- Olmos, F. (1992). *Aportes para el manejo de campo natural: Efecto de la carga animal y el período de descanso en la producción y evolución de un campo natural de Caraguatá (Tacuarembó)*. INIA.
- Paruelo, J., Piñeiro, G., Altesor, A., Rodríguez, C., & Oesterheld, M. (2004). Cambios estructurales y funcionales asociados al pastoreo en los pastizales del Río de la Plata. En S. Saldanha, M. Bemhaja, E. Moliterno, & F. Olmos (Eds.), *XX Reunión de Grupo Campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas* (pp. 45-53). Universidad de la República.

- Paruelo, J. M., Jobbágy, E. G., Oesterheld, M., Golluscio, R. A., & Aguiar, M. R. (2007). The grasslands and steppes of Patagonia and the Rio de la Plata plains. En T. T. Veblen, K. R. Young, & A. R. Orme (Eds.), *The physical geography of South America* (pp. 232-248). Oxford University Press.
- Pinto, E., Da Fontoura, J. A. S., Frizzo, A., Freitas, T. M. S., Nabinger, C., & Carvalho, P. C. (2008). Produções primária e secundária de uma pastagem natural da Depressão Central do Rio Grande do Sul submetida a diversas ofertas de fitomassa aérea total. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(10), 1737-1741. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001000004>
- Pinto, E., Wallau, M., & Boldrini, I. (2017). Estrutura da vegetação e composição florística. En P. C. Carvalho, M. Wallau, C. Bremm, O. Bonnet, & J. Da Trindade (Eds.), *Boletim Técnico Nativao: 30 anos de pesquisa em campo nativo* (pp. 41-46). UFRGS.
- Pinto, J., Borba, M., & Genro, T. (2004). Manejo de la pastura natural: Una forma de sustentabilidad en el ecosistema de campos Rio Grande Do Sul. En S. Saldanha, M. Bemhaja, E. Moliterno, & F. Olmos (Eds.), *XX Reunión Grupo Campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas* (pp. 112-118). Universidad de la República.
- Pizzio, R., & Pallares, O. (1998). Manejo del pastoreo como estrategia de sostenibilidad: Efecto de la carga animal. En E. Berretta (Ed.), *XIV Reunión Grupo Campos: Mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical* (pp. 86-91). INIA.
- Rodríguez, C., & Cayssials, V. (2011). Cambios estructurales en los pastizales asociados a la ganadería. En A. Altesor, W. Ayala, & J. Paruelo (Eds.), *Bases ecológicas del manejo de pastizales II* (pp. 64-71). INIA.
- Rodríguez Palma, R. M., Michelini Garicoits, D. F., Rodríguez Olivera, T. D., Saravia Tomasina, C. G., & Lattanzi, F. A. (2024). Nutrient addition to a subtropical rangeland: Effects on animal productivity, trophic efficiency, and temporal stability. *Rangeland Ecology and Management*, 96, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2024.05.007>
- Rosa, F., Bremm, C., & Machado, D. (2017). Efeito da oferta de forragem na estrutura do pasto. En P. Carvalho, M. Wallau, C. Bremm, O. Bonnet, & J. Da Trindade (Eds.), *Boletim Técnico Nativao: 30 anos de pesquisa em campo nativo* (pp. 85-101). UFRGS.
- San Julián, R., Montossi, F., Risso, D. F., Berretta, E. J., Motta, J. P., Zamit, W., & Levratto, J. (1996). Estrategias de alimentación y manejo invernal de la recría ovina. En *Producción ganadera en basalto* (pp. 28-34). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8159/1/SAD-108-a.pdf>
- Sbrissia, A. F., & Da Silva, S. C. (2001). *O ecossistema de pastagens e a produção animal*. <https://www.researchgate.net/publication/327230658>
- Soares, A. B., Carvalho, P. C. F., Nabinger, C., Semmelmann, C., Trindade, J. K., Guerra, E., Freitas, T. S. de, Pinto, C. E., Fontoura Júnior, J. A., & Frizzo, A. (2005). Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem. *Ciência Rural*, 35(5), 1148-1154.

- Sollenberger, L. E., & Burns, J. C. (2001). Canopy characteristics, ingestive behaviour and herbage intake in cultivated tropical grasslands. En J. A. Gomide, W. R. Silva, & S. C. Pedreira (Eds.), *Proceedings of the 19th International Grassland Congress*.
<https://uknowledge.uky.edu/do/search/?q=Canopy%20characteristics%2C%20ingestive%20behaviour%20and%20herbage%20intake%20in%20cultivat ed%20tropical%20grasslands.&start=0&context=15578471&facet=>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Török, P., Lindborg, R., Eldridge, D., & Pakeman, R. (2024). Grazing effects on vegetation: Biodiversity, management, and restoration. *Applied Vegetation Science*, 27(3), Artículo e12794. <https://doi.org/10.1111/avsc.12794>
- Vaz, D. (1993). Actualización de la información tecnológica en producción animal. En M. Carámbula, D. Vaz, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (pp. 42-48). INIA.
- Voltaire, F. (2018). A unified framework of plant adaptive strategies to drought: Crossing scales and disciplines. *Global Change Biology*, 24(7), 2929-2938. <https://doi.org/10.1111/gcb.14062>
- Wallau, M., Neves, F., Caram, N., Bremm, C., Pinto, C. E., Da Trindade, J. K., Mezzalira, J., & Carvalho, P. (2024). Moderate grazing intensities modulate canopy structure that influences short-term intake rate of heifers grazing a natural grassland. *Grassland Science*, 70(1), 3-13. <https://doi.org/10.1111/grs.12413>

9. ANEXOS

Anexo A*Fotografía de los distintos tratamientos*

Anexo B*Fotografía de las borregas*

Anexo C

Fotografía de medición de altura, regla sward-stick



Anexo D

Fotografía cuadros 50 x 50 cm



Anexo F

Fotografía pesajes de las borregas

