

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**PRODUCCIÓN PRIMARIA Y SOBREVIVENCIA ESTIVAL DE LA MEZCLA
FORRAJERA *FESTUCA ARUNDINACEA*, *TRIFOLIUM REPENS*, *LOTUS
CORNICULATUS* EN SU PRIMER AÑO BAJO COMBINACIONES DE
FRECUENCIA E INTENSIDAD DE PASTOREO CONTRASTANTES**

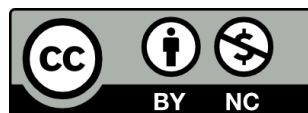
por

**Sofía María VELLOZO PEÑA
Yamila ZUCCOLINI FUENTES**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2026**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Ing. Agr. (Dr.) Javier García Favre

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Javier García Favre

Ing. Agr. (Dr.) Nicolás Caram

Zoot. (Dra.) Patricia Bertoncelli

Fecha:

24 de marzo de 2026

Estudiante:

Sofía María Vellozo Peña

Yamila Zuccolini Fuentes

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestro tutor, Javier, por su guía, dedicación y apoyo a lo largo de todo el proceso de realización de este trabajo. Ha sido fundamental para el desarrollo y culminación de esta tesis.

Asimismo, agradecemos profundamente a nuestras familias, por el apoyo incondicional, comprensión y aliento constante durante toda la carrera. Su confianza y acompañamiento han sido un pilar esencial para alcanzar este logro.

A todas aquellas personas que de una u otra forma, contribuyeron a la realización de este trabajo, nuestro sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. Festuca (<i>Festuca arundinacea</i>): características, manejo producción	12
2.2. Trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>): características, manejo y producción	14
2.3. Lotus (<i>Lotus corniculatus</i>): características, manejo y producción	15
2.4. Aspectos generales de las plantas forrajeras	17
2.4.1. Rebrote de las plantas forrajeras.....	18
2.4.2. Utilización del forraje	19
2.4.3. Calidad nutricional del forraje	20
2.4.4. Persistencia de las pasturas.....	20
2.4.5. Supervivencia de macollos	21
2.5. Mezcla forrajera	22
2.5.1. Generalidades	22
2.5.2. Relevancia	23
2.6. Efectos del pastoreo	24
2.6.1. Frecuencia	24
2.6.2. Intensidad.....	25
3. HIPÓTESIS	27
3.1. Hipótesis biológica	27
3.2. Hipótesis estadística	27
4. OBJETIVOS	28
4.1. Objetivo general	28

	6
4.2. Objetivos específicos	28
5. MATERIALES Y MÉTODOS	29
5.1. Condiciones experimentales	29
5.1.1. Localización y período experimental.....	29
5.1.2. Descripción del sitio experimental	29
5.1.3. Antecedentes del área experimental	29
5.1.4. Tratamientos	30
5.1.5. Diseño experimental.....	31
5.2. Metodología experimental	32
5.2.1. Disponibilidad y remanente de materia seca	32
5.2.2. Composición botánica	32
5.2.3. Supervivencia estival de macollos	33
5.2.4. Cobertura de suelo.....	33
5.3. Análisis estadístico	33
5.3.1. Modelo estadístico	33
6. RESULTADOS	35
6.1. Datos meteorológicos	35
6.2. Balance hídrico	37
6.2.1. Resultados de producción, disponible y remanente para los tres períodos evaluados.....	38
6.3. Tasa de crecimiento	42
6.4. Composición botánica	43
6.5. Supervivencia de macollos	48
7. DISCUSIÓN	50
8. CONCLUSIÓN	56
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
10. ANEXOS	64

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla n.

Tabla 1 <i>Análisis de suelo del área experimental</i>	29
Tabla 2 <i>Distribución de los bloques y tratamientos en el experimento</i>	31
Tabla 3 <i>Medias de número de macollos/m² para la triple interacción (frecuencia x intensidad x fecha)</i>	49

Figura n.

Figura 1 <i>Comparación de precipitaciones de serie histórica junto con período experimental</i>	35
Figura 2 <i>Comparación de temperaturas de serie histórica junto con período experimental</i>	36
Figura 3 <i>Balance hídrico correspondiente al período experimental</i>	37
Figura 4 <i>Remanente y disponible para invierno-primavera</i>	39
Figura 5 <i>Remanente, disponible y crecimiento para primavera</i>	40
Figura 6 <i>Remanente, disponible y crecimiento para verano-otoño</i>	41
Figura 7 <i>Tasa de crecimiento según frecuencia de defoliación para todas las estaciones del período en estudio</i>	42
Figura 8 <i>Interacción de los tratamientos para la variable tasa de crecimiento en invierno-primavera</i>	42
Figura 9 <i>Composición botánica visual para verano vs otoño</i>	44
Figura 10 <i>Composición botánica visual para todos los tratamientos en verano</i>	45
Figura 11 <i>Composición botánica visual para todos los tratamientos en otoño</i>	46
Figura 12 <i>Composición botánica gravimétrica del forraje disponible promedio</i>	47
Figura 13 <i>Composición botánica gravimétrica del forraje remanente promedio</i>	48

RESUMEN

En Uruguay, la producción animal se basa mayoritariamente en sistemas pastoriles, donde el manejo del pastoreo resulta determinante para la productividad y persistencia de las pasturas. El objetivo fue evaluar el efecto de combinaciones contrastantes de frecuencia e intensidad de pastoreo sobre la producción de forraje, la composición botánica y la sobrevivencia de macollos de una mezcla forrajera compuesta por *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* durante su primer año de implantación. El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (Paysandú, Uruguay), entre agosto de 2022 y mayo de 2023, bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2×2 , combinando dos frecuencias de defoliación (dos y cuatro hojas en *Festuca arundinacea*) y dos intensidades de pastoreo (30 % y 70 % de remanente), con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que, durante invierno–primavera, la menor frecuencia de defoliación (cuatro hojas) favoreció significativamente la producción y la tasa de crecimiento de la pastura, independientemente de la intensidad de pastoreo. Sin embargo, en los períodos posteriores, las diferencias entre tratamientos se atenuaron, principalmente como consecuencia del marcado déficit hídrico registrado durante primavera y verano, que limitó el crecimiento potencial de la pastura. La intensidad de pastoreo tuvo un efecto menor sobre la producción, observándose diferencias principalmente en el forraje remanente durante el período verano–otoño. Hubo una mayor participación de leguminosas en verano, asociada al comportamiento estival de *Lotus corniculatus*, y un predominio de *Festuca arundinacea* en otoño. La festuca se vio favorecida por pastoreos más frecuentes, el trébol blanco por defoliaciones menos frecuentes y más intensas, y el lotus por intensidades de pastoreo bajas. La densidad de macollos disminuyó significativamente hacia el otoño, sin diferencias entre tratamientos. En conclusión, una menor frecuencia e intensidad de pastoreo favoreció la productividad inicial de la mezcla forrajera, aunque el efecto del manejo se vio fuertemente condicionado por las condiciones ambientales. Estos resultados destacan la importancia de ajustar las estrategias de pastoreo en función de las condiciones climáticas para mejorar la productividad y persistencia de las pasturas perennes en sistemas pastoriles del Uruguay.

Palabras clave: especies forrajeras, pasturas perennes, producción de macollos

SUMMARY

In Uruguay, animal production is largely based on pasture-based systems, where grazing management plays a key role in determining pasture productivity and persistence. The objective was to evaluate the effect of contrasting combinations of grazing frequency and intensity on forage production, botanical composition, and tiller survival of a forage mixture composed of *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*, and *Lotus corniculatus* during its first year of establishment. The experiment was conducted at the Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (Paysandú, Uruguay) between August 2022 and May 2023, using a randomised complete block design with a 2 × 2 factorial arrangement, combining two defoliation frequencies (two and four leaves on *Festuca arundinacea*) and two grazing intensities (30% and 70% residual forage), with four replicates. Results showed that during the first evaluation period (winter–spring), the lower defoliation frequency (four leaves) significantly enhanced pasture production and growth rate, regardless of grazing intensity. However, in subsequent periods, differences among treatments were reduced, mainly due to the pronounced water deficit recorded during spring and summer, which limited the potential growth of the pasture. Grazing intensity had a minor effect on forage production, with differences observed primarily in residual forage during the summer–autumn period. Botanical composition exhibited marked seasonal variation, with a greater contribution of legumes in summer, associated with the summer growth pattern of *Lotus corniculatus*, and a predominance of *Festuca arundinacea* in autumn. Species responses to grazing management were differential: tall fescue was favoured by more frequent grazing, white clover by less frequent and more intense defoliation, and lotus by low grazing intensity. Tiller density declined significantly toward autumn, with no differences among treatments. In conclusion, lower grazing frequency and intensity favoured the initial productivity of the forage mixture; however, management effects were strongly conditioned by environmental factors. These results highlight the importance of adjusting grazing strategies according to climatic conditions to improve the productivity and persistence of perennial pastures in Uruguayan grazing systems.

Keywords: grazing species, perennial pastures, tiller production

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, la producción animal basada en pasturas es fundamental, con una superficie total de pastoreo de aproximadamente 15,4 millones de hectáreas, de las cuales el 65% corresponde a campos naturales y el 35% a pasturas mejoradas o sembradas (Boggiano, 2015). Las pasturas naturales del país presentan una producción altamente concentrada en las estaciones primavera-verano, lo que genera limitaciones como baja disponibilidad y calidad forrajera deficiente principalmente en otoño-invierno. Esta situación ha impulsado la implementación de diversas estrategias de mejoramiento forrajero para optimizar su rendimiento y sostenibilidad. Estas estrategias incluyen la fertilización de campos naturales, la incorporación de leguminosas y la sustitución total del tapiz natural por pasturas sembradas, tanto mono-específicas como pluri-específicas (Reyno et al., 2019).

Las mezclas forrajeras suelen estar compuestas por especies perennes de gramíneas y leguminosas, con el objetivo de lograr altos rendimientos de materia seca de elevado valor nutritivo y una producción más equilibrada a lo largo del año. Sin embargo, la variabilidad estacional de los principales parámetros climáticos, como la temperatura, precipitación, humedad del suelo, radiación solar y déficit hídrico, afecta el crecimiento de las plantas, limitando la productividad de las pasturas y, por ende, la producción animal (Zanoniani et al., 2018).

Las gramíneas se destacan por su capacidad de adaptación a diferentes ambientes, proporcionando una oferta de forraje sostenida en el tiempo, mientras que las leguminosas cumplen un rol fundamental en la fijación de nitrógeno atmosférico, mejorando las propiedades químicas del suelo y aportando forraje de alta calidad (Geymonat Echenique, 2022).

El manejo del pastoreo es un factor clave en la producción y persistencia de las praderas, ya que incide directamente en la oferta de forraje por animal, su valor nutritivo y el rendimiento del sistema. Un adecuado sistema de pastoreo permite optimizar la producción de forraje y maximizar su aprovechamiento por parte del ganado. La frecuencia e intensidad de utilización de la pradera varían según la época del año, por lo que es esencial controlar la frecuencia y la intensidad de defoliación, ya que estos aspectos determinan la disponibilidad de forraje (Boggiano & Zanoniani, 2017).

Por ello, el presente estudio evaluó la producción, sobrevivencia estival y composición botánica de una mezcla forrajera compuesta por *Festuca arundinacea*,

Trifolium repens y *Lotus corniculatus* durante su primer año de implantación, bajo combinaciones contrastantes de frecuencia e intensidad de pastoreo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. *Festuca (Festuca arundinacea)*: características, manejo, producción

La especie en cuestión es una gramínea perenne que presenta un ciclo de producción invernal y un hábito de crecimiento cespitoso a rizomatoso, con rizomas cortos. Su implantación y establecimiento son lentos, lo que la hace vulnerable a la competencia en estado de plántula, ya que estas presentan un bajo vigor inicial. Esta característica se debe a la limitada movilización de reservas de la semilla, lo que conlleva un crecimiento radicular lento (Etchetto, 2020).

Se distingue por su alta capacidad de adaptación a distintos ambientes, gracias a su sistema radicular fibroso y profundo, que le permite explorar un mayor volumen de suelo y acceder a agua en horizontes más profundos (Carámbula, 2002). Además, exhibe una notable adaptabilidad edáfica, tolerando suelos de textura media a pesada, así como condiciones de acidez y alcalinidad. Aunque su crecimiento se ve favorecido en suelos húmedos, también presenta una considerable resistencia a la sequía. Su rango de pH óptimo oscila entre 4.5 y 9.5, lo que evidencia su plasticidad en términos de tolerancia edáfica. Sin embargo, su desarrollo es más eficiente en suelos fértiles, húmedos y arcillosos (Sánchez Sánchez, 2015).

En términos fenológicos, la especie muestra una buena precocidad otoñal, con un rápido rebrote a finales del invierno y una floración temprana entre los meses de septiembre y octubre. Si bien no entra en reposo estival, su manejo durante el verano debe realizarse con especial cuidado para evitar reducciones en su productividad (Zanoniani et al., 2018).

Esta gramínea es capaz de mantener la producción de hojas a lo largo del año, siempre que disponga de niveles adecuados de agua y nitrógeno. Durante el verano, su crecimiento puede verse afectado más por la disponibilidad hídrica que por las altas temperaturas, demostrando una tolerancia significativa tanto a bajas temperaturas invernales como a las condiciones cálidas estivales (De Souza Domenech & Presno Sandar, 2013; Michelini Garicoïts, 2016).

La siembra de esta especie se recomienda en otoño, aunque su establecimiento es lento debido al bajo vigor inicial de las plántulas. Por ello, es fundamental un manejo adecuado en sus primeras etapas para minimizar la competencia con otras especies forrajeras y malezas. Como resultado, la producción en el primer año suele ser baja,

pero con una gestión apropiada, la gramínea puede persistir por varios años (Figueredo Velásquez et al., 2021).

Su producción otoñal temprana se debe a su capacidad para mantener un número significativo de macollos vivos durante el verano, siempre que disponga de suficiente agua. No obstante, incluso bajo condiciones hídricas favorables, un manejo inadecuado en esta estación puede comprometer el rebrote otoñal, reduciendo las producciones invernales. El impacto negativo es aún mayor si no se alivian los pastoreos al inicio del otoño (López Cruchinski & Olivera Fila, 2017).

Según Aldeta et al. (2017), los cultivares de festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) se agrupan en dos grandes categorías: continentales y mediterráneos. Según los autores, los cultivares continentales poseen la capacidad de crecimiento durante todas las estaciones del año y son los más utilizados a nivel mundial. En contraste, los cultivares mediterráneos presentan un crecimiento invernal más destacado, acompañado de un período de reposo estival (Aldeta et al., 2017). Esta última característica les confiere una mayor resistencia a ambientes con precipitaciones invernales y veranos secos, ya que su latencia estival permite una mayor supervivencia de las plantas en condiciones de sequía (Collares Day et al., 2024). Sin embargo, esta latencia reduce su capacidad competitiva frente a las malezas.

En el contexto nacional, los cultivares continentales son los de mayor uso debido al régimen de precipitaciones predominante. Aunque los cultivares mediterráneos tienen un mayor crecimiento en invierno en comparación con los continentales, su producción anual total es aproximadamente un 20% menor (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2019).

La persistencia de la festuca está directamente relacionada con el desarrollo del sistema radicular, ya que este permite explorar mayores volúmenes de suelo en situaciones de restricción hídrica. Además, la ausencia de latencia y la carencia de estructuras de almacenamiento de reservas pueden comprometer la persistencia y afectar la productividad. La acumulación de reservas ocurre en los rizomas cortos y raíces a partir de mediados de otoño, mientras que en invierno se emplean en procesos fisiológicos que reducen su disponibilidad rápidamente (Palacios, 2023).

Durante el otoño e invierno, los puntos de crecimiento permanecen a nivel del suelo. En primavera, el alargamiento de los entrenudos permite una elevada producción de forraje, razón por la cual es recomendable implementar un manejo de pastoreo con

intervalos cortos, de no más de tres semanas. Esto favorece la calidad y apetecibilidad del forraje en la primavera, periodo en el cual se produce la floración (Figueredo, 2022).

La festuca florece relativamente temprano y su crecimiento primaveral alcanza tasas máximas de producción. Su desarrollo otoñal suele ser favorable y, durante el invierno, las plantas presentan una alta tolerancia a las heladas (Blasi Zanicchi et al., 2022). El suministro de nitrógeno es esencial para la producción de forraje en esta especie, ya que su deficiencia provoca una disminución en la tasa de rebrote, el amarillamiento del follaje y una reducción en la calidad nutricional del forraje, lo que conlleva al rechazo por parte de los animales (Arias Alemán et al., 2023).

Festuca es una especie de pastoreo que requiere un manejo adecuado para evitar la pérdida de digestibilidad y palatabilidad. Si no se regula correctamente, el forraje puede volverse fibroso y poco apetecible para el ganado. Esta gramínea tolera defoliaciones intensas y relativamente frecuentes debido a su capacidad de almacenar reservas en raíces y rizomas cortos, así como a su alta área foliar remanente después del pastoreo (Collares Day et al., 2024).

En términos de composición, aproximadamente el 65% del forraje se encuentra en los estratos inferiores, con una digestibilidad cercana al 30%. En contraste, la fracción superior del forraje, aunque menos abundante, presenta una digestibilidad superior, cercana al 60% (Figueredo Velásquez et al., 2021).

2.2. Trébol blanco (*Trifolium repens*): características, manejo y producción

El trébol blanco es una leguminosa perenne con un ciclo de producción invernal y un hábito de crecimiento estolonífero. Su mayor producción se registra en primavera, aunque su persistencia varía según las condiciones climáticas, pudiendo comportarse como anual, bienal o de vida corta en veranos secos y cálidos (Collares Day et al., 2024). Su establecimiento es lento debido a su bajo vigor inicial, aunque posee una excelente capacidad de producción de semillas y resiembra natural (Carámbula, 2002). Esta especie no se desarrolla adecuadamente en suelos pobres, ácidos o arenosos; sin embargo, en suelos con suficiente humedad y niveles adecuados de fósforo, logra buenos rendimientos (Frame, 2005). En suelos arcillosos y fértiles prospera sin inconvenientes, mientras que en suelos arenosos es fundamental evaluar previamente la fertilidad para garantizar su implantación exitosa (León et al., 2018).

El trébol blanco es ideal para zonas donde las temperaturas estivales no son excesivamente altas y la disponibilidad hídrica no es un factor limitante, ya que es

altamente sensible a la sequía, lo que puede reducir la densidad de plantas durante el verano (Collares Day et al., 2024). Su vida productiva dentro de una pastura depende de la eficiente formación y enraizamiento de estolones hijos, así como de la resiembra natural. La reducción del número de estolones puede comprometer la densidad de la población, siendo fundamental la presencia de un banco de semillas para el reclutamiento de nuevas plantas (Frame, 2005).

El trébol blanco posee la capacidad de persistir tanto vegetativamente, mediante estolones, como por semillas duras, lo que le permite recolonizar nichos vacíos. En suelos fértiles y húmedos, su persistencia está asociada a un manejo adecuado del pastoreo que favorezca la formación de nuevos estolones y su enraizamiento. En suelos menos fértiles o con riesgo de sequía en verano, la persistencia depende en mayor medida de la resiembra natural, dado que solo las plantas jóvenes presentan una raíz pivotante que les permite sobrevivir en condiciones de estrés hídrico (Arias Alemán et al., 2023).

La estructura del trébol blanco, caracterizada por su porte rastrero, meristemas ubicados a nivel del suelo y un índice de área foliar bajo, le confiere una alta capacidad de adaptación a manejos intensivos y favorece altos rendimientos de materia seca (Figueredo Velásquez et al., 2021).

En cuanto a su siembra, se recomienda establecerlo en mezcla con gramíneas en suelos con drenaje deficiente, en lugar de sembrarlo en monocultivo, a excepción de los casos destinados a la producción de semillas (Frame, 2005). Cuando es utilizado en pastoreo, es recomendable combinarlo con otras especies forrajeras para evitar desbalances nutricionales y riesgos de meteorismo en los animales (Figueredo, 2022). Además, destaca por su elevado valor nutritivo y su excelente capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, lo que contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y el rendimiento de las pasturas (Zanoniani et al., 2018).

2.3. Lotus (*Lotus corniculatus*): características, manejo y producción

El *Lotus corniculatus*, una leguminosa perenne, se caracteriza por su hábito de crecimiento erecto a decumbente y su ciclo de producción estival (Lemaire et al., 2011). Su sistema radicular es pivotante y profundo, lo que le confiere una alta capacidad de adaptación a suelos donde otras especies no prosperan (Blasi Zanicchi et al., 2022). En cuanto a su tolerancia térmica, esta especie presenta mejor desempeño en climas frescos a fríos, con una buena capacidad de crecimiento en primavera y verano (Frame, 2005).

Esta especie se distingue por su tolerancia a suelos de baja fertilidad, especialmente aquellos con deficiencia de fósforo, alta concentración de aluminio y niveles de acidez comprendidos entre pH 4.5 y 5.2 (Flores-Naveda et al., 2022). Además, es capaz de desarrollarse en condiciones de drenaje deficiente o sequía, lo que la convierte en una opción viable en ambientes marginales (Kiene et al., 2023). Su adaptabilidad es notable, ya que puede crecer tanto en suelos arenosos como arcillosos sin afectar significativamente su rendimiento (Frame, 2005).

El *Lotus corniculatus* es especialmente valorado por su capacidad de producción forrajera durante el verano, una época en la que muchas leguminosas presentan una marcada disminución en su rendimiento, con excepción de la alfalfa (Xolocotzi-Acoltzi et al., 2024). En cuanto a la siembra, puede establecerse en otoño o primavera, aunque su crecimiento inicial es lento, lo que reduce su competitividad frente a especies de mayor vigor inicial (Álvarez-Vázquez et al., 2018). Esta leguminosa es particularmente sensible a la competencia por luz, ya sea por especies acompañantes o malezas, lo que puede afectar su establecimiento y rendimiento (Frame, 2005).

Desde el punto de vista productivo, presenta un ciclo de crecimiento primavera-estivo-otoñal, con posibilidad de producción a finales del invierno. Su resistencia a la sequía, alto valor nutritivo y capacidad de persistencia la convierten en una opción recomendable para mezclas forrajeras. Sin embargo, a diferencia de otras leguminosas, puede sembrarse sola, ya que no induce meteorismo en el ganado (Lemaire et al., 2011).

Para maximizar su rendimiento, se recomienda un manejo con pastoreos controlados, permitiendo que la planta alcance entre 20 y 25 cm de altura antes de ser defoliada (Álvarez-Vázquez et al., 2018). En pastoreo continuo, se debe mantener un remanente mínimo de 7.5 cm para asegurar su persistencia (Zanoniani et al., 2018). El crecimiento primaveral se origina en las yemas de la corona, mientras que los rebrotes posteriores provienen principalmente de yemas axilares de los tallos cortados (Agustoni Pais et al., 2008; Blasi Znacchi et al., 2022; Formoso, 2011).

El desarrollo de ramificaciones se produce de manera continua, incluso en floración, lo que impide la acumulación de reservas energéticas en raíces y corona. Esta acumulación se ve favorecida durante el otoño, cuando la reducción de temperaturas y la menor duración del día ralentizan el crecimiento axilar de los tallos, permitiendo un incremento en las reservas de hidratos de carbono (Lemaire et al., 2011). Un pastoreo excesivo en primavera y verano puede comprometer la regeneración de la planta debido

a la escasez de reservas y yemas en la corona, afectando su capacidad de rebrote (Formoso, 2011). Asimismo, una sobreutilización en otoño puede disminuir la acumulación de reservas, comprometiendo su persistencia en invierno y el rebrote en primavera (Collares Day et al., 2024).

Otra característica importante de esta especie es su crecimiento postrado, lo que le permite mantener una superficie foliar adecuada para la producción de metabolitos esenciales para su persistencia (Frame, 2005). Además, presenta una excelente capacidad de resiembra natural, lo que favorece su regeneración y longevidad en pasturas. No obstante, su alta dehiscencia puede representar una ventaja para la resiembra, pero una desventaja si se busca producción de semillas (García Pintos Berisso & Orticochea Dell'Acqua, 2014).

En cuanto a su sanidad, *Lotus corniculatus* es susceptible a enfermedades causadas por hongos como *Fusarium oxysporum* y *Fusarium solani*, los cuales pueden afectar su sistema radicular y la corona, reduciendo su longevidad y producción forrajera (De Souza Domenech & Presno Sandar, 2013).

2.4. Aspectos generales de las plantas forrajeras

Las plantas forrajeras poseen características fisiológicas particulares que determinan su capacidad de rebrote tras la defoliación. Inicialmente, la reducción de la superficie foliar limita la fijación de carbono, pero la planta compensa este efecto mediante un aumento en la tasa fotosintética del tejido remanente (García Pintos Berisso & Orticochea Dell'Acqua, 2014). Esta adaptación se debe, en parte, a la redistribución de la luz dentro del dosel, reduciendo el sombreado sobre las hojas basales y favoreciendo la actividad fotosintética de las hojas maduras intactas (Lemaire et al., 2011).

Además, la defoliación optimiza el uso de recursos hídricos y minerales al disminuir la demanda de tejido eliminado. El rebrote es favorecido por una alteración en la estructura etaria de las hojas dentro del dosel, lo que resulta en una mayor proporción de hojas jóvenes con alta eficiencia fotosintética, menor inversión de carbono y un proceso de movilización de carbono y nitrógeno desde zonas no afectadas por el pastoreo (Lemaire et al., 2011).

El incremento en la tasa de crecimiento relativo (relación entre el crecimiento y la biomasa de la planta) ayuda a mitigar los efectos negativos de la defoliación. Este fenómeno responde a múltiples procesos fisiológicos como el aumento en la tasa de

fotosíntesis, la reducción del autosombreado, la reasignación del crecimiento desde órganos subterráneos, la activación y proliferación de meristemas y una disminución de la tasa de senescencia foliar (García Pintos Berisso & Orticochea Dell'Acqua, 2014).

Los pastoreos laxos tienden a acumular grandes cantidades de material muerto, lo que puede reducir la tasa neta de producción de tejido foliar y disminuir la productividad del forraje debido a un sombreado excesivo que limita la actividad fotosintética. Asimismo, la eficiencia en la utilización del forraje disminuye debido a una menor densidad de macollos y una relación desfavorable entre hojas verdes y tallos (Scherger, 2020).

La comparación de la producción de biomasa aérea de la mezcla forrajera bajo distintas combinaciones de frecuencia e intensidad de pastoreo reveló que las condiciones climáticas desempeñaron un papel fundamental en la respuesta productiva de la pastura (Dogliotti et al., 2022). El comportamiento observado sugiere que la disponibilidad hídrica, junto con las temperaturas registradas, condicionó el desarrollo de las especies forrajeras evaluadas.

2.4.1. Rebrote de las plantas forrajeras

La capacidad y velocidad de rebrote de las plantas forrajeras son factores determinantes en la productividad del pastizal. Entre los elementos que influyen en este proceso se encuentran la posición y cantidad de meristemas de crecimiento, el área foliar remanente y las reservas de carbohidratos almacenadas en la base de los tallos y coronas (López Cruchinski & Olivera Fila, 2017).

El éxito del rebrote depende, en gran medida, de la eliminación o conservación del meristema apical, del nivel de carbohidratos almacenados en el rastrojo y de la eficiencia fotosintética del área foliar remanente. La acumulación de reservas está directamente relacionada con la fotosíntesis, que a su vez depende de la superficie foliar disponible para la captación de luz (Lemaire et al., 2011).

En el estado vegetativo, los meristemas de crecimiento se ubican a nivel del suelo, lo que permite que el rebrote ocurra rápidamente sin interrupciones significativas. En cambio, durante la fase reproductiva, la formación de inflorescencias inhibe la producción de nuevos macollos debido a la dominancia apical. Sin embargo, el pastoreo de estos ápices diferenciados puede prolongar la fase vegetativa al romper dicha dominancia (Scherger, 2020).

El balance entre fotosíntesis y respiración es crucial para optimizar el rebrote. Un área foliar remanente adecuada facilita la recuperación sin necesidad de utilizar reservas de carbohidratos. En cambio, si el área foliar remanente es insuficiente para sostener la respiración, la planta deberá recurrir a sus reservas, lo que puede afectar su vigor y capacidad de respuesta a futuros eventos de pastoreo (Figueredo Velásquez et al., 2021).

Factores de estrés como sequías, heladas o enfermedades pueden comprometer el rebrote, por lo que en estas condiciones se recomienda retrasar el pastoreo para permitir la recuperación de las plantas. En estos escenarios, el tejido foliar remanente adquiere un papel fundamental al mejorar la eficiencia en el uso del agua y proporcionar superficie fotosintética para la regeneración del forraje (Figueredo, 2022).

2.4.2. Utilización del forraje

La utilización del forraje se define como la proporción de biomasa consumida en relación con la biomasa total disponible. Esta variable depende no solo de la frecuencia e intensidad del pastoreo, sino también de las características estructurales de las especies presentes en la mezcla forrajera (Arias Alemán et al., 2023).

En promedio, la utilización del forraje oscila entre el 45 % y el 50 %, con valores extremos que van del 30 % al 70 %. Durante el otoño e invierno, la utilización suele ser mayor debido a la menor tasa de crecimiento del forraje, mientras que en primavera y verano tiende a disminuir (Aldeta et al., 2017; Blasi Zanicchi et al., 2022; Figueredo, 2022; Figueredo Velásquez et al., 2021).

Cuando la frecuencia de defoliación excede la vida media de las hojas, se incrementa la pérdida de biomasa por senescencia. Por ello, es fundamental diseñar estrategias de manejo del pastoreo que consideren el índice de área foliar (IAF) y el número de hojas vivas por macollo, además del tiempo óptimo de descanso para cada especie forrajera (Briske & Richards, 1995).

Los diferentes sistemas de defoliación generan cambios en las pasturas tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, influyen en la relación entre la tasa de producción de materia seca y la pérdida de tejido vegetal. A largo plazo, afectan el remanente y la capacidad de rebrote de las especies forrajeras (C. Ammache & C. Colombatto, comunicación personal, 15 de marzo, 2024). Cuando la defoliación es frecuente y se realiza a baja altura, las plantas tienden a desarrollar un crecimiento más

postrado, con menores niveles de carbohidratos y menor vigor en comparación con plantas menos defoliadas (De Souza Domenech & Presno Sandar, 2013).

Aumentar la presión de pastoreo mejora la eficiencia en la cosecha del forraje, pero puede reducir la intercepción de luz y, en consecuencia, la productividad del pastizal. Para maximizar la producción de forraje sin afectar el crecimiento a largo plazo, es necesario evitar defoliaciones excesivas que comprometan la regeneración del tejido vegetal (Aldeta et al., 2017; López Cruchinski & Olivera Fila, 2017).

2.4.3. Calidad nutricional del forraje

El valor nutritivo del forraje está determinado por la composición química y estructural de las especies presentes en la mezcla. En general, las leguminosas presentan mayor contenido proteico y digestibilidad en comparación con las gramíneas, debido a su menor proporción de pared celular y mayor presencia de componentes celulares solubles (Arias Alemán et al., 2023).

El manejo del pastoreo, a través de prácticas como la rotación de potreros, el control de la carga animal y la regulación de la altura de pastoreo, junto con una adecuada fertilización, pueden mejorar la proporción de leguminosas en la pastura, optimizando la calidad del forraje. Un forraje de alta calidad se caracteriza por un alto porcentaje de hojas verdes, una baja proporción de material senescente y un adecuado equilibrio entre leguminosas y gramíneas, lo que favorece su valor nutricional y digestibilidad para el ganado (Arias Alemán et al., 2023).

A medida que las plantas maduran, la proporción de pared celular aumenta, reduciendo la digestibilidad y el contenido energético del forraje. Factores como la relación hoja/tallo y el estado fenológico de la planta también influyen en la calidad nutricional del forraje disponible (Lemaire et al., 2011).

2.4.4. Persistencia de las pasturas

La persistencia de las especies forrajeras se define como su capacidad de mantener una población estable en el tiempo, resistiendo a factores ambientales adversos y prácticas de manejo inadecuadas. Esta característica está determinada por la dinámica de aparición y senescencia de hojas, el desarrollo de raíces y la capacidad de macollaje (Briske & Richards, 1995).

Las pasturas perennes requieren una adecuada densidad de plantas durante la primavera y el verano para garantizar su persistencia. Con el paso del tiempo, la

productividad tiende a disminuir, facilitando la invasión de especies indeseables y reduciendo la calidad del forraje disponible (C. Ammache & C. Colombatto, comunicación personal, 15 de marzo, 2024).

Un manejo adecuado del pastoreo, basado en descansos estratégicos y una intensidad de defoliación controlada, es clave para asegurar la longevidad de las especies forrajeras y la sostenibilidad de la producción ganadera (Lemaire et al., 2011).

2.4.5. Supervivencia de macollos

La densidad de macollos en *Festuca arundinacea* puede ser gestionada mediante prácticas de pastoreo. Un pastoreo menos intenso durante la primavera favorece el desarrollo de una mayor proporción de macollos en floración y retrasa la aparición de macollos hijos (García Pintos Berisso & Orticochea Dell'Acqua, 2014). En contraste, un pastoreo más intenso y de corta duración en esta estación promueve una mayor densidad de macollos hijos al inicio del verano (Collares Day et al., 2024; Figueredo, 2022; Figueredo Velásquez et al., 2021).

Sin embargo, temperaturas elevadas superiores a 35 °C pueden comprometer la supervivencia de los macollos (Ayala et al. 2017), dado que el rango óptimo para esta especie se sitúa entre 24 °C y 26 °C (Cooper & Tainton, 1968, como se cita en López Darriulat et al., 2013). El estrés térmico es un factor significativo en la mortalidad de macollos y, por ende, en la persistencia de las pasturas de festuca. Además, la radiación solar se identifica como un elemento determinante en la disminución de la supervivencia (De Souza Domenech & Presno Sandar, 2013; Herken et al., 2019).

El estado de las reservas de carbohidratos solubles es crucial para la persistencia de la planta; intervalos cortos entre defoliaciones resultan en una menor disponibilidad de estos carbohidratos debido a la reducción del área foliar. No obstante, *Festuca arundinacea* se caracteriza por una alta eficiencia en el uso de los tejidos remanentes, lo que le permite una rápida recuperación tras la defoliación y evita el agotamiento de sus reservas (Insua et al., 2013).

El estudio de Michelini Garicoïts (2016), planteó que un pastoreo intenso en invierno, destinado a controlar la floración, junto con fertilizaciones nitrogenadas en primavera, mejorarían la supervivencia de los macollos durante el verano y, por ende, aumentarían su densidad. Se observó que un número reducido de macollos emergieron a finales de la primavera y en verano, sugiriendo que la densidad de macollos depende

de la dinámica de estos en estado vegetativo durante la primavera (Michelini Garicoïts, 2016).

Además, altas temperaturas del suelo y estrés hídrico pueden afectar negativamente la densidad de macollos en pasturas de especies invernales, y la combinación de estos factores puede generar más complicaciones que cuando ocurren por separado (Figueredo, 2022).

2.5. Mezcla forrajera

2.5.1. Generalidades

Una mezcla forrajera se define como una población artificial conformada por varias especies con características morfológicas y fisiológicas complementarias. Su propósito es mejorar la productividad de los sistemas de pastoreo mediante la diversificación de especies que optimicen la producción de biomasa de manera sostenible y rentable (Carámbula, 2002).

Uno de los principales objetivos de las pasturas mixtas es maximizar los rendimientos de materia seca por hectárea y mejorar la producción secundaria, como la ganancia de peso y producción de leche en rumiantes (Arias Alemán et al., 2023). Dentro de estas mezclas, las gramíneas constituyen el componente más importante debido a su alta productividad, adaptación a diversos tipos de suelos y capacidad de utilizar el nitrógeno fijado por las leguminosas. Además, poseen una buena tolerancia al pastoreo, son menos susceptibles a enfermedades y plagas, y tienen menor vulnerabilidad a la invasión de malezas (Cajarville Sanz et al., 2023).

Por su parte, las leguminosas juegan un papel crucial al fijar nitrógeno atmosférico, mejorando así la fertilidad del suelo. Además, tienen un alto valor nutritivo y contribuyen a la recuperación de suelos degradados o empobrecidos por malas prácticas agrícolas (Blasi Zanicchi et al., 2022). Para garantizar la eficiencia de una mezcla forrajera, es fundamental minimizar las interferencias entre especies, ya que una competencia desbalanceada puede generar efectos negativos como la depresión mutua de especies o el predominio de una sobre otra. La adecuada selección de especies debe considerar factores como: Diferencias en la profundidad de los sistemas radiculares, distribución del crecimiento aéreo en distintos estratos del ecosistema, exigencias contrastantes de nutrientes, requerimientos similares en cuanto a suelos y manejo del pastoreo; así, como compatibilidad en los períodos de crecimiento según los objetivos productivos (Lattanzi & Lussich, 2024).

Idealmente, una mezcla forrajera eficiente debe componerse de 60-70% de gramíneas, 20-30% de leguminosas y un 10% de malezas, favoreciendo la estabilidad de la pradera y su persistencia a largo plazo (Blasi Zanacchi et al., 2022; León et al., 2018). De esta manera, se logra una mejor explotación del ambiente y un equilibrio nutricional óptimo para la alimentación del ganado, garantizando un manejo sostenible y económicamente viable.

2.5.2. Relevancia

La implementación de mezclas forrajeras se fundamenta en la obtención de alimento de alta calidad, con un adecuado balance energético y proteico para los animales que las consumen. Estas mezclas permiten incrementar el rendimiento de materia seca por hectárea, mejorar la distribución intra e interanual del forraje y reducir la susceptibilidad a plagas y enfermedades (Arias Alemán et al., 2023).

La selección de especies adecuadas en una mezcla forrajera influye directamente en la sustentabilidad y estabilidad de la pastura, minimizando periodos improductivos en las rotaciones forrajeras (Lemaire et al., 2011). Factores como el clima, las características del suelo y el manejo agronómico determinan el potencial productivo y la calidad del forraje en cada contexto específico (Figueredo, 2022).

Para lograr una producción anual uniforme, es fundamental aprovechar las ventajas de gramíneas y leguminosas en conjunto. Por sí solas, estas especies no alcanzarían el mismo nivel de productividad y estabilidad que cuando se combinan en una mezcla forrajera. Las gramíneas proporcionan productividad sostenida a lo largo de los años, adaptabilidad a diferentes tipos de suelo, estabilidad en la pastura y resistencia al pastoreo, además de reducir la vulnerabilidad a enfermedades, plagas e invasión de malezas (Reyes, 2021). Por su parte, las leguminosas fijan nitrógeno atmosférico, ofrecen alto valor nutricional y mejoran la fertilidad de suelos pobres o degradados (Barbat Rodríguez & Scarpitta Altez, 2021; Collares Day et al., 2024).

Las mezclas forrajeras también contribuyen a la estabilidad del rendimiento ante condiciones ambientales adversas y diferencias en el manejo, permitiendo una producción más homogénea a lo largo del año. Su implementación extiende el período de productividad de la pastura y aporta mayor flexibilidad en su utilización (Gaba et al., 2014). Adicionalmente, los animales tienden a incrementar su consumo de pasto cuando este proviene de mezclas forrajeras en comparación con monocultivos, lo que ayuda a prevenir problemas nutricionales y fisiológicos como el meteorismo causado por

leguminosas puras, la hipomagnesemia y la toxicidad generada por gramíneas en monocultivo (Collares Day et al., 2024).

Una alternativa ampliamente utilizada es la mezcla compuesta por *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*, debido a su buena adaptación en rotaciones largas y su excelente comportamiento productivo a largo plazo (Frame, 2005; Zanoniani et al., 2018). La integración de especies de ciclos complementarios permite equilibrar la oferta de forraje a lo largo del año, asegurando una mayor eficiencia en la utilización de los recursos disponibles.

2.6. Efectos del pastoreo

Todo disturbio que elimine total o parcialmente las hojas de una pastura determina una menor provisión de fotosintatos, lo que afecta su crecimiento. La intensidad y la frecuencia de estos eventos impactan directamente la biomasa aérea y radical de las plantas defoliadas (Michelini Garicoïts, 2016).

2.6.1. Frecuencia

La frecuencia de pastoreo se define como la periodicidad con que la pastura es defoliada por los animales. Este factor depende de la carga animal, la presión de pastoreo y el periodo de recuperación de la pastura (Lemaire et al., 2011). Un pastoreo demasiado frecuente genera reducciones en el nivel de reservas y en el peso de las raíces, lo que ocasiona menor producción de forraje y rebrotes más lentos. La disminución de reservas también debilita las plantas, aumentando su susceptibilidad a enfermedades y mortalidad (Figueredo, 2022).

Un incremento en la frecuencia de pastoreo aumenta el porcentaje de utilización de las pasturas y contribuye a la uniformidad y calidad del forraje (Collares Day et al., 2024). Por el contrario, cuando los períodos de descanso son más prolongados, los niveles de reservas acumulados aumentan, lo que favorece rendimientos más altos en comparación con descansos cortos (De Souza Domenech & Presno Sandar, 2013).

El principal factor que determina la duración del período de crecimiento es la velocidad con que la pastura alcanza su área foliar óptima, definida como la capacidad de interceptar el 95% de la radiación incidente (Hopkins, 2000; López Cruchinski & Olivera Fila, 2017). Además, la época del año y la composición botánica de la pastura juegan un papel crucial en la frecuencia de pastoreo, ya que las leguminosas tienen un

área foliar óptima menor en comparación con las gramíneas y permiten un uso más frecuente (Lemaire et al., 2011).

La relación entre intensidad y frecuencia es fundamental: una alta intensidad y alta frecuencia de pastoreo reducen el vigor de la pastura, afectando la productividad animal y la persistencia. En contraste, una baja intensidad y baja frecuencia pueden generar acumulación excesiva de biomasa, afectando la calidad del forraje (Ortiz & Balocchi, 2015). Cuando la relación, intensidad y frecuencia de pastoreo, se definen en base a la morfofisiología de la planta, se optimiza la producción de forraje, la calidad y una mejor productividad animal por área.

2.6.2. Intensidad

La intensidad de pastoreo se refiere al grado de defoliación de la pastura por parte de los animales y está determinada por la altura de salida de pastoreo, el porcentaje de utilización, el área foliar residual y las reservas para el rebrote (Collares Day et al., 2024). A medida que la intensidad del pastoreo aumenta, también lo hace la defoliación, lo que afecta negativamente la capacidad de rebrote, el rendimiento del siguiente pastoreo y la persistencia de la pastura (Boggiano & Zanoniani, 2017).

Los componentes de una pastura responden de manera diferente al grado de defoliación, por lo que el manejo debe ajustarse según la composición botánica y las características de cada especie (Geymonat Echenique, 2022). Las gramíneas de crecimiento erecto son más susceptibles a la defoliación intensiva que las especies postradas, lo que afecta su vigor y producción (Figueredo, 2022).

El remanente después del pastoreo depende de la intensidad de defoliación y del hábito de crecimiento de las especies. En general, las leguminosas interceptan más luz que las gramíneas, lo que favorece un rebrote más rápido, aunque con menor rendimiento en comparación con gramíneas de crecimiento erecto (Collares Day et al., 2024). Para evitar comprometer el crecimiento posterior al pastoreo, es fundamental respetar una altura mínima de remanente: 2,5 cm para especies postradas y entre 5 y 7,5 cm para especies erectas (López Cruchinski & Olivera Fila, 2017).

El tiempo necesario para alcanzar el índice de área foliar crítico depende de la intensidad de la defoliación previa y de la época del año. Una mayor intensidad de defoliación implica un mayor tiempo de recuperación para interceptar la radiación incidente y maximizar la tasa de crecimiento (García Pintos Berisso & Orticochea Dell'Acqua, 2014).

Los diferentes sistemas de defoliación generan cambios en las pasturas tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, influyen en la relación entre la tasa de producción de materia seca y la pérdida de tejido vegetal. A largo plazo, afectan el remanente y la capacidad de rebrote de las especies forrajeras (C. Ammache & C. Colomatto, comunicación personal, 15 de marzo, 2024). Cuando la defoliación es frecuente y se realiza a baja altura, las plantas tienden a desarrollar un crecimiento más postrado, con menores niveles de carbohidratos y menor vigor en comparación con plantas menos defoliadas (De Souza Domenech & Presno Sandar, 2013).

Pastoreos demasiado laxos pueden generar acumulación excesiva de material muerto, lo que reduce la eficiencia fotosintética de la pastura y disminuye la producción neta de forraje (Figueredo, 2022). Además, una mayor altura del índice de área foliar post-pastoreo puede provocar un efecto de sombreado que disminuye la eficiencia de utilización del forraje y la densidad de macollos, reduciendo la relación hojas verdes-tallos (Figueredo Velásquez et al., 2021). A medida que la intensidad de pastoreo aumenta, sin considerar los límites morfofisiológicos de las plantas, la defoliación intensa afecta negativamente la capacidad de rebrote.

3. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis biológica

Frecuencia e intensidad de pastoreo diferentes generan cambios en la productividad de la mezcla en su primer año de vida:

- a. A menor frecuencia de defoliación (4 hojas), es decir períodos de descanso más prolongados, mayor producción de forraje.
- b. A menor intensidad de pastoreo (30%) mayor producción de forraje en el siguiente pastoreo, por un efecto positivo en el rebrote y persistencia.

3.2. Hipótesis estadística

Ho: $F_1 = F_2$

Ha: Existe al menos una diferencia entre F_i

Ho: $I_1 = I_2$

Ha: Existe al menos una diferencia entre I_j

Ho: No existe interacción $(FI)_{11} = (FI)_{12} = (FI)_{21} = (FI)_{22}$

Ha: Existe efecto de la interacción $(FI)_{ij}$

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de diferentes combinaciones de frecuencia e intensidad de pastoreo sobre la producción primaria y la sobrevivencia estival de la mezcla forrajera *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* en su primer año de implantación.

4.2. Objetivos específicos

- I. Comparar la producción de biomasa aérea de la mezcla forrajera bajo distintas combinaciones de frecuencia e intensidad de pastoreo.
- II. Evaluar el impacto del pastoreo en la cobertura y composición botánica de la pastura durante el primer año.
- III. Cuantificar la sobrevivencia de macollos y la densidad de *Festuca arundinacea*.
- IV. Identificar las estrategias de manejo óptimas para maximizar la producción y persistencia de la mezcla forrajera en sistemas pastoriles de Uruguay.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Condiciones experimentales

5.1.1. Localización y período experimental

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay), específicamente en el potrero N° 35 (Latitud 32°22'24,7" S; Longitud 58°03'58,80" O). El período experimental comprendió desde agosto de 2022 hasta mayo de 2023, evaluándose una mezcla forrajera en su primer año de establecimiento, compuesta por *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*.

5.1.2. Descripción del sitio experimental

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (Altamirano et al., 1976), a escala 1:1.000.000, el área experimental se encuentra sobre la Unidad San Manuel, correspondiente a la formación geológica Fray Bentos. Los suelos predominantes son Brunosoles Éutricos Típicos (Háplicos), con una profundidad superficial a moderadamente profunda y textura limo-arcillosa (limosa). En asociación con estos, se encuentran Brunosoles Éutricos Lúvicos, de textura limosa, y Solonetz Solodizados Melánicos, de textura franca.

Durante el período de evaluación, se realizó un muestreo de suelo en cada unidad experimental, cuyos valores promedio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1
Análisis de suelo del área experimental

Bases (meq/100 g suelo)				Nitrato	Fósforo	pH
meq. de Ca/100 g suelo	meq. de Mg/100 g suelo	meq. de K/100 g suelo	meq. de Na/100 g suelo	ppm NO ₃	ppm P	pH agua
10.91	1.89	0.76	0.31	2.99	19.63	5.89

5.1.3. Antecedentes del área experimental

La mezcla forrajera evaluada correspondió a su primer año de implantación, con una siembra realizada el 9 de mayo de 2022. La densidad de siembra fue de 18 kg/ha para *Festuca arundinacea* (cv. Tacuabé), 8 kg/ha para *Lotus corniculatus* (cv. San Gabriel) y 1 kg/ha para *Trifolium repens* (cv. Zapicán).

Para la fertilización, se aplicaron 120 kg/ha de fertilizante 18-46 en el momento de la siembra. Posteriormente, en ambos tratamientos (2H y 4H) se realizó una fertilización con urea a razón de 108 kg/ha.

El establecimiento de la mezcla forrajera se realizó sobre un rastrojo de avena, en un área previamente ocupada por una pradera perenne de cuatro años.

5.1.4. Tratamientos

El experimento contempló cuatro tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, combinando dos frecuencias de pastoreo (entrada de pastoreo cuando gramínea alcanza 2 y 4 hojas totalmente expandidas) con dos intensidades de defoliación (30% y 70%).

Los tratamientos fueron los siguientes:

- Frecuencia de dos hojas en *Festuca arundinacea*, removiendo un 30% del forraje disponible inicialmente.
- Frecuencia de dos hojas en *Festuca arundinacea*, removiendo un 70% del forraje disponible inicialmente.
- Frecuencia de cuatro hojas en *Festuca arundinacea*, removiendo un 30% del forraje disponible inicialmente.
- Frecuencia de cuatro hojas en *Festuca arundinacea*, removiendo un 70% del forraje disponible inicialmente.

La frecuencia de defoliación se determinó en función del número de hojas desarrolladas por la gramínea *Festuca arundinacea*, estableciendo el momento de ingreso de los animales a pastoreo. Por su parte, la intensidad de defoliación se definió según la altura del forraje residual, determinando la salida de los animales de la parcela.

Las parcelas fueron pastoreadas por novillos de raza Holando de dos años de edad, asignados aleatoriamente a los tratamientos. Se utilizó el método de “mob grazing”, el cual consiste en el uso de una alta carga animal durante un período corto de tiempo en un área reducida y controlada, con el objetivo de optimizar el aprovechamiento del forraje (Allen et al., 2011).

Para los tratamientos con una intensidad de defoliación del 30%, se asignaron dos novillos por parcela, mientras que en los tratamientos con un 70% de defoliación, se utilizaron cuatro novillos por parcela, asegurando así una salida simultánea de los animales en todas las unidades experimentales. La carga animal diferencial se utilizó

para asegurar el logro de los niveles de remanente objetivo en tiempos comparables entre tratamientos. Las intensidades objetivo se definieron en función de la altura inicial del disponible, a partir del cual, se calculó en base a cuántos centímetros correspondían el 30% y 70% del disponible inicial respectivamente. Siendo esto, lo que los animales debían remover para ser quitados de cada parcela.

El período experimental comprendió cinco pastoreos, desde agosto de 2022 hasta mayo de 2023.

5.1.5. Diseño experimental

El experimento se estructuró bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo factorial 2 x 2.

El área experimental abarcó aproximadamente 1,10 hectáreas, dividida en cuatro bloques, cada uno de los cuales contenía cuatro parcelas de igual tamaño, totalizando 16 unidades experimentales.

A continuación, en la Tabla 2 se presenta el croquis de la distribución de los bloques y tratamientos:

Tabla 2

Distribución de los bloques y tratamientos en el experimento

BLOQUE 3				BLOQUE 4			
4H - 30	2H - 30	4H - 70	2H - 70	4H - 70	4H - 30	2H - 70	2H - 30
CALLEJÓN							
2H - 30	4H - 70	2H - 70	4H - 30	4H - 70	4H - 30	2H - 30	2H - 70
BLOQUE 1				BLOQUE 2			

5.2. Metodología experimental

En el presente estudio, se analizaron las siguientes variables: disponible, remanente y producción de forraje, composición botánica, sobrevivencia estival de macollos y cobertura de suelo. A continuación, se describe el procedimiento empleado para la medición de cada una de ellas.

5.2.1. Disponibilidad y remanente de materia seca

Previo a la división de las unidades experimentales, se estimó la disponibilidad de forraje, es decir, la cantidad de biomasa presente antes del ingreso de los animales, y el remanente, que representa el forraje disponible tras su retiro. Ambas variables se expresaron en kg MS/ha.

Para su evaluación, se utilizó el método de doble muestreo propuesto por Haydock y Shaw (1975), que combina un muestreo destructivo inicial con un método indirecto de estimación visual por escalas (1 a 5, siendo 1 el menor disponible y 5 el mayor disponible) (Pravia et al., 2013). Los cortes se realizaron a nivel del suelo, utilizando un cuadrante de 20 x 50 cm, dentro del cual se midieron tres alturas diagonales para obtener un promedio.

Las muestras de forraje fresco se analizaron para determinar su composición botánica y posteriormente se secaron en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas antes de ser pesadas en una balanza de precisión.

Una vez definidas las unidades experimentales, se estimó disponible y remanente de materia seca, mediante el mismo procedimiento, con la diferencia que no se empleó la estimación visual por escalas debido a la reducida heterogeneidad dentro de cada unidad experimental. Nuevamente, se realizaron cortes a nivel de suelo utilizando cuadrante de 20 x 50 cm, dentro del cual se midieron tres alturas diagonales para obtener un promedio.

5.2.2. Composición botánica

Esta variable corresponde a la proporción de los distintos componentes de la pastura (festuca, raigrás, trébol blanco, lotus corniculatus, restos secos, maleza hoja ancha y maleza gramínea). Cabe aclarar que, el raigrás se evaluó por ser una competidora espontánea que hace a la producción secundaria. La evaluación se realizó mediante el método de separación gravimétrica de la biomasa disponible (García-Favre et al., 2017), el cual permite estimar la contribución en kg de materia seca de cada componente.

Para ello, de las cuatro muestras recolectadas por unidad experimental para disponible y remanente, tres fueron procesadas mediante dicho método. Cada fracción se clasificó en bandejas separadas y se secó en estufa a 60°C durante 48 horas, tras lo cual se determinó su peso seco en gramos.

5.2.3. Supervivencia estival de macollos

Para evaluar esta variable, se colocaron tres estacas por parcela en disposición diagonal como referencia para los conteos. Se realizaron dos evaluaciones, una en primavera (22 de noviembre) y otra en otoño (23 de abril), con el objetivo de analizar la supervivencia estival de los macollos.

Los conteos se efectuaron utilizando un cuadro de 20 x 50 cm colocado sobre la línea de siembra con orientación norte-sur.

5.2.4. Cobertura de suelo

La cobertura del suelo se estimó visualmente en dos períodos, 20 de diciembre de 2022 y 15 de abril de 2023. Para ello, en cada parcela se realizaron diez lanzamientos aleatorios de un cuadrante de 20 x 50 cm. Se determinó el porcentaje de cobertura de los distintos componentes: gramíneas, leguminosas, malezas, restos secos y suelo descubierto.

5.3. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se empleó el paquete estadístico Infostat. Se realizaron análisis de varianza (ANAVA) para evaluar los efectos de los tratamientos, y para identificar diferencias significativas entre ellos se aplicó la prueba de Mínima Significancia (LSD Fisher) utilizando niveles de significación del 5 % y, en un caso particular, del 10 %.

5.3.1. Modelo estadístico

El modelo estadístico se ajustó al diseño experimental, basado en un diseño de bloques completos al azar (DBCA). La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + I_j + \beta_k + (FI)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} : Variable de respuesta.

μ : Media poblacional.

F_i : Efecto del factor frecuencia, con niveles correspondientes a dos y cuatro hojas.

I_j : Efecto del factor intensidad, con niveles del 30 % y 70 % de defoliación.

β_k : Efecto del bloque.

$(FI)_{ij}$: Efecto de la interacción entre los factores frecuencia e intensidad.

ϵ_{ijk} : Error experimental, asumido independiente e idénticamente distribuido según una distribución normal $N(0, \sigma^2)$.

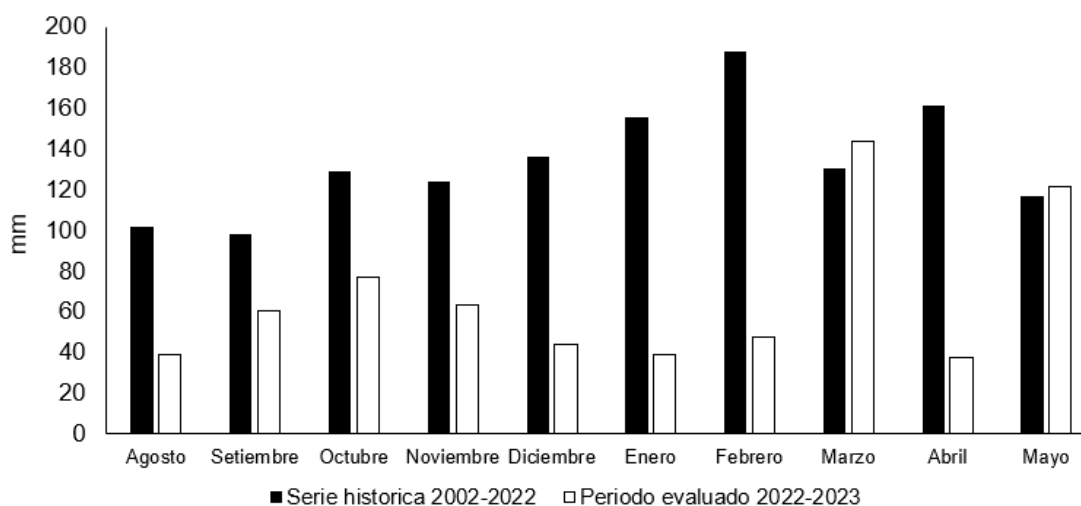
6. RESULTADOS

6.1. Datos meteorológicos

El análisis de las variables climáticas durante el período experimental (agosto-diciembre de 2022 y enero-mayo de 2023) permite contextualizar el comportamiento del crecimiento forrajero y su relación con la disponibilidad hídrica y térmica. Se compararon los registros de precipitaciones y temperaturas del año experimental con los promedios correspondientes al período agosto-mayo de una serie histórica de 20 años (2002–2022), tal como se muestra en las Figuras 1 y 2.

Figura 1

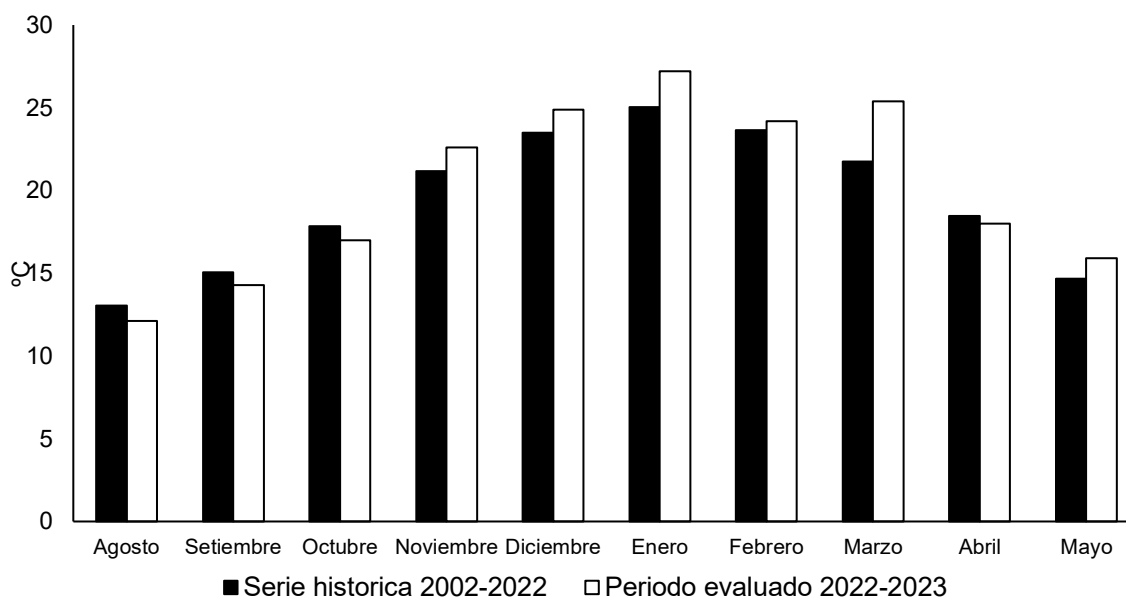
Comparación de precipitaciones de serie histórica junto con período experimental



Durante la mayor parte del período evaluado, los niveles de precipitaciones estuvieron por debajo del promedio histórico mensual de 80 mm. Esta tendencia es consistente con los antecedentes climáticos recientes (2020–2022), en los que predominó una condición de sequía moderada a severa, según el Índice de Precipitaciones Estandarizado para 12 meses (IPE12) (Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], 2023). Particularmente en abril de 2023, se evidenció un marcado déficit de aproximadamente 110 mm respecto al promedio histórico, siendo este el mes con menor aporte hídrico del período experimental. En cambio, en marzo se registraron precipitaciones que superaron el valor histórico, mientras que en mayo las lluvias se equipararon con la media de referencia.

Figura 2

Comparación de temperaturas de serie histórica junto con período experimental



Respecto a la temperatura, se observó que entre agosto y octubre de 2022 las temperaturas medias fueron inferiores a los promedios históricos, situación que podría haber limitado el crecimiento inicial de las especies forrajeras. Sin embargo, desde noviembre de 2022 hasta marzo de 2023, las temperaturas se mantuvieron persistentemente por encima del promedio. En enero, la temperatura promedio alcanzó 27,8 °C, en febrero fue de 24,2 °C, en marzo de 25,8 °C y en abril descendió a 17,5 °C. Este patrón térmico resulta relevante, dado que, como señalan Jáuregui et al. (2017), las gramíneas forrajeras templadas maximizan su crecimiento en rangos de temperatura entre 15 y 20 °C. La caída térmica observada en abril pudo haber afectado negativamente el ritmo de crecimiento de las especies implantadas.

De acuerdo al objetivo planteado sobre comparar la producción de biomasa aérea de la mezcla forrajera bajo distintas combinaciones de frecuencia e intensidad de pastoreo, durante el período evaluado (2022–2023), las precipitaciones se mantuvieron por debajo del promedio histórico (2002–2022) en la mayoría de los meses, salvo en marzo, donde se registraron valores superiores, y en mayo, donde se igualó el promedio. En abril se evidenció un marcado déficit de aproximadamente 110 mm respecto a la media histórica. En cuanto a las temperaturas, se observaron valores inferiores al promedio entre agosto y octubre de 2022, mientras que, desde noviembre de 2022 hasta mayo de 2023, las temperaturas fueron consistentemente superiores a la media histórica.

6.2. Balance hídrico

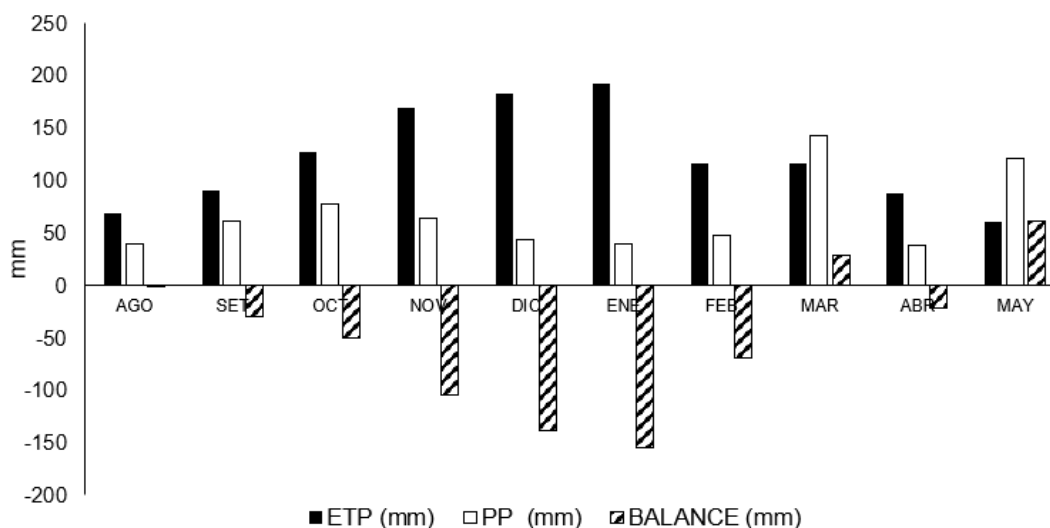
El balance hídrico evalúa la relación entre la precipitación y la evapotranspiración, determinando la disponibilidad de agua para las plantas. La evapotranspiración varía mensualmente, influenciada por factores climáticos y de manejo. Para el período evaluado, se llevó a cabo un balance hídrico mensual del aporte de agua (precipitación) y demanda atmosférica por agua (evapotranspiración potencial), cabe destacar que el suelo en el cual se llevó a cabo el experimento puede almacenar una película de agua de 80 mm debido a las características del mismo anteriormente mencionadas.

El método utilizado para dicho balance fue el método de Thornthwaite y Mather (1957), quien hace un abordaje al balance de agua desde un punto de vista climatológico, en consideración de que la mayoría de los factores que lo afectan son variables del clima o estrechamente vinculadas a estas. Cabe destacar que la ETP no depende del tipo de vegetación, del tipo de suelo, contenido de agua del suelo o de las prácticas de manejo de tierras (Mather, 1978, como se cita en Zhang et al., 2012).

A continuación, en la Figura 3 se presenta el balance hídrico respectivo al período experimental.

Figura 3

Balance hídrico correspondiente al período experimental



Nota. La referencia ETP indica evapotranspiración, PP indica precipitación.

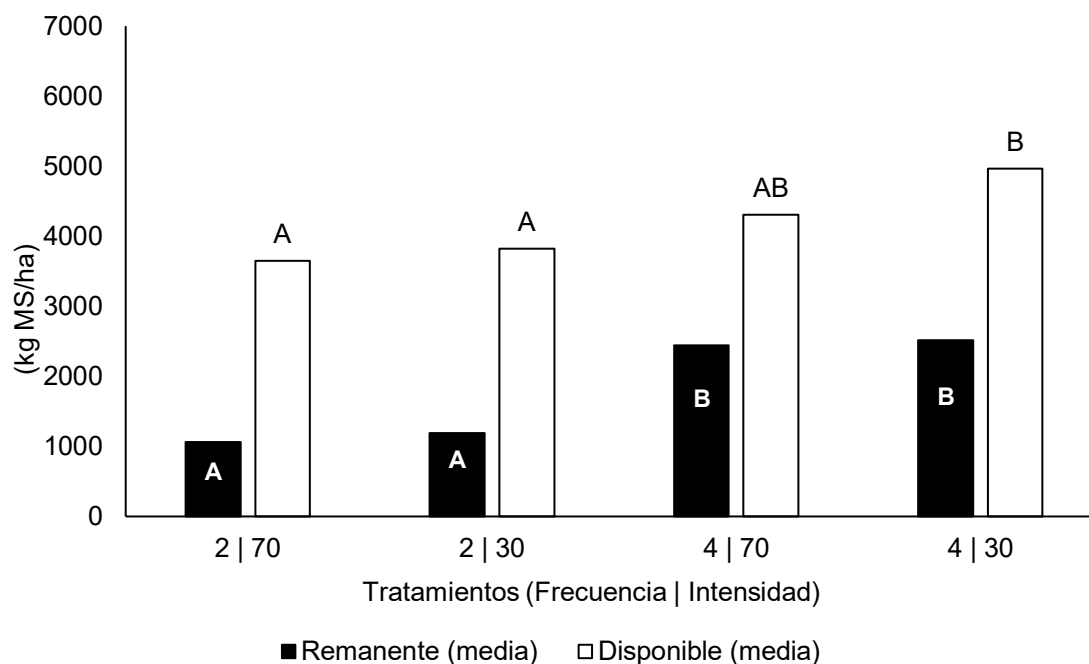
Para el período evaluado, se observó un déficit hídrico para los meses comprendidos entre agosto 2023 hasta febrero 2024 y el mes de abril para el respectivo año. Por otro lado, la ETP fue superior en todos los meses excepto en marzo y mayo

2024. Esto indica que el agua almacenada en el suelo es utilizada; la napa de agua puede caer y puede desarrollarse una deficiencia de agua en el suelo, siendo esta la situación predominante. Cuando la precipitación supera a la ETP, el agua almacenada en el suelo aumenta, pudiéndose generar un excedente de agua.

6.2.1. Resultados de producción, disponible y remanente para los tres períodos evaluados

A continuación, se presentan los análisis estadísticos de las variables forraje disponible, remanente y producción, expresadas en kilogramos de materia seca por hectárea (kg MS/ha), bajo combinaciones de frecuencia e intensidad de defoliación contrastantes, producto de la interacción entre frecuencia de dos hojas con intensidades de treinta y setenta por ciento de defoliación, sucediendo lo mismo para la frecuencia de defoliación de cuatro hojas. Dicho análisis fue realizado para las tres estaciones evaluadas del período en estudio.

La Figura 4 muestra el remanente y el disponible en invierno-primavera. No se observaron diferencias significativas para la interacción (p-valor de 0.92 para remanente y 0.37 para disponible respectivamente); así como tampoco para intensidad en ambas variables (p-valor de 0.75 para el remanente y 0.14 para disponible). Sin embargo, si hubo diferencias para la frecuencia (p-valor del remanente de 0.002 y 0.01 para el disponible).

Figura 4*Remanente y disponible para invierno-primavera*

Nota. Las barras indican las medias obtenidas para cada variable (remanente y disponible), y sobre cada una se han colocado letras mayúsculas para señalar las diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) dentro de cada variable. Invierno-primavera, correspondiente a las siguientes fechas: 22 de septiembre y 29 de septiembre para 2 hojas; y 12 de octubre y 21 de octubre para 4 hojas.

La variable crecimiento no se presenta en la figura anterior dado que posee los mismos valores que la variable disponible. Esto se debe a que las mediciones en esta estación, coincidían con el primer año de crecimiento de la pastura, por lo tanto, no habría remanente previo.

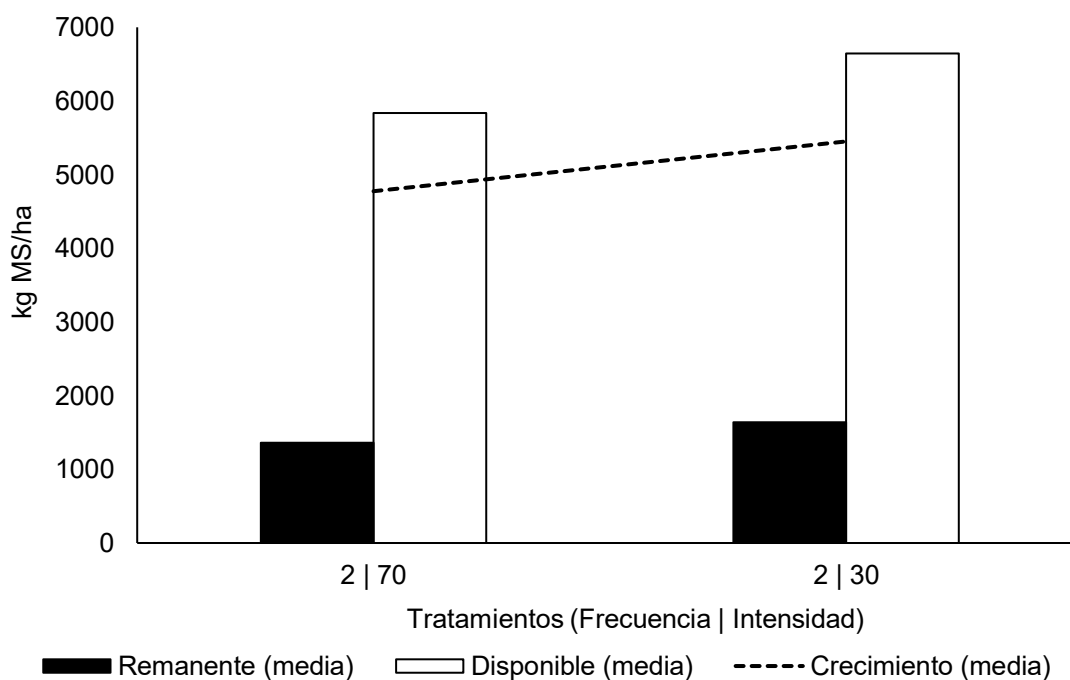
A partir de la figura se puede observar que la variable remanente (kgMS/ha) para la frecuencia de defoliación dos hojas (independientemente de la intensidad de defoliación) no presentó diferencias significativas, representando 1058 kgMS/ha el tratamiento dos hojas/setenta por ciento y 1190 kmMS/ha el tratamiento dos hojas/treinta por ciento. Por otro lado, los tratamientos con frecuencia de defoliación de cuatro hojas (independientemente de la intensidad de defoliación) tampoco presentaron diferencias significativas entre sí, representando 2511 kgMS/ha el tratamiento cuatro hojas/treinta por ciento y 2441 kgMS/ha el tratamiento cuatro hojas /setenta por ciento. Ahora, comparando los tratamientos con frecuencia de defoliación de dos hojas con los de cuatro hojas, se puede observar que independientemente de la intensidad de

defoliación, los tratamientos de frecuencia de defoliación de cuatro hojas tuvieron remanentes significativamente mayores a los de frecuencia de dos hojas.

Respecto al forraje disponible evaluado, se visualiza que el tratamiento de cuatro hojas con treinta por ciento de intensidad (4962 kgMS/ha) es mayor ante los tratamientos de frecuencia de dos hojas.

En primavera (Figura 5) no se determinó si hubo diferencias significativas para la interacción y frecuencia para las tres variables (remanente, disponible y crecimiento) ya que no se contó con los datos de tratamientos de 4 hojas. Cabe mencionar que no se efectuaron cortes para este tratamiento, para la estación en estudio, ya que la Festuca no llegó a formar cuatro hojas debido a la sequía en el periodo. Sin embargo, para intensidad no se observaron diferencias significativas para el remanente (p-valor de 0.32), disponible (p-valor de 0.33) ni crecimiento (p-valor 0.46).

Figura 5
Remanente, disponible y crecimiento para primavera



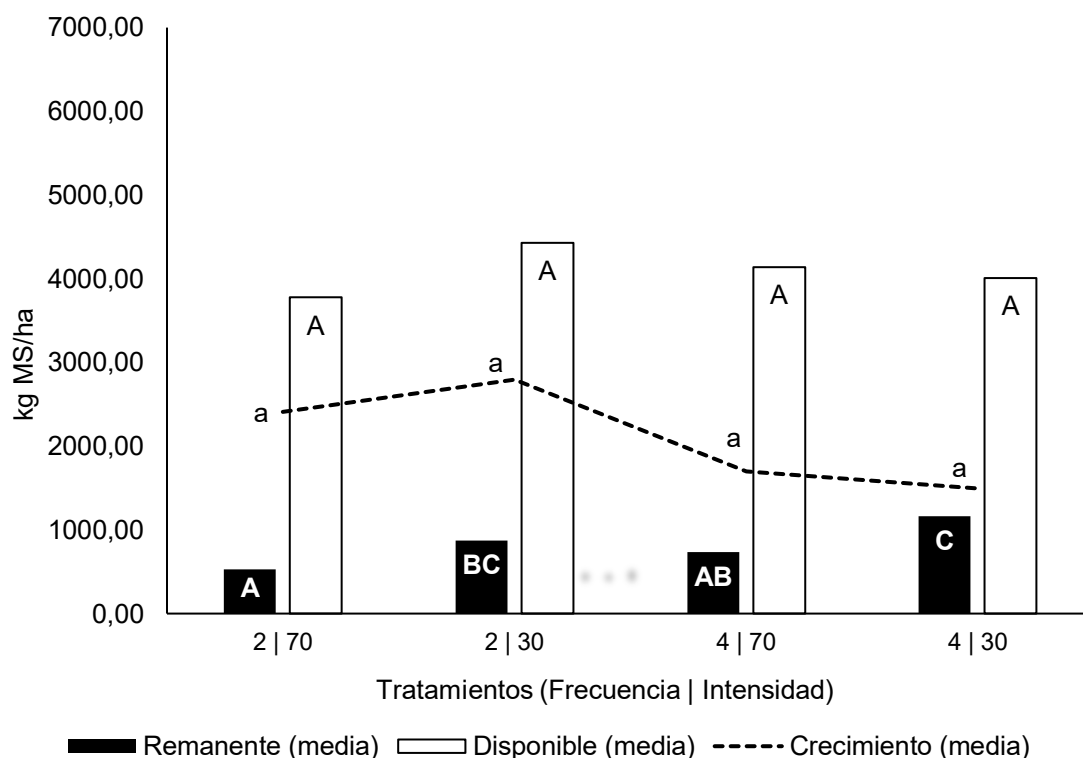
Nota. Las barras y línea punteada indican las medias obtenidas para cada variable ($p < 0.05$). Primavera correspondiente a las fechas 4 de noviembre para disponible de 2 hojas y 12 de noviembre para remanente de 2 hojas.

Para la estación de primavera no se observan diferencias significativas entre tratamientos (70% y 30% de intensidad de pastoreo).

En verano-otoño, como se muestra en la Figura 6, no se encontraron diferencias significativas para la interacción en el remanente (p-valor de 0.68), crecimiento (p-valor de 0.61) ni disponible (p-valor de 0.28). Así como tampoco para los factores frecuencia e intensidad en el crecimiento y disponible (p-valor se corresponden a 0.10; 0.87; 0.93 y 0.45 respectivamente). En contraposición, el remanente si presentó diferencias para la frecuencia (p-valor de 0.02) e intensidad (p-valor de 0.003).

Figura 6

Remanente, disponible y crecimiento para verano-otoño



Nota. Las barras y línea punteada indican las medias obtenidas para cada variable, y sobre cada una se han colocado letras mayúsculas (variable remanente y disponible) y minúsculas (variable crecimiento) para señalar las diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) dentro de estas. Verano – otoño correspondiente a las fechas 27 de abril y 19 de mayo.

Para el período de verano-otoño, no se observan diferencias significativas entre tratamientos para la variable crecimiento y disponible. Sin embargo, para el forraje remanente, se observa una superioridad en las medias de los tratamientos con intensidades de defoliación de treinta por ciento respecto a las de setenta por ciento (sin considerar la frecuencia de defoliación).

6.3. Tasa de crecimiento

A continuación, se presentan los resultados de tasa de crecimiento para todas las estaciones del período en estudio. Se realizó test de Fisher con una significancia del 0.05. No se observaron diferencias significativas en la variable, para la interacción (p-valor de 0.88) ni la intensidad (p-valor de 0.73). No obstante, si hubo diferencias en la frecuencia (p-valor de 0.02); siendo la media del tratamiento de cuatro hojas significativamente mayor que el de dos hojas (Figura 7).

Figura 7

Tasa de crecimiento según frecuencia de defoliación para todas las estaciones del período en estudio

Tratamiento (Frecuencia de defoliación)	Medias	N	EE	
2	22	16	9.97	A
4	53.78	24	8.14	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

A continuación, en la Figura 8 se presenta el análisis estadístico para la variable tasa de crecimiento discriminada por estaciones. En invierno-primavera se realizó test de Fisher a una significancia del 0.05. La interacción no fue estadísticamente significativa (p-valor 0.46), al igual que la intensidad (p-valor 0.21). No obstante, la frecuencia presentó un p-valor de 0.01, por lo que hubo diferencias significativas.

Figura 8

Interacción de los tratamientos para la variable tasa de crecimiento en invierno-primavera

Tratamiento (Frecuencia de defoliación)	Tratamiento (Intensidad de defoliación)	Medias	n	EE	
2	70	26.84	4	2.30	A
2	30	28.11	4	2.30	A
4	70	31.67	4	2.30	A B
4	30	36.48	4	2.30	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p mayor 0.05).

En cuanto a la Figura 8, 4 hojas con 30 % de intensidad de pastoreo, presentó mayores tasas con respecto a los tratamientos de 2 hojas, pero no se diferenció de 4 hojas con 70 % de intensidad, este último no tuvo ninguna diferencia significativa respecto a los restantes tratamientos del ensayo.

En primavera, tanto para la interacción como la frecuencia no se obtuvieron datos en el análisis estadístico, ya que no se realizaron medidas en el tratamiento de frecuencia de defoliación de cuatro hojas. Mientras que, para la intensidad no hubo diferencias significativas (p-valor 0,3073). Donde la media arrojada para el tratamiento de 2 hojas fue de 118.91 kgMS/ha.

En verano-otoño no fue significativo ningún parámetro estudiado, los p-valores obtenidos fueron de 0.78 para interacción; 0.15 para frecuencia y 0.71 para la intensidad respectivamente. Respecto a las medias, las mismas fueron de 9.92 para el tratamiento de frecuencia cuatro hojas y 14.96 para el de dos hojas. En referencia a intensidad, se obtuvo 11.81 para el tratamiento de 70 por ciento de defoliación y 13.07 para el de 30 por ciento.

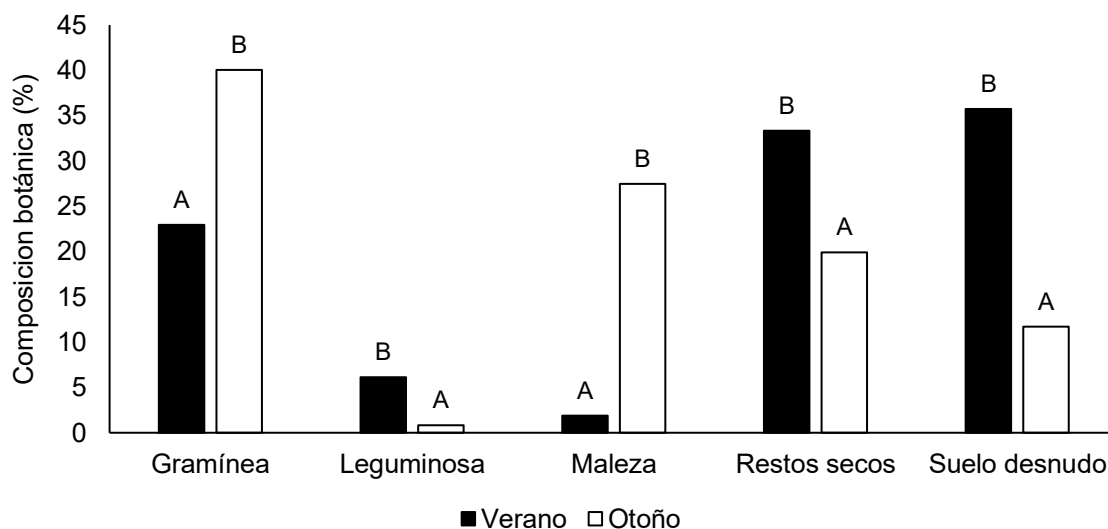
En suma, en la única estación en la que se observaron diferencias significativas en las interacciones de los tratamientos, es decir, combinaciones contrastantes de frecuencias e intensidades de defoliación fue en la estación de invierno – primavera para la variable tasa de crecimiento.

6.4. Composición botánica

A continuación, en la Figura 9 se presentan los resultados obtenidos para la variable composición botánica en representación visual en las estaciones de verano (20 de diciembre de 2022) y otoño (15 de abril de 2023) y en porcentaje de kilogramos de materia seca por hectárea por estación y por tratamiento. El análisis estadístico se realizó mediante un test de Fisher a una significancia del 0.05. Para el caso de la composición botánica visual, todos los componentes mostraron diferencias significativas entre estaciones (p – valor <0.0001). Sin embargo, cuando se analizan los componentes para las estaciones en conjunto, no hubo diferencias significativas para frecuencia (Anexo A).

Figura 9

Composición botánica visual para verano vs otoño



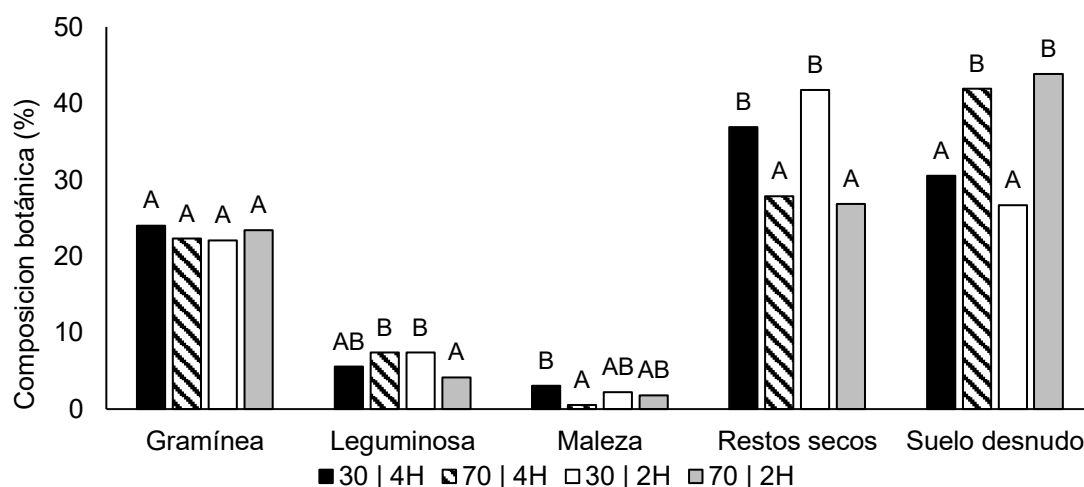
Nota. Las letras representan diferencias significativas entre ambas estaciones para cada componente botánico. Verano corresponde a la fecha 20 de diciembre de 2022 y otoño corresponde a la fecha 15 de abril de 2023.

En la figura anterior se observa que hubo diferencias significativas para todos los componentes evaluados entre ambas estaciones. Para el otoño, tanto la componente gramínea como maleza fueron mayores, mientras que los restantes componentes fueron mayores en verano.

En verano, los modelos estadísticos de las interacciones para los componentes gramínea, maleza, restos secos y suelo desnudo no dieron significativos, sus p – valores correspondientes fueron 0.48; 0.18; 0.26; 0.36. En contraposición, el p – valor de leguminosa fue de 0.004, por lo que el modelo fue significativo (Figura 10).

Figura 10

Composición botánica visual para todos los tratamientos en verano



Nota. Letras distintas representan diferencias significativas para cada componente.

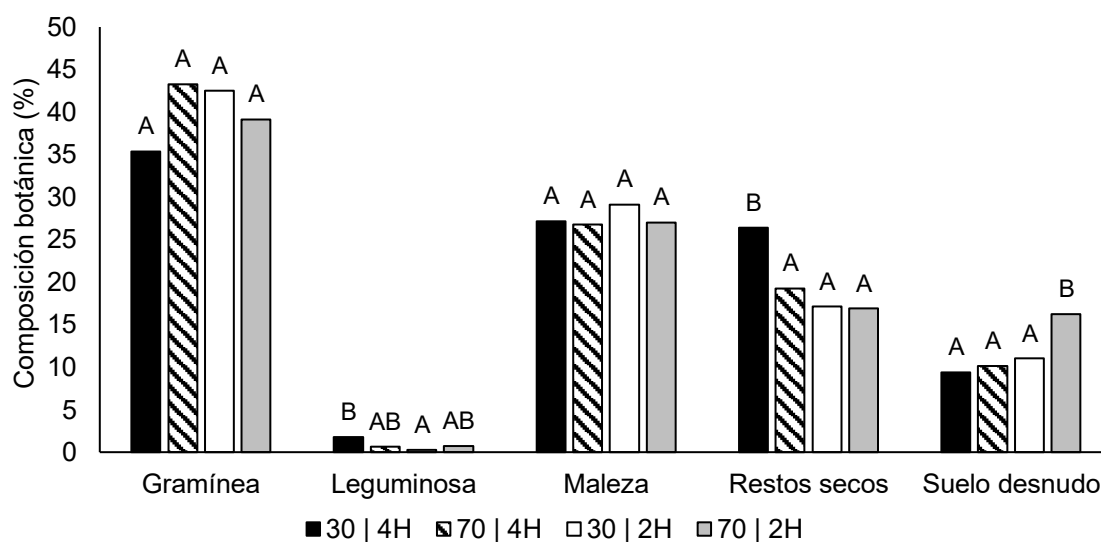
Verano corresponde a la fecha 20 de diciembre de 2022.

En la figura anterior se observa que, el único componente que no tuvo diferencias significativas fue gramínea. Por su parte, la componente leguminosa, tanto los tratamientos de setenta por ciento de intensidad con cuatro hojas y treinta por ciento de intensidad con dos hojas fueron mayores al de setenta por ciento de intensidad con dos hojas. El componente maleza, fue mayor para el tratamiento treinta por ciento con cuatro hojas en comparación al de misma frecuencia, pero distinta intensidad. Los tratamientos con treinta por ciento de intensidad poseen mayor componente de restos secos que los de setenta por ciento, independientemente de la frecuencia de defoliación. En contraposición, estos tratamientos presentaron menor suelo desnudo.

En otoño, ningún componente presentó diferencias significativas para la interacción frecuencia x intensidad. Los p – valores obtenidos fueron de 0.16 para gramínea; 0.06, leguminosa; 0.78, maleza; 0.11, restos secos y 0.23 para suelo desnudo (Figura 11).

Figura 11

Composición botánica visual para todos los tratamientos en otoño



Nota. Letras distintas representan diferencias significativas para cada componente.

Otoño corresponde a la fecha 15 de abril de 2023.

En la figura anterior se observa que, tanto para gramínea como para maleza, los tratamientos experimentales no tuvieron diferencias significativas. Mientras que, los componentes que presentaron diferencias significativas para los tratamientos fueron leguminosa, restos secos y suelo desnudo.

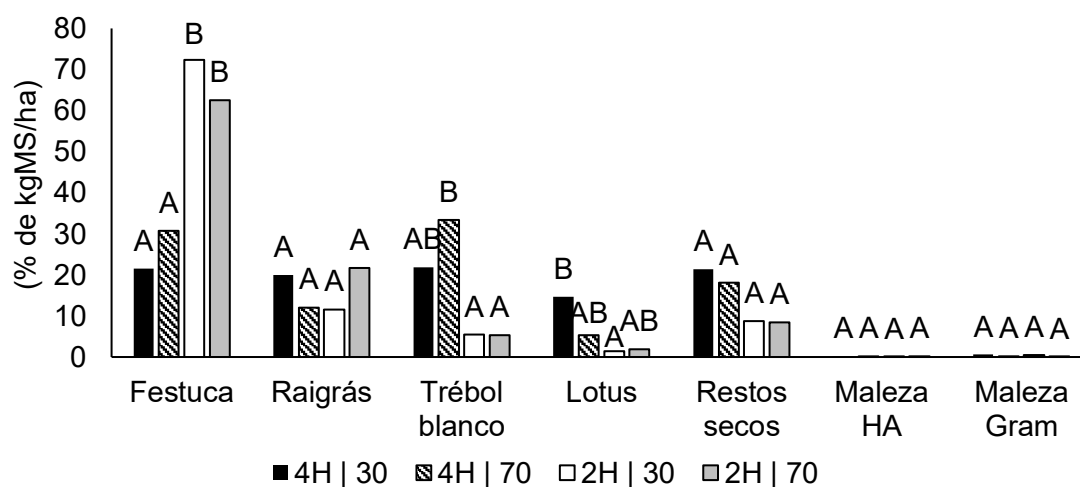
Respecto a leguminosa, el tratamiento de treinta por ciento de intensidad con cuatro hojas fue mayor al tratamiento de treinta por ciento de intensidad con dos hojas. Para el componente restos secos, el tratamiento que tuvo mayor media respecto a los demás, fue aquel de intensidad de treinta por ciento con cuatro hojas. Por último, el tratamiento de setenta por ciento de intensidad con frecuencia de defoliación dos hojas presentaron mayor suelo desnudo que los restantes.

A continuación, en la Figura 12 se presentan los resultados obtenidos de composición botánica en porcentaje de kilogramos de materia seca por hectárea por estación y por tratamiento. Para la frecuencia no hubo diferencias significativas entre los componentes cuando se analizan las estaciones en conjunto (Anexo B), al igual que para intensidad (Anexo C).

Para el disponible, ningún análisis de la varianza (ANOVA) presentó diferencias significativas para los componentes festuca, raigrás, trébol blanco, lotus, restos secos, maleza hoja ancha y maleza gramínea, sus p – valores correspondientes fueron 0.24; 0.13; 0.40; 0.28; 0.79; 0.49 y 0.87.

Figura 12

Composición botánica gravimétrica del forraje disponible promedio



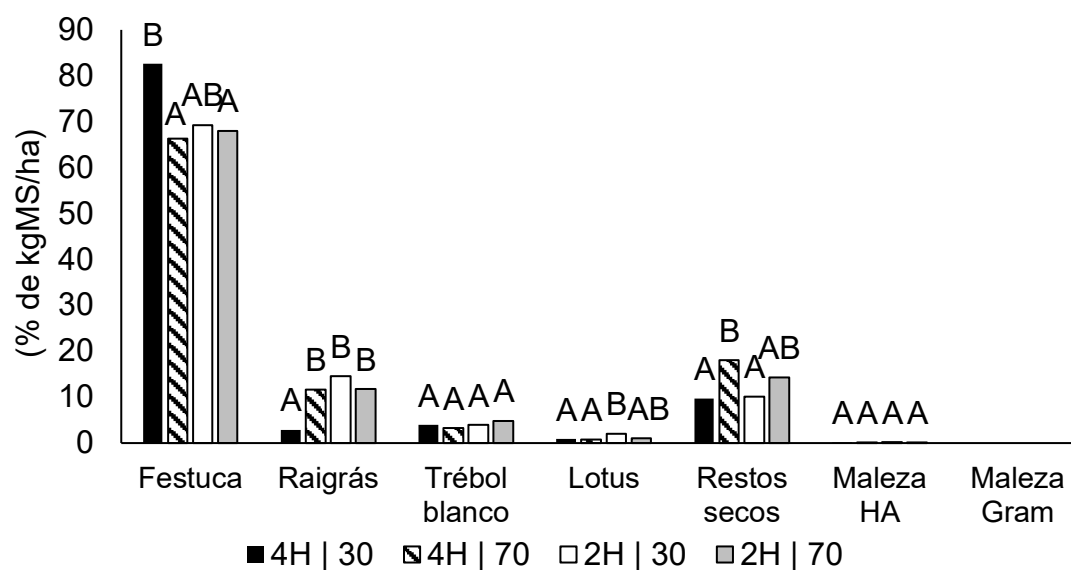
Nota. Letras distintas representan diferencias significativas para cada componente.

En la figura anterior se observa que tanto para raigrás, restos secos y malezas, no se observaron diferencias significativas para ningún tratamiento. Para el componente Festuca, los tratamientos de dos hojas de frecuencia de defoliación, presentaron mayor presencia respecto a los de cuatro hojas. Trébol blanco presentó mayor materia seca para el tratamiento de cuatro hojas con setenta por ciento de intensidad respecto a los de dos hojas. Finalmente, para *Lotus corniculatus*, solo hubo diferencias significativas dentro de los tratamientos de treinta por ciento de intensidad, siendo mayor aquel con frecuencia cuatro hojas.

En la Figura 13 se presentan los resultados obtenidos de composición botánica en porcentaje de kilogramos de materia seca por hectárea por estación y por tratamiento para el forraje remanente. El ANAVA del raigrás (Anexo D), fue el único que presentó diferencias significativas (p -valor 0.0495), mientras que los componentes festuca, trebol blanco, lotus, restos secos y maleza hoja ancha no presentaron diferencias significativas. Los p -valores obtenidos fueron 0.15; 0.35; 0.29; 0.42 y 0.49 respectivamente.

Figura 13

Composición botánica gravimétrica del forraje remanente promedio



Nota. Las letras representan diferencias estadísticamente significativas dentro de cada componente. En las muestras obtenidas no se encontró componente maleza gramínea.

En la Figura 13 se observa que, tanto trébol blanco como maleza de hoja ancha no presentaron diferencias significativas para ningún tratamiento. Para el componente Festuca, el tratamiento cuatro hojas con treinta por ciento de intensidad, fue mayor a los tratamientos de setenta por ciento de intensidad. Respecto a raigrás, el tratamiento de cuatro hojas con treinta por ciento de intensidad se diferenció estadísticamente de los demás presentando menor media. El tratamiento de dos hojas con treinta por ciento de intensidad presentó mayor materia seca de Lotus que los de cuatro hojas de frecuencia de defoliación. Por último, para restos secos, a cuatro hojas con setenta por ciento de intensidad se obtuvo mayor materia seca en comparación a los tratamientos de intensidad de treinta por ciento.

6.5. Supervivencia de macollos

En relación con el objetivo 4 (cuantificar la supervivencia de macollos y la densidad de *Festuca arundinacea*), se presenta a continuación el análisis estadístico de la variable densidad de macollos/m² para la triple interacción (Frecuencia x Intensidad x Fecha), la misma no fue significativa (p-valor 0.38). Sin embargo, el ANAVA de la fecha sí presentó diferencias significativas (p-valor <0.0001).

En la Tabla 3 se presentan las medias de la variable número de macollos/m² asociado a la especie gramínea (*Festuca arundinacea*) respecto a los tratamientos

frecuencia, intensidad y fecha. El número de macollos por metro cuadrado en *Festuca arundinacea* varía según la fecha de medición.

Tabla 3

Medias de número de macollos/m² para la triple interacción (frecuencia x intensidad x fecha)

Frecuencia	Intensidad	Fecha	Medias	Diferencias significativas
4	30	nov-22	2950	B
2	30	nov-22	3076	B
2	70	nov-22	3227	B
4	70	nov-22	3290	B
2	30	abr-23	737	A
4	30	abr-23	813	A
4	70	abr-23	900	A
2	70	abr-23	1040	A

Nota. Fecha: corresponde a fecha de medición.

No se encontraron diferencias significativas para las medias en el número de macollos para las diferentes interacciones de los tratamientos dentro de cada fecha. Sin embargo, las medias para todas las interacciones de noviembre son superiores respecto a las de abril.

7. DISCUSIÓN

La primera hipótesis planteada en el trabajo, donde la frecuencia e intensidad de pastoreo diferentes generan cambios en la productividad de la mezcla en su primer año de vida, se cumple. En el primer período evaluado se estimó disponible que corresponde al crecimiento, por ser el primer año de la pastura, el tratamiento de 4 hojas frecuencia de defoliación e intensidad del 30% fue superior al de los tratamientos de 2 hojas. Sin embargo, la sequía ocurrida en el período primavera-estival no permitió el máximo desarrollo potencial de las pasturas, por ende, las medias de los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre las mismas. Para el primer período, la mayor producción ocurrida en el tratamiento de menor frecuencia (4 hojas) está dada por una menor reducción del nivel de reservas y tamaño de las raíces (Figueredo, 2022), lo que conlleva a un crecimiento más rápido. Además, esto también pudo estar dado por un pastoreo efectuado próximo al IAF crítico, donde las tasas de crecimiento promedio se maximizaron (Parsons, 1988). Por otro lado, este tratamiento no solo tuvo la menor frecuencia, sino que también la menor intensidad, lo que llevó a una menor pérdida del vigor de la pastura (Ortiz & Balocchi, 2015) y consecuencia una mayor producción; sin embargo, esto afectaría el valor nutritivo de la pastura por una mayor acumulación de biomasa senescente (Ortiz & Balocchi, 2015). Pero si se considera el forraje cosechado por los animales, dicha estrategia de pastoreo, permitiría una mayor selección de las láminas superiores que poseen mayor valor nutritivo y por ende, mayor peso de bocado (Silvestri Szymczak et al., 2020).

Como se mencionó anteriormente, el déficit hídrico ocurrido desde septiembre del período en estudio, afectó el crecimiento potencial de las pasturas y, por ende, las diferencias entre tratamientos para dicha variable. Esto se debe a que, la disponibilidad hídrica afecta la fotosíntesis mediante tres aspectos. En primer lugar, debido a un cierre parcial o total de los estomas, hay una menor difusión de CO_2 , afectando la fase de fijación de la fotosíntesis. En segundo lugar, hay un efecto irreversible sobre el funcionamiento de los fotosistemas. Por último, dado un mayor componente de material muerto, se perjudica la capacidad de interceptación de la radiación, debido a una reducción índice de área foliar (IAF). Además, los déficits hídricos afectan también la disponibilidad de nutrientes en suelo, y dado que los niveles de nutrientes son mayores en los horizontes superficiales del suelo y éstos son los primeros en sufrir las carencias de humedad por la falta de lluvias (Carámbula & Terra, 2000).

El remanente en la estación de invierno-primavera fue mayor a frecuencia de 4 hojas, dado que el intervalo entre pastoreos fue mayor, y la utilización pudo haber sido

menor. Por otro lado, la intensidad no determinó diferencias en dicha variable, esto podría explicar a que, fue el primer período del experimento, lo cual en el corto plazo los tratamientos no repercutieron en el remanente. Además, los diferentes sistemas de defoliación generan cambios en las pasturas; a largo plazo, afectan el remanente y la capacidad de rebrote de las especies forrajeras (C. Ammache & C. Colombatto, comunicación personal, 15 de marzo, 2024). En la estación sucesiva (primavera), al igual que en la estación previa (invierno-primavera), no hubo efecto en la intensidad de defoliación para las variables analizadas (frecuencia de defoliación de dos hojas); esto se puede deber a que, además de que no aún no ocurrió un efecto acumulado del tratamiento, se dio el inicio de un déficit hídrico. Finalmente, durante verano-otoño, el remanente fue menor a alta frecuencia y alta intensidad, respecto al otro extremo, pero no en combinaciones de situaciones intermedias; esto se debe a que las mediciones se realizaron más a mediano-largo plazo del inicio del experimento, pero aún durante un período muy seco. A su vez, el número de macollos entre tratamientos no tuvo diferencias, siendo esta variable un componente del rendimiento de las pasturas.

A partir de la segunda medición y sucesivos períodos, el crecimiento no se diferenció para las frecuencias e intensidades de defoliación evaluadas. Las diferencias observadas en el remanente no fueron lo suficientemente significativas como para generar variaciones en el crecimiento, ya el mismo se calculó en base a al remanente y disponible. En adición, en primavera, es complejo lograr remanentes bajos, ya que los tallos florales son rechazados por los animales en preferencia por las hojas (Velásquez-Vélez et al., 2009).

Respecto a la tasa de crecimiento de los tratamientos durante todo el período en estudio, solo la frecuencia de defoliación presentó efecto sobre dicha variable, a menor frecuencia mayor tasa. Esto se debe a que, defoliaciones menos frecuentes (4 hojas) permiten dejar mayor índice de área foliar (IAF) post pastoreo e interceptar mayor radiación (Ordoñez May, 2025) dada una mayor cobertura vegetal; esto provoca mayor fotosíntesis y producción de fotoasimilados y como consecuencia un aumento de la tasa de crecimiento de la pastura.

Cuando se analiza la misma variable en diferentes estaciones, sólo hubo efecto de los tratamientos durante el primer período evaluado (invierno-primavera). Donde el tratamiento de baja frecuencia y alta intensidad presentó una mayor tasa respecto a aquellos de alta frecuencia. Esto se argumenta a que, en dicha combinación hay un índice de área foliar tal, capaz de capturar altos niveles de radicación y, además, evitar el sombreado y menor material senescente.

En referencia a la composición botánica visual, durante el verano el componente leguminosa (que incluía *trifolium repens* y *lotus corniculatus*) fue mayor, en contraposición con el componente gramínea (*festuca arundinacea* y *lolium sp.*) que fue superior en otoño. Esto se debe a que gran parte de la Festuca estaba senescente en dicha estación, lo cual se revierte con el restablecimiento de las lluvias, recuperándose gran cantidad de biomasa verde; esto se debe a que es una especie invernal, con buena precocidad otoñal (Carámbula, 2002); y además García (1983, como se cita en Formoso, 2010) señala que el cultivar Tacuabé posee mayor capacidad de competencia en relación al trébol blanco. Lo cual también fue estudiado por García y Millot (1977, como se cita en Formoso, 2010), quienes encontraron en pasturas mezclas durante varios años consecutivos, que la especie dominante fue festuca. En contraposición, la mayor presencia de leguminosas en verano está explicada por el componente Lotus, ya que es una especie estival (Cárambula, 2002). A su vez, en verano se presenciaron menor cantidad de malezas respecto al otoño, esto se puede inferir a que la sequía tuvo un efecto supresor en el desarrollo de las mismas. Bajo dicha condición también se favoreció la senescencia, y, por ende, mayores restos secos. Finalmente, dadas las causas mencionadas anteriormente, otoño es la estación en la que se obtuvo mayor cobertura vegetal.

Los tratamientos evaluados en el otoño, presentaron un efecto en la composición y estructura del tapiz vegetal, pero solamente para los componentes leguminosa, restos secos y suelo desnudo. Se encontró que baja frecuencia e intensidad provocan un mayor sombreado entre plantas, lo que conlleva a una mayor senescencia y aumento de restos secos, tal como fue mencionado por Ortiz y Balocchi (2015). Por otro lado, se obtuvo que altas presiones de pastoreo (alta frecuencia e intensidad) aumentan la superficie de suelo desnudo, a razón de una mayor remoción de biomasa aérea.

Durante el verano, el componente gramínea no presentó diferencias bajo diferentes intensidad y frecuencia de pastoreo. Además, el componente leguminosa fue menor a pastoreos de alta intensidad y frecuencia respecto pastoreos de baja intensidad y alta frecuencia, o viceversa. Esto se puede explicar por la leguminosa estival presente en la pastura, la cual fue *Lotus corniculatus*, que como menciona Carámbula (2002), no admite pastoreos intensos y frecuentes. El componente maleza solo se diferenció ante defoliaciones menos frecuentes, el cual aumentó a menor intensidad de pastoreo. Esto podría estar dado por la mayor capacidad de selección por parte del ganado, lo que estos tenderían a rechazar las malezas ante especies forrajeras. Por último, hubo más restos y menor suelo desnudo a baja intensidad de pastoreo, ya que bajo esta condición

los animales remueven menor cantidad de forraje; sin embargo, la frecuencia no tuvo efecto sobre dichos componentes.

Respecto a la composición botánica del disponible para el período experimental, diferentes intensidades y frecuencias de defoliación tuvieron efecto solo para los componentes de interés (especies sembradas). *Festuca arundinacea* fue promovida bajo pastoreos de alta frecuencia, pero no se vio afectada por la intensidad. En este sentido, McKee et al. (1967) menciona que esta especie soporta pastoreos intensos y relativamente frecuentes, como resultado de sustancias de reservas ubicadas en las raíces y rizomas cortos, que forman la corona de las plantas, y porque las mismas presentan áreas foliares post defoliación. El trébol blanco se vio favorecido por bajas frecuencias y alta intensidad respecto a alta frecuencia de defoliaciones, independientemente de la intensidad. Esto se encuentra en lineamiento con lo que menciona Carámbula (2002), quien destaca que la especie admite pastoreos relativamente intensos y frecuentes ya que posee tallos estoloníferos que enraízan en el suelo muy eficientemente. Finalmente, el disponible de Lotus, solo considerando una baja intensidad de pastoreo (30 %), fue mayor a baja frecuencia de defoliación (4 hojas). En este sentido, Duell y Gausman (1957) constataron que los rendimientos aumentan al disminuir la frecuencia de pastoreos, y Carámbula (2002), menciona que dicha especie admite pastoreos intensos, pero poco frecuentes.

En lo que refiere a la composición botánica del remanente, festuca presentó mayor remanente ante pastoreos menos frecuentes e intensos, dado por una menor utilización del forraje. La que se explica por un mayor valor nutritivo del raigrás respecto a la festuca (Wilman et al., 2009), lo que favorece los procesos de selección por parte de los animales. Por otro lado, el remanente de lotus para el período estudiado fue muy bajo, lo que no permitiría describir efectos del pastoreo sobre mismo. Lo que se infiere a que su crecimiento muy estacional, coincidió con la sequía, y por ser una especie tolerante, los animales pudieron tener mayor selectividad y utilización de la misma (García-Favre et al., 2023).

Si bien, Collares Day et al. (2024), Figueredo (2022) y Figueredo Velásquez et al. (2021) encontraron que un pastoreo más intenso y de corta duración en primavera promueve una mayor densidad de macollos hijos al inicio del verano, en este experimento, la intensidad y frecuencia de defoliación no tuvieron efecto sobre el número de macollos. Esto se puede atribuir a que, al ser una pastura de primer año, en el corto plazo los tratamientos no tuvieron efecto, situación que podría ser diferente para años sucesivos de la pastura, sumado al déficit hídrico ocurrido, y el limitado número de

tratamientos (solamente dos frecuencias y dos intensidades). Además, Figueredo (2022) menciona que, altas temperaturas del suelo y estrés hídrico pueden afectar negativamente la densidad de macollos en pasturas de especies invernales, y la combinación de estos factores puede generar más complicaciones que cuando ocurren por separado; lo que coincide con la idea de que la ausencia de efecto del pastoreo sobre la densidad de macollos respondió a causas multifactoriales.

Por otro lado, el déficit hídrico genera una disminución drástica de la mineralización del nitrógeno, un proceso clave donde el nitrógeno orgánico se convierte en formas inorgánicas (amonio y nitrato) que las plantas pueden absorber. Esto ocurre porque el estrés hídrico y la sequía disminuyen la actividad de los microorganismos del suelo responsables de la mineralización. Luego de períodos en los que el suelo estuvo muy seco, las lluvias comúnmente inducen tasas relativamente altas de mineralización de la materia orgánica del suelo que provee de nitrógeno a las plantas (Lattanzi et al., 2022).

Luego de una primavera y verano de déficit hídrico de 541 mm, en el siguiente otoño el número de macollos disminuyó significativamente, alrededor de un 72%. Lo que se asemeja a estudios realizados bajo condiciones de sequías severas de verano, donde festuca sufre una mortalidad de macollos mayor al 80% cuando se somete a déficits hídricos de más de 550 mm (Poirier et al., 2012). En este sentido, la festuca depende fundamentalmente del desarrollo de un buen sistema radicular desde fines de invierno y primavera, lo que le permite explotar volúmenes importantes de suelo en las épocas de sequía (Carámbula, 2002). En adición, Lattanzi et al. (2022) destacan que, la combinación de escasa área foliar remanente post-pastoreo y días con alta insolación generan un intenso estrés que conlleva una alta probabilidad de muerte de macollos en festuca. Como la producción de macollos es muy baja en verano, la alta mortandad determina caídas en la densidad de los mismos, que generan espacios vacíos. En estos espacios se resigna productividad en el corto plazo y rápidamente se incrementa la presencia de malezas. Este proceso es la principal causa de degradación y pérdida de muchas pasturas en Uruguay, ya que esos parches son difícilmente re-colonizables por las especies sembradas (Lattanzi et al., 2022).

Por último, como estrategias de manejo óptimas en base al experimento, en invierno primavera se debe de considerar una menor frecuencia (4 hojas) e intensidad de defoliación (30%) para lograr mayor productividad de las pasturas. En años secos en verano-otoño se aconsejan pastoreos poco frecuentes (4 hojas) y poco intensos (30%); para así minimizar las porciones de suelo desnudo mediante una menor remoción de

biomasa aérea, lo que permitirá una mejor recuperación de la pastura, asegurando la persistencia productiva de la misma. Ante un escenario Niña en diciembre y enero es crítico tomar decisiones de manejo acertadas y a tiempo que protejan a las plantas del estrés estival (Lattanzi et al., 2022). Si bien el número de macollos en este trabajo no presentó diferencias significativas, Saldanha et al. (2010) mencionan que, a mayor oferta de forraje, mayor es el peso de los macollos; por lo que cuando estos son más grandes en el remanente, conducen a macollos más pesados en la siguiente etapa de crecimiento, lo que influye directamente en productividad. Sin embargo, en este experimento, esta última variable en conjunto con el remanente no difirió; lo que podría estar dado por la sequía de primavera – verano, ya que, al comenzar temprano en la primavera, no permitió que los tratamientos presenten diferencias.

La mezcla utilizada en este experimento, constituida por festuca-trébol blanco-lotus, es de gran aceptación y difusión, dada su adaptación en rotaciones largas y su comportamiento a largo plazo. Sin embargo, las condiciones ambientales apropiadas para la instalación de especies con ciclos distintos y el manejo apropiado para lograr su implantación, puede provocar la disminución de alguna de las especies y por lo tanto el desequilibrio de la pastura (Carámbula, 2002). En este trabajo, festuca fue promovida por pastoreos de alta frecuencia, trébol blanco por aquellos de baja frecuencia y alta intensidad, y lotus por baja intensidad; lo que se verían favorecidas por manejos de pastoreo diferentes. Lo que conlleva a que, la inclusión de especies forrajeras con ciclos y estructuras morfológicas diferentes con la habilidad de incrementar los rendimientos totales, no siempre es efectiva para producir más forraje, aunque generalmente se logra ampliar el periodo oferta de forraje (Carámbula, 2002).

8. CONCLUSIÓN

En el presente estudio, los resultados obtenidos muestran que, la hipótesis inicial se cumplió parcialmente ya que en las primeras etapas del período experimental se observaron efectos del manejo del pastoreo sobre la productividad, aunque estas diferencias se atenuaron conforme avanzó la estación y se intensificó el estrés hídrico.

En términos productivos, una menor frecuencia de defoliación (4 hojas) y una intensidad baja (30%) favorecieron el crecimiento inicial de la mezcla, probablemente por su mayor conservación del índice de área foliar, del nivel de reservas y del vigor de la pastura. Sin embargo, la sequía ocurrida limitó el desarrollo potencial del cultivo, reduciendo las diferencias entre tratamientos en la mayor parte del experimento. Esta condición también afectó procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis, la mineralización del nitrógeno y la capacidad de rebrote, condicionando especialmente la persistencia de las especies invernales.

Respecto a la composición botánica, se evidenciaron variaciones estacionales esperadas: una mayor proporción de leguminosas durante el verano asociada al comportamiento estival del *Lotus corniculatus*, y un predominio de la festuca en otoño, coherente con su ciclo invernal. La respuesta diferencial de las especies ante los tratamientos confirmó que festuca es favorecida por pastoreos más frecuentes, el trébol blanco por defoliaciones menos frecuentes y más intensas, y lotus por intensidades bajas. Esto demuestra que, si bien la mezcla es ampliamente utilizada, su manejo requiere un delicado equilibrio para evitar el desplazamiento o la pérdida de alguna especie componente.

En cuanto a la sobrevivencia y a la densidad de macollos, no se registraron efectos atribuibles a la intensidad o frecuencia de pastoreo. La marcada caída en la densidad respondió fundamentalmente a las condiciones ambientales, coincidiendo con antecedentes que destacan la alta vulnerabilidad de la festuca ante déficits severos.

Si bien algunos patrones de respuesta fueron identificados, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para varias variables. Esto se atribuye, en gran medida, a la intensa sequía registrada durante el período experimental y al número limitado de combinaciones de frecuencia e intensidad evaluadas. Por lo tanto, resulta fundamental continuar esta línea de investigación en condiciones ambientales más favorables y con la inclusión de un mayor número de tratamientos. Esto permitirá profundizar en la comprensión de los efectos reales del manejo del pastoreo sobre la productividad, la composición botánica y la persistencia de mezclas forrajeras perennes,

y contribuir al diseño de estrategias más robustas y sostenibles para los sistemas pastoriles.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustoni Pais, F., Bussi Caminiti, C., & Shimabukuro Tisnés, M. (2008). *Efecto de la asignación de forraje sobre la productividad de una pastura de segundo año* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/24578>
- Aldeta, A., Dutra Da Silveira, L., & Ramos, B. (2017). *Productividad invierno - primavera de praderas mezclas de Festuca arundinacea y Dactylis glomerata en su segundo año de vida* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/18632>
- Allen, V. G., Batello, C., Berretta, E. J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., & Sanderson, M. (2011). An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, 66(1), 2-28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>
- Altamirano, A., Da Silva, H., Duran, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Tomo 1. Clasificación de suelos*. MAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/carta_de_reconocimiento_de_suelos_Tomo_I.pdf
- Álvarez-Vázquez, P., García de los-Santos, G., Guerrero-Rodríguez, J. D., Mendoza-Pedroza, S. I., Ortega-Cerrilla, M. E., & Hernández-Garay, A. (2018). Comportamiento productivo de Lotus corniculatus L. dependiente de la estrategia de cosecha. *Agrociencia*, 52(8), 1081-1093. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n8/1405-3195-agro-52-08-1081.pdf>
- Arias Alemán, L. S., Condo Plaza, L. A., Rojas Oviedo, L. A., & Huebla Concha, V. H. (2023). *Manejo de pastizales para la producción forrajera en climas tropicales*. Puerto Madero. <https://puertomaderoreditorial.com.ar/index.php/pmea/catalog/view/20/95/144>
- Ayala, W., Larratea, F., Herken, G., Olano, I., & Ruete, R. (2017). Rol de la festuca en los sistemas ganaderos del este del país: b) Estudios sobre persistencia. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Unidad Experimental Palo a Pique: Día de campo. Rol de la genética en los sistemas ganaderos* (pp. 23-25). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7431/1/DC-UEPP-octubre-2017-p.23-25.pdf>
- Barbat Rodríguez, R., & Scarpitta Altez, N. (2021). Los 10 elementos de la agroecología aplicados a la ganadería. *Revista del Plan Agropecuario*, (180), 40-43. https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/196_3067.pdf
- Blasi Zanicchi, A. E., García Sainz-Rasines, J. B., & Irigaray Izaguirre, J. C. (2022). *Determinación de la respuesta en productividad vegetal y animal de pasturas degradadas a diferentes estrategias de manejo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/36703>
- Boggiano, P. (2015). Pasturas: Base del Uruguay productivo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 23(5), 44-45.

- Boggiano, P., & Zanoniani, R. (2017). Producción de pasturas. En Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (Ed.), *Curso: Producción animal sostenible en pastoreo sobre campo natural* (pp. 52-67). https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/libro_campo_natural_final_en_baja.pdf
- Briske, D. D., & Richards, J. H. (1995). *Plant responses to defoliation: A physiological, morphological and demographic evaluation*. University of California. <https://agrilife.org/briske/files/2014/03/Briske-Richards-SRM-CHAPTER95.pdf>
- Cajarville Sanz, M. C., Ciganda Brasca, V. S., Fernández Ciganda, S. M., Fraga Coteló, M., Gere, J. I., Iraola Bentancor, G. M., Naya Monteverde, H. M., Smircich Ruzo, P., Sotelo Silveira, J. R., Zunino Abirad, P., Arroyo Martínez, J. M., Britos, A., & Dieguez Camerón, F. J. (2023). *Informe final publicable de proyecto Impacto de estrategias de alimentación y niveles de inclusión de pastura en la dieta de vacas lecheras sobre el ecosistema microbiano ruminal y las emisiones de gases de efecto invernadero*. ANII. https://redi.anii.org.uy/jspui/bitstream/20.500.12381/3735/1/Informe_final_publicable_FSA_1_2018_1_152588.pdf
- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajes: Vol. 1. Potenciales y alternativas para producir forraje*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M., & Terra, J. (2000). *Las sequías: Antes, durante y después*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2773/1/111219240807160914.pdf>
- Collares Day, L., Fort Zabala, V., & Pintos Elso, M. E. (2024). *Factores que afectan la degradación y productividad otoño-invernal de pasturas permanentes* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/48176>
- De Souza Domenech, P. A., & Presno Sandar, J. P. (2013). *Productividad invierno - primavera de praderas mezclas con Festuca arundinacea o Dactylis glomerata en su tercer año pastoreadas con novillos Holando con distintas dotaciones* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/1777>
- Dogliotti, S., Piñeiro, G., Soca, P., Paparamborda, I., Scarlato, S., Gestido, V., Risso, S., Figueroa, V., Torres, L., Piñeiro, J. M., Abrigo, M., Aguerre, V., Ruggia, A., Barros, I., Gari, C., Gutiérrez, R., Martinelli, M., Meijides, F., Núñez, L. ... Sánchez, A. (2022). *Informe de evaluación anual 2020-2021*. MGAP; MA; FAO; GEF; INIA; Universidad de la República. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/informe-evaluacion-anual-2020-2021-entregable-29#>
- Duell, R. W., & Gausman, H. W. (1957). The effect of differential cutting on the yield, persistence, protein and mineral content of birdsfoot trefoil. *Agronomy Journal*, 49(6), 318-319. <https://doi.org/10.2134/agronj1957.00021962004900060011x>
- Etchetto, F. A. (2020). *Efecto del rolado en pasturas de festucas envejecidas como técnica de rejuvenecimiento* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires]. RIDAA UNICEN. https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RIDUNICEN_c2d1c8abe0f36d623d4b2bf1050d9c01

- Figueredo, S. (2022). *Evaluación de mezclas forrajeras sobre suelo de basalto en la zona norte del país* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/42203>
- Figueredo Velásquez, M. N., Pérez Coutinho, G., & Pérez Denis, F. N. (2021). *Evaluación de la producción de forraje y carne de una pradera permanente con diferentes dosis de nitrógeno* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/40637>
- Flores-Naveda, A., Álvarez-Vázquez, P., Mendoza-Pedroza, S. I., Ventura-Rios, J., García-López, J. I., & Camposeco-Montejo, N. (2022). Forage yield of lotus (*Lotus corniculatus* L.) by varying the criterion at the time of harvest. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(8), 7615-7622. <https://www.researchgate.net/publication/362143895>
- Formoso, F. (2010). *Festuca arundinacea, manejo para producción de forraje y semillas*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2529/4/18429081210150440.pdf>
- Formoso, F. (2011). *Producción de semillas de especies forrajeras*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2536/1/18429120711084007.pdf>
- Frame, J. (2005). *Forage legumes for temperate grasslands*. CRC Press.
- Gaba, S., Fried, G., Kazakou, E., Chauvel, B., & Navas, M. L. (2014). Agroecological weed control using a functional approach: A review of cropping systems diversity. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 103-119. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0166-5>
- García-Favre, J., Cranston, L. M., López, I. F., Poli, C. H. E. C., Donaghy, D. J., Caram, N., & Kemp, P. D. (2023). Pasture brome and perennial ryegrass characteristics that influence ewe lamb dietary preference during different seasons and periods of the day. *Animal*, 17(7), Artículo e100865. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100865>
- García-Favre, J., Zanoniani, R., Cadenazzi, M., & Boggiano, P. (2017). Incidencia de variables biológicas y edáficas en el establecimiento de mezclas forrajeras. *Agro Sur*, 45(1), 3-10. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2017.v45n1-02>
- García Pintos Berisso, M. J., & Orticochea Dell'Acqua, A. (2014). *Efecto de la mezcla y dotación animal en la productividad invierno-primaveral de una pradera de cuarto año compuesta por Festuca, Trébol blanco y Lotus corniculatus* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/8811>
- Geymonat Echenique, F. (2022). *Variabilidad a nivel de potrero en producción y calidad del forraje* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/42017>
- Haydock, K. P., & Shaw, N. H. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15(76), 663-670. <http://dx.doi.org/10.1071/EA9750663>
- Herken, G., Olano, I., & Ruete, R. (2019). *Sobrevivencia estival y dinámica poblacional de cultivares de Festuca arundinacea con inclusión del hongo endófito AR584* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29536>

- Hopkins, A. (2000). *Grass: Its production and utilization* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2019). *Forrajeras*. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13498/1/Catalogo-de-forrajeras-2019.pdf>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (2023). *Sequía meteorológica en Uruguay 2020-2023 (actualización)*. https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2023-05/Sequía_2020_al_2023_Uruguay_Inumet_actualización.pdf
- Insua, J. R., Di Marco, O. N., & Agnusdei, M. G. (2013). *Calidad nutritiva de láminas de festuca alta (Festuca arundinacea Schreb) en rebrotes de verano y otoño*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/184-Art.4-Insua-Calidad.pdf
- Jáuregui, J. M., Michelini, D. F., Agnusdei, M. G., Baudracco, J., Sevilla, G. H., Chilibroste, P., & Lattanzi, F. A. (2017). Persistence of tall fescue in a subtropical environment: Tiller survival over summer in response to flowering control and nitrogen supply. *Grass and Forage Science*, 72(3), 454-466. <https://doi.org/10.1111/gfs.12252>
- Kiene, C., Jung, E. Y., & Engelbrecht, B. M. J. (2023). Nutrient effects on drought responses vary across common temperate grassland species. *Oecologia*, 202, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00442-023-05370-5>
- Lattanzi, F., & Lussich, F. (2024). *IATN_RF-16926-RG: Intensificación sostenible de sistemas ganaderos con leguminosas: Plataforma de cooperación Latinoamericana y del Caribe*. FONTAGRO. https://old.fontagro.org/new/uploads/productos/16926_-_Producto_7_3.pdf
- Lattanzi, F., Jáuregui, J., Michelini, D. F., Chilibroste, P., Reyno, R., & Weiszmann, M. (2022). Persistencia productiva de pasturas largas en veranos con escenario niña. *Revista INIA*, (71), 17-20. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16919/1/Persistencia-Lattanzi.pdf>
- Lemaire, G., Hodgson, J., & Chabbi, A. (2011). Introduction: Food security and environmental impacts - challenge for grassland sciences. En G. Lemaire, J. Hodgson & A. Chabbi (Eds.), *Grassland productivity and ecosystem services* (pp. xiii-xvii). CABI.
- León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: Siembra y producción de pasturas*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19019/4/PASTOS%20Y%20FORRAJES%20DEL%20ECUADOR%202021.pdf>
- López Cruchinski, R. D., & Olivera Fila, B. M. (2017). *Productividad invierno-primaveral de praderas mezclas con Festuca arundinacea, Trifolium repens y Lotus corniculatus, y Dactylis glomerata con Medicago sativa en su cuarto año pastoreadas con novillos Holando con distintas dotaciones* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/18666>
- López Darriulat, L. I., Zerbino Rarchetti, J. P., & Álvarez Lausarot, M. (2013). *Evaluación de dos mezclas forrajeras de segundo año en la producción de forraje y carne en el período invierno-primaveral* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/8742>

- McKee, E. D., Crosby, E. J., & Berryhill, H. L. (1967). Flood deposits, Bijou Creek, Colorado, June 1965. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37(3), 829-851. <https://doi.org/10.1306/74d717b2-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- Michellini Garicoïts, D. F. (2016). *Persistencia de Festuca (Festuca arundinacea schreb.): Dinámica poblacional estival en pasturas con diferente desarrollo reproductivo* [Tesis de Maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/28406>
- Ordoñez May, J. M. (2025). *Cambios en las variables estructurales por efecto de la intensidad y frecuencia del pastoreo y la incidencia en la productividad en Festuca* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/50435>
- Ortiz, C., & Balocchi, O. (2015). Frequency and intensity of grazing in winter: Their effects on herbage accumulation and nutritive value of Lolium perenne L. dominant swards. *Agro Sur*, 43(3), 19-29. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2015.v43n3-03>
- Palacios, N. S. (2023). *Estudios genéticos de festuca alta (Festuca arundinacea schreb. Var arundinacea) bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía* [Disertación doctoral, Universidad Nacional de Rosario]. [RepHip UNR](https://rehip.unr.edu.ar/items/58a67c4f-50cc-428e-b40b-9710f5ef9df7). <https://rehip.unr.edu.ar/items/58a67c4f-50cc-428e-b40b-9710f5ef9df7>
- Parsons, A. J. (1988). The effects of season and management on the growth of grass swards. En M. B. Jones & A. Lazenby (Eds.), *The grass crop: The physiological basis of production* (pp. 129-177). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-1187-1_4
- Poirier, M., Durand, J. L., & Volaire, F. (2012). Persistence and production of perennial grasses under water deficits and extreme temperatures: Importance of intraspecific vs. interspecific variability. *Global Change Biology*, 18(12), 3632-3646. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02800.x>
- Pravia, M. I., Montossi, F., Gutiérrez, D., Ayala, W., Andregnette, B., Invernizzi, G., & Porcile, V. (2013). Estimación de la disponibilidad de pasturas y forrajes en predios de Giprocar II: Ajuste del "Rising Plate Meter" para las condiciones de Uruguay. En F. Montossi (Ed.), *Invernada de precisión: Pasturas, calidad de carne, genética, gestión empresarial e impacto ambiental (Giprocar II)* (pp. 31-67). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2559/1/18429280114125310.pdf>
- Reyes, C. (2021). *Comparación del uso de cultivos de servicios en establecimientos agropecuarios de Entre Ríos (Argentina) y Mecklenburg Vorpommern (Alemania)* [Tesis de maestría, Universidad de Concepción de Uruguay, Hochschule Neubrandenburg]. UCU. <http://repositorio.ucu.edu.ar/bitstream/handle/522/214/TesisMaster.IngAgr.Clau diaReyes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyno, R., Dalla Rizza, M., Castillo, A., Do Canto, J., Condón, F., Meneses, L., Lattanzi, F., & Monza, J. (2019, 12-15 de noviembre). *Estrategias de mejoramiento de forrajeras en Uruguay: Enfrentando nuevos desafíos* [Contribución]. X Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Biotecnología Agropecuaria y XII Simposio REDBIO Argentina, Montevideo. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Presentacion-oral-redbio-2019.pdf>

- Saldanha, S., Boggiano, P., & Cadenazzi, M. (2010). Intensidad del pastoreo sobre la estructura de una pastura de *Lolium perenne* cv Horizon. *Agrociencia (Uruguay)*, 14(1), 44-54. <https://doi.org/10.31285/AGRO.14.639>
- Sánchez Sánchez, E. (2015). *Respuesta de gramíneas perennes frente al estrés para la producción de biomasa* [Disertación doctoral, Universitat de Barcelona]. TDX. <https://www.tdx.cat/handle/10803/350565#page=3>
- Scherger, E. D. (2020). *Dinámica de macollaje, acumulación de materia seca y patrón de enraizamiento de *Panicum coloratum* L. en respuesta a la defoliación* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Pampa]. INTA Digital. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/22888>
- Silvestri Szymczak, L., De Moraes, A., Sulc, R. M., Gomes Monteiro, A. L., Lang, C. R., Francieli Moraes, R., Ferreira Da Silva, D. F., Bremm, C., De Faccio Carvalho, P. C. (2020). Tall fescue sward structure affects the grazing process of sheep. *Scientific Reports*, 10, Artículo e11786. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68827-0>
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance* (Vol. 3). Drexel Institute of Technology. https://www.wrc.udel.edu/wp-content/publications/ThornthwaiteandMather1957Instructions_Tables_ComputingPotentialEvapotranspiration_Water%20Balance.pdf
- Velásquez-Vélez, R., Pezo, D., Skarpe, C., Ibrahim, M., Mora, J., & Benjamín, T. (2009). Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas seminaturales en Muy Muy, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, (47), 51-60. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6804/Selectividad_animal.pdf
- Wilman, D., Gao, Y., & Altimimi, M. A. K. (2009). Differences between related grasses, times of year and plant parts in digestibility and chemical composition. *The Journal of Agricultural Science*, 127(3), 311-318. <https://doi.org/10.1017/S0021859600078473>
- Xolocotzi-Acoltzi, S., Pedroza-Sandoval, A., García-De los Santos, G., Álvarez-Vázquez, P., & Gramillo-Ávila, I. (2024). Growth, productivity, yield components and seasonality of different genotypes of forage clover *Lotus corniculatus* L. under varied soil moisture contents. *Plants*, 13(10), Artículo e1407. <https://doi.org/10.3390/plants13101407>
- Zanoniani, R., García Favre, J., Cadenazzi, M., Nabinger, C., & Boggiano, P. (2018). Dinámica de la producción espacial y temporal de dos pasturas sembradas con especies perennes. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 26(3-4), 97-110. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7541289&orden=0&info=link>
- Zhang, Z., Xu, C. Y., Yong, B., Hu, J., & Sun, Z. (2012). Understanding the changing characteristics of droughts in Sudan and the corresponding components of the hydrologic cycle. *Journal of Hydrometeorology*, 13(5), 1520-1535. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-0109.1>

10. ANEXOS**Anexo A***Composición botánica visual para frecuencia*

Componente	4H	2H
Gramínea	39.31 (A)	40.81(A)
Leguminosa	1.19 (A)	0.5 (A)
Maleza	26.94 (A)	28.06 (A)
Restos secos	22.81 (B)	17 (A)
Suelo desnudo	9.75 (A)	13.63 (B)

Nota. Las letras representan diferencias significativas dentro de cada componente.

Anexo B

Composición botánica del forraje disponible como porcentaje de los kg MS/ha para frecuencia

Componente	4H	2H
Festuca	26.11 (A)	67.44 (B)
Raigrás	15.99 (A)	16.66 (A)
Trébol blanco	27.65 (B)	5.34 (A)
Lotus	10 (A)	1.63 (A)
Restos secos	19.74 (A)	8.55 (A)
Maleza HA	0.13 (A)	0.13 (A)
Maleza gramínea	0.38 (A)	0.25 (A)

Anexo C

Composición botánica del forraje remanente como porcentaje de los kg MS/ha para intensidad

Componente	30	70
Festuca	75.92 (A)	67.11 (A)
Raigrás	9.71 (A)	11.72 (A)
Trébol blanco	3.91 (A)	4.03 (A)
Lotus	1.43 (A)	0.92 (A)
Restos secos	9.92 (A)	16.14 (B)
Maleza HA	0.1 (A)	0.08 (A)
Maleza gramínea	SD	SD

Anexo D*Composición botánica del forraje remanente en % de kg MS/ha para frecuencia*

Componente	4H	2H
Festuca	74.42 (A)	68.61 (A)
Raigrás	7.28 (A)	13.15 (B)
Trébol blanco	3.56 (A)	4.38 (A)
Lotus	0.8 (A)	1.55 (A)
Restos secos	13.89 (A)	12.18 (A)
Maleza HA	0.05 (A)	0.13 (A)
Maleza gramínea	SD	SD