

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**PRODUCTIVIDAD DE FESTUCA
BAJO MANEJOS DE INTENSIDAD Y FRECUENCIA CONTRASTANTES**

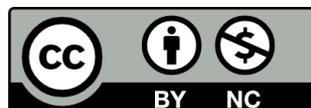
por

**Gastón CAMACHO SAUCO
Facundo LARZABAL PÉREZ**

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

**PAYSANDÚ
URUGUAY
2025**

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



Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Javier García Favre

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Javier García Favre

Ing. Agr. (Dr.) Pablo Boggiano

Ing, Agr. (Mag.) Mauricio Bustamante

Fecha:

30 de mayo de 2025

Estudiante:

Gastón Camacho Saucó

Facundo Larzabal Pérez

Agradecimientos

A nuestro tutor Ing. Agr. Javier García, por la dedicación y apoyo brindado durante todo el trabajo.

A nuestro compañero Juan Manuel Ordoñez con quien compartimos el trabajo de campo durante todo el experimento.

A nuestras familias por permitirnos y acompañarnos en este proceso de formación.

Tabla de contenido

Página de aprobación.....	2
Agradecimientos.....	4
Resumen.....	8
Abstract.....	9
1 Introducción.....	10
2 Revisión bibliográfica	12
2.1 Caracterización de la especie	12
2.1.1 Festuca arundinacea	12
2.1.2 Características agronómicas del cultivar Estanzuela Tacuabe ...	13
2.1.3 Productividad de festuca.....	13
2.1.4 Manejo del pastoreo	15
2.1.5 Defoliación	16
2.1.6 Parámetros que definen el pastoreo	17
3 Hipótesis	25
4 Materiales y métodos	26
4.1 Condiciones experimentales	26
4.1.1 Localización y duración del trabajo	26
4.1.2 Información meteorológica.....	26
4.1.3 Balance hídrico	27
4.1.4 Descripción del sitio experimental.....	27
4.1.5 Tratamientos.....	27
4.1.6 Diseño experimental	28
4.1.7 Metodología experimental.....	28
4.1.8 Determinaciones	28
5 Resultados	31
5.1 Producción de materia seca.....	31
5.1.1 Tasa de crecimiento.....	31
5.1.2 Producción de forraje	32
5.1.3 Forraje desaparecido	34
5.1.4 Composición botánica.....	35
5.1.5 Cobertura de suelo	37

5.1.6	Número de macollos	39
6	Discusión.....	40
7	Conclusiones.....	44
8	Bibliografía	45

Lista de tablas y figuras

Tabla 1 Balance hídrico para los meses del experimento.....	27
Tabla 2 Número y fechas de pastoreos.....	29
Tabla 3 Mediciones de altura del forraje disponible, remanente objetivo y remanente real, en invierno.....	30
Tabla 4 Mediciones de altura del forraje disponible, remanente objetivo y remanente real, en primavera.	30
Tabla 5 Tasa de crecimiento promedio (kg MS/ha/día) para cada estación.....	31
Tabla 6 Tasa de crecimiento (kg MS/ha/día) durante el invierno.....	31
Tabla 7 Tasa de crecimiento (kg MS/ha/día) durante la primavera.	32
Tabla 8 Producción de forraje (kg MS/ha) por estación	32
Tabla 9 Producción de forraje (kg MS/ha) por tratamiento para invierno	33
Tabla 10 Producción de forraje (kg MS/ha) por tratamiento para primavera.....	33
Tabla 11 Producción de forraje total (invierno + primavera)	34
Tabla 12 Composición botánica promedio, expresada en porcentaje.	35
Tabla 13 Composición botánica promedio del forraje disponible durante el invierno, expresado en porcentaje.....	36
Tabla 14 Composición botánica promedio del forraje disponible durante la primavera, expresado en porcentaje.....	37
Tabla 15 Porcentaje de material verde, suelo descubierto y restos secos en invierno por tratamiento	38
Tabla 16 Porcentaje de material verde, suelo descubierto y restos secos en primavera por tratamiento	39
Tabla 17 Número final de macollos vegetativos por tratamiento.....	39
Figura 1 Precipitaciones y temperaturas promedio del año en estudio y promedios históricos	26
Figura 2 Forraje desaparecido promedio por pastoreo, en función del disponible y remanente en invierno.....	34
Figura 3 Forraje desaparecido promedio por pastoreo, en función del disponible y remanente en primavera	35

Resumen

El trabajo final de grado aborda el impacto de diferentes manejos de frecuencia e intensidad de defoliación en la productividad de *Festuca arundinacea* var. Estanzuela Tacuabé, una gramínea perenne clave en sistemas pastoriles uruguayos. Los objetivos incluyeron cuantificar la producción de materia seca, la composición botánica, y los efectos sobre la estructura de la pastura en el segundo año de implantación. El estudio, realizado en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, combinó dos frecuencias de pastoreo (2 y 4 hojas) y dos intensidades de defoliación (30% y 70%) en un diseño de bloques completos al azar. Los resultados revelaron que la frecuencia alta (2 hojas) junto con una intensidad moderada (30%) optimizó la tasa de crecimiento en invierno, mientras que en primavera, una intensidad más alta (70%) favoreció el rebrote bajo condiciones de mayor estrés hídrico. En general, los manejos contrastantes afectaron significativamente la persistencia de la festuca y la composición de la pastura. La investigación destaca la importancia de ajustar las prácticas de manejo a las condiciones estacionales para maximizar la productividad sin comprometer la sustentabilidad del sistema. Estos resultados son útiles para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas ganaderos basados en pastoreo en Uruguay.

Palabras clave: *Festuca arundinacea*, defoliación, productividad, pastoreo, sistemas ganaderos

Abstract

This final degree dissertation examines the impact of different defoliation intensity and frequency managements on the productivity of *Festuca arundinacea* var. Estanzuela Tacuabé, a perennial grass essential for pasture-based systems in Uruguay. The objectives included quantifying dry matter production, botanical composition, and the effects on pasture structure during the second year of establishment. The study, conducted at the Dr. Mario A. Cassinoni Experimental Station, tested two grazing frequencies (2 and 4 leaves) and two defoliation intensities (30% and 70%) in a randomized complete block design. Results indicated that high frequency (2 leaves) combined with moderate intensity (30%) optimized growth rates in winter, while higher intensity (70%) favored regrowth under spring's water stress conditions. Contrasting management strategies significantly affected fescue persistence and pasture composition. This research highlights the importance of tailoring management practices to seasonal conditions to maximize productivity without compromising system sustainability. These findings provide valuable insights for improving the efficiency and sustainability of pasture-based livestock systems in Uruguay.

Keywords: Festuca arundinacea, defoliation, productivity, grazing, livestock systems

1 Introducción

En Uruguay, la producción bajo pastoreo es una práctica sostenible que aprovecha las pasturas naturales para la cría de ganado, principalmente bovino. Aun así, la ganadería en campo natural se ve afectada por el sobrepastoreo y la producción lo que conlleva a deficiencias nutricionales en los animales. Es así que el uso de nuevas tecnologías ha ido ganando terreno a lo largo de los años con el objetivo de incrementar significativamente la producción de forraje de los sistemas ganaderos. Una de las herramientas es la producción de pasturas sembradas las cuales son un componente vital para la economía agropecuaria del país, especialmente en la producción lechera y en los sistemas intensivos de ganado de carne. La instalación y manejo adecuado de praderas perennes es una de las herramientas utilizadas y son cruciales para lograr una producción sostenible y eficiente. A pesar de que la superficie sembrada con pasturas cultivadas es relativamente baja en comparación con otras regiones, su potencial productivo es considerable, ofreciendo un incremento sustancial sobre el campo natural y una mejor distribución estacional. Según la Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2023), en el año 2022, el área de pasturas sembradas fue de 707200 ha pertenecientes a los sistemas ganaderos y 299000 ha pertenecientes a los sistemas agrícolas-ganaderos.

Las pasturas sembradas son clave en la recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Esto se logra mediante la incorporación de leguminosas y gramíneas. Además, estas pasturas proporcionan una producción de forraje más constante y de alta calidad a lo largo del tiempo, lo que se traduce en un aumento en la producción de carne, leche y lana. Las gramíneas presentes en las pasturas ofrecen una productividad sostenida a lo largo de los años, se adaptan a diversos tipos de suelos y requieren un mantenimiento relativamente sencillo. También aprovechan eficientemente el nitrógeno simbiótico y, en el caso de las variedades perennes, brindan estabilidad en la pastura.

Una de las gramíneas más utilizadas es la *Festuca arundinacea* debido a su gran adaptación a diferentes ambientes y su elevada producción de forraje estacional que podría contribuir a disminuir las limitaciones de la producción animal en las estaciones de otoño-invierno. En la actualidad, el cultivar Estanzuela Tacuabé ha reemplazado prácticamente por completo al Kentucky 31. Además, han surgido nuevos cultivares en el mercado, algunos de los cuales presentan un buen desempeño productivo. Estanzuela Tacuabé es una variedad de uso público mantenida por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), y sigue siendo vigente en términos de su comportamiento productivo, rendimientos de forraje, adaptabilidad a diferentes manejos y persistencia en las condiciones ambientales de nuestro país (Formoso, 2010).

Según indican Favaro Artagaveytia y De Mattos Espinosa (2019) en sistemas pastoriles el consumo diario de forraje es el principal factor determinante de la performance y está principalmente controlado por la intensidad de pastoreo. Es así que el estudio de diferentes intensidades de pastoreo en cuanto a su estructura vertical y horizontal permite obtener información acerca de la interacción pastura-animal. La dimensión vertical de la pastura está asociada a la altura de forraje y a sus componentes los cuales se dividen en tallos, vaina, lamina y material muerto. En la dimensión horizontal existen variaciones en cuanto a la densidad de macollos, en la masa de forraje y en la altura de éste.

Otro de los factores de gran importancia es la frecuencia de pastoreo el cual afecta el número de cortes y el rendimiento de cada uno de ellos. Uno de los principales indicadores utilizados para determinar la frecuencia de pastoreo es el número de hojas, implementándose el pastoreo cuando la pastura ha acumulado entre 2 y 3 hojas/macollo, para especies como raigrás y festuca respectivamente (Fulkerson & Donaghy, 2001, como se cita en Favaro Artagaveytia & De Mattos Espinosa, 2019). Este criterio fisiológico para definir la frecuencia de pastoreo ha sido poco estudiado en festuca a nivel local e internacional.

Debido a esto es que se plantea como objetivo general cuantificar el efecto en la productividad de festuca, de manejos de defoliaciones contrastantes basadas en los aspectos morfofisiológicos de las plantas; y como objetivos específicos determinar los componentes de rendimiento que afecten la productividad y compensación entre ellos. Determinar el efecto de la intensidad y frecuencia de defoliación en la composición botánica y cuantificar la estructura horizontal de la pastura de festuca.

Este estudio reviste particular importancia por tres razones: en primer lugar, propone una base fisiológica concreta para la toma de decisiones de manejo; en segundo lugar, genera información nacional sobre una especie forrajera clave; y finalmente, permite aportar herramientas prácticas para lograr una mayor eficiencia y sostenibilidad en los sistemas pastoriles uruguayos.

2 Revisión bibliográfica

2.1 Caracterización de la especie

2.1.1 *Festuca arundinacea*

La *festuca* (*Festuca arundinacea*, Schreb) es una especie nativa del Noreste y centro de Europa, de la región mediterránea incluida en el Norte de Africa, Asia central y Siberia (Maddaloni & Ferrari, 2001).

Según Ayala et al. (2017), se puede agrupar esta especie en dos grandes grupos según su crecimiento estacional, estos son de tipo continental o de tipo mediterráneo. Estos últimos presentan alto potencial de crecimiento invernal, son de hoja fina y de habito erecto. Los primeros tienen capacidad de crecer en todas las estaciones del año, son en general de hoja más ancha y de habito de crecimiento intermedio. En Uruguay el tipo más utilizado es el continental ya que presenta mayor adaptación en cuanto a régimen de precipitaciones y también tiene un 20% más de rendimiento anual con respecto a las festucas de tipo mediterráneo (Ayala et al., 2010). Además, no presenta latencia estival lo que la hace más competitiva frente a malezas en el periodo estival.

La festuca es una gramínea perenne de ciclo invernal de habito de crecimiento cespitoso a rizomatoso. Produce forraje temprano en otoño y a fines de invierno y tiene una floración temprana (setiembre – octubre) por lo que podría ser clasificada como una pastura precoz de vida larga. La misma presenta gran adaptación a diferentes ambientes pudiendo crecer en un rango amplio de suelos, prefiriendo aquellos con alta fertilidad, húmedos y bien arcillosos y también admite suelos con un rango de pH de 4,5 a 9,5 (Carámbula, 1977).

Las plantas se mantienen verdes durante todo el año siempre que se disponga de suficiente humedad y niveles adecuados de nitrógeno. Además, presenta tolerancia a las temperaturas frías del invierno y altas del verano. En esta última estación el crecimiento se encuentra restringido debido, en mayor medida, a la falta de precipitaciones que a las elevadas temperaturas. También se caracteriza por tener un extenso sistema radicular que le permite sobrevivir en suelos con mal drenaje o inundables, así como también explotar el suelo en los veranos que no son excesivamente secos (Carámbula, 1977).

Existen algunos caracteres negativos que, en general, no han podido ser resueltos. Uno de ellos es la lenta implantación debido a que sus plántulas son muy poco vigorosas. Cowan (1956, como se cita en Carámbula, 2004), indica que la lenta implantación tiene como consecuencia que la pastura sea fácilmente dominada por especies anuales de rápido crecimiento. Otro de los aspectos negativos es la falta de apetecibilidad en etapas avanzadas del crecimiento lo cual hace que su utilización en determinadas zonas o sistemas productivos sea limitada. Es por esto que esta especie debe ser utilizada de manera que no endurezca ya que pierde terneza y por lo tanto pierde digestibilidad y apetecibilidad, por lo que es rechazada por el animal.

Un aspecto importante de la especie es que no se resiembra naturalmente por lo que se debe cuidar la pastura desde su primer año para tratar de disminuir la pérdida de plantas, especialmente en el verano ya que esta especie no presenta reposo estival ni posibilidad de acumular grandes volúmenes de reserva. Es por esto que se debe insistir en que la persistencia de la festuca depende fundamentalmente de un buen desarrollo del

sistema radicular desde fines de invierno y principios de primavera (Carámbula, 2004). Por lo que se debe considerar que manejos demasiado intensivos pueden peligrar la productividad y persistencia de la especie. Es por esto que al igual que en la mayoría de las especies de gramíneas, ciertos periodos de descanso favorecen el buen comportamiento de la misma.

2.1.2 Características agronómicas del cultivar Estanzuela Tacuabe

Según Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA, s.f.), la variedad de festuca Estanzuela Tacuabé es de tipo continental y se obtuvo en La Estanzuela mediante la selección de materiales destacados por su producción durante el otoño e invierno, su persistencia y su compatibilidad con el trébol blanco. En su pedigree, se encuentran genotipos recolectados de antiguas praderas del país, lo que ha demostrado su excelente adaptación a lo largo de los años. Estanzuela Tacuabé fue el primer cultivar de festuca mejorado en Uruguay. Su liberación comercial a mediados de los años 70 marcó un avance cualitativo significativo, superando ampliamente al material más comúnmente sembrado en esa época, el Kentucky 31. Se recomienda sembrarla desde mediados de marzo utilizando densidades de 10 a 15kg/ha en cultivo puro.

Esta festuca es de crecimiento temprano y encaña y florece a mediados de setiembre. Aunque puede producir forraje durante todo el año, su pico de producción se da en setiembre, con un segundo pico menor en otoño. Presenta elevados rendimientos anuales de materia seca y tiene excelente persistencia productiva (Formoso, 2010).

La festuca tiene implantación lenta y las siembras tardías con suelos más fríos reducen su velocidad de crecimiento, implantación inicial y retrasan el primer pastoreo (Carámbula, 2004).

2.1.3 Productividad de festuca

Según el Equipo del Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes, y Técnicos Sectoriales del Equipo de Transferencia de Tecnología y Comunicación (2019) existen cuatro objetivos de manejo que son necesarios para obtener una buena productividad, mayor persistencia y mejor valor nutritivo de pasturas basadas en festuca. El objetivo inicial es garantizar una adecuada disponibilidad de nitrógeno en la pastura hacia finales del invierno, con el propósito de lograr una producción temprana de forraje y macollos bien nutridos. Durante este período, las condiciones de luz y temperatura comienzan a mejorar, pero la disponibilidad de nitrógeno suele ser baja debido a que el suelo aún está frío y la mineralización de la materia orgánica es lenta.

Para superar esta limitación, se recomienda el uso de fertilizantes nitrogenados. Es aconsejable aplicar nitrógeno entre tres y cinco semanas antes de la fecha de floración, dependiendo del tipo de cultivar (temprano o tardío). En pasturas con poca o nula cobertura de leguminosas, se sugiere aplicar hasta 100 unidades de nitrógeno por hectárea, distribuidas en dos aplicaciones separadas por 30 días (Equipo del Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes & Técnicos Sectoriales del Equipo de Transferencia de Tecnología y Comunicación, 2019).

El segundo objetivo es controlar la floración, tratando de disminuir la presencia de tallos reproductivos, para asegurar que no se acumule material de baja calidad el cual

puede ser rechazado por el ganado. De esta manera se intenta mantener pasturas cespitosas con mayor porcentaje de hoja.

Como tercer objetivo se plantea reducir la mortandad estival de macollos ya que las altas temperaturas, y déficits hídricos del verano pueden ser muy perjudiciales para la supervivencia de estos. Como este es un período con baja o nula producción de macollos, una excesiva pérdida de estos abre el tapiz y permite la aparición y expansión de malezas de verano anuales o perennes (ej. gramilla)

El cuarto objetivo es promover el macollaje para reemplazar los macollos muertos luego del verano. Durante marzo y abril se da la mayor formación de nuevos macollos y es en esta época en la que se debe reconstruir la densidad de los mismo. Un activo macollaje requiere luz y nitrógeno. Para lograr esto, se recomienda fertilizar entre 20 y 50 unidades de N/ha (Equipo del Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes & Técnicos Sectoriales del Equipo de Transferencia de Tecnología y Comunicación, 2019). Según Carámbula (2004) cuando la festuca no contiene suficiente disponibilidad de nitrógeno, cambia su comportamiento tornándose de color amarillento, tiene lento rebrote y su forraje es poco apetecido por los animales. Por esta razón un aspecto fundamental que debe tenerse en cuenta sin excepciones es aplicar el manejo adecuado tanto de fertilización como de defoliación ya que esto determina el éxito o fracaso de la pastura.

La producción de materia seca de *Festuca arundinacea* var. Tacuabé ha demostrado un alto potencial en condiciones experimentales. Según Formoso (2010), los rendimientos anuales de materia seca alcanzaron 9.903 kg MS/ha bajo un régimen de corte cada 90 días y 9.695 kg MS/ha con cortes cada 45 días. Esto evidencia que ambas frecuencias de defoliación son compatibles con el vigor de las plantas. En otoño e invierno, la producción acumulada fue de 5.225 y 5.026 kg MS/ha, respectivamente, lo que subraya su capacidad de sostener altos niveles de productividad en las estaciones más críticas para los sistemas pastoriles.

En términos de rendimiento estacional, los valores más altos se registraron en primavera, acumulando aproximadamente 4.000 kg MS/ha, debido al alargamiento de entrenudos característico de la fase reproductiva. Por el contrario, el verano fue identificado como un período crítico, con reducciones significativas en la producción y en el número de macollas vivas por unidad de superficie, lo que sugiere la necesidad de estrategias de manejo específicas durante esta estación para preservar la persistencia del cultivo (Formoso, 2010).

La tasa de crecimiento, evaluada a través del macollaje y el peso de las macollas, presentó variaciones estacionales marcadas. En otoño e invierno, se observó un aumento significativo en el número de macollas vivas, alcanzando un máximo de 1.738 macollas/m² a fines de agosto. Sin embargo, en primavera y verano, la tasa de mortalidad de macollas superó a la formación de nuevas unidades, reduciendo la población a 420 macollas/m en febrero. Durante la primavera, el peso por macolla fue el principal determinante del rendimiento de forraje, impulsado por el crecimiento de tallos en la etapa reproductiva. Cabe destacar que los cortes más frecuentes (cada 45 días) limitaron el crecimiento de los tallos verdaderos, reduciendo el peso de las macollas en comparación con períodos más largos sin cortes (Formoso, 2010).

2.1.4 Manejo del pastoreo

El manejo del pastoreo está directamente relacionado con características morfofisiológicas de la especie, principalmente la disposición de sus macollas con respecto al suelo, su capacidad de macollaje y su largo del ciclo.

Según Zanoniani et al. (2003), a medida que la planta avanza en su ciclo aumenta la acumulación de forraje. Inicialmente se da un aumento en la producción debido a un aumento en el número y peso de macollas lo que se traduce en una adecuada proporción de hojas verdes/secas y de lámina/vaina. Sin embargo, se llega a un momento donde la luz comienza a hacerse limitante y la planta cambia su estructura teniendo un crecimiento más erecto. A causa de esto, aumenta el largo de lámina pero también de las vainas para poder sostenerla, por ende, la relación vaina/lamina aumenta (Zanoniani et al., 2003). Además, según los mismos autores, disminuye el macollaje y también la relación verde/seco. Si este crecimiento continúa avanzando se llega a un punto en el que las macollas principales alcanzan sus requerimientos para florecer dándose la elongación de los entrenudos y elevación de las yemas apicales, lo que determina una mayor depresión del macollaje, una menor relación verde/seco y una baja calidad de la pastura en la parte basal y una mayor calidad en la parte superior (Zanoniani et al., 2003).

Las macollas constituyen las unidades básicas de producción y de su número, condición fisiológica y vigor de estas, depende la capacidad de producción de forraje.

En un estudio llevado a cabo por Formoso (2010) sobre la variedad de *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé, se puede observar cómo evoluciona el macollaje a lo largo del año en dos períodos distintos. Desde marzo hasta septiembre, se caracteriza por un predominio en la tasa de formación de nuevas macollas en comparación con la tasa de muerte de estas. Esto resulta en un aumento significativo en la población de macollas. Durante esta etapa, se nota una variación en la intensidad de producción de macollas, siendo marzo el mes con la mayor producción, que luego disminuye gradualmente. En septiembre, la intensidad de macollaje es aproximadamente el 60% en comparación con la de marzo. Esto podría explicarse porque en el último período (julio-agosto), Tacuabé comienza y diferencia reproductivamente sus macollas más vigorosas (Formoso, 1995).

En agosto, antes de que los entrenudos se alarguen, el cultivo experimenta un aumento significativo en la cantidad de macollas, alcanzando las mayores poblaciones de toda la estación de crecimiento. Durante el otoño, a partir de marzo, Tacuabé concentra sus esfuerzos en incrementar aún más la población de macollas. Este aspecto debe considerarse al planificar la estrategia de pastoreo durante este período. Pastoreos excesivamente agresivos en esta etapa pueden reducir la población y el vigor de las macollas, limitando así el potencial de producción futuro de esta especie.

Según Formoso (2010), Tacuabé presenta más del 50% de sus meristemas apicales diferenciados a fines del mes de julio, y fin de agosto casi la totalidad de estas. Además, también indica que a partir de septiembre empieza a predominar la tasa de muerte de macollas sobre la de formación de nuevas unidades. Determinándose así una disminución de la población de macollas hasta comienzos del otoño, por lo que la principal variable que explica los rendimientos de forraje es el peso de macollos.

Formoso (2010) indica que, durante el verano, se observó una disminución significativa en la cantidad de macollos en Tacuabé, lo que resultó en un período crítico

de alta vulnerabilidad para esta especie. Este proceso de pérdida de macollos se mantuvo hasta finales de enero y se acentuó aún más cuando se incrementó la frecuencia de los cortes, llegando a reducir entre un 75% y un 80% del total de macollos vivos a fines del invierno anterior.

Bertin (1990, como se cita en Formoso, 2010), en experimentos con el cv El Palenque, observo que el número de macollas fue mayor cuando el pastoreo se realizó en forma laxa (desde alturas de 15cm hasta 8cm) con bovinos durante periodos prolongados, evitando el sobrepastoreo. Según el autor, estas diferencias en el macollaje están relacionadas con la cantidad de luz que incide en la región basal del tapiz.

La gestión del pastoreo influye en la densidad de la pastura. Pastoreos frecuentes y/o de baja intensidad fomentan el macollaje. Además, el estado de la nutrición nitrogenada de la festuca determina cómo el manejo del pastoreo afecta la densidad de la población de macollos. Por lo tanto, con un suministro adecuado de nitrógeno, el pastoreo frecuente favorece el macollaje, mientras que en condiciones de deficiencia de nitrógeno, lo perjudica (Scheneiter, 2018).

2.1.5 Defoliación

El proceso de defoliación está determinado por la frecuencia, intensidad, uniformidad y duración del pastoreo en relación con las fases de desarrollo de la pastura. Generalmente cuanto mayor es la intensidad y frecuencia de la defoliación, la producción de la pastura se reduce (Harris, 1978).

Según indica Carámbula (2004) la festuca admite defoliaciones intensas y relativamente frecuentes ya que las sustancias de reserva se encuentran en las raíces y rizomas cortos que forman la corona de la planta. También porque por lo general se manejan áreas foliares remanentes altas luego del pastoreo. Burns (1976, como se cita en Carámbula, 2004) demostró que, si las plantas se encuentran sobre un suelo de fertilidad adecuada, la especie acepta defoliaciones más o menos severas siempre que previo al pastoreo se permita crecer la pastura aproximadamente un 50% más alta que la altura del remanente que se piensa dejar.

El lapso entre el inicio del rebrote y el inicio de la senescencia se denomina vida media foliar (VMF). En este período festuca acumula en promedio alrededor de 2,5 hojas y la suma térmica requerida para que se cumpla es de 500-550 GDC (°Cd). Si una pastura es cosechada antes de cumplida la VMF, los animales cosecharan material verde de calidad, y el material remanente servirá para asistir el nuevo rebrote (Agnusdei & Castaño, 2011, como se cita en Almeida González & Tarán Alderete, 2022).

Ayala et al. (2017) señala que cuando las temperaturas superan los 35 °C durante el verano, la supervivencia de los macollos de las plantas de festuca se ve amenazada. Según Ayala et al. (2017), en un estudio preliminar llevado a cabo en el verano 2015/16, se evaluó la supervivencia de los macollos mediante dos enfoques de manejo: uno con defoliación más suave y otro más intensivo, en cinco cultivares diferentes. En general, se observa una disminución en los niveles de supervivencia que coincide con los períodos de altas temperaturas en verano. No se encontraron diferencias significativas en la mortalidad entre los niveles de defoliación (3,5 vs. 7,0 cm) ni entre los distintos cultivares. Durante ese verano, las tasas de mortalidad se situaron en un rango entre el 15% y el 33% (Ayala et al., 2017).

De acuerdo con Parsons (1998), la mayor producción anual de forraje se logra con un régimen de defoliación severo y poco frecuente. No obstante, en pasturas de gramíneas perennes templadas, esto provoca un deterioro en la estructura de la pastura debido a una disminución en la densidad de macollos. Por otro lado, un sistema de defoliación frecuente pero menos intenso (evitando largos periodos de baja intercepción de luz) puede llevar a altas tasas de senescencia y pérdidas de forraje, junto con cambios indeseados en la estructura de la pastura.

Según Davies (1988) con defoliaciones intensas en primavera se reduce la proporción de macollos reproductivos, lo que se asocia con una mayor longevidad de la pastura. En esta línea, McKee et al. (1967) destacan que la festuca puede soportar defoliaciones intensas y relativamente frecuentes. Esto se debe a que las sustancias de reserva se encuentran en las raíces y rizomas cortos que forman la corona de las plantas. Además, generalmente se mantienen áreas foliares remanentes altas después del pastoreo. Por otro lado, Kaufononga et al. (2017) reportan para festuca mayor densidad de macollos en defoliaciones altas (remanente 10 cm) en comparación a defoliaciones bajas (remanente 5 cm). En este contexto, Formoso (1996) señala que los efectos de la defoliación dependen de la estación del año y de las características morfo-fisiológicas de cada especie o cultivar. En relación con esto, Carámbula (2003) afirma que el crecimiento de las gramíneas generalmente se estimula con defoliaciones poco frecuentes.

2.1.6 Parámetros que definen el pastoreo

2.1.6.1 Intensidad

La intensidad de cosecha hace referencia al rendimiento de cada pastoreo o corte, el cual está determinado por la altura del rastrojo al retirar los animales. Esto afecta al rendimiento de cada defoliación, condiciona el rebrote y por lo tanto la producción total de la pastura. Parsons y Penning (1988) definen una defoliación severa como la eliminación de la mayor parte del área foliar, y lo consideran sinónimo de una eficiente utilización del crecimiento del pasto. De esta forma mayor intensidad tiene como beneficio la cantidad de forraje cosechado, pero como perjuicio la producción de forraje subsiguiente (Carámbula, 2002).

Demagnet et al. (2007) explican que la intensidad del pastoreo se refiere al nivel de residuos que los animales dejan tras pastorear la pradera. Esto regula el consumo realizado por los animales y sirve como un indicador de la eficiencia de cosecha de la pradera. La intensidad del pastoreo puede controlarse mediante la altura del residuo o la cantidad de fitomasa que queda después del pastoreo.

El área foliar remanente es determinada por la intensidad de la defoliación y por el tipo de crecimiento de la especie (erecto o postrado). Esto sumado a la eficiencia del rastrojo determina el crecimiento luego de una defoliación. Para que esto suceda debe estar formado por hojas nuevas, con bajos porcentajes de hojas senescentes lo cual compensa temporalmente eventuales bajos IAF (Carámbula, 2003).

La intensidad del pastoreo afecta el número de plantas, el número de macollos y en particular el peso de estos (Fulkerson & Slack, 1995; Grant et al., 1981; Hodgson, 1990; Saldanha et al., 2010). Para no afectar negativamente el crecimiento posterior cada especie posee una altura mínima a la cual es recomendable dejar el rastrojo. De esta forma

las especies postradas admiten menores alturas de defoliación que las especies erectas, aunque estas pueden adaptarse en parte a manejos intensos (Carámbula, 2003).

Como recomendación general, las especies postradas pueden ser pastoreadas en promedio hasta 2,5 cm y las erectas entre 5 y 7,5 cm. De no hacerlo así se puede causar daños graves en la pastura (Carámbula, 2003). Entre ellos, la reducción en las reservas energéticas de las plantas, ya que, al eliminar excesivamente el material vegetal, se limita la capacidad fotosintética, afectando el crecimiento y la regeneración. Finalmente, las defoliaciones excesivas y reiteradas pueden acortar la longevidad de la pastura, disminuyendo su productividad y calidad forrajera a largo plazo.

En el estudio de Herken et al. (2019) se analizó la relación entre la altura del remanente en verano y la densidad de macollos en el otoño siguiente. Se observó que una mayor altura del remanente tiende a aumentar el número de macollos por metro cuadrado. Los resultados mostraron que remanentes de 6-7 cm de altura, en comparación con 13-17 cm en verano, provocan una disminución de entre 800 y 1000 macollos/m² para el cultivar INIA Fortuna. Por otro lado, remanentes post pastoreo de entre 14 y 17 cm, en comparación con 6-7 cm en verano, provocan un aumento de alrededor de 2000 macollos/m² para los cultivares de festuca INIA Aurora e INIA Fortuna.

Becerra (2017, como se cita en Almeida González & Tarán Alderete, 2022), evaluó la producción de forraje de distintos cultivares de festuca bajo tres intensidades de defoliación (3, 5 y 7 cm de forraje remanente) durante el verano. Encontró que la intensidad de defoliación influye en la producción de forraje, siendo más ventajoso manejar remanentes más altos (7 cm). El crecimiento del forraje se maximiza cuando hay una mayor área foliar disponible para reiniciar el rebrote (mayor índice de área foliar). Las diferencias en la producción de forraje comienzan a ser evidentes a partir del tercer y cuarto corte. En los primeros cortes, las plantas reaccionan tratando de recuperarse del forraje retirado, mostrando un mayor crecimiento por unidad de forraje remanente (conocido como crecimiento compensatorio). Con el tiempo, las reservas de la planta y su capacidad de exploración del suelo disminuyen debido a la reducción del sistema radicular, por lo que el crecimiento se maximiza con remanentes más altos.

Perrachón (2009) afirma que la intensidad se refiere a la altura del forraje remanente después del pastoreo. Un pastoreo intenso implica dejar poco forraje remanente (menos de 2 cm), lo que comúnmente se conoce como “sobre pastoreo”. En contraste, un pastoreo menos intenso deja un forraje remanente mayor (5 cm de altura). Mantener un remanente de 5 cm es especialmente importante cuando los pastoreos son frecuentes y las temperaturas ambientales son altas, o en situaciones de déficit hídrico, como en verano. El sobre pastoreo es más perjudicial en un verano seco que en invierno. Un mal manejo en verano puede reducir la producción de la pastura a la mitad en el siguiente otoño-invierno.

2.1.6.2 Frecuencia

La frecuencia de defoliación es el intervalo de tiempo entre dos pastoreos sucesivos, la cual es una característica propia del sistema de manejo del pastoreo (Pineiro & Harris, 2012).

Cuando los pastoreos son muy frecuentes generan una reducción en el nivel de reservas y el peso de las raíces, lo cual genera menor producción de forraje y rebrotes más

lentos. El debilitamiento de las plantas por este factor aumenta su susceptibilidad al ataque de enfermedades, generando la muerte de estas (Formoso, 2000).

Cuando las pasturas se someten a periodos prolongados de descanso, su rendimiento relativo es mayor por la posibilidad de recuperar las reservas (Langer, 1981).

Con referencia al número de pastoreos o cortes, si bien cada especie posee un período de crecimiento limitado, cuanto mayor es la frecuencia de utilización, menor es el tiempo de crecimiento entre dos cortes sucesivos y por tanto más baja será la producción de forraje de cada uno de ellos (Carámbula, 2003).

Según Fulkerson y Slack (1995), el número de hojas es un indicador de la etapa de crecimiento de una pastura, lo cual es determinante para definir el intervalo de defoliación. Los resultados del trabajo de estos autores indican que, por ejemplo para raigrás perenne, el momento óptimo para realizar el pastoreo es a las tres hojas luego de iniciado el rebrote. Esto no sólo permite expresar el máximo potencial de rebrote en ese ciclo de crecimiento, sino también en el próximo.

Cuando la defoliación es frecuente y la pastura no alcanza su índice de área foliar óptimo, la relación rojo/rojo lejano de la luz aumenta, resultando en la formación de plantas con hojas cortas y con una alta densidad de tallos. En cambio, cuando la defoliación es menos frecuente aumenta la competencia por luz entre las plantas, por lo que éstas desarrollan hojas largas y una baja densidad de tallos (Mazzanti et al., 1994).

Según Brougham (1956), cuando una pastura es defoliada con una mayor intensidad, el período de tiempo para lograr interceptar el 95% de la radiación incidente se alarga, determinando un período de tiempo mayor entre pastoreos sucesivos.

Numerosos resultados demuestran que incrementando la frecuencia de pastoreo se logra aumentar el porcentaje de utilización de las pasturas y mantener una mayor y más homogénea calidad del forraje consumido (Fernández, 1999).

Perrachón (2009) afirma que la altura óptima para iniciar el pastoreo varía según la especie y la época del año. Se ha demostrado una correlación entre la altura del pasto y la producción de materia seca (MS). En el caso de la festuca, los mejores resultados en producción de forraje se obtienen cuando la altura del pasto al ingresar los animales es de 15 a 20 cm, lo que equivale a una disponibilidad de 1,5 a 2 toneladas de MS por hectárea.

Demagnet et al. (2007) afirman que la frecuencia de pastoreo está determinada por la disponibilidad de forraje en cada época del año. Además, según Carámbula (2002), también depende de la especie y la composición de la pastura, siendo crucial la velocidad con la que la pastura alcanza el volumen adecuado de forraje, lo cual se puede demostrar teóricamente mediante el índice de área foliar (IAF) óptimo.

Las pasturas que se someten a períodos de descanso prolongados producen relativamente más que aquellas con intervalos de corte o pastoreo más cortos. Esto se debe a que las primeras tienen la oportunidad de crecer a una tasa máxima durante más tiempo, lo que resulta en un mayor rendimiento. Dejar un rastrojo alto y utilizar intervalos prolongados entre períodos de pastoreo son opciones mutuamente excluyentes. Las alternativas son: pastoreo intenso (bajo) con descansos prolongados, o pastoreo aliviado

con intervalos cortos entre períodos de pastoreo (Langer, 1981, como se cita en Cairús Bancho & Regusci Brunninghausen, 2013).

2.1.6.3 Efecto sobre la fisiología de las plantas

La producción foliar es un proceso continuo, el cual es regulado por variables del ambiente y características del estado de la pastura. Bajo pastoreo, las pasturas sufren eventos de defoliación cuya frecuencia e intensidad afectan la fisiología de las plantas, por su efecto en la tasa de producción de nuevas hojas. Por lo tanto, la optimización de los sistemas de pastoreo no puede concebirse independientemente de la maximización de la producción de forraje. Es una interacción entre los tres flujos de tejido foliar de los sistemas pastoriles: crecimiento, senescencia y consumo (Parsons et al., 1991).

En términos generales, la defoliación determina una disminución instantánea de la actividad fotosintética y por lo tanto del nivel de energía disponible para la planta (Simpson & Culvenor, 1987, como se cita en Formoso, 1996).

Luego de una defoliación la mayor prioridad apunta hacia un nuevo objetivo, maximizar la velocidad de rebrote utilizando eficientemente la energía remanente post – defoliación, a los efectos de restablecer lo más rápidamente posible un balance positivo de fijación de energía (Chapin et al., 1987, Richards, 1993, como se cita en Formoso, 1996).

En el momento en que las tasas de crecimiento del forraje comienzan a decrecer, donde la fijación y translocación de energía supera la demanda de los meristemas refoliadores de la parte aérea, la energía sobrante es destinada a restaurar el nivel de reservas previamente utilizado (Smith, 1981, como se cita en Formoso, 1996).

2.1.6.4 Efecto sobre el rebrote

El rebrote de las pasturas depende de si existe eliminación del meristema apical, del nivel de carbohidratos en el rastrojo remanente y del área foliar remanente y su eficiencia fotosintética (Escuder, 1997).

Si el IAF remanente permite a las plantas quedar en una situación de equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración, el rebrote podrá iniciarse sin dificultades y sin necesidad de recurrir a las sustancias de reserva. La mayor importancia del IAF remanente se da en períodos críticos como los del verano, ya que ésta actuará como una bomba de succión permitiendo utilizar mejor el agua del suelo y proveerá una mayor superficie fotosintetizante, lo que permitirá elevar las cantidades de metabolitos aún con bajos niveles de humedad. Si bien en estas condiciones se cierran los estomas y se dificulta en parte el intercambio de CO₂, el proceso de fotosíntesis es menos afectado que los de diferenciación y expansión celular (las plantas crecen poco o nada pero siguen fotosintetizando) (Blaster et al., como se cita en Carámbula, 2003).

El rebrote de especies forrajeras luego de ser consumidas se lleva a cabo por una combinación de hojas residuales y reserva de carbohidratos, las que proveen energía al mismo. En general las sustancias de reserva se acumulan luego de que los productos de la fotosíntesis cubrieron los requerimientos fisiológicos y el crecimiento de los diferentes órganos. Por esto, un exceso en el nivel de reservas se debe a un crecimiento no realizado

y si se exagera buscando porcentajes altos de reservas, se producirá poca materia seca, situación que ocurre con pastoreos infrecuentes y aliviados (Carámbula, 2003).

Para disminuir el nivel de reservas de carbohidratos solubles lo suficiente como para afectar el rebrote, es necesario cierta cantidad de defoliaciones frecuentes sucesivas. Por otro lado, el impacto que el nivel de carbohidratos solubles tenga sobre el rebrote depende también de la altura del remanente, habiendo una interacción entre dichos factores. La altura de defoliación afectaría no solo la cantidad absoluta de carbohidratos solubles en el área foliar remanente sino también los requerimientos de la planta, según el potencial fotosintético que represente (Fulkerson & Slack, 1995).

La primera hoja en expandirse luego de una defoliación actúa de fosa de carbohidratos solubles en una primera etapa y de fuente de carbohidratos solubles luego de expandirse completamente, aportando a las siguientes hojas en expansión (Williams, 1994, como se cita en Fulkerson & Slack, 1995). Estas afirmaciones sugieren que el peor momento para pastorear sería antes de la expansión completa de la primera hoja, ya que se daría la primera etapa de consumo de las reservas, pero no habría una reposición posterior de las mismas (Fulkerson & Slack, 1995).

2.1.6.5 Efecto sobre las raíces

Para que las pasturas produzcan abundante forraje, es necesario, entre otros factores, que cuenten con un sistema radicular adecuado, especialmente en momentos de déficits hídricos (Carámbula, 2003).

Las sustancias de reserva disminuyen debido a la defoliación y esto influye de manera importante en el sistema radicular, ya que cuando ocurre sobrepastoreo, se da una reducción considerable en los sistemas radiculares (Troughton, 1979, como se cita en Carámbula, 2003). En los períodos de sequía, provoca una disminución de absorción de agua y nutrientes desde partes profundas del suelo, condicionando también el rebrote y la supervivencia de las plantas.

El sobrepastoreo en invierno altera el microambiente de la pastura, principalmente a través del pisoteo, lo cual afecta la parte aérea de las plantas, sino que también sus sistemas radiculares a través del compactado excesivo que provoca la pezuña en el suelo. Como consecuencia de esto se produce una menor aireación y una menor velocidad de infiltración del agua (Edmond, 1963, como se cita en Carámbula, 2003).

Si hay exceso hídrico en suelos con mal drenaje, asociado a sobrepastoreo, hay una disminución en el crecimiento, volumen y vigor de los sistemas radiculares y esto condiciona, no solo un atraso importante en el rebrote aéreo, sino lo que es peor, la supervivencia de las plantas en el verano siguiente. Esta época es el mejor momento para la formación y desarrollo de sistemas radiculares adecuados, que permiten enfrentar de mejor manera, situaciones críticas debidas por la ocurrencia de sequías que se registran mayormente en el verano (Carámbula, 2003).

En un experimento donde se evaluó en qué medida la supervivencia de los macollos está mediada por el tamaño del sistema radicular en primavera y qué consecuencias conlleva la supervivencia de los macollos para la masa, profundidad y morfología de la raíz el otoño siguiente; se concluyó que la persistencia de la festuca en ambientes subtropicales está influenciada por factores como la fertilización nitrogenada

y el control del pastoreo. Aunque los sistemas radiculares profundos suelen contribuir a la tolerancia a la sequía, el estudio realizado en Uruguay muestra que los macollos de festuca no presentaron una mortalidad grave en verano, salvo en suelos con menos de 30 mm de capacidad de retención de agua. Los déficits hídricos moderados y las altas temperaturas de verano sugieren que el estrés térmico más que la falta de agua es el principal desafío para la persistencia de esta especie en climas subtropicales (Jáuregui et al., 2024).

Los resultados del experimento muestran que el tamaño y profundidad del sistema radicular de *Festuca arundinacea* en primavera no están directamente relacionados con la supervivencia de los macollos en verano. Las variaciones significativas en la biomasa radicular tuvieron poco impacto en la supervivencia de los macollos, y las prácticas de manejo que aumentaron dicha supervivencia, como la fertilización con nitrógeno y el control de la floración, no influyeron en el tamaño o profundidad de las raíces (Jáuregui et al., 2024).

2.1.6.6 Efecto sobre la utilización de forraje

La utilización de la pastura depende de la frecuencia y severidad de defoliación, así como también de las características estructurales de la pastura. Cuando el intervalo entre sucesivas defoliaciones es mayor a la vida media foliar, una mayor proporción del material verde producido puede perderse por senescencia y la diferencia entre la producción primaria y la porción cosechable aumenta. Por esto el tipo de manejo (frecuencia y severidad de defoliación) interactúa con la morfogénesis y las características estructurales de la pastura para determinar la fracción cosechable de la misma (Chapman & Lemaire, 1993, como se cita en Azanza Brancato et al., 2004). Esto es importante para establecer estrategias de pastoreo, considerando el intervalo de aparición foliar y el número de hojas vivas por macollos y teniendo en cuenta el tiempo de descanso óptimo, para cada especie en particular.

Las hojas, luego de alcanzar su tamaño final, permanecen durante un tiempo y mueren (Robson et al., como se cita en Escuder, 1997). El período durante el cual permanecen activas depende de muchos factores, como puede ser la especie y la estación del año. La tasa de aparición y la vida media de las hojas son determinantes del porcentaje de cosecha ya que si, por ejemplo, el intervalo de aparición y muerte de hojas es de 25 días y la entrada de los animales a la pastura es cada 30 días, se está permitiendo que una proporción de las hojas muera antes de ser consumidas. También existe la muerte de macollos y estolones.

A medida que aumenta la presión de pastoreo, se incrementa también la eficiencia con la que el ganado cosecha el forraje disponible. Sin embargo, este efecto suele ir acompañado por una reducción del índice de área foliar (IAF), lo que limita la interceptación de radiación solar y como consecuencia, se reduce la eficiencia del sistema en términos de producción de forraje (Smetham, 1990, como se cita en Escuder, 1997).

Para lograr la máxima producción debe evitarse defoliaciones tan severas que reduzcan el crecimiento de forraje, pero que sea lo suficientemente intensa como para lograr una eficiencia de cosecha alta, disminuyendo las pérdidas de forraje por senescencia (Pearson et al., 1987, como se cita en Escuder, 1997).

2.1.6.7 Efecto sobre la composición botánica

Cuando la composición botánica es modificada, en consecuencia la distribución de la producción a lo largo del año se ve alterada, pero la producción total anual tiene menor variación (Escuder, 1997).

Numerosos autores han concluido que las distintas frecuencias e intensidades de pastoreo, afecta a la pastura en términos de composición botánica y densidad de las plantas (Heitschmidt et al., 1987).

Jones (1933, como se cita en Barthram et al., 1999), reconoce que existen momentos críticos del año para una pastura donde, darle tiempo de recuperación luego de una defoliación, así como pastorearla intensamente, puede alterar la composición de especies de la misma. El tiempo de ese período crítico depende de las especies presentes, pero en general, defoliaciones poco intensas en momentos de activo crecimiento de una especie, puede favorecer la predominancia de ésta en la pastura.

Barthram et al. (1999) afirman que los cambios en la composición botánica debidas a alteraciones en el manejo son lentos, mientras que cambios en la estructura vertical de la pradera son visibles en menor tiempo.

2.1.6.8 Efecto sobre la persistencia

La persistencia de una especie está relacionada al comportamiento de aparición y muerte de hojas, al proceso de macollaje y a la formación de raíces (Carámbula, 1977).

La persistencia de la pastura en pastoreo es fuertemente dependiente del establecimiento y mantenimiento de poblaciones de las unidades básicas de crecimiento de la planta, siendo en el caso de las gramíneas los macollos (Valentine & Matthew, 1999).

La interacción entre frecuencia e intensidad de pastoreo ejerce una influencia muy importante sobre el porcentaje de sobrevivencia de cada una de las unidades de crecimiento, tanto de macollas y tallos como de estolones y rizomas (Hogdson & Sheath, como se cita en Carámbula, 2004).

El pastoreo directo no produciría inconvenientes serios por sí mismo, si la defoliación por animales se realiza según las recomendaciones especificadas para cada especie y circunstancia. Por el contrario, algunos factores asociados podrían ser los que provocarían precisamente, ciertos efectos nocivos sobre las pasturas (Hay & Hunt, como se cita en Carámbula, 2003). Se citan el pisoteo, el pastoreo selectivo, el traslado de fertilidad, entre otros, los cuales deben ser tenidos en cuenta para orientar el manejo en forma tal que no perjudique la persistencia (Carámbula, 2003).

Por ejemplo, el pastoreo provoca compactación y desagregación. La primera afecta directamente el crecimiento de las raíces y reduce el rendimiento, y la segunda provoca pérdidas de suelo por erosión (Carámbula, 2003).

El objetivo del pastoreo intenso en primavera es reducir o eliminar los macollos florecidos (control de floración) y, de esta manera, mitigar los efectos negativos de la competencia que estas estructuras florales ejercen sobre el desarrollo y la supervivencia de los macollos hijos (Saccoccia, 2017).

La defoliación es un factor crucial que determina la supervivencia, el tamaño y la densidad poblacional de los macollos. Este proceso interrumpe el suministro de energía de la planta y provoca respuestas como la redistribución de carbono y asimilados hacia las zonas meristemáticas de la hoja, así como la movilización de reservas de carbohidratos (Briske & Richards, 1995).

Cualquier factor que retrase el crecimiento radicular tendrá un impacto negativo en la sobrevivencia de las plantas, ya que se verá afectada la absorción de agua y nutrientes (Donaghy & Fulkerson, 1998).

En el caso de las gramíneas el riesgo de baja persistencia se explica en base a la presencia de macollas inestables, por ser estas pequeñas y débiles (Hughes & Jackson, como se cita en Carámbula, 2003).

Para las especies perennes, la persistencia debe favorecerse básicamente por un manejo del pastoreo que permita la aparición de nuevas unidades de crecimiento, mediante el mantenimiento de procesos activos de macollaje y de formación de tallos, rizomas y estolones (Carámbula, 2003).

Jáuregui et al. (2018) sostiene que las principales limitantes para la persistencia de pasturas C3 en climas subtropicales son los períodos de sequía y las altas temperaturas. Las plantas pueden tolerar este estrés aumentando la captación de agua y desarrollando más sus raíces, aunque este desarrollo puede verse afectado por el pastoreo y la disponibilidad de nutrientes.

El período de primavera con bajas masas de forraje no solo ayuda a controlar la floración, sino que también promueve una serie de procesos. Estos incluyen la reducción del estrés por floración, lo que favorece la supervivencia de los macollos y los puntos de crecimiento. Además, se observa un aumento en el tamaño general de los macollos como una respuesta compensatoria a la densidad de macollos, que se produce al reducir la altura de pastoreo (Matthew et al., 2000).

Scheneiter (2018) indica que permitir que los macollos reproductivos permanezcan hasta la floración afecta la aparición y supervivencia de los macollos hasta diciembre, resultando en una disminución de la densidad de macollos en comparación con una eliminación más temprana. Aunque este manejo genera una alta tasa de aparición de macollos a principios de primavera, en octubre, con la presencia de tallos florales, se observa una alta tasa de mortalidad de macollos. Esto puede deberse, según Korte et al. (1984) y L'Huillier (2012), a la competencia de nutrientes de la inflorescencia en desarrollo, que puede afectar negativamente la supervivencia de los macollos.

3 Hipótesis

1- En base a la bibliografía estudiada se puede esperar que, el manejo de frecuencia alta, realizada cuando la pastura a desarrollado 2 hojas por macollo (2H) combinado con intensidad alta, correspondiente a un consumo del 70 % de la altura de forraje disponible) maximizará la producción de materia seca debido a la estimulación constante del rebrote y la renovación del tejido fotosintético activo, en comparación con una frecuencia baja (4H), que permite una mayor acumulación de biomasa pero podría limitar la tasa de crecimiento.

2- Por otro lado, la frecuencia baja, correspondiente a un desarrollo de 4 hojas por macollo (4H) y la intensidad baja (30% de remoción de la altura de forraje disponible) promoverán una mejor composición botánica, manteniendo una mayor proporción de festuca, en contraste con frecuencias cortas e intensidades altas (70% de remoción de la altura de forraje disponible)

3- La combinación de frecuencia baja (4H) e intensidad baja (30%) mantendrá una mayor cobertura del suelo al reducir el suelo descubierto y minimizar los riesgos de erosión y degradación del sistema pastoril, en comparación con intensidades altas (70%), que exponen más el suelo al eliminar mayor cantidad de biomasa.

4 Materiales y métodos

4.1 Condiciones experimentales

4.1.1 Localización y duración del trabajo

El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay), en el potrero N° 35 (Latitud -32.3735514 y Longitud -58.0645952) durante el periodo comprendido entre el 22 de junio y el 19 de diciembre del 2023, sobre una pastura de *Festuca arundinacea* cv Tacuabé de segundo año.

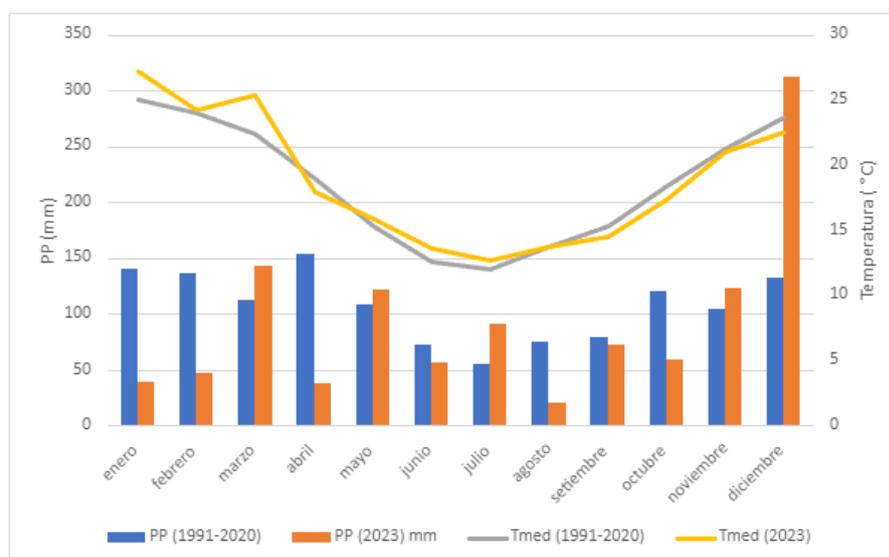
4.1.2 Información meteorológica

Uruguay es el único país en Sudamérica que se encuentra completamente en la zona templada. Su clima es húmedo y no presenta una estación seca. La precipitación media anual es de aproximadamente 1250 mm, con una media mensual que varía entre 90 y 120 mm, distribuyéndose de manera relativamente uniforme a lo largo del año (isohigro). Durante el verano (diciembre, enero y febrero), las temperaturas medias rondan los 23°C, mientras que los meses más fríos, junio o julio, tienen temperaturas medias de 11,8°C. La amplitud térmica media anual del país es de 12,4°C. Enero es siempre el mes más cálido, con temperaturas máximas medias que oscilan entre 30 y 32°C en el norte y el litoral oeste, y entre 27 y 28°C en el sur. Las temperaturas mínimas medias son de alrededor de 7 a 8°C en casi todo el territorio, sin diferencias significativas entre el sur y el norte (Durán & García Préchac, 2007).

En la Figura 1 se presentan los datos de temperatura y precipitación obtenidos de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC, s.f.), Paysandú, en el año de experimentación tomándose como referencia los promedios históricos para una serie de 30 años (1991-2020), según el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, s.f.).

Figura 1

Precipitaciones y temperaturas promedio del año en estudio y promedios históricos



Nota. Adaptado de EEMAC (s.f.). Información obtenida de la estación meteorológica automática de la EEMAC.

Durante el periodo experimental las precipitaciones se encontraron por debajo del promedio histórico para los meses de junio a setiembre. En noviembre se puede ver un aumento de estas superando levemente a las históricas. En diciembre se dio un aumento significativo superando ampliamente el promedio histórico.

La temperatura media del año 2023 fue mayor durante los meses de junio a agosto y levemente menor con una tendencia creciente hasta el mes de diciembre.

4.1.3 Balance hídrico

El siguiente cuadro presenta el balance hídrico durante el periodo experimental (abril 2023 – noviembre 2023). Para los datos de evapotranspiración y precipitaciones se usaron los registros de la estación meteorológica. Se tomó un $k_c = 1$ para obtener el dato de evapotranspiración real de la pastura.

Para realizar el balance, se comenzó con el perfil de capacidad de agua disponible cargado teniendo en cuenta que las precipitaciones de marzo fueron superiores al promedio histórico. La capacidad de agua disponible del suelo donde se realizó el experimento es de 80mm (J. García, comunicación personal, 22 de junio, 2023).

Tabla 1

Balance hídrico para los meses del experimento

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Eto mm/d	2.8	1.9	1.3	1.4	2.3	2.2	3.7	3.9
Ndías ciclo	30	31	30	31	31	30	31	30
Etc mm/mes	84.0	60.1	38.9	44.6	72.7	67.0	114.2	118.3
PP mm/mes	37.6	121.3	57	91.2	20.6	73.2	59.6	122.6
BALANCE H	33.6	80.0	80.0	80.0	27.9	34.1	-20.4	-16.2

El balance hídrico del suelo es una herramienta que permite cuantificar diversos componentes del ciclo del agua en el suelo y para un territorio, estableciendo relaciones en el corto y mediano plazo entre las distintas variables hidrológicas (INUMET, s.f.).

4.1.4 Descripción del sitio experimental

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

4.1.5 Tratamientos

El experimento corresponde a un experimento factorial con dos factores (frecuencia e intensidad) a dos niveles cada uno, definiendo cuatro tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones. Los mismos consistieron en:

- 1) 2H-30 (Frecuencia de pastoreo 2 hojas, intensidad de pastoreo 30%)
- 2) 2H-70 (Frecuencia de pastoreo 2 hojas, intensidad de pastoreo 70%)
- 3) 4H-30 (Frecuencia de pastoreo 4 hojas, intensidad de pastoreo 30%)
- 4) 4H-70 (Frecuencia de pastoreo 4 hojas, intensidad de pastoreo 70%)

4.1.6 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2 (dos frecuencias a dos intensidades). El área utilizada abarcó un total de 1 hectárea, la cual se dividió en cuatro bloques de 0,25 hectáreas, correspondiente cada uno a una repetición. Cada bloque a su vez se subdivide en cuatro parcelas, conteniendo cada uno de ellos los tratamientos antes mencionados.

El análisis de toda la información se realizó utilizando el programa estadístico Infostat. La información fue analizada por medio de ANOVA y se realizó la comparación de medias mediante la prueba de LSD Fisher, con un nivel de significancia $\leq 0,05$.

El modelo estadístico utilizado fue: $Y_{ijkl} = \mu + B_i + F_j + I_k + (FI)_{jk} + \epsilon_{ijkl}$

Siendo:

Y_{ijkl} = Variable en estudio

μ = Media del experimento

B_i = Efecto de los bloques

F_j = Efecto del tratamiento frecuencia

I_k = Efecto del tratamiento intensidad

$(FI)_{jk}$ = Efecto de la interacción frecuencia e intensidad ϵ_{ijkl} = Error experimental

4.1.7 Metodología experimental

Se basó en la cuantificación de producción de forraje, composición botánica, porcentaje de malezas, suelo descubierto y producción de macollos.

4.1.8 Determinaciones

4.1.8.1 Frecuencia de pastoreo

El inicio de cada pastoreo se determinó en base al número de hojas promedio por macollo de la pastura, para ello se cuantifico el número de hojas de 15 macollos por parcela.

4.1.8.2 Intensidad de pastoreo

La intensidad se determinó en base a la altura del remanente en relación con el disponible. Para ello se tomaron 40 mediciones de altura al inicio del pastoreo y lo mismo

durante el pastoreo para determinar la salida de los animales en base las intensidades de cada tratamiento.

4.1.8.3 Disponibilidad de forraje

Al ingreso de los animales a las parcelas se realizaron 4 cortes por parcela, cortando al ras del suelo con un cuadro de 50x20 cm. Donde posteriormente se secaron en estufa durante 48 horas a 60°C para determinar la disponibilidad en MS.

4.1.8.4 Forraje desaparecido

Luego del pastoreo se realizó en cada parcela 4 cortes al ras del suelo con un cuadro de 50x20 cm. Las muestras tuvieron el mismo proceso de secado ya mencionado anteriormente. Esto permitió determinar la MS del forraje remanente y de esta manera por diferencia con lo disponible se estimaron los kg de MS desaparecidos

4.1.8.5 Composición botánica

Posteriormente al corte de la pastura se realizó, en laboratorio, la separación manual de las distintas fracciones de cada corte, separando el material verde de festuca, los restos secos y otras especies existentes. Luego se realizó el secado a estufa descrito anteriormente determinando el porcentaje de MS de cada fracción.

4.1.8.6 Determinación de cobertura del suelo

El porcentaje de cobertura del suelo se determinó en cada parcela previo al pastoreo, mediante 15 muestras al azar con un rectángulo de 50x20 cm, realizándose una estimación del porcentaje de material verde, restos secos y suelo desnudo que ocupaban en el área del rectángulo utilizado.

4.1.8.7 Determinación de número de macollos

Se contabilizó el número de macollos al inicio y al fin del período del experimento. Para el mismo se utilizaron cuadros de 20x50 cm contando los macollos que quedaban dentro del mismo, se realizaron 3 conteos por parcela en distintos puntos marcados por estacas.

4.1.8.8 Pastoreos

Tabla 2

Número y fechas de pastoreos

Pastoreo	2 HOJAS	4 HOJAS
1	22/06/2023	01/08/2023
2	14/08/2023	06/09/2023
3	27/09/2023	27/11/2023
4	09/11/2023	

4.1.8.9 Alturas de disponibles y remanentes

Tabla 3

Mediciones de altura del forraje disponible, remanente objetivo y remanente real, en invierno

Alturas promedio Invierno			
Tratamiento	Entrada	Salida objetivo	Salida real
2H-70	23,1	7,	8,1
2H-30	25,1	17,1	14,1
4H-70	25,1	8,1	8,1
4H-30	27,1	21,1	18,1

Tabla 4

Mediciones de altura del forraje disponible, remanente objetivo y remanente real, en primavera

Alturas promedio Primavera			
Tratamiento	Entrada	Salida objetivo	Salida real
2H-70	26,1	8,1	9,1
2H-30	29,1	19,1	10,1
4H-70	26,1	8,1	8,1
4H-30	30,1	21,1	20,1

5 Resultados

5.1 Producción de materia seca

5.1.1 Tasa de crecimiento

Los resultados mostraron diferencias significativas en la tasa de crecimiento entre estaciones (Tabla 5), con valores notablemente superiores en invierno en comparación con primavera.

Tabla 5

Tasa de crecimiento promedio (kg MS/ha/día) para cada estación

Estación	TC (kg MS/ha/día)
Invierno	50,84 ± 2,90 a
Primavera	21,85 ± 2,4 b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

La Tabla 6 muestra la tasa de crecimiento promedio (kg MS/ha/día) durante el invierno, evaluada según frecuencia (2H y 4H), intensidad (30% y 70%), y su interacción. No se observaron diferencias significativas entre las frecuencias ni entre las intensidades de defoliación. Sin embargo, si existen diferencias significativas en la interacción, las combinaciones 2H-30 y 4H-70 obtuvieron las mayores tasas de crecimiento, mientras que 2H-70 fue significativamente inferior.

Tabla 6

Tasa de crecimiento (kg MS/ha/día) durante el invierno

	Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día)
Frecuencia	
2H	48,73 ± 5,13
4H	52,95 ± 2,91
Intensidad	
70	48,01 ± 4,37
30	53,67 ± 3,83
Interacción	
2H 30	57,84 ± 5,66 a
4H 70	56,41 ± 2,59 a
4H 30	49,50 ± 4,98 a b
2H 70	39,62 ± 5,97 b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

Durante la primavera (Tabla 7), no se encontraron diferencias significativas entre las frecuencias evaluadas. Sin embargo, la intensidad del 70% mostró valores significativamente mayores que la del 30%. En la interacción, las combinaciones con intensidad alta (70%) presentaron mayores tasas de crecimiento que aquellas con

intensidad baja (30%), siendo la combinación 4H-30 significativamente inferior respecto a las demás.

Tabla 7

Tasa de crecimiento (kg MS/ha/día) durante la primavera.

	Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día)
Frecuencia	
2H	23,35 ± 3,23
4H	19,75 ± 3,66
Intensidad	
70	27,37 ± 2,76 a
30	15,73 ± 2,73 b
Interacción	
2H 70	28,76 ± 4,13 a
4H 70	25,99 ± 4,13 a b
2H 30	17,94 ± 3,49 a b
4H 30	13,52 ± 4,41 b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

5.1.2 Producción de forraje

En cuanto a la producción de forraje por estación (Tabla 8), se encontraron diferencias significativas entre invierno y primavera. La producción de forraje fue significativamente mayor en invierno en comparación con primavera. Esto indica que las condiciones invernales favorecieron un mayor rendimiento de biomasa en relación con las condiciones primaverales.

Tabla 8

Producción de forraje (kg MS/ha) por estación

Estación	Producción (kgMS/ha)
Invierno	4323 ± 281,1 a
Primavera	1881 ± 213,39 b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

La siguiente tabla presenta la producción de forraje durante el invierno, por frecuencia, intensidad y su interacción. No se encontraron diferencias significativas entre las frecuencias ni entre las intensidades evaluadas. En la interacción, las combinaciones 4H-70 y 2H-30 mostraron valores superiores, mientras que 2H-70 fue significativamente menor en comparación con los otros tratamientos.

Tabla 9*Producción de forraje (kg MS/ha) por tratamiento para invierno*

Producción de forraje (kgMS/ha)	
Frecuencia	
2H	4157 ± 348,98
4H	4489 ± 457,16
Intensidad	
70	4269 ± 525,07
30	4377 ± 249,22
Interacción	
4H 70	4950 ± 849,99 a
2H 30	4726 ± 312,15 a b
4H 30	4028 ± 333,29 a b
2H 70	3588 ± 505,15 b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

En primavera (Tabla 10), no se encontraron diferencias significativas en la producción de forraje entre las frecuencias (2H y 4H) ni entre las intensidades (70 % y 30 %). La interacción entre frecuencia e intensidad mostró diferencias significativas, siendo la combinación de 2H 70 la que tuvo mayor producción de forraje, mientras que la combinación de 4H 30 presentó la menor producción.

Tabla 10*Producción de forraje (kg MS/ha) por tratamiento para primavera*

Producción de forraje (kgMS/ha)	
Frecuencia	
4H	1541 ± 285,38
2H	2222 ± 283,87
Intensidad	
70	2357 ± 240,68
30	1407 ± 269,70
Interacción	
2H 70	2686 ± 306,41 a
4H 70	2027 ± 322,61 a b
2H 30	1759 ± 372,18 a b
4H 30	1054 ± 343,93 b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

En cuanto a la producción de forraje total de ambas estaciones (Tabla 11), los resultados indican que, tanto para las distintas frecuencias como para las distintas intensidades, no se encontraron diferencias significativas en la producción acumulada. De la misma manera para la interacción, tampoco se muestran diferencias significativas entre los tratamientos. Aun así, la combinación 4H-30% estuvo entre 1200 y 2000 kg de MS por debajo de los demás tratamientos.

Tabla 11
Producción de forraje total (invierno + primavera)

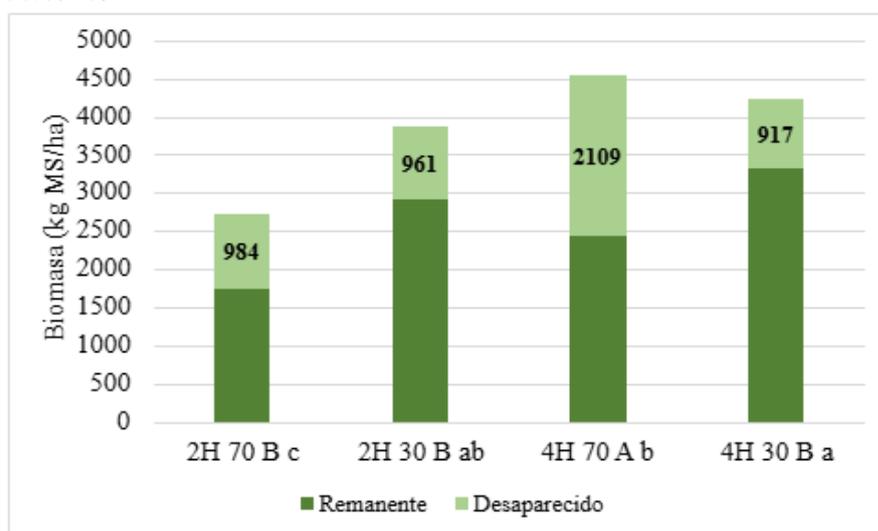
Tratamiento	Producción (kg MS/ha)
Frecuencia	
2H	6380
4H	6029
Intensidad	
70	6626
30	5783
Interacción	
4H 70	6977 ± 645,20
2H 30	6485 ± 603,32
2H 70	6274 ± 789,88
4H 30	5082 ± 449,82

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

5.1.3 Forraje desaparecido

En la siguiente figura se observa como en invierno, el forraje desaparecido por pastoreo en función del disponible y remanente, solo mostro diferencias significativas el tratamiento 4H-70, el cual obtuvo el mayor valor de biomasa desaparecida, superando por aproximadamente 1000 kg MS/ha a los demás tratamientos, en los cuales no hubo diferencias significativas. En términos de remanente, el tratamiento 4H-30 se destacó, siendo significativamente mayor a los tratamientos de alta intensidad.

Figura 2
Forraje desaparecido promedio por pastoreo, en función del disponible y remanente en invierno

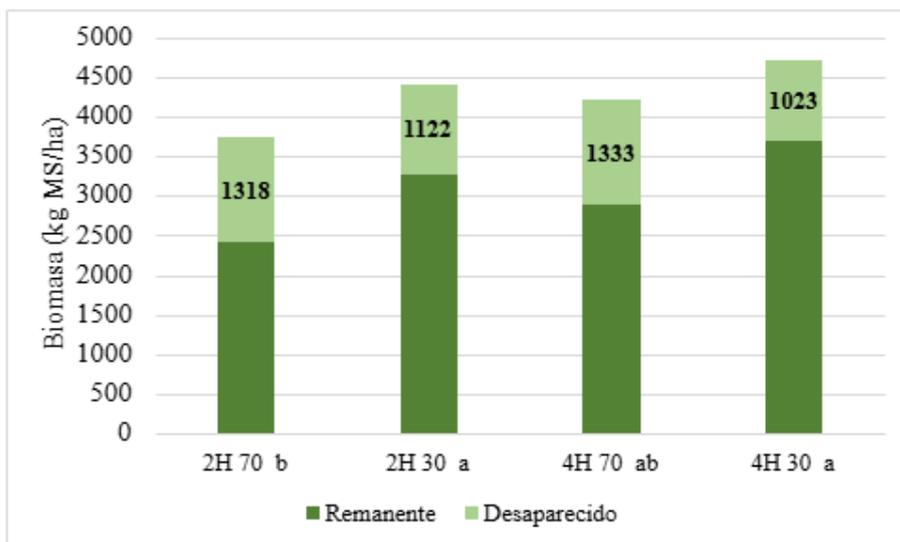


Nota. Los valores son expresados como la media. Las medias de las barras con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$). Letras mayúsculas corresponden al forraje desaparecido y minúscula al remanente.

En cuanto a la estación de primavera, el forraje desaparecido por pastoreo, considerando el forraje disponible y remanente (Figura 3), no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 3

Forraje desaparecido promedio por pastoreo, en función del disponible y remanente en primavera



Nota. Los valores son expresados como la media. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$). Letras mayúsculas corresponden al forraje desaparecido y minúscula al remanente.

5.1.4 Composición botánica

Los resultados en cuanto a composición botánica (Tabla 12) muestran diferencias significativas entre las estaciones para las variables festuca y restos secos, teniendo mayor relevancia el porcentaje de las mismas en la estación de invierno. En cuanto a malezas, no se observan diferencias significativas entre estaciones.

Tabla 12

Composición botánica promedio, expresada en porcentaje.

Estación	Festuca (%)	Malezas (%)	Restos secos (%)
Invierno	77,97 a	1,35	20,69 a
Primavera	57,85 b	3,72	38,43 b

Nota. Los valores son expresados como la media \pm EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

En invierno, la composición botánica promedio del forraje disponible (Tabla 13) no mostró diferencias significativas en las variables Festuca y malezas según la

frecuencia. Sin embargo, en restos secos, el tratamiento 2H presentó un porcentaje significativamente mayor que el 4H.

En relación con la intensidad, se observaron diferencias significativas para las variables Festuca y restos secos. Para la primera, el mayor porcentaje se registró en la intensidad del 70%, mientras que, en restos secos, la intensidad del 30% presentó el mayor porcentaje.

En la interacción frecuencia-intensidad, se detectaron diferencias significativas para la variable Festuca, siendo la combinación 4H70 la que obtuvo el mayor porcentaje. Para las malezas, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Por último, en restos secos, la combinación 2H30 destacó con un porcentaje significativamente mayor que los demás tratamientos.

Tabla 13

Composición botánica promedio del forraje disponible durante el invierno, expresado en porcentaje

	Festuca (%)	Malezas (%)	Restos secos (%)
Frecuencia			
4H	80,85	1,48	17,67 b
2H	75,08	1,21	23,71 a
Intensidad			
70	81,68 a	1,18	17,2 b
30	74,31 b	1,51	24,18 a
Interacción			
4H 70	85,06 ± 1,21 a	0,97 ± 0,62	13,96 ± 1,78 c
2H 70	78,18 ± 1,41 a b	1,39 ± 0,46	20,43 ± 1,71 b c
4H 30	76,64 ± 1,36 a b	1,99 ± 0,73	21,37 ± 1,04 b c
2H 30	71,99 ± 2,99 b	1,04 ± 0,27	26,98 ± 2,85 a b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

En primavera, la composición botánica promedio del forraje disponible (Tabla 14) no mostró diferencias significativas para ninguna de las variables en cuestión.

En relación con la intensidad, se observaron diferencias significativas en la variable restos secos, donde la intensidad del 30% mostró un porcentaje significativamente mayor que la del 70%. Para las variables Festuca y malezas, no se encontraron diferencias significativas entre las intensidades.

En la interacción frecuencia-intensidad, no se presentaron diferencias significativas para festuca y malezas. En restos secos, la combinación 2H30 destacó con un porcentaje significativamente mayor que los demás tratamientos.

Tabla 14

Composición botánica promedio del forraje disponible durante la primavera, expresado en porcentaje

	Festuca (%)	Malezas (%)	Restos secos (%)
Frecuencia			
4H	59,37	4,61	36,02
2H	56,33	2,82	40,85
Intensidad			
70	59,14	5,09	35,77 b
30	56,56	2,35	41,09 a
Interacción			
4H 70	61,43 ± 5,36	6,39 ± 5,59	32,18 ± 2,58 b
4H 30	57,32 ± 3,93	2,83 ± 2,82	39,85 ± 1,59 a
2H 70	56,86 ± 3,78	3,78 ± 2,11	39,37 ± 4,61 a b
2H 30	55,81 ± 3,16	1,86 ± 1,38	42,33 ± 2,15 a

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

5.1.5 Cobertura de suelo

Los resultados muestran que en invierno (Tabla 15), el porcentaje de material verde mostro diferencias significativas según la frecuencia, siendo mayor el tratamiento 4H. Para suelo descubierto y restos secos, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

En cuanto a la intensidad, el tratamiento de 70% fue significativamente mayor para la variable suelo descubierto. En el caso de material verde y restos secos, no se encontraron diferencias significativas.

Respecto a la interacción, no se encontraron diferencias significativas para el material verde. En cambio, la variable suelo descubierto, si mostro diferencias, siendo la combinación 2H70 significativamente mayor que los demás tratamientos. En relación con la variable restos secos, se destaca la combinación 2H30, siendo significativamente mayor que los demás tratamientos

Tabla 15

Porcentaje de material verde, suelo descubierto y restos secos en invierno por tratamiento

	Material verde (%)	Suelo descubierto (%)	Restos secos (%)
Frecuencia			
4H	78,19 a	10,56	11,25
2H	70,50 b	16,06	13,44
Intensidad			
70	72,81	16,81 a	10,44
30	75,88	9,81 b	14,25
Interacción			
4H 30	79,63 ± 2,95	7,38 ± 1,31 b	13 ± 2,51 a b
4H 70	76,75 ± 6,23	13,75 ± 5,22 a b	9,5 ± 1,57 b
2H 30	72,13 ± 4,22	12,25 ± 1,94 a b	15,5 ± 2,32 a
2H 70	68,88 ± 3,12	19,88 ± 2,98 a	11,38 ± 0,98 a b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente ($P < 0,1$).

En primavera (Tabla 16), para la variable material verde, no se encontraron diferencias significativas en cuanto a frecuencia de pastoreo y tampoco en cuanto a restos secos. En cambio, el tratamiento 2H presento mayor porcentaje de suelo descubierto, diferenciándose significativamente del tratamiento 4H.

En cuanto a la intensidad, los resultados muestran que no hay diferencias significativas entre tratamientos, para las variables material verde y restos secos. Si existen diferencias en suelo descubierto, siendo el tratamiento de 70% de intensidad, significativamente mayor que el de 30%.

Respecto a la interacción, los resultados muestran que hay diferencias significativas para la variable material verde, siendo la combinación 4H30 la que tuvo mayor porcentaje. En cuanto a los restos secos la combinación 2H70 fue significativamente superior que las demás combinaciones. Por último, la variable restos secos no presento diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 16

Porcentaje de material verde, suelo descubierto y restos secos en primavera por tratamiento

	Material verde (%)	Suelo descubierto (%)	Restos secos (%)
Frecuencia			
4H	80,75	6,38 b	12,88
2H	72,5	13,3 a	14,2
Intensidad			
70	73,79	13,38 a	12,84
30	79,46	6,3 b	14,24
Interacción			
4H 30	84,25 ± 2,09 a	2,00 ± 0,71 c	13,75 ± 1,49
4H 70	77,25 ± 5,36 a b	10,75 ± 3,57 a b	12 ± 2,74
2H 30	74,68 ± 3,68 a b	10,60 ± 2,09 b c	14,73 ± 2,05
2H 70	70,33 ± 3,12 b	16,00 ± 3,22 a	13,68 ± 0,73

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente (P<0,1).

5.1.6 Número de macollos

Al final del experimento el número de macollos vegetativos resulto diferente entre frecuencias de pastoreo, pastoreos menos frecuentes 4H llegaron al final de la primavera con un mayor número de macollos que los pastoreos más frecuentes 2H. Entre las intensidades de pastoreo no se encontraron diferencias. Para las interacciones, el tratamiento 4H-70 fue significativamente mayor que los tratamientos 2H-70 y 2H-30.

Tabla 17

Número final de macollos vegetativos por tratamiento

	Macollos vegetativos/m2
Frecuencia	
4H	1117 ± 56 a
2H	982 ± 36 b
Intensidad	
70	1069 ± 67
30	1030 ± 34
Interacción	
4H 70	1154 ± 105 a
4H 30	1081 ± 53 a b
2H 70	985 ± 72 b
2H 30	979 ± 29 b

Nota. Los valores son expresados como la media ± EE. Las medias de las columnas con misma letra de superíndice no son diferentes significativamente (P<0,1).

6 Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo confirman que la frecuencia e intensidad de defoliación tienen un impacto significativo en la productividad y composición botánica de la festuca, evidenciando diferencias notorias según las condiciones estacionales y los manejos aplicados. Además, los resultados están alineados con estudios previos reportados en la bibliografía, que destacan la interacción compleja entre frecuencia, intensidad y las condiciones ambientales.

Durante el invierno, la tasa de crecimiento (TC) promedio fue significativamente superior en comparación con la primavera (Tabla 5). Este comportamiento fue particular para el año del experimento debido a las condiciones más favorables que se dieron durante invierno, como temperaturas moderadas y un balance hídrico positivo, que facilitaron el crecimiento de gramíneas como la festuca. En primavera, la reducción de la TC puede atribuirse a condiciones de estrés hídrico que limitaron la capacidad de rebrote (Figura 1).

En invierno, tanto las combinaciones de baja frecuencia con alta intensidad (4H-70) y de alta frecuencia con baja intensidad (2H-30) fueron las que lograron mayores tasas de crecimiento (Tabla 6) y mayor producción de forraje (Tabla 9) mostrando diferencias significativas con el tratamiento 2H-70. Esto se alinea con investigaciones que señalan que, en períodos con suficiente humedad, tanto la acumulación gradual de biomasa (4H-70) como el rebrote continuo (2H-30) pueden ser igualmente efectivos para maximizar la TC (Carámbula, 2003). Por el contrario, la combinación 2H-70, con alta frecuencia e intensidad, mostró una tasa de crecimiento y producción de forraje más baja, evidenciando que un manejo más agresivo genera un estrés significativo sobre el tapiz, limitando su capacidad de recuperación (Becerra, 2017, como se cita en Almeida González & Tarán Alderete, 2022). En términos prácticos, los tratamientos 4H-70 y 2H-30 son estrategias eficientes, aunque con objetivos diferentes. El tratamiento 4H-70 es ideal para maximizar la acumulación total de biomasa en sistemas donde las defoliaciones son menos frecuentes y en sistemas donde se pueden utilizar cargas instantáneas altas. En cambio, el tratamiento 2H-30 resulta más adecuado para garantizar un flujo constante de forraje de alta calidad. En contraste, el tratamiento 2H-70 mostró ser menos eficiente debido al estrés excesivo sobre la pastura. Estos hallazgos destacan la importancia de ajustar el manejo de la defoliación según las condiciones climáticas y los objetivos específicos del sistema productivo.

En primavera, las intensidades altas (70%) superaron significativamente a las bajas (30%) en términos de TC, lo que se atribuye a la eliminación del material senescente o la inhibición de la etapa reproductiva, optimizando el uso de la luz y manteniendo la pastura en una fase de crecimiento activo. En este contexto, el tratamiento 2H-70 destacó como el más eficiente, no solo por su alta TC, sino también por alcanzar la mayor producción de forraje acumulado durante la estación (Tabla 10), siendo el único que mostró diferencias significativas en estos aspectos, frente al tratamiento 4H-30 de menor producción. La mayor producción de este tratamiento se explica por el equilibrio entre una defoliación frecuente, que permite un flujo continuo de hojas jóvenes y fotosintéticamente activas, y una intensidad alta que asegura la remoción de tejido envejecido, lo cual es fundamental para optimizar el uso de los recursos en primavera. Esto fue particularmente relevante en el contexto del año experimental, donde las condiciones de primavera estuvieron marcadas por un déficit hídrico. Estas condiciones climáticas favorecieron manejos que estimularon el rebrote activo, como los de alta

intensidad y penalizaron aquellos que priorizaron la acumulación de biomasa, como los de baja intensidad. En el caso de 2H-30, aunque la alta frecuencia promovió un flujo constante de tejido joven, la baja intensidad limitó la remoción de material menos funcional, lo que disminuyó la eficiencia del sistema. En el caso del tratamiento 4H-30 que mostró una acumulación significativamente menor de materia seca, refleja una eficiencia limitada en la utilización de los recursos disponibles. Estas observaciones coinciden con Fulkerson y Slack (1995), quienes mencionan que la baja intensidad limita la renovación del tejido fotosintético activo, reduciendo la capacidad competitiva y productiva del tapiz.

Las diferencias encontradas en el forraje desaparecido se alinean con los resultados de producción de forraje antes mencionados y reflejan las interacciones entre la frecuencia e intensidad del pastoreo, así como las condiciones estacionales. De acuerdo con los datos presentados (Figura 2), la mayor biomasa desaparecida se observa en el tratamiento 4H-70, lo que indica que estrategias de alta intensidad en conjunto con una menor frecuencia de pastoreo, conducen a un mayor consumo de forraje en invierno. Por otro lado, en primavera, las condiciones climáticas, como un aumento en la temperatura y la disponibilidad de luz, estimulan la actividad fotosintética y el crecimiento vegetal. Otra condición que se da en la pastura en primavera es la inducción floral con el alargamiento de los entrenudos y el cambio en el ápice de crecimiento, favoreciendo mayores TC, con una mayor eficiencia en el uso de la radiación (Parsons & Robson, 1980). Esto reduce la presión de pastoreo relativa y contribuye a que las diferencias en el forraje desaparecido entre tratamientos no sean significativas (figura 3), ya que todos los sistemas tienden a aprovechar mejor el forraje abundante de esta estación.

La composición botánica mostró cambios significativos entre estaciones, destacando las dinámicas estacionales y su impacto en la estructura del tapiz. Durante el invierno, la proporción de festuca fue significativamente mayor en comparación con la primavera (Tabla 12). Este resultado evidencia que la festuca logra mantener su dominancia en el tapiz bajo las condiciones climáticas del invierno, caracterizadas por temperaturas moderadas y una menor competencia por parte de otras especies. En primavera, sin embargo, se observó un incremento en la proporción de restos secos, lo que indica una mayor acumulación de material muerto o no productivo. Este fenómeno está asociado con la senescencia natural de la festuca y una menor capacidad de rebrote durante esta estación, afectado además por la falta de agua en esos meses del año experimental (Fulkerson & Slack, 1995).

Según los resultados, no se detectaron diferencias significativas entre las frecuencias de defoliación tanto en invierno como en primavera (Tablas 10 y 11). Sin embargo, las intensidades altas (70%) redujeron los restos secos, lo que evidencia un manejo eficiente en la eliminación de material senescente. Por otro lado, los tratamientos de baja intensidad (30%) mostraron una mayor acumulación de material senescente, especialmente en primavera (Tabla 14), lo que podría comprometer la calidad del forraje y la competitividad del tapiz a largo plazo (Heitschmidt et al., 1987).

En invierno, la combinación de baja frecuencia y alta intensidad, como 4H-70, mostró la mayor proporción de festuca y la menor cantidad de restos secos (Tabla 13). Este manejo, al combinar intervalos prolongados entre defoliaciones con una remoción intensa, permite la acumulación de biomasa activa de festuca y la reducción de tejido envejecido. En contraste, tratamientos como 2H-30, con alta frecuencia y baja intensidad, presentaron una menor proporción de festuca y mayor cantidad de restos secos. Esto

refleja que la alta frecuencia puede reducir la capacidad de recuperación del tapiz, mientras que la baja intensidad no permite una remoción eficiente del material muerto.

En primavera solo se observaron diferencias significativas en las proporciones de restos secos, repitiendo el mismo patrón del invierno entre los tratamientos 4H-70 y 2H-30. Esto refuerza que la baja intensidad limita la renovación del tejido fotosintéticamente activo, especialmente bajo condiciones climáticas adversas.

Estas dinámicas subrayan la importancia de ajustar la intensidad de defoliación para preservar la funcionalidad del tapiz y la disponibilidad de forraje de alta calidad, particularmente bajo condiciones climáticas variables.

El manejo adaptativo es esencial para abordar estas diferencias estacionales.

Durante el invierno, el enfoque debería estar en mantener la dominancia de la festuca mediante un manejo cuidadoso de la defoliación, con frecuencias largas e intensidades altas. En primavera, se requiere un manejo que reduzca la acumulación de restos secos y minimice la competencia de malezas, posiblemente mediante intensidades más altas de defoliación o cortes más frecuentes, lo que permitiría mejorar la calidad del forraje disponible y mantener un equilibrio favorable en la composición botánica del tapiz. Estas observaciones subrayan la importancia de ajustar las prácticas de manejo según las condiciones estacionales para maximizar tanto la calidad del forraje como la sostenibilidad del sistema.

Los resultados obtenidos en cuanto a la cobertura del suelo reflejan la influencia de la frecuencia e intensidad del pastoreo en la dinámica de los componentes del tapiz forrajero. En invierno (Tabla 15), la mayor proporción de material verde en la frecuencia 4H en comparación con 2H puede estar relacionada con una mejor recuperación del forraje entre defoliaciones, ya que una menor frecuencia de pastoreo en esta época permite que las plantas dispongan de un intervalo más prolongado para reponer reservas energéticas y sintetizar nuevos tejidos fotosintéticos. Esto favorece la acumulación de biomasa y la persistencia de la pastura. En contraste, el tratamiento 2H mostró un mayor porcentaje de suelo descubierto, lo que sugiere que periodos más cortos de defoliación logran una menor cobertura del suelo debido a un menor desarrollo de los componentes.

La mayor proporción de suelo descubierto con altas intensidades de pastoreo de 70% en comparación con intensidades de 30% son consecuencia de una remoción más intensa del forraje, lo cual reduce la cobertura vegetal y genera un mayor riesgo de erosión de suelo, así como también la pérdida de humedad por evaporación lo cual puede comprometer la sobrevivencia estival de la festuca. Sin embargo, la menor cantidad de restos secos en la intensidad del 70% sugiere que este manejo favorece una mayor tasa de renovación de biomasa, minimizando la acumulación de material senescente y promoviendo la calidad del forraje remanente (Carámbula, 2003).

En primavera (Tabla 16), la ausencia de diferencias significativas en el material verde entre frecuencias puede deberse a una mayor capacidad de recuperación del forraje en esta estación, cuando las condiciones climáticas promueven un crecimiento más acelerado y una mayor eficiencia en la captación de luz. Sin embargo, el mayor porcentaje de suelo descubierto en la frecuencia 2H sugiere que, periodos cortos de recuperación pueden generar parches de menor cobertura debido a la heterogeneidad del rebrote y la competencia entre macollos (Briske & Richards, 1995).

Desde la perspectiva de la interacción entre frecuencia e intensidad, la combinación 2H-70 mostró el mayor porcentaje de suelo descubierto en ambas estaciones, lo que confirma que un pastoreo menos espaciado combinado con una alta intensidad de defoliación puede generar una mayor exposición del suelo y aumentar el riesgo de degradación del tapiz forrajero. Por otro lado, la combinación 4H-30 presentó los valores más bajos de suelo descubierto en primavera, lo que sugiere que una estrategia de pastoreo menos frecuente y menos intensa puede ser más efectiva para mantener la cobertura vegetal y la estabilidad del sistema pastoril en el tiempo.

La cobertura del suelo es un indicador clave de sostenibilidad en los sistemas pastoriles, ya que contribuye a la conservación del agua y la prevención de la degradación del suelo. Formoso (2010) resalta que la preservación de la cobertura vegetal uniforme no solo protege contra la erosión, sino que también mejora la capacidad de infiltración y la conservación de la estructura del suelo.

Los resultados de número de macollos vegetativos con el que finalizaron el experimento están alineados en cierta medida con los datos de cobertura de suelo, los mayores valores fueron logrados por los pastoreos menos frecuentes, es decir cuando la pastura tiene un mayor tiempo de recuperación después del pastoreo. Por el contrario, un pastoreo más frecuente genera una mayor presión sobre la pastura lo que determina un menor número final de macollos debido a la muerte de estos por falta de recursos (Briske & Richards, 1995). Estos datos son claves para definir las medidas de manejo que permitan una menor degradación del tapiz y por lo tanto una mayor sobrevivencia estival y persistencia de la pastura.

7 Conclusiones

Los resultados de este estudio confirman que la frecuencia e intensidad de defoliación ejercen un impacto significativo sobre la productividad, la composición botánica y la cobertura del suelo en pasturas de festuca. Las dinámicas estacionales y las condiciones climáticas fueron determinantes en la respuesta de la pastura, destacándose la importancia de adaptar las estrategias de manejo según los objetivos productivos y las características ambientales. En invierno, las combinaciones de baja frecuencia con alta intensidad (4H-70) y alta frecuencia con baja intensidad (2H-30) demostraron ser efectivas para maximizar la acumulación de biomasa y la tasa de crecimiento, mientras que en primavera, solo hubo diferencias significativas entre los tratamientos 2H-70 y 4H-30, donde el primero resultó ser la estrategia más eficiente para maximizar la producción de forraje. Sin embargo, este tratamiento puede comprometer la persistencia del tapiz a largo plazo, resaltando la necesidad de equilibrar la productividad inmediata con la sostenibilidad del sistema.

La composición botánica y la cobertura del suelo evidenciaron patrones diferenciados entre estaciones, subrayando la relevancia de las intensidades altas en la renovación del tejido fotosintéticamente activo y la minimización de restos secos. Estas prácticas son esenciales para mantener la funcionalidad del tapiz y la calidad del forraje, al tiempo que se protege el suelo contra la erosión y se favorece la sostenibilidad del sistema.

En este sentido la hipótesis de que el tratamiento 2H-70 lograra mayores producciones de forraje fue parcialmente acertada, si bien las intensidades altas fueron las que se destacaron en ambas estaciones, la frecuencia baja solo logro mayor producción en primavera, en invierno fue la más baja siendo la frecuencia larga junto con alta intensidad (4H-70) la de mayor producción.

En cuanto a la composición botánica no se observaron grandes diferencias entre tratamientos que puedan aceptar la hipótesis planteada

Para la cobertura de suelo la hipótesis si fue aceptada, siendo el tratamiento 4H-30 el que logro menor proporción de suelo descubierto con respecto a los demás tratamientos, tal como se había planteado.

Recomendación practica: el tratamiento que combina frecuencias largas (4H) con alta intensidad (70%) es el que logro mejores indicadores considerando tanto la productividad como la estructura y composición de la pastura.

En síntesis, este trabajo resalta la importancia de ajustar el manejo de defoliación a las condiciones estacionales y los objetivos productivos, integrando estrategias que prioricen tanto la eficiencia productiva como la conservación de los recursos naturales. Este enfoque adaptativo es clave para garantizar la viabilidad de los sistemas pastoriles a largo plazo.

8 Bibliografía

- Almeida González, M., & Tarán Alderete, L. S. (2022). *Producción de festuca Arundinacea cv. inia aurora bajo dos manejos de defoliación, diferentes estrategias de fertilización y regímenes hídricos durante verano y otoño* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/42206/1/AlmeidaMicaela.pdf>
- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol. I: Clasificación de suelos*. MAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/carta_de_reconocimiento_de_suelos_Tomo_I.pdf
- Ayala, W., Bemhaja, M., Cotro, B., Docanto, J., García, J., Olmos, F., Real, D., Rebuffo, M., Reyno, R., Rossi, C., & Silva, J. (2010). *Forrajeras: Catálogo de cultivares 2010*. INIA. <https://www.inia.org.uy/productos/cvforrajeras/catalogo2010.pdf>
- 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/7426/1/DC-UEPP-octubre-2017-1.pdf>
- Azanza Brancato, A., Panissa, R. J., & Rodríguez, H. (2004). *Evaluación de la fertilización nitrogenada de campo natural bajo pastoreo de vacunos en el período primaveral* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Barthram, G. T., Bolton, G. R., & Elston, D. A. (1999). The effects of cutting intensity and neighbour species on plants of *Lolium perenne*, *Poa annua*, *Poa trivialis* and *Trifolium repens*. *Agronomie*, 19(6), 445-456. <https://hal.science/hal-00885943v1/document>
- 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>
- Brougham, R. W. (1956). Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. *Australian Journal of Agricultural Research*, 7(5), 377-387.

- Cairús Banchemo, M. C., & Regusci Brunninghausen, M. A. (2013). *Producción invierno-primaveral de mezclas forrajeras de tercer año bajo pastoreo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1681/1/3811cai.pdf>
- Carámbula, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajes: Vol. 1. Potenciales y alternativas para producir forraje* (Vol. 1). Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2003). *Pasturas y forrajes: Vol. 2. Insumos, implantación y manejo de pasturas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2004). *Pasturas y forrajes: Vol. 3. Manejo, persistencia y renovación de pasturas*. Hemisferio Sur.
- Davies, A. (1988). The regrowth of grass swards. En M. B. Jones & A. Lazenby (Eds.), *The grass crop: The physiological basis of production* (pp. 85-127). Chapman and Hall.
- Demagnet, R. F., Canseco, C. M., Reyes, A. R., & Cantero, E. M. (2007). *Técnicas de manejo de pastoreo para praderas permanentes*. Universidad de La Frontera.
https://praderasypasturas.com/documentos/120.-Publicaciones_divulgativas/6.-%20Plan%20Lechero%20Watt%20b4s/2006.06.06.%20T%20a9cnicas%20de%20manejo%20de%20pastoreo%20para%20praderas%20permanentes.pdf
- Donaghy, D. J., & Fulkerson, W. J. (1998). Priority for allocation of watersoluble carbohydrate reserves during regrowth of *Lolium perenne*. *Grass and Forage Science*, 53(3), 211-218. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1998.00129.x>
- Durán, A., & García Préchac, F. (2007). *Suelos del Uruguay: Origen, clasificación, manejo y conservación*. Hemisferio Sur.
- Equipo del Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes & Técnicos Sectoriales del Equipo de Transferencia de Tecnología y Comunicación. (2019). Cuatro pasos para asegurar la persistencia productiva de festuca y dactylis. *Revista INIA*, (58), 9-12. <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-58-Setiembre-2019-p-12.pdf>
- Escuder, C. (1997). Manejo de la defoliación: Efecto de la carga y métodos de pastoreo. En C. Cangiano (Ed.), *Producción animal en pastoreo* (pp. 65-83). INTA. Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”. (s.f.). *Annual climatological summary*. <http://meteorologia.eemac.edu.uy/NOAAPRYR.TXT>

- Favaro Artagaveytia, R., & De Mattos Espinosa, J. (2019). *Efecto de tres intensidades de defoliación estacionales en una pradera a base de Festuca arundinacea, sobre la distribución horizontal de la pastura* [Trabajo final de grado, Universidad de la Republica]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29478/1/FavaroArtagaveytiaRodrigo.pdf>
- Fernández, E. (1999). Impacto económico de prácticas de manejo en invernada intensiva. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de ganadería intensiva* (pp. 29-32). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12260/1/UY.INIA.1999.SAD.no.213.Jornada-de-Ganaderia-Intensiva.pdf>
- Formoso, B. (1995). Les changements liés à la création d'un périmètre irrigué dans le Nord-Est Thaïlandais. En C. Blanc-Pamard & L. Cambrézy (Eds.), *Terre, terroir, territoire: Les tensions foncières* (pp. 167-180). Orstom.
- Formoso, F. (1996). Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. En D. F. Risso, E. J. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas* (pp. 1-19). INIA.
- Formoso, F. (2000). Manejo de la alfalfa para producción de forraje. En M. Rebuffo, D. F. Risso, & E. Restaino (Eds.), *Tecnología en alfalfa* (pp. 53-74). INIA.
- Formoso, F. (2010). *Festuca arundinacea, manejo para producción de forraje y semillas*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2529/4/18429081210150440.pdf>
- Fulkerson, W. J., & Slack, K. (1995). Leaf number as a criterion for determining defoliation time for Lolium perenne: 2. Effect of defoliation frequency and height. *Grass and Forage Science*, 50(1), 16-20. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1995.tb02289.x>
- Grant, S. A., Barthram, G. T., & Torvell, L. (1981). Components of regrowth in grazed and cut Lolium multiflorum swards. *Grass and Forage Science*, 36(3), 155-168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1981.tb01552.x>
- Harris, W. (1978). Defoliation on as a determinant of the growth persistence of pasture. En J. R. Wilson (Ed.), *Plants relations in pastures* (pp. 67-85). CSIRO.
- Heitschmidt, R. K., Dowhower, S. L., & Walker, J. W. (1987). 14-vs. 42-Paddock rotational grazing: Aboveground biomass dynamics, forage production, and harvest efficiency. *Journal of Range Management*, 40(3), 216-223. <http://hdl.handle.net/10150/645267>

- 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://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29536/1/HerkenGuillermo.pdf>
- Hodgson, J. (1990). *Grazing management: Science into practice*. Longman.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). *Festuca: Estanzuela Tacuabé*.
<https://catalogoforrajas.inia.uy/gramineas/gramineas-perennes/festuca/estanzuela-tacuabe/>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Tablas estadísticas*.
<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
- Jáuregui, J. M., Michelini, D. F., Baudracco, J., Berhongaray, G., & Lattanzi, F. (2018, 19-21 de marzo). *Sistemas radicales más grandes no incrementan la supervivencia estival de macollos de festuca alta* [Contribución]. VI Congreso AUPA, Tacuarembó.
- Jáuregui, J. M., Michelini, D. F., Sevilla, G. H., Berhongaray, G., Berone, G. D., Baudracco, J., Chilibroste, P., Agnusdei, M. G., & Lattanzi, F. A. (2024). Tall fescue tiller survival over summer in a subtropical environment: The role of the size and depth of root systems. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 210(1), Artículo e12682. <https://doi.org/10.1111/jac.12682>
- Kaufononga, S., Donaghy, D., Hendriks, S., Matthew, C., Kemp, P., & Cranston, L. (2017). Comparative response of tall fescue and perennial ryegrass swards to variation in defoliation interval and height. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 60(4), 363-375.
- Korte, C., Watkin, B., & Harris, W. (1984). Effects of the timing and intensity of spring grazing on reproductive development, tillering and herbage production of perennial ryegrass dominant pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 27(2), 135-149.
- Langer, R. H. M. (1981). *Las pasturas y sus plantas*. Hemisferio Sur.
- L'Huillier, P. (2012). Tiller appearance and death of *Lolium perenne* in mixed swards grazed by dairy cattle at two stocking rates. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 30(1), 15-22. <https://doi.org/10.1080/00288233.1987.10430472>
- Maddaloni, J., & Ferrari, L. (2001). *Forrajas y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina*. Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

- Matthew, C., Assuero, S. G., Black, C. K., & Hamilton, R. N. S. (2000). Tiller dynamics of grazed swards. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. Moraes, C. Nabinger, & P. C. F. Carvalho (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 127-150). CABI.
- Mazzanti, A., Lemaire, G., & Gastal, F. (1994). The effect of nitrogen fertilization upon herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep: 1. Herbage growth dynamics. *Grass Forage Science*, *49*(2), 111-120.
- 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>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario 2023*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUARIO2023WEB.pdf>
- Parsons, J. (1998). The effect 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.
- Parsons, A. J., Harvey, A., & Woledge, J. (1991). Plant-animal interactions in a continuously grazed mixture: 1. Differences in the physiology of leaf expansion and the fate of leaves of grass and clover. *Journal of Applied Ecology*, *28*(2), 619-634.
- Parsons, A. J., & Penning, P. D. (1988). The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science*, *43*(1), 15-27.
- Parsons, A. J., & Robson, M. J. (1980). Seasonal changes in the physiology of S24 perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): 1. Response of leaf extension to temperature during the transition from vegetative to reproductive growth. *Annals of Botany*, *46*(4), 435-444. <https://www.jstor.org/stable/42756687>
- Perrachón, J. (2009). Manejo del pasto. *Revista del Plan Agropecuario*, (130), 42-45.
- Pineiro, J., & Harris, W. (2012). Performance of mixtures of ryegrass cultivars and prairie grass with red clover cultivars under two grazing frequencies: I. Herbage production in the establishment year. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *21*, 83-92. <https://doi.org/10.1080/00288233.1978.10427386>

- Saccoccia, M. (2017). *Demografía y acumulación de materia seca de festuca alta (Festuca arundinacea Schreb.) y agropiro alargado (Thinopyrum ponticum) con diferentes manejos de la defoliación* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires]. Repositorio digital Unnoba. https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/435/TF_G_SACCOCCIA%20Matias%20Jose.pdf?is
- Saldanha, S., Boggiano, P., & Cadenazzi, M. (2010). Intensidad del pastoreo sobre la estructura de una pastura de Lolium perenne cv Horizon. *Agrociencia*, 14(1), 44-54. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v14n1/v14n1a07.pdf>
- Scheneiter, J. O. (2018). El manejo del pastoreo para optimizar la productividad de pasturas de festuca alta. En J. Lavandera, A. C. Novarese, & E. Pacente (Comps.), *18ª. Reunión Anual de Forrajeras: Festuca alta: Distribución, utilización y mejoramiento* (pp. 15-28). INTA. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/4115/INTA_CRBs_AsNorte_EEAPergamino_Lavandera_Javier_xviii_reunion_anual_sobre_forrajeras_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Valentine, I., & Matthew, C. (1999). Plant growth, development and yield. En J. G. H. White & J. Hodgson (Eds.), *New Zealand pasture and crop science* (pp. 11-27). Oxford University.
- Zanoniani, R., Ducamp, F., & Bruni, M. Á. (2003). *Utilización de verdes de invierno en sistemas de producción animal*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/66-verdeos.pdf