

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**CAMBIOS EN LAS VARIABLES ESTRUCTURALES POR EFECTO DE LA
INTENSIDAD Y FRECUENCIA DEL PASTOREO Y LA INCIDENCIA EN LA
PRODUCTIVIDAD EN FESTUCA**

Por

Juan Manuel ORDOÑEZ MAY

**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 – Sin Obra Derivada**”.



Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. PhD. Javier García Favre

Tribunal:

Ing. Agr. PhD. Javier García Favre

Ing. Agr. Mag. Felipe Casalás

Ing. Agr. Dr. Andrés Locatelli

Fecha:

9 de mayo de 2025

Estudiante:

Juan Manuel Ordoñez May

Agradecimientos

En primer lugar, a mi tutor Ing. Agr. Javier García Favre, por guiarme a lo largo de este proceso. Su apoyo a sido fundamental para la realización de este trabajo.

A mis compañeros Gastón Camacho y Facundo Larzabal, con quienes compartí el trabajo de campo durante el experimento.

A mi familia por su constante motivación y por acompañarme en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

Página de aprobación.....	3
Agradecimientos	4
Lista de tablas y figuras.....	7
Resumen	8
Abstract	9
1. Introducción.....	10
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivos generales.....	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
2. Revisión bibliográfica	13
2.1 Características del cultivo de festuca	13
2.2 Descripción Morfofisiológica	14
2.3 Efectos del pastoreo.....	14
2.4 Frecuencia e intensidad del pastoreo.....	20
2.5 Efectos en el macollaje	23
2.6 Efectos en la floración	27
2.7 Productividad de la festuca	29
2.8 Efecto de la luz.....	33
2.9 Efecto de la temperatura	35
2.10 Efecto del agua.....	39
3. Hipótesis	42
4. Materiales y métodos	43
4.1 Condiciones experimentales	43
4.1.1 Ubicación y extensión del trabajo	43
4.1.2 Descripción del sitio experimental	43
4.1.3 Tratamientos.....	43
4.1.4 Diseño experimental	44
4.1.5 Condiciones climáticas	44
4.1.6 Balance hídrico.....	46
4.2 Variables que se determinaron.....	46
4.2.1 Tamaño de los macollos	46

4.2.2 Numero de macollos	47
4.2.3 Efecto de la estructura sobre la interceptación de la radiación y el IAF	47
4.2.4 Altura del forraje disponible	49
4.2.5 Trabajo en laboratorio.....	49
4.2.6 Manejo del pastoreo	49
5. Resultados.....	50
5.1 Producción de biomasa de las parcelas por estación.....	50
5.2 Respuesta en la evolución del tamaño y numero de macollos de festuca en pastoreos contrastantes	50
5.2.1 Evolución del tamaño	50
5.2.2 Numero de macollos en estado vegetativo y reproductivo	52
5.3 Relación entre el IAF y el %PAR interceptado antes y después del pastoreo	53
6. Discusión	56
7. Conclusiones.....	63
8. Referencias bibliográficas	64
9. Anexo	72

Lista de tablas y figuras

Tabla No.

Tabla N° 1 Balance hídrico para los meses del experimento	46
Tabla N° 2 Efecto de la intensidad y frecuencia de pastoreo sobre variables morfológicas en invierno.....	50
Tabla N° 3 Efecto de la intensidad y frecuencia de pastoreo sobre variables morfológicas en primavera	51
Tabla N° 4 Comparación del número de macollos vegetativos en dos frecuencias e intensidades de pastoreo en invierno.....	52
Tabla N° 5 Comparación de macollos vegetativos y reproductivos en dos frecuencias e intensidades de pastoreo en primavera	53
Tabla N° 6 Relación entre el IAF y %PAR interceptado en dos manejos contrastantes del pastoreo en invierno.....	54
Tabla N° 7 Relación entre el IAF y %PAR interceptado en dos manejos contrastantes del pastoreo en primavera.....	54

Figura No.

Figura N° 1 Efecto del suministro de recursos en la eficiencia del forraje en un pastizal	16
Figura N° 2 Crecimiento y diferenciación de láminas en la base foliar y su flujo tras el corte	17
Figura N° 3 Esquema de la producción primaria y cosechable en gramíneas según la duración foliar.....	22
Figura N° 4 Relación entre peso y densidad de brotes en praderas de Raygrás perenne pastoreadas.....	24
Figura N° 5 Análisis del crecimiento vegetal según el suministro de nitrógeno y agua.....	30
Figura N° 6 Relación entre las variables morfogenéticas y las características estructurales de la pradera	31
Figura N° 7 Tasa de extensión foliar según temperatura media en el ápice y extensión de hojas	36
Figura N° 8 Relación entre distribución espacial, absorción de agua y crecimiento de hojas en festuca alta.....	39
Figura N° 9 Relación entre deposición de materia seca, carbohidratos solubles y absorción de agua en festuca alta	40
Figura N° 10 Precipitaciones y temperaturas promedio de 2023 y serie histórica de 29 años	45
Figura N° 11 Relación entre el IAF y la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (PAR)	55

Resumen

Esta tesis aborda el impacto de los diferentes manejos de la defoliación en intensidad y frecuencias contrastantes sobre la productividad de *Festuca arundinacea* var. *Estanzuela Tacuabé*, una gramínea perenne importante en los sistemas pastoriles en Uruguay. Los objetivos incluyeron cuantificar los cambios en la estructura vegetativa en la festuca por pastoreos contrastante en intensidad y frecuencia, y el impacto en el manejo de la floración. Este estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, donde se combinaron dos frecuencias de pastoreo (2 y 4 hojas) y dos intensidades de defoliación (30% y 70%) en un diseño en bloques completos al azar. Los resultados mostraron que una menor intensidad de pastoreo (30%) tuvo un efecto positivo en el peso de las láminas y macollos, en comparación con intensidades mayores (70%). De manera similar, frecuencias de pastoreo bajas (4 hojas) favorecieron un mayor peso en contraste con frecuencias altas (2 hojas). En general, un manejo menos intensivo del pastoreo promovió la recuperación y crecimiento foliar. Sin embargo, las altas intensidades y frecuencias de pastoreo (2H 70) resultaron de un mayor número total de macollos. Además, menores frecuencias de pastoreo aumentaron el IAF disponible y el %PAR interceptado, mientras que frecuencias e intensidades altas redujeron estos valores. Este estudio destaca el efecto de las prácticas de manejo y la importancia de ajustar el pastoreo a las condiciones estacionales para maximizar la productividad y eficiencia del sistema.

Palabras clave: Festuca arundinacea, productividad, defoliación, pastoreo, asignación de forraje

Abstract

This thesis addresses the impact of different defoliation management strategies, varying in intensity and contrasting frequencies, on the productivity of *Festuca arundinacea* var. Estanzuela Tacuabé, a key perennial grass in pastoral systems in Uruguay. The objectives included quantifying changes in the vegetative structure of tall fescue under contrasting grazing intensities and frequencies, as well as assessing the impact on flowering management. This study was conducted at the Dr. Mario A. Cassinoni Experimental Station, where two grazing frequencies (2 and 4 leaves) and two defoliation intensities (30% and 70%) were combined in a randomized complete block design. The results showed that lower grazing intensity (30%) had a positive effect on leaf and tiller weight compared to higher intensities (70%). Similarly, lower grazing frequencies (4 leaves) resulted in greater weight compared to higher frequencies (2 leaves). Overall, a less intensive grazing management approach favored foliar recovery and growth. However, higher grazing intensities and frequencies (2H 70) led to a higher total number of tillers. Additionally, lower grazing frequencies increased available LAI and intercepted %PAR, while higher grazing frequencies and intensities reduced these values. This study highlights the effect of management practices and the importance of adjusting grazing strategies to seasonal conditions to maximize system productivity and efficiency.

Keywords: *Festuca arundinacea*, productivity, defoliation, grazing, forage allocation

1. Introducción

La producción de carne vacuna en el Uruguay tiene como base la producción de forraje del campo natural. Una de las limitantes del campo natural es que tiene una estacionalidad productiva marcada por una mayor productividad en la primavera y verano, y menor en el invierno, haciendo de una baja estabilidad en la oferta de forraje durante el año. A esto se le suma la situación actual de competencia y globalización de los mercados que obliga impulsar el proceso productivo de manera eficiente y sostenible. Es así como resulta importante la inclusión de la base forrajera, incluyendo mayores proporciones de pasturas (mejoras y verdes) con un aumento en el potencial productivo y persistencia, aplicando medidas de manejo adecuadas y reduciendo los riesgos derivados de malezas, plagas y enfermedades (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], s.f.). Es por ello que la introducción de pasturas sembradas tiene como objetivo central aumentar la productividad en los momentos en que el campo natural produce menor cantidad de forraje y así tener una mayor estabilidad dentro del sistema. Sin embargo, uno de los desafíos que se enfrenta en Uruguay es la baja persistencia de leguminosas y gramíneas perennes en las diversas regiones y tipos de suelos en el país (Zarza et al., 2013).

La persistencia de las pasturas sembradas es un componente clave en los sistemas de producción animal sostenible basado en pasturas, dado que aumenta la rentabilidad, disminuye el impacto en el ambiente y otorga resistencia a escenarios climáticos desafiantes (Jáuregui et. al., 2024).

Aunque los diferentes tipos de suelo son cruciales en estos aspectos, el clima, específicamente la falta de agua durante el verano demuestra un desafío al potencial de producción de las diferentes forrajeras. A esto se le suma el crecimiento continuo de la agricultura en los últimos años, que ha desplazado a la ganadería a zonas con menor potencial productivo, ubicada sobre suelos más marginales (Zarza et al., 2013).

En el ejercicio 2021/22 el total de mejoramientos forrajeros se sitúa en los 2,76 millones de ha. De las cuales 1 millón de hectáreas (ganadera y agrícola-ganadera) corresponden a praderas (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2023).

Un estudio observó que, en términos generales, el establecimiento de las gramíneas perennes es bajo respecto a los cultivos agrícolas. En ambos casos, el establecimiento se aproxima al 30% en los 90 días del primer año (García-Favre et al., 2017).

Asimismo, en cuanto al uso de gramíneas perennes, se concluyó que, para lograr un buen establecimiento y una adecuada población de plantas, no se debe incluir gramíneas anuales en la mezcla. Esto se debe a que su mayor vigor inicial y competitividad reducen significativamente el establecimiento de las perennes (García-Favre et al., 2017).

Por esta razón, se destaca la importancia de promover y favorecer la implantación y establecimiento de las gramíneas perennes cuando de una mezcla se trata. Es por ello que se desarrollará y profundizará en la *Festuca arundinacea*.

Esta es un componente importante de fibra para la dieta de los rumiantes, lo que complementa muy bien en una mezcla con leguminosas y además constituye la base productiva en el invierno.

Como indica el Equipo del Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes y el Equipo de Transferencia de Tecnología y Comunicación (2019), la festuca cuando la comparamos con pasturas de ciclo corto de duración, ésta puede perdurar varios años y así, brindar forraje de menor costo, ofrecer mayor estabilidad en la disponibilidad de forraje, y mejorar la salud del suelo de manera significativa. Esto lleva a pensar que, las pasturas largas son una herramienta eficaz para incrementar la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas pastoriles de producción animal.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos generales:

Este trabajo tiene como objetivo general cuantificar los cambios en la estructura vegetativa en la festuca por pastoreos contrastantes en intensidad y frecuencia, y el impacto en el manejo de la floración.

1.1.2 Objetivos específicos:

Los objetivos específicos son determinar el tamaño de macollos y número en festuca sometida a intensidades y frecuencias de defoliación contrastantes, estimar la incidencia

de la estructura en festuca en la intercepción de la radiación y el IAF, y cuantificar cómo defoliaciones contrastantes afectan el número de macollos florales y macollos vegetativos al final de la primavera.

2. Revisión bibliográfica

2.1 Características del cultivo de festuca

La festuca es una gramínea perenne invernifolia, de metabolismo fotosintético C₃, con hábito de crecimiento cespitoso a rizomatoso (con rizomas muy cortos), que pertenece a la familia Poaceae. Esta forrajera es de respuesta fotoperiódica de día largo, es decir, cuando se alarga el fotoperiodo, la tasa de crecimiento relativa y la tasa de asimilación neta aumentan (Gibson & Newman, 2001). A su vez presenta a nivel de composición química de la materia seca un 19,8% de proteína cruda y 14,6% de carbohidratos solubles, proporcionando un 66,2% de digestibilidad (Gibson & Newman, 2001).

Asimismo, presenta la capacidad de generar forraje temprano en el otoño y a finales de invierno, comportándose como una pastura temprana de larga duración. Está muy bien adaptada a diversos ambientes en Uruguay y es una de la gramínea más utilizada. Cuando se incluye junto a leguminosas, además de aumentar el valor nutritivo de la mezcla, también aumenta la producción de materia seca (Carámbula, 1977).

Esta especie se caracteriza por presentar una lenta implantación, dado que las plántulas tienen un crecimiento poco vigoroso debido a la baja movilización de reservas de la semilla. Como contrapartida al crecimiento poco vigoroso de la festuca, se da el crecimiento de malezas anuales con un vigor inicial mayor (Carámbula, 2002).

Por lo tanto, para disminuir el riesgo de tener pérdida de plántulas debido a la competencia con las malezas o especies forrajeras de alto vigor inicial que crecen en el mismo sitio, es fundamental manejar adecuadamente el pastoreo (Carámbula, 2002).

Una de las principales limitaciones para la persistencia de especies forrajeras templadas, en climas cálidos-templados y subtropicales, es la combinación de altas temperaturas y una intensa demanda evaporativa durante el verano. En tales condiciones, la festuca alta puede superar a otras gramíneas templadas (Jáuregui et al., 2024). Por otro lado, la persistencia vegetativa de las gramíneas depende del equilibrio entre la dinámica de aparición y mortalidad de los macollos (Matthew & Sackville-Hamilton, 2011).

Una medida para tener en cuenta para minimizar el crecimiento de las malezas es la mezcla consociada con otras especies forrajeras que complementen bien con la festuca.

En el caso de las siembras en conjunto con cereales, estos afectan negativamente al crecimiento e implantación de la festuca (Carámbula, 1977).

2.2 Descripción Morfofisiológica:

Tiene una lígula coroniforme de 0.5 a 1 mm de alto y las aurículas de 0.5 a 2 mm. La panoja es la inflorescencia y esta es laxa, y presenta en cada espiguilla 3 a 10 flores (Carámbula, 1977 como se cita en Gorriti Isern & Pérez del Castillo Raquet, 1998).

Asimismo, presenta un sistema de raíces denso y fibroso que constituye un sistema radicular extenso capaz de absorber agua a más de 1 metro de profundidad del suelo (Garwood & Sinclair, 1979).

Además, los rizomas son cortos, esto hace que no tenga capacidad de acumular muchas reservas. Por lo que las defoliaciones deben ser poco intensas para permitirle tener una alta área foliar remanente y así poder recuperarse (Gorriti Isern & Pérez del Castillo Raquet, 1998).

Los macollos se originan a partir de yemas axilares de las plántulas. Estas yemas axilares en condiciones ambientales favorables forman nuevas macollas (Carámbula, 2002).

Las macollas son generalmente extra vaginal, rolliza o poco comprimida. Asimismo, se identifican por tener una lámina plana, donde la cara exterior es brillante, con nervadura media finamente gruesa y cara inferior con numerosas nervaduras prominentes. Tiene una prefoliación convolutada, con ciliis muy cortas en el cuello y aurículas. Cuenta con una lígula coroniforme de 0.5 a 1 mm de alto (Rosengurtt et al., 1960).

2.3 Efectos del pastoreo:

En praderas sometidas a pastoreo, la biomasa de los brotes se mantiene en un equilibrio dinámico influenciado por tres procesos principales: el crecimiento, la senescencia y el consumo animal. El índice de área foliar (IAF) de la pradera está directamente relacionado con el balance que se establece entre estos flujos, mientras que este índice determina la cantidad de carbono que se incorpora al sistema (Lemaire & Chapman, 1996). En este contexto, el peso de una macolla depende del número de hojas, su

longevidad y del tamaño de estas. Estas variables dependen de la tasa de aparición foliar, la tasa de extensión foliar y la duración de la hoja (Vida media foliar) siendo estas determinadas tanto genéticamente como por factores ambientales (Carámbula, 2002). Las especies con alta tasa de aparición foliar tienden a tener hojas cortas con alta densidad de brotes, mientras que las especies con baja tasa de aparición foliar (TAF) tienden a hojas más largas y con baja densidad de brotes (Lemaire et al., 2009).

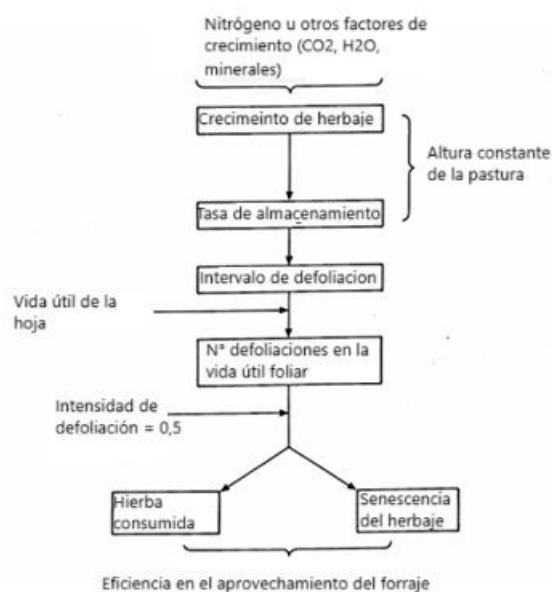
El manejo de pastoreo tiene impacto en los hábitats para diversas plantas, microorganismos del suelo, insectos y aves (Dumont et al., 2020). Una disminución en la intensidad del pastoreo durante todo el año provoca beneficios sobre la biodiversidad al aumentar la heterogeneidad del pastizal y los recursos tróficos (Dumont et al., 2020). Más específicamente sobre la composición y perennidad de las especies vegetales que se encuentran influenciadas por el pastoreo (Matches, 1992). En efecto un aumento en la intensidad y frecuencia del pastoreo puede provocar una alteración sobre la abundancia relativa de las especies en un pastizal (Carrère et al., 2001). Este manejo tiene impacto negativo sobre los niveles de producción por unidad de área, por lo que existe un marcado conflicto entre la producción y la biodiversidad (Dumont et al., 2020).

Asimismo, la defoliación también es un evento que influye sobre la estructura de un pastizal a través de la altura de la pastura, como también en la densidad de las hojas y la distribución espacial de diferentes especies forrajeras (Carrère et al., 2001).

El crecimiento del forraje está definido por una serie de factores ambientales, como son la luz, disponibilidad de agua, nutrientes del suelo, temperatura, entre otros como se muestra en la figura N°1. En esta, se observa que la altura de la pastura depende del crecimiento, la tasa de almacenamiento y manejo del pastoreo, los cuales, a su vez, determina la proporción de forraje consumido y senescente a según intensidad del pastoreo y vida útil de la hoja.

Figura N° 1

Efecto del suministro de recursos en la eficiencia del forraje en un pastizal



Nota. Tomado de Lemaire y Chapman (1996).

Dentro de un pastizal que se encuentra en estado vegetativo, en las capas superiores del dosel se ubican las hojas, mientras que las vainas y el material senescente se encuentran en las capas inferiores. Por lo tanto, en los pastizales con el aumento de la altura respecto al suelo disminuye la densidad del material vegetal, mientras que el material muerto y los restos secos se concentran en la base de la planta (Marriott & Carrère, 1998). Esta distribución del material vegetal influye en las características morfofisiológicas de las pasturas y en su manejo bajo pastoreo, ya que la forma en cómo se disponen los macollos con respecto al suelo, la capacidad de formación de nuevos macollos y la duración del largo del ciclo están interrelacionadas (Zanoniani et al., 2003).

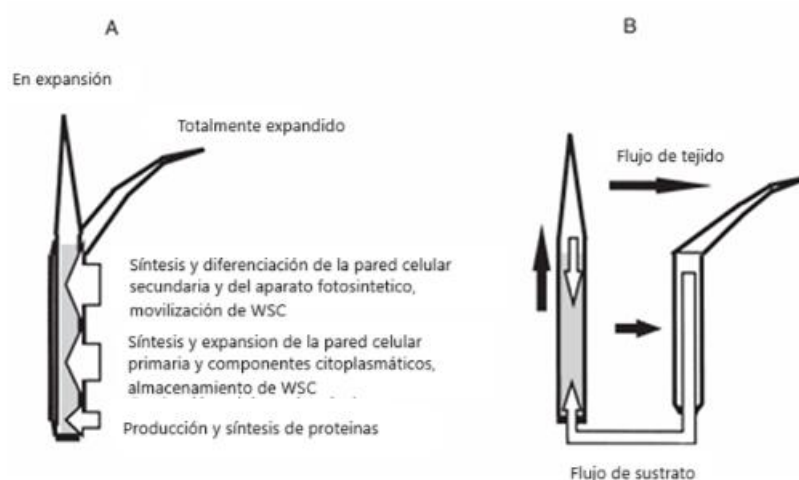
Estas características son de relevancia a la hora de elegir una especie o variedad forrajera, ya que influyen no solo en su capacidad de producir y distribuir forraje, sino también, en la forma en cómo deben ser manejadas para maximizar su potencial productivo. A medida que avanza la producción de forraje se incrementa la acumulación de materia seca con el tiempo (Zanoniani et al., 2003).

La figura N°2 muestra cómo es que se da el flujo de tejidos en un pastizal. Como se observa, cuando las láminas alcanzan una determinada altura, quedan expuestas al

pastoreo. Además, se identifican las etapas que ocurren durante el crecimiento de un macollo, incluyendo el crecimiento de la hoja en lo que refiere a la multiplicación celular y posterior expansión de estas, así como la diferenciación del componente estructural de los tejidos de una hoja. En este sentido, en las gramíneas, el crecimiento de las láminas se da en la región basal de la hoja, que se encuentra rodeada dentro de la vaina de la hoja más vieja (Schnyder et al., 2000).

Figura N° 2

Crecimiento y diferenciación de láminas en la base foliar y su flujo tras el corte



Nota. Tomado de Schnyder et al. (2000).

Como se puede ver, durante la etapa vegetativa, un macollo se clasifica según su grado de desarrollo en hojas en expansión y hojas totalmente expandidas. Una vez que la hoja se extendió totalmente, entra en la categoría "B" de hoja completamente expandidas. El flujo de carbono (C) es inversamente proporcional a la dirección de flujo de tejido. El suministro de C a la zona de crecimiento y diferenciación de la hoja, representado por el área sombreada, proviene tanto de la región expuesta de las hojas en expansión como de las hojas expandidas completamente (Schnyder et al., 2000).

Por lo tanto, este proceso de crecimiento está acompañado por cambios en la distribución de la biomasa estructural. Al analizar la variación espacial de la concentración de la materia seca estructural, MacAdam y Nelson (1987) identificaron una dilución de la biomasa estructural a medida que los tejidos se expanden.

Asimismo, el crecimiento y desarrollo de la pastura dependen del número y peso de los macollos, los cuales determinan la producción total del sistema. Al inicio, este crecimiento sigue una relación exponencial con incrementos decrecientes y positivos entre el material verde/seco, hasta llegar al punto en el cual esta relación se torna equilibrada. Cuando la luz termina siendo un factor limitante como resultado de la acumulación de materia seca, la planta cambia a un hábito de crecimiento más erecto, alargando tanto las láminas como las vainas. Esta situación conduce a un aumento en la proporción vaina/lamina y una reducción en el macollaje, acompañado de una disminución en la relación material verde/seco (Zanoniani et al., 2003).

Cuando no se realizan cortes por pastoreo, y continua el crecimiento de las pasturas en el tiempo, hace que las macollas más desarrolladas alarguen sus entrenudos, y como consecuencia pueden alcanzar las condiciones necesarias para que se dé la inducción floral. Estas situaciones mencionadas resultan de la elevación de las yemas apicales, inhibiendo el macollaje de aquellas yemas axilares que todavía no se diferenciaron en potenciales macollos, también ocurren menores proporciones de hojas verdes respecto a las senescentes, y la acumulación de la biomasa vegetal de mejor calidad nutritiva en los estratos superiores de la pastura, disminuyendo la calidad del forraje próximo al suelo (Zanoniani et al., 2003).

En el momento en el que el animal entra a pastorear se presentan diferentes condicionantes en función de la etapa del ciclo en la que se encuentra la pastura. Cuanto más desarrollada este la pastura, la calidad disminuye, por lo que en ese momento al entrar a pastorear ocurrirá una mayor selectividad por parte del animal, quedando un remanente de menor calidad (Zanoniani et al., 2003).

Los distintos sistemas de pastoreo provocan distintas presiones de pastoreo sobre las plantas, ya que las diferentes frecuencias e intensidades de defoliación provocan resultados variables en el tamaño de plantas (Cullen et al., 2005). El porcentaje de utilización de una pastura aumenta directamente con el incremento en la presión del pastoreo, aunque eso lleve como consecuencia a menores ganancias individuales (Formoso et al., 2013).

En la medida que aumenta el porcentaje de utilización, la altura y calidad del forraje rechazado disminuye, dándose una relación inversa entre la eficiencia de crecimiento y utilización del forraje, disminuyendo la tasa de crecimiento en tapices pastoreados

severamente y logrando una alta eficiencia de utilización. La eficiencia de utilización del forraje disminuye con el incremento en la asignación de forraje, dándose una relación inversa entre el consumo de forraje por animal y la eficiencia de utilización de forraje (Formoso et al., 2013).

La eficiencia del pastoreo es un equilibrio entre optimizar la intercepción de la luz por las hojas y cosechar el tejido foliar antes de la senescencia. Esto debería de lograrse cuando cada hoja individual se cosecha justo antes de su senescencia, después de una duración de la hoja que corresponde aproximadamente al punto en el que se alcanza la tasa máxima de acumulación promedio de pasto (Parsons et al., 1988).

Además, el manejo del pastoreo influye sobre la densidad radicular. Aunque existen variaciones interespecíficas, un pastoreo intensivo reduce la densidad radicular (Gastal & Durand, 2000). Cortes frecuentes reducen el tamaño y la extensión del sistema radicular de la planta, lo que afecta la absorción de agua y a su vez disminuye la tolerancia a la sequía dado que la planta no puede acceder a suficiente agua durante los periodos secos (Gibson & Newman, 2001). Evans (1970, 1977, como se citan en Hunt y Easton, 1989) estudió en profundidad el sistema radicular y la influencia que tiene el clima y el manejo. Concluyó que una única defoliación provoca una disminución rápida en la elongación de las raíces y una posterior recuperación gradual. Cuando se dan defoliaciones frecuentes, aumenta la depresión en la elongación de las raíces, presentando también como consecuencia la muerte del sistema radicular. Asimismo, los cambios estacionales pueden tener un mayor impacto sobre la biomasa radicular respecto a la intensidad de pastoreo (Matthew et al., 1991).

Por otro lado, la tolerancia frente a la falta de agua en el suelo se encuentra asociada a grandes sistemas radiculares, por lo tanto, es un rasgo relevante que explicaría la persistencia vegetativa en las pasturas (Jáuregui et al., 2024). En el estudio realizado por Jáuregui et al. (2024) se observó que los cambios estacionales tienen efecto sobre el crecimiento y desarrollo radicular. Se percibió una disminución de la biomasa radicular entre la primavera y el otoño, donde las mayores diferencias se encontraron entre los 0 a 10 cm y también entre los 10 a 40 cm de profundidad en el suelo. Se demostró que esta disminución estacional en la biomasa radicular se dio en mayor medida en parcelas de pastoreo intenso respecto a parcelas donde el pastoreo fue laxo.

No obstante, es fundamental considerar el manejo de las especies en el pastoreo, su relación con el sistema radicular y la susceptibilidad de la festuca a los factores de estrés climático, haciendo especial énfasis en la limitación hídrica del suelo (Formoso, 2010).

Los sistemas radiculares profundos y funcionales retrasan el estrés ocasionado por la falta de agua, dado que proporcionan un suministro constante de agua durante los periodos de sequías, lo que refuerza la capacidad de las plantas para evitar la deshidratación en ambientes secos durante el verano. La profundidad de las raíces puede contribuir a resolver el conflicto entre el crecimiento y la supervivencia a la falta de agua durante el verano en plantas sin dormición, al acceder a capas más profundas de suelo húmedo. La capacidad para mantener una extracción de agua por parte de las raíces profundas, durante el desarrollo de déficits hídricos se ha relacionado con la capacidad de sobrevivir veranos secos en festuca alta y en falaris (Jáuregui et al., 2024).

En una comparación con otras siete especies de gramíneas del complejo *Lolium-Festuca*, esta última demostró tener el mayor número y peso de raíces a una profundidad de 50-100 cm en el suelo. Lo que indica que *F. arundinacea* tiene un sistema radicular más desarrollado en comparación con el de otras gramíneas estudiadas a esa profundidad. Un sistema radicular más grande y pesado se relaciona con una mayor capacidad para absorber agua y nutrientes, proporcionando ventajas en términos de crecimiento y resistencia a condiciones adversas, como es el caso de la sequía (Gibson & Newman, 2001).

2.4 Frecuencia e intensidad del pastoreo:

La frecuencia de pastoreo define el intervalo de tiempo entre pastoreos sucesivos, mientras que la intensidad del pastoreo se refiere a la altura remanente que queda luego de cada corte. A su vez, la intensidad de defoliación tiene influencia marcada sobre el componente vertical, es decir, sobre la altura de una pastura (Carrère et al., 2001).

Por otro lado, en una pradera sometida a un régimen intensivo de defoliación, resultan favorecido la aparición de nuevos macollos en las gramíneas, lo que resulta en una mayor producción de forraje durante el verano en comparación con tratamientos de defoliación más laxos (Black & Chu, 1989).

De esta manera, la frecuencia con que los macollos y las láminas son defoliados, en relación con la vida media foliar de la hoja, determina la proporción de cada hoja defoliada antes de la senescencia y por tanto la eficiencia de cosecha del forraje. Además, la frecuencia de defoliación de macollos y laminas individuales, está relacionado a la densidad de ganado promedio utilizado durante un periodo de tiempo para mantener una altura determinada (Índice de área foliar) (Lemaire & Chapman, 1996).

Por lo tanto, cualquier reducción en la tasa de crecimiento del forraje conlleva a una disminución de la eficiencia de cosecha, lo que, a su vez, reduce el consumo total del rumiante. Estos efectos son más importantes en especies que tienen una vida media foliar de la hoja menor respecto a aquellas especies que tienen una hoja con vida media foliar más larga (Lemaire et al., 2009). La persistencia de una pastura mejora cuando se evita el pastoreo excesivo durante el verano.

Cuando no se realizan pastoreos intensos en el verano se incrementa la persistencia de una pastura (Brougham, 1970). En efecto, la durabilidad de los cultivos forrajeros basados en gramíneas perennes depende del mantenimiento de las poblaciones de macollos. Si cada macollo no se reemplaza en la siguiente temporada de crecimiento, la población disminuye (Cullen et al., 2005).

Figura N° 3

Esquema de la producción primaria y cosechable en gramíneas según la duración foliar



Nota. (—) Producción primaria; (---) Producción cosechable para un genotipo con larga vida de las hojas; (- - -) Producción cosechable para un genotipo con corta vida de las hojas. Tomado de Lemaire y Chapman (1996).

En la figura N°3 se observa que la producción primaria supera la fracción de forraje utilizable por el rumiante (producción cosechable). Cuando un genotipo presenta una vida media foliar (VMF) corta, la utilización del forraje es menor, sin embargo, el tiempo necesario para alcanzar el rebrote máximo es menor en comparación con un genotipo de VMF larga. En cambio, para los genotipos de VMF larga, requieren un mayor número de días para el rebrote, pero acumulan una mayor biomasa aérea en contraste con aquellos de menor longevidad foliar.

La senescencia y la longevidad de las hojas se ven afectadas por la temperatura de manera similar a la TAF. Así, en un estado de equilibrio, se establece un balance entre la aparición y la senescencia de las hojas, logrando un número máximo de hojas vivas por macollo (Lemaire & Chapman, 1996). Durante el invierno, las láminas presentan una mayor

longevidad, mientras que en la primavera y en el verano esta disminuye (Chapman et al., 1984).

Por lo tanto, el mejor momento para iniciar el pastoreo, es aquel en el que no se genere un desequilibrio entre el material verde y seco (Zanoniani et al., 2003).

Además, es importante destacar que existen muchos aspectos sobre los cuales es importante conocer la estructura de un tapiz de una pastura, dado que estas repercuten sobre el consumo animal (García, 1995). Las características estructurales del tapiz de una pastura, sobre todo la altura y densidad, tienen marcada influencia en el consumo a través del efecto sobre el consumo por bocado (Formoso et al., 2013).

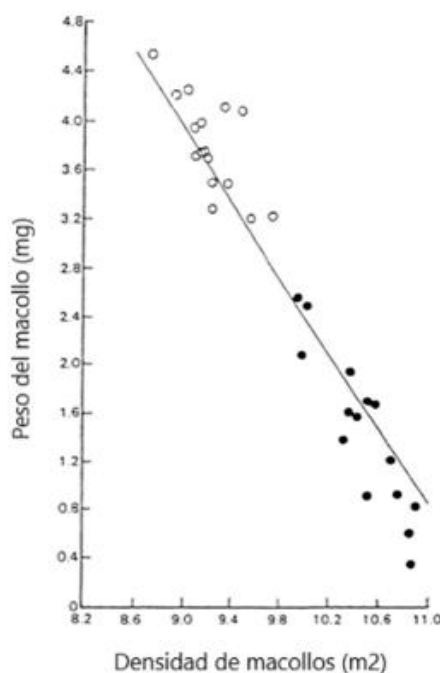
En un experimento realizado en la Estanzuela con el cv. Tacuabé, se determinó que la producción de forraje en el otoño es mayor cuando no se pastorea en primavera-verano. Sin embargo, al aumentar la intensidad de cortes en el verano, la producción otoñal de forraje disminuye drásticamente. Además, cuando se dejan rastrojos de 3 cm por cortes intensivos en el verano, se ve afectada negativamente la producción de forraje invernal (Formoso, 2010).

2.5 Efectos en el macollaje:

El peso individual de los macollos varia por distintas razones, como puede ser el manejo de la defoliación, el sombreado entre macollos, la temperatura, la disponibilidad de recursos como el agua y el N, existiendo también variaciones entre las especies. En este último caso la TAF determina en gran medida la estructura de una pradera. Cuando comparamos la TAF entre *Lolium perenne* y *Festuca arundinacea*, podemos apreciar una mayor TAF en *Lolium perenne* con respecto a la *Festuca arundinacea*. Esto implica una mayor densidad de macollos, pero de menor tamaño en *Lolium* y menor densidad de macollos de mayor tamaño en *Festuca* (Lemaire & Chapman, 1996).

Figura N° 4

Relación entre peso y densidad de brotes en praderas de Raygrás perenne pastoreadas



Nota. Se pastoreo el 30 de junio - 17 de noviembre ○, 15 de julio – 4 de setiembre ●.

Tomado de Davies (1988).

En la figura 4, se destaca una relación inversamente proporcional entre el número y el peso de los macollos en una amplia gama de especies de plantas (Parsons & Chapman, 2000). Es decir, a medida que aumenta la densidad de macollos, su peso disminuye. En este caso, se observa una cierta plasticidad en la relación entre la densidad y peso de los brotes, lo que indica que hay determinada compensación entre ambos factores. Sin embargo, esta plasticidad presenta límites (Parsons & Chapman, 2000).

En otro estudio, se analizó el efecto de diferentes manejos de pastoreo sobre la estructura de una pradera y el desarrollo reproductivo de *Lolium perenne* en junio. En este estudio, se vio como aumentaba el número de macollos por m² cuando se realizaban cortes antes del 7 de junio, mientras que este era menor cuando no se realizaban cortes hasta el 7 de junio (Johnson & Parsons, 1985, como se cita en Parsons & Chapman, 2000). Con este resultado se pudo ver como las pasturas pueden con misma tasa de crecimiento lograr diferentes combinaciones de tamaño y densidad de macollos. Además, se demostró que

es posible obtener rendimientos similares debido a estos mecanismos compensatorios que explican la similitud de rendimiento en manejos contrastantes generando estructuras totalmente distintas (Parsons & Chapman, 2000). No obstante, según Chapman y Lemaire (1993, como se cita en Parsons y Chapman, 2000) esta capacidad de compensación presenta límites.

En praderas sometidas a pastoreo continuo, la densidad de macollos está determinada principalmente por el índice de área foliar (IAF) de la pradera en estado estacionario. En este contexto, las praderas que han sido pastoreadas severamente presentan una mayor densidad de macollos que aquellas que fueron sometidas a un pastoreo más laxo (Grant et al., 1983). La plasticidad en la estructura producto de eventuales defoliaciones refleja mecanismos de compensación entre el tamaño de los brotes y la densidad de estos. Por ello, en pastizales que se defolian con alta frecuencia desarrollan brotes más pequeños y en mayor densidad, caso contrario a lo que sucede con una menor frecuencia de defoliación, donde los macollos son más grandes, pero se encuentran en menor densidad (Gastal & Lemaire, 2015).

Asimismo, en otros estudios se ha demostrado que la plasticidad estructural de un pastizal en respuesta a la defoliación permite adaptar la productividad del pastizal y la utilización del forraje junto con el comportamiento del pastoreo animal. En este sentido, para una biomasa similar, aquellos pastos que tengan una mayor relación lamina/vaina van a determinar un mayor consumo respecto a una menor relación lamina/vaina (Gastal & Lemaire, 2015).

Por otro lado, el mantenimiento de una alta tasa de macollamiento bajo defoliaciones frecuentes podría estar relacionado con la variación de la calidad de luz dentro del dosel, ya que la relación rojo/rojo lejano disminuye en estas condiciones (Deregibus et al., 1983).

En cuanto a la festuca alta, esta especie típicamente muestra un patrón de disminución de la densidad de macollos durante la primavera y el verano, seguido de una recuperación en otoño (Jáuregui et. al., 2024). En general, la densidad de macollamiento en especies invernales sigue un mismo patrón de comportamiento, donde se da el macollamiento en el otoño e invierno deteniéndose en la primavera y verano. En el caso del raigrás, la densidad del macollamiento aumenta en el invierno y disminuye luego de la floración,

mientras que la acumulación de macollos en el invierno aumenta con cortes más frecuentes (Hunt & Easton, 1989).

Por otro lado, el macollaje en la variedad Tacuabé muestra dos momentos diferenciados. La primera etapa, abarca desde el 1 de marzo hasta el 1 de junio y se distingue por una mayor tasa de formación de nuevas macollas en relación con la tasa de muerte de estas, lo que genera un aumento significativo en la población de macollos. Luego, en la segunda etapa, que se extiende desde el 1 de junio al 1 de setiembre, la intensidad de macollaje disminuye aproximadamente un 60% debido que se da el inicio de la diferenciación reproductiva de las macollas más desarrolladas. En agosto, antes de que la festuca inicie el alargamiento de los entrenudos, el cultivo alcanza la mayor densidad de macollos en toda la estación de crecimiento (Formoso, 2010).

Durante la segunda etapa del ciclo de la festuca (etapa reproductiva), se da la muerte de aquellas macollas que no alcanzaron a diferenciarse reproductivamente, por lo que en esta etapa no se mantiene el número máximo de macollos alcanzado en la última etapa de la fase vegetativa. Este fenómeno transcurre durante la fase reproductiva, debido a la competencia por factores abióticos y por metabolitos dentro de la planta (Formoso, 2010).

En relación con el manejo, en un ensayo trabajando con Kentucky 31, se estudió el efecto de los cortes cada 45 y 90 días en toda la estación de crecimiento. Los resultados mostraron que entre los 15 y 30 días después de cada corte, hay una disminución en la población de macollas vivas y un aumento del número de macollas muertas en el tapiz. No obstante, con dichas frecuencias de corte, entre los 30 y 45 días siguientes a los cortes, dependiendo de la época del año, se da la formación de nuevas macollas restableciéndose así el número. Este mismo efecto también fue reportado en la variedad Tacuabé (Formoso, 2010).

Finalmente, el verano representa el periodo con las menores poblaciones de macollas, lo que implica menores unidades de crecimiento, marcando un periodo crítico de alta susceptibilidad para la especie, en nuestras condiciones ambientales (Formoso, 2010).

Por otra parte, se ha comprobado que la aplicación de fertilizante nitrogenado (N) junto con el pastoreo intensivo al final del invierno, efecto conocido como “control de floración”, favorece la supervivencia de los macollos estivales en la festuca alta, al suprimir los macollos reproductivos (Jáuregui et al., 2024).

Asimismo, en un ensayo con una variedad de festuca llamada “El Palenque”, se determinó que la cantidad de luz que llega a la base del tapiz de la pastura influye directamente en la densidad de macollas. Para evaluar este efecto, el estudio consistió en entrar a pastorear desde alturas de 15 cm y retirar al ganado cuando el remanente llegaba a una altura de 8 cm. En contraste, se realizaron dos tratamientos adicionales: uno con corte mecánico sin retirar el forraje, manteniendo las mismas alturas que en el pastoreo con ganado, y otro sin intervención. Los resultados mostraron que la población de macollas en estos dos últimos tratamientos fue significativamente menor en comparación con el primero. Al analizar estos datos, se concluyó que la diferencia en la cantidad de luz incidente en la región basal del tapiz tiene un impacto directo en el macollaje (Formoso, 2010).

2.6 Efectos en la floración:

En el ciclo de crecimiento, anualmente, las macollas pasan por diferentes etapas las cuales están influenciadas por señales ambientales, principalmente la luz y temperatura (Formoso, 2010). En este sentido, los cambios en la fisiología de una pastura producto del cambio de estación, están asociados al desarrollo reproductivo y floración en la primavera. Dichos cambios tienen influencia en la duración en la cual puede el cultivo seguir acumulando materia seca, repercutiendo en el rendimiento alcanzado (Parsons & Chapman, 2000).

Cuando se produce la inducción floral, el tallo del macollo comienza a elongarse, dejando expuestas muchas zonas de crecimiento de las hojas y meristemas al herbívoro (Lemaire et al., 2000).

El primer indicio del desarrollo reproductivo es una aceleración en la producción de primordios de hojas y un alargamiento del ápice meristemático. Posteriormente, los primordios de las yemas axilares se desarrollan en las axilas de los primordios foliares más viejos, dándole al ápice una forma de “doble cresta” (Jewiss, 1993).

Como consecuencia de estos cambios en el ápice meristemático, se generan divisiones y expansiones celulares en los entrenudos de los tallos más jóvenes, lo que hace que se extienda el tallo verdadero y se eleve la inflorescencia en desarrollo a través de la vaina. Además, los macollos que se forman en otoño e invierno, así como los que provienen del

año anterior, tienen una mayor capacidad en los meristemos apicales para procesar y traducir estas señales, lo que desencadenan el inicio del desarrollo reproductivo, en comparación con los meristemos de macollos formados más tardíamente. Por otro lado, los pastoreos intensos en el otoño e invierno reducen la superficie foliar por meristemo apical, lo que en efecto disminuye la energía y vigor de las plantas. A su vez, esto afecta negativamente la capacidad de las plantas para procesar señales ambientales, impactando adversamente la producción de semillas en la primavera siguiente, resultando en un menor número y tamaño de las panojas. Por otro lado, durante el transcurso del otoño hacia el invierno, donde las temperaturas bajan, la disponibilidad global de forraje disminuye, si a esto le sumamos el aumento de la frecuencia e intensidad de pastoreo, provoca limitaciones a nivel del rendimiento de semilla en la primavera siguiente (Formoso, 2010).

En primavera, se dan aumentos en la producción de materia seca, alcanzando la mayor producción total anual, pero también ocurren cambios en la estructura de la pastura y pérdidas en la calidad del forraje (Parsons & Chapman, 2000). Previo al pastoreo, al ocurrir altas masas de forraje lleva a una caída en la producción de macollos, por lo que junto a la muerte de los macollos conduce a una disminución en la densidad de población, lo que a largo plazo resulta en una menor productividad del pastizal (Virkajärvi, 2004).

El manejo del pastoreo influye significativamente en la expresión del desarrollo reproductivo, además de afectar el crecimiento y la utilización de la pastura. La floración es un evento que se activa cuando las plantas son expuestas a un período de temperaturas frescas. No obstante, este estímulo inducido por el frío no se transfiere entre las distintas partes de la planta. Por lo tanto, en primavera, la floración queda limitada exclusivamente a los macollos que lograron superar el invierno y percibir dicho estímulo. Esto demuestra que el manejo del pastoreo tiene impacto en la proporción de macollos que florecen en relación a los macollos que no florecen, principalmente al afectar el número de nuevos macollos vegetativos producidos en el transcurso de la primavera. Por lo tanto, mantener una altura baja del área foliar en la primavera, hace que aumente el número de macollos vegetativos (Parsons & Chapman, 2000).

Por otro lado, un estudio demostró que la producción potencial de forraje se maximiza en otoño e invierno cuando la festuca se maneja para semillas en la primavera, manteniéndose imperturbado el rastrojo durante el transcurso del verano (Formoso, 2010).

2.7 Productividad de la festuca

El rendimiento de una pradera, así como el crecimiento de las pasturas, dependen de la interacción entre el genotipo y el ambiente (Durand et al., 1991).

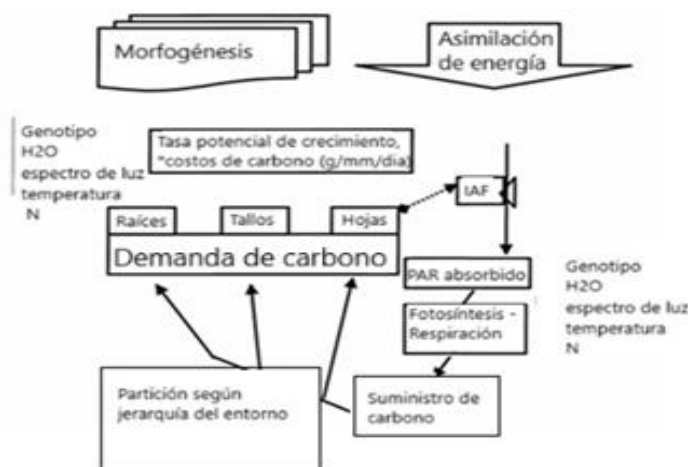
La tasa neta de crecimiento está determinada por el índice de área foliar (IAF). En este sentido, la tasa neta de acumulación de forraje es máxima en valores de IAF de entre 3 a 5. En valores de IAF más bajos, la tasa neta de crecimiento se encuentra limitada por la intercepción de la radiación, mientras que en IAF más altos, la tasa de crecimiento se encontraría limitada por la respiración de aquellos órganos que se encuentran sombreados, ubicados en la parte inferior del dosel, así como por la pérdida de tejidos por la senescencia. Además, la defoliación de los animales en presencia de órganos envejecidos y senescentes disminuye, por eso cuando hay un alto valor de IAF disminuye la utilización del forraje (Gastal & Lemaire, 2015).

El crecimiento foliar implica la división y posterior expansión de las nuevas células, además de la deposición de materiales como la celulosa, que aumenta la dureza y masa de las paredes celulares. Cada proceso, como la TAF, TEF y VMF, son afectados de distinta manera por factores como la luz, temperatura, los nutrientes especialmente el nitrógeno y el manejo de la defoliación (Parsons & Chapman, 2000).

Por otro lado, la morfogénesis depende, de la genética de la especie que se trate, de las condiciones climáticas como así también del tipo de suelo donde se encuentre ubicada la pradera. En particular, las características morfogenéticas como es la TEF están sujetas a costos energéticos que marcan una determinada demanda de carbono. Esa demanda de carbono se suple a través de la fotosíntesis y despolimerización de las reservas almacenadas en determinados órganos de la planta (Gastal & Durand, 2000).

Figura N° 5

Análisis del crecimiento vegetal según el suministro de nitrógeno y agua



Nota. Las flechas continuas indican el flujo de carbono; LAI: Índice de área foliar; PAR: radiación fotosintéticamente activa. Elaborado por Gastal y Durand (2000).

Como se puede observar en la figura 5, la fotosíntesis del dosel de una planta está determinado por el IAF, el cual depende de la expansión de las hojas (Gastal & Durand, 2000). Se puede observar una retroalimentación entre lo que es la oferta y demanda de carbono, y como el ambiente y el genotipo, influye en todos los procesos como ya se mencionó anteriormente. La demanda de carbono se distribuye entre los tres segmentos de una planta (hojas, tallos y raíces) en un orden jerárquico de importancia, priorizando aquellos segmentos dependiendo del estado del desarrollo en el cual se encuentre la pastura y de las condiciones del ambiente del momento (Durand et al., 1991).

Por otro lado, en un estudio se mostró las variaciones en la composición botánica de una pastura bajo pastoreo en otoño-invierno-primavera sobre el consumo animal. Se observó que, en otoño e invierno la cantidad de forraje disponible de la *Festuca arundinacea* fue mayor (54%) respecto a la primavera (41%) pero el rendimiento en toneladas de MS/ha fue menor (2.2 t MS/ha frente a 4.4 t MS/ha). Del mismo modo, el rechazo del animal hacia la pastura fue menor (28%) en la estación otoño-invierno respecto a la primavera donde el rechazo fue mayor (50%) (Risso & Cibils, 1995, como se cita en Risso et al., 1996).

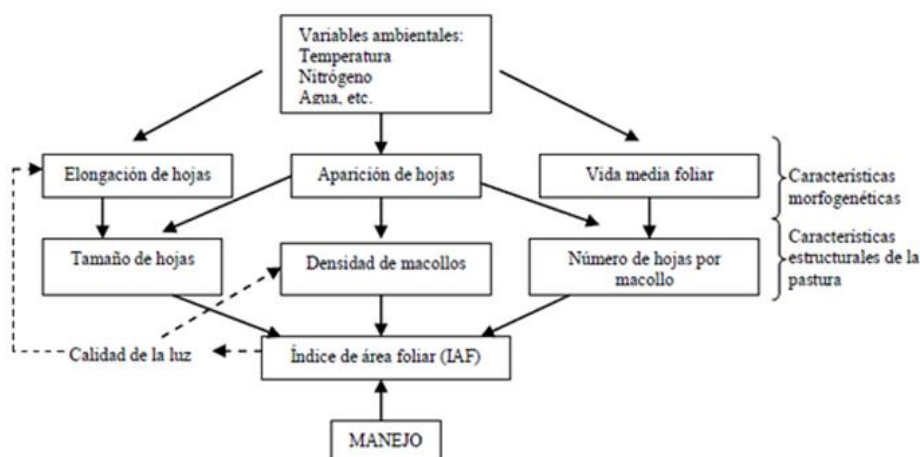
Además, se ha demostrado que el manejo de la defoliación en otoño, asociado con un suministro adecuado de N podría aumentar de manera importante la aparición de macollos

durante el invierno y el crecimiento posterior de la pradera en cultivos de *Festuca arundinacea* (Lemaire & Culleton, 1989).

En una pradera la unidad básica en la producción de forraje en las gramíneas es el macollo. Tanto la densidad poblacional como el tamaño individual de los macollos forman la masa de forraje. Asimismo, los factores morfogénéticos que determinan la estructura de un macollo, como la TAF, TEF y TSF o VMF, son claves a la hora de definir la masa de los macollos en pastizales vegetativos (Virkajärvi, 2004).

Figura N° 6

Relación entre las variables morfogénéticas y las características estructurales de la pradera



Nota. Elaborado por Favaro y De Mattos (2019).

En la figura N°6, se observa que la tasa de aparición foliar (TAF) tiene un rol central en la morfogénesis de la planta, ya que impacta directamente en cada uno de los tres componentes que conforman la estructura de la pastura. Por otro lado, la tasa de expansión foliar se ve afectada directamente por la temperatura y se ve modificada por la nutrición nitrogenada para las gramíneas templadas (Lemaire & Chapman, 1996).

Diversos estudios han demostrado que, independientemente del efecto de la defoliación o de la intensidad y calidad de la luz, la TAF de un macollo disminuye en el transcurso de su desarrollo. Este efecto se explica por un aumento en la longitud de la vaina y la lámina foliar. Este aumento en la longitud de la vaina contribuye a disminuir la TAF de manera limitada (Gastal & Lemaire, 2015).

El tiempo que una hoja tarda en expandirse no solo define el tamaño de la hoja, sino también el de los macollos producidos. Cuanto mayor es el tiempo de elongación foliar, las hojas y los macollos son más grandes en *Festuca arundinacea* respecto a *Lolium perenne*, pero en la primera el número de macollos por unidad de área de suelo va a ser menor (Parsons & Chapman, 2000).

La productividad de la festuca se da a través de la producción de nuevas hojas, el crecimiento de las hojas existentes y el macollaje. En este último caso, el tallo verdadero de un macollo puede ramificar y así formar nuevos macollos. Cada vez que el ápice meristemático diferencia nuevas hojas, también se genera un meristemo axilar que se encuentra en la axila de la hoja (Jewiss, 1993).

En este sentido, cuando una yema axilar se activa, puede diferenciarse en un macollo potencial, lo que da lugar a la formación de macollos secundarios a partir de las yemas axilares. Este evento produce un aumento exponencial en la formación de macollos y hojas, aunque este sujeto a restricciones respecto al número y tamaño de los macollos que se puedan sostenerse por unidad de área del suelo (Parsons & Chapman, 2000). Así, dado que cada hoja posee una yema axilar en su base, la TAF también marca límites al macollaje (Davies, 1988; Nelson, 1996).

Por otro lado, un manejo racional del pastoreo en el transcurso del otoño-invierno, período anterior a la fecha de cierre de la festuca destinada a la producción de semillas, en condiciones climáticas normales, no tiene efecto en los rendimientos de las semillas, ni en las tasas de rebrote después de la cosecha de semillas. Sin embargo, en el período postcosecha, el manejo de la defoliación puede tener un gran impacto en la producción de forraje de verano y, posteriormente, en el otoño-invierno siguiente. Cuando el manejo de primavera está orientado hacia la producción de semillas, las mayores producciones de forraje en el otoño-invierno siguiente se obtienen cuando en verano se mantiene el rastrojo intacto, disminuye cuando éste es cortado dejando material residual de 10 cm y se ve muy afectado cuando se defolia hasta alturas de rastrojo de 3 cm (Formoso, 2010).

Finalmente, un experimento determinó que la contribución de la festuca al rendimiento total de las mezclas es menor en comparación con las leguminosas. Se observó que, al reducir la frecuencia de los cortes de 30 a 45 días, el rendimiento de la festuca no se ve significativamente afectado. En cambio, el rendimiento de leguminosas como la alfalfa y el lotus, que presentan un porte más arbustivo, aumenta (Formoso, 2010).

2.8 Efecto de la luz:

La luz es un recurso vital, la cual permite que se lleve a cabo la fotosíntesis en la planta y se formen nuevas células, dándose la expansión de las hojas y crecimiento de los macollos (Volenec & Nelson, 1981). Cuando ocurren bajas intensidades de radiación, disminuye la fotosíntesis, pero para compensar, en la pastura se da la expansión de las hojas (Parsons & Chapman, 2000).

Es importante destacar que tanto la distribución de la parte aéreas de las plantas como su geometría están determinadas por la estructura del dosel, y tienen una incidencia importante en la intercepción de luz y la fotosíntesis (Marriott & Carrère, 1998). Además, los cambios en la arquitectura de la planta provocado por defoliaciones o competencia por luz podrían resultar de modificaciones en el desarrollo ontogénico, en el crecimiento y/o en la morfogénesis (Gautier et al., 1999).

Cuando se altera la calidad de la luz dentro del dosel, resultan afectadas diversas variables morfogenéticas, es decir, aspectos del desarrollo individual de los macollos como son la tasa de elongación foliar y la tasa de macollamiento. Como consecuencia, esto impacta en las características de la pradera, particularmente en la densidad y el tamaño de los macollos (Deregibus et al., 1983).

A medida que las plantas crecen, el ambiente lumínico de las hojas en crecimiento cambia, con una reducción de la radiación y en la relación rojo/rojo lejano. No obstante, cuando se realizan cortes en las pasturas, la radiación aumenta, al igual que el ambiente espectral de la luz (relación rojo/rojo lejano). Estos cambios en el ambiente lumínico provocan cambios morfogenéticos en las gramíneas (Gautier & Varlet-Grancher, 1996).

La radiación aumenta tanto la tasa de aparición de hojas como la tasa de macollamiento (Mitchell, 1953). En consecuencia, la sombra no solo afecta la cantidad de luz que llega a las hojas y meristemas axilares, sino también la calidad de la radiación. Este cambio en la calidad de la radiación se produce por una disminución de las longitudes de onda del rojo. Por lo tanto, una relación baja de luz rojo/rojo lejano afecta negativamente el macollamiento y por lo tanto la formación de nuevos macollos (Parsons & Chapman, 2000).

Las pasturas, al posicionar las hojas en los estratos superiores donde se encuentra la franja de pastoreo, emplean esta estrategia para competir por luz y así obtener una mayor

capacidad de captación. Sin embargo, esto aumenta la vulnerabilidad de la pastura a las defoliaciones por parte de los herbívoros. Por lo tanto, existe un equilibrio competitivo entre capturar luz y evitar la defoliación. En este sentido, las plantas de habito de crecimiento erecto y que a su vez presentan una mayor altura, tienen ventajas competitivas en la captura de radiación solar, pero son más vulnerables a la cosecha por parte de los animales, lo que trae como consecuencia que pierdan más tejidos foliares respecto a plantas con habito de crecimiento postrado (Marriott & Carrère, 1998).

La defoliación produce efectos directos e indirectos en la morfogénesis de los macollos, especialmente sobre la intercepción de la radiación por parte de las pasturas. En este caso, disminuye la intercepción dada la eliminación de parte del área foliar lo que ocasiona como consecuencia una reducción de la tasa fotosintética de la planta y por lo tanto se produce una caída de la tasa de crecimiento. Indirectamente, la defoliación tiene impacto sobre la composición espectral de la luz dentro de la pastura, lo que a su vez afecta la morfogénesis de los macollos (Gastal & Lemaire, 2015).

Para un determinado IAF, las propiedades ópticas y geometría de la hoja definen una determinada eficiencia de absorción de la radiación que va a tener una planta. En la *Festuca arundinacea*, frente a un déficit hídrico severo, las hojas se enrollan lo que conduce a una disminución en el IAF y por lo tanto en la intercepción de la radiación (Lemaire et al., 2000).

La producción de nuevos tejidos y por lo tanto el rendimiento de un cultivo forrajero, dependen de la fotosíntesis. Este proceso ocurre cuando las hojas verdes interceptan la radiación incidente, lo que da lugar a la fotólisis del agua y, como consecuencia, a la producción de energía necesaria para fijar CO₂ y obtener azúcares simples. De esta manera, se construye la materia seca, lo que finalmente determina el rendimiento (Parsons & Chapman, 2000).

Por otro lado, como efecto contrario a la fotosíntesis, ocurre la respiración oxidativa en los cultivos, donde se oxidan los azúcares simples para la producción de energía necesaria para el metabolismo. Como resultado, se libera CO₂ y agua (Parsons & Chapman, 2000).

Cuando las láminas se encuentran bien iluminadas y sin ninguna limitante en cuanto a recursos ambientales como N, agua, temperatura adecuada, el equilibrio entre la

fotosíntesis/respiración es positivo. Esto hace que la producción de azúcares supere a la respiración de éstos, y se acumulan en la planta (Parsons & Chapman, 2000).

En situaciones donde la intensidad lumínica es baja, el balance entre la fotosíntesis y la respiración oxidativa es más estrecha, hasta un punto en el cual, la fotosíntesis neta es igual a cero. En escenarios aún más extremos, cuando la intensidad de luz es aún más baja, el balance fotosíntesis/respiración se vuelve negativo, dándose una situación de carbono negativo en la planta, dado que en vez de acumularse los azúcares, estos son oxidados por la respiración en su totalidad (Parsons & Chapman, 2000).

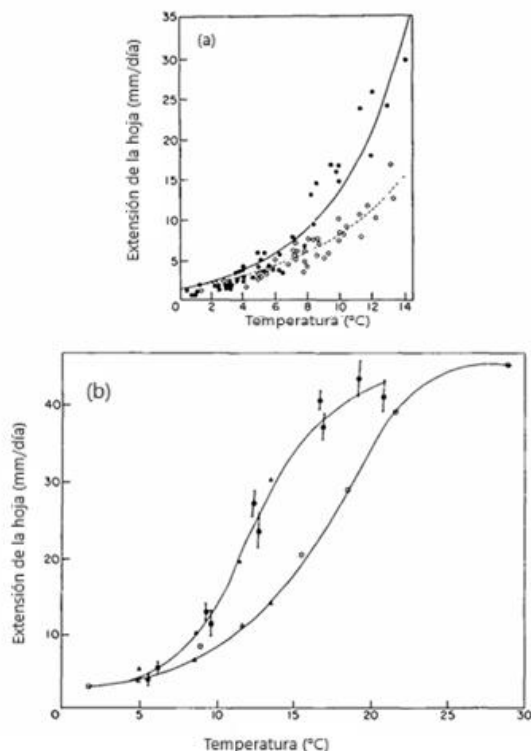
Para que la fotosíntesis en una pastura aumente la fijación de carbono, debe haber una distribución equilibrada de la radiación incidente en todo el dosel de la planta, en lugar de limitarse a una pequeña porción de área foliar. En el caso de la festuca, debido a su hábito de crecimiento erecto, la inserción alterna de las hojas en el canopeo permite una mejor distribución de la luz (Parsons & Chapman, 2000).

2.9 Efecto de la temperatura:

La temperatura es otro de los factores que influyen en el ambiente de crecimiento de las gramíneas forrajeras, afectando específicamente el crecimiento de las hojas y los macollos. En este sentido, un aumento de la temperatura entre los 5 a 20°C aumenta la tasa de aparición y tasa de extensión de las hojas (véase Figura N°7). Además, este factor del ambiente también influye en la tasa de extensión foliar (TEF) y, por consiguiente, en el tamaño de las hojas. En términos generales, las hojas expuestas a altas temperaturas aumentan la TEF, lo cual hace que se alarguen más rápidamente, por un periodo de tiempo más corto, alcanzando una longitud final superior a la de las hojas que crecen a bajas temperaturas. En estas condiciones, las hojas suelen ser más largas en comparación con su ancho, más finas y poseen una mayor proporción de láminas en relación con la vaina (Parsons & Chapman, 2000).

Figura N° 7

Tasa de extensión foliar según temperatura media en el ápice y extensión de hojas



Nota. (a) Tasa de extensión foliar (mm/día) trazadas en función de las temperaturas medias en la región del ápice del tallo en S24 en el campo en primavera (●), y en otoño (○) (b) Tasa de extensión de las hojas (mm/día) en función de la temperatura media de la región 16-21 de febrero de 1976 (●) (antes de la formación de la doble cresta), y 29 marzo – 3 de abril de 1976 (■). Los datos se compararon con los de las mediciones a campo de en primavera (▲) y en otoño (△), y de plantas vegetativas creciendo en un ambiente controlado (□). Tomado de Parsons y Robson (1980).

La curva de respuesta de la tasa de elongación foliar a la temperatura se modifica rápidamente durante la transición de la etapa vegetativa a la reproductiva en las gramíneas templadas durante la primavera. Como consecuencia, se da un potencial de crecimiento mayor a una temperatura dada para las praderas que se encuentran en etapa reproductiva en la primavera, respecto a aquellas praderas que se encuentran en etapa vegetativa en el verano u otoño (Gastal et al., 1992).

Además, los incrementos en la temperatura no solo provocan aumentos en la TAF, sino que también favorece la producción de sitios potenciales para formar nuevos macollos. Sin embargo, aunque la temperatura tiene baja influencia en el llenado de sitios (Mitchell,

1953), y dado que las temperaturas elevadas pueden provocar disminuciones en el llenado de sitios. En consecuencia, el número de macollos que producen hojas a mayor ritmo aumentan (Parsons & Chapman, 2000).

Por otro lado, una menor temperatura se asocia con una mayor vida media foliar, lo que a su vez reduce el filocrón y la tasa de crecimiento. Esto incrementa la probabilidad de defoliación, aumentando la eficiencia de pastoreo, lo que resulta en una menor relación lamina/vaina-tallo. De esta manera, el aumento de la vida media foliar explicaría esa mayor eficiencia de cosecha por parte del rumiante (Lemaire et al., 2009).

El número máximo de hojas vivas por macollo en cada especie está determinado genéticamente e influenciado por el ambiente. Aunque este número parece ser genéticamente constante (por ejemplo, 3 hojas en *Lolium perenne* y 2.5 en *Festuca arundinacea*), está relacionado con la longevidad de las hojas, expresada en intervalos de aparición. Por ejemplo, con un filocrón de 110 °C-días y un máximo de tres hojas, *L. perenne* presenta una longevidad aproximada de 330 °C-días. En comparación, *F. arundinacea*, con un filocrón de 230 °C-días y 2.5 hojas por macollo, alcanza una longevidad de aproximadamente 570 °C-días (Lemaire & Chapman, 1996).

Adicionalmente, algunas otras características de las pasturas, como la relación entre lámina y pseudotallo o la densidad aparente de las hojas, tienen un impacto reducido en la expansión del índice de área foliar (IAF). Sin embargo, son factores clave en la interacción planta-animal, ya que influyen en la cantidad de tejidos vegetales que los animales en pastoreo pueden consumir con facilidad (Hodgson et al., 1977).

En cuanto a las condiciones ambientales, las altas temperaturas que provocan estrés térmico son la causa principal de disminución de la persistencia de los pastos en climas subtropicales húmedos. Para estos autores, las temperaturas resultan ser más perjudiciales que las sequías (Jáuregui et al., 2024).

Asimismo, en un estudio se comprobó que el riego no consiguió contrarrestar una reducción del 30% en la producción anual de macollos en praderas de *Festuca arundinacea* tras un incremento en la temperatura media anual de 3°C (Bourguignon et al., 2015). De manera similar, Cross et al. (2013) señalaron que la diferencia entre plantas de *Festuca arundinacea* resistentes al verano de aquellas más vulnerables a esta estación radicaba en su capacidad de soportar temperaturas más altas.

Además, momentos inmediatamente posterior a pastoreos intensivos podría ser crítico, debido a que la refoliación se ve afectada por marcados desequilibrios entre la oferta y la demanda de carbono, y sustratos de crecimiento nitrogenado (Lattanzi et al., 2004).

Por último, la fijación de carbono durante el invierno presenta ciertas limitaciones, cuando el cultivo entra en estado reproductivo (Parsons & Robson, 1980). En estado reproductivo la planta aumenta el potencial para fijar carbono, sin embargo, las bajas temperaturas se tornan menos favorable para fijar el carbono e incorporarlo a sus tejidos (Parsons & Robson, 1980).

2.10 Efecto del agua:

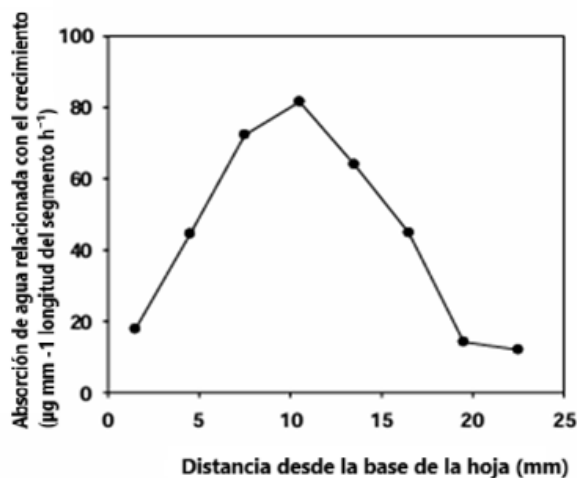
El agua es un recurso fundamental en las plantas, ya que interviene en la división y expansión celular, en la tasa de extensión foliar (TEF), y por lo tanto en el crecimiento vegetal. Además, la TEF es un indicador de la sensibilidad al estrés hídrico. La falta de este nutriente reduce la TEF y, por lo tanto, limita el crecimiento de las hojas (Clark et al., 1999).

El estrés hídrico se da como consecuencia de un desequilibrio entre la demanda evaporativa de agua por parte de la planta, y la capacidad de absorber agua de manera continua en una cantidad, que permita satisfacer esa demanda por parte de la planta. Durante periodos de déficit hídrico en el suelo, disminuye la TEF, restringiendo así el crecimiento de las láminas durante las horas del día, en los momentos en que la demanda atmosférica es elevada. Sin embargo, cuando se restablecen los niveles de agua, las células no expandidas que se acumularon durante la sequía, retoman turgencia rápidamente por lo que se expanden, mitigando de esta manera en parte los efectos de la sequía (Clark et al., 1999).

Por otro lado, la expansión celular requiere de agua para que ocurra correctamente, presentando una mayor sensibilidad que la división celular. De esta forma, es como el estrés hídrico reduce el tamaño de las hojas, lo que repercute también en la tasa de macollamiento y por lo tanto en la diferenciación de las yemas axilares en potenciales nuevos macollos, disminuyendo el número de macollos por unidad de superficie de suelo (Barker et al., 1985).

Figura N° 8

Relación entre distribución espacial, absorción de agua y crecimiento de hojas en festuca alta



Nota. Elaborado por Schnyder et al. (2000).

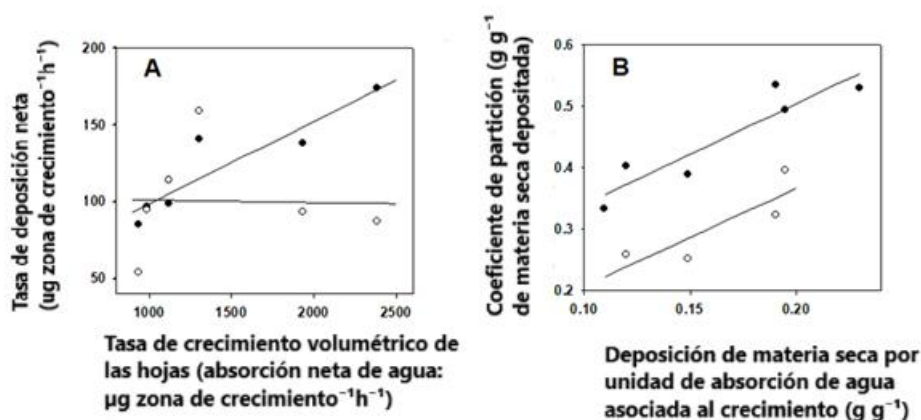
A partir del gráfico, se observa que hay un crecimiento progresivo hasta alcanzar los 11 a 12mm de distancia desde la base de la hoja, punto en el cual se registra el máximo de absorción de agua relacionada con el crecimiento. Esto permite concluir que es importante contar con buena disponibilidad hídrica en un cultivo de festuca, para que se satisfagan las necesidades hídricas durante los primeros milímetros de largo de las hojas, garantizando así un desarrollo adecuado.

En el caso de las gramíneas perennes, la capacidad de las hojas para permanecer verdes y activas fotosintéticamente bajo una sequía moderada, se compensa con la capacidad de sobrevivir en situaciones de sequía severa (Barkaoui & Volaire, 2023).

Por otro lado, diversos estudios han comprobado que el tejido meristemático de las gramíneas resiste mejor al estrés hídrico en comparación con la mayoría de los tejidos vegetales (Barlow et al., 1980). Esto se debe a que los ápices son un reservorio de carbohidratos dentro de la planta en momentos de estrés hídrico severo (Barkaoui & Volaire, 2023), lo que les confiere una mayor eficiencia en el ajuste a nivel osmótico en esos tejidos (West et al., 1990).

Figura N° 9

Relación entre deposición de materia seca, carbohidratos solubles y absorción de agua en festuca alta



Nota. SDM, ●=tasa de deposición de materia seca estructural, WSC, ○=tasa de deposición de carbohidratos solubles en agua. Tomado de Schnyder et al. (2000).

La SDM se la definió como la diferencia entre la MS total y la WSC. La tasa de crecimiento se la correlacionó con la tasa de deposición de SDM, pero no con la tasa de deposición de WSC. La partición de la materia seca hacia la deposición de WSC (● en B) se mejoró cuando la deposición total de materia seca en la zona de crecimiento era grande en relación con la expansión (es decir, la absorción de agua) (B). Este aumento en la deposición de WSC se debió esencialmente a la síntesis de fructanos (○) (Schnyder et al., 2000).

En el gráfico “A” de la figura 10, se observa que, a medida que la tasa de crecimiento volumétrico de las hojas aumenta, la tasa de deposición neta de la materia seca estructural también lo hace de manera proporcional. Sin embargo, la deposición de CHOS solubles en agua se mantiene constante a partir de los 100 µg de tasa de deposición.

Asimismo, en el gráfico “B” se evidencia que el coeficiente de partición neta aumenta proporcionalmente al incremento en la deposición de materia seca por unidad de absorción de agua asociada al crecimiento.

Cabe mencionar que la materia seca total depositada en las zonas de crecimiento guardó poca relación con la expansión, es decir, la deposición de agua en la zona de crecimiento ($r=0,30$). No obstante, se observó una correlación alta ($r=0,85$) entre la expansión y la tasa acumulada de la síntesis de biomasa estructural (gráfico “A” de la figura N°10; Schnyder et al., 2000).

Por último, en experimentos donde se compararon distintos resultados, se determinó que la tasa total de síntesis de biomasa estructural en las áreas de activa división dentro de la zona de crecimiento no mostró una relación directa con la expansión. En particular, cuando la tasa acumulativa de expansión era alta, se depositaba menos biomasa estructural por unidad de crecimiento volumétrico (Schnyder et al., 2000).

3. Hipótesis

De acuerdo con la bibliografía revisada, se espera que el manejo de frecuencias de pastoreo altas (2H), combinado con intensidades elevadas (70%), maximice la producción de materia seca debido a la estimulación constante del rebrote y renovación del tejido fotosintético. En contraste, una menor frecuencia de pastoreo (4H) y bajas intensidades (30%), favorecerían una mayor acumulación de biomasa, pero podría limitar la tasa de crecimiento.

Por otro lado, las frecuencias de pastoreo más bajas (4H) promoverán un mayor tamaño de macollos, aunque en menor densidad, mientras que frecuencias más altas (2H) favorecerían una mayor densidad de macollos de menor tamaño.

Finalmente, frecuencias e intensidades altas y bajas de defoliación provocan arquitecturas foliares diferentes, con cambios en el coeficiente de atenuación lumínico para el modelo exponencial de relación IAF-PAR interceptado.

4. Materiales y métodos

4.1 Condiciones experimentales

4.1.1 Ubicación y extensión del trabajo

Este estudio se llevó a cabo 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 lapso comprendido entre el 22 de junio y el 19 de diciembre del 2023, en un cultivo de Festuca de segundo año.

4.1.2 Descripción del sitio experimental

Conforme a la Carta de reconocimientos de suelos de Uruguay, en escala 1:1.000.000, la zona experimental se ubica en la Unidad San Manuel, correspondiente a la formación geológica Fray Bentos (Bossi et al., 1975, como se cita en De Brun Cabrera et al., 2023). Los suelos predominantes son Brunosoles Éutricos Típicos (Háplicos), superficiales a moderadamente profundos de composición limo-arcillosa (limosa). En asociación con estos se hallan Brunosoles Éutricos Lúvicos, de textura limosa, y Solonetz Solodizados Melánicos de textura franca (Altamirano et al., 1976).

4.1.3 Tratamientos

El ensayo comprendió cuatro tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones. Estos consistieron en la combinación de dos frecuencias y dos intensidades de pastoreo diferentes:

Frecuencia de pastoreo 2 hojas, intensidad de pastoreo 30%

Frecuencia de pastoreo 2 hojas, intensidad de pastoreo 70%

Frecuencia de pastoreo 4 hojas, intensidad de pastoreo 30%

Frecuencia de pastoreo 4 hojas, intensidad de pastoreo 70%

4.1.4 Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar. El área utilizada comprendió un total de 1 hectárea, dividida en cuatro bloques de 0,25 hectáreas cada uno, correspondiendo cada bloque a una repetición. A su vez, cada bloque se subdividió en cuatro parcelas, incluyendo cada una de ellas los tratamientos mencionados anteriormente.

La información se analizó utilizando el programa estadístico Infostat. Se hizo análisis de varianza mediante la prueba Tukey, con un nivel de significancia de $\leq 0,05$.

El modelo estadístico del cual se utilizó 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

4.1.5 Condiciones climáticas

Uruguay se encuentra comprendido dentro de una zona templada del Sudeste de Sudamérica, entre los 30° y 35° de latitud sur y los 53° y 58° de longitud oeste. El clima es predominantemente homogéneo a lo largo del territorio, por lo que se lo caracteriza como templado húmedo, sin presentar una estación seca según la clasificación de Köppen. A su vez cuenta con temperaturas medias anuales de 16°C en el sur y 19°C en el norte del país. Por otro lado, la temperatura media mensual oscila entre los 7°C en julio hasta los 31°C en enero (Romero, 2003).

En cuanto a las precipitaciones mensuales, estas se distribuyen homogéneamente durante el año, mostrando un pequeño aumento en el otoño. Asimismo, la distribución espacial presenta un gradiente decreciente en la transecta NE-SW, con un máximo valor total anual aproximado de 1400 mm en el noreste y un mínimo de 900 mm en el sudoeste del país (Romero, 2003).

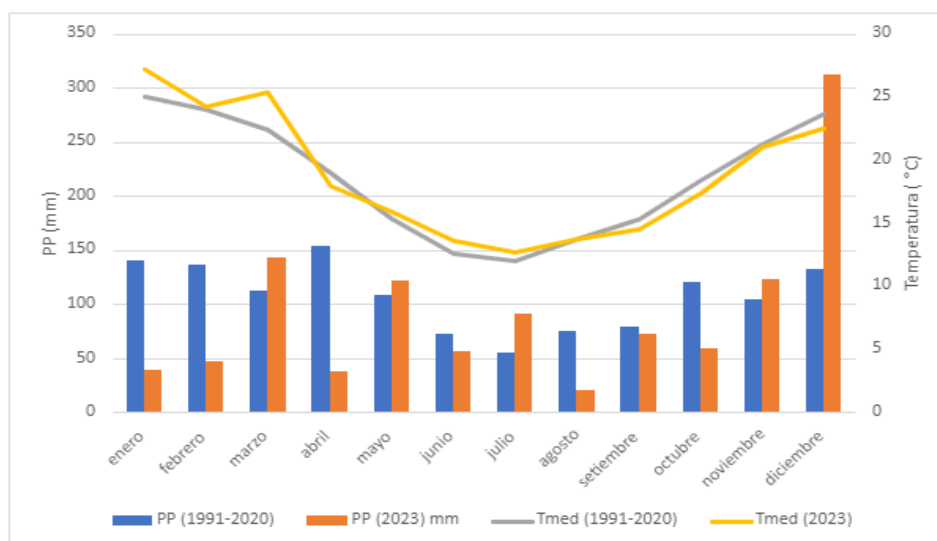
Las precipitaciones y temperaturas fueron monitoreadas y registradas por la estación meteorológica automática ubicada en EEMAC.

Durante el transcurso del periodo experimental (22 de junio al 19 de diciembre) en comparación con la media histórica de 29 años, las precipitaciones registradas fueron inestables, mostrando una gran variación a lo largo del año (Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], s.f.). En verano, estuvieron muy por debajo del promedio histórico, levantando en el otoño y manteniéndose relativamente estable en el invierno. En primavera, se observó que las precipitaciones de septiembre y octubre de 2023 fueron inferiores a las del promedio histórico. Sin embargo, en noviembre y, especialmente, en diciembre, las precipitaciones superaron significativamente el promedio histórico.

En cuanto a la temperatura durante el período analizado, esta se mantuvo por encima del promedio histórico, especialmente en verano e invierno. No obstante, en primavera, la temperatura fue levemente inferior a la media histórica.

Figura N° 10

Precipitaciones y temperaturas promedio de 2023 y serie histórica de 29 años



Nota. Adaptado de Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC, s.f.).

4.1.6 Balance hídrico

En la siguiente tabla se presenta el balance hídrico en el transcurso del periodo experimental (abril 2023 – noviembre 2023). Para ello, se utilizaron los registros de la estación meteorológica como fuente de datos de evapotranspiración y precipitaciones. Además, para estimar la evapotranspiración real de la pastura, se consideró un coeficiente de cultivo (K_c) de 1.

Para la elaboración del balance, se empezó con el perfil de capacidad de agua disponible cargado teniendo en cuenta que las precipitaciones de marzo fueron superiores al promedio histórico. Cabe destacar que la capacidad de agua disponible del suelo donde se llevó adelante el experimento es de 80 mm (INIA, s.f.).

Tabla N° 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	-16,1

Nota. Adaptado de EEMAC (s.f.).

El balance hídrico del suelo es un instrumento que cuantifica los distintos componentes del ciclo del agua en el suelo y para un territorio, estableciendo vínculos a corto y mediano plazo entre las distintas variables hidrológicas (INUMET, s.f.).

4.2 Variables que se determinaron

A continuación, se presentan las variables que se determinaron mediante mediciones para cada una.

4.2.1 Tamaño de los macollos

Para esta variable, se realizaron cortes de macollos con tijeras a campo dentro de cada parcela experimental. En primer lugar, los cortes se realizaron el 22 de julio para la

frecuencia de 4 hojas, 13 de agosto para la frecuencia de 2 hojas, 27 de noviembre para la frecuencia de 4 hojas y 19 de diciembre para la frecuencia de 2 hojas.

En cada parcela se recolectaron 30 macollos adyacentes, procurando similitud en el tamaño. Posteriormente, estos fueron llevados al laboratorio para analizar el peso en gramos de materia seca (grMS) de cada segmento del macollo. Para ello, se separaron las láminas de las vainas, y el resto seco que pudiese tener la lámina o vaina y se colocaron en bolsas correspondientes a cada parcela dentro de cada bloque.

A continuación, las bolsas se llevaron a estufa a 60°C durante 48 horas. Una vez transcurrido ese tiempo, se retiraron de la estufa y se procedió a pesar la MS de cada parte del macollo en una balanza de laboratorio. Finalmente, se determinó el peso de las láminas, vainas y resto seco, del cual se sacó la variable peso de lámina, vaina, resto seco y relación lamina/vaina.

4.2.2 Numero de macollos

Mediante un cuadrante de 20 x 50 cm, se llevó a cabo el conteo de macollos a campo con el objetivo de determinar esta variable. Para ello, se realizaron tres repeticiones en cada parcela y, posteriormente, se calculó el promedio del total obtenido.

El conteo se llevó a cabo el 5 de agosto para la frecuencia de 4 hojas, 19 de agosto para la frecuencia de 2 hojas y 27 de noviembre para la frecuencia de 2 y 4 hojas.

4.2.3 Efecto de la estructura sobre la interceptación de la radiación y el IAF

Se implementaron dos tratamientos con distinta frecuencia de pastoreo: en uno se pastoreaba con frecuencia de 2 hojas y en el otro con 4 hojas. Antes de cada pastoreo, se media la radiación interceptada al descubierto y luego por debajo de la festuca. Para ello, se tomaron 30 mediciones dentro de cada parcela con un ceptómetro marca LP-80 (modelo Decagon Devices, INC).

En el tratamiento de 2 hojas, las mediciones se realizaron en las siguientes fechas:

- Pre-pastoreo: 22 de junio, 9 de agosto y 25 de septiembre.
- Post-pastoreo: 26 de junio, 19 de agosto y 29 de septiembre.

Por otro lado, en el tratamiento de 4 hojas, las mediciones se llevaron a cabo en:

- Pre-pastoreo: 27 de julio y 5 de septiembre.
- Post-pastoreo: 9 de agosto y 14 de septiembre

4.2.4 Altura del forraje disponible

A campo se midió la altura del forraje con una regla, tanto antes como después del pastoreo. Este procedimiento se hizo con el fin de determinar la producción y rendimiento de forraje de la festuca, así como comparar la respuesta productiva al pastoreo entre las distintas estaciones del año.

Para ello, se efectuaron 30 mediciones de altura por parcela, considerando tanto el forraje disponible como el remanente tras el pastoreo.

Este método de estimación de la disponibilidad de forraje es ampliamente utilizado, ya que existe una relación positiva y directamente proporcional entre la altura y la disponibilidad de forraje de una pastura (Jaurena et al., 2018).

4.2.5 Trabajo en laboratorio

En el laboratorio, las muestras se manipularon de diferente manera para llegar a los resultados correspondientes a cada variable. Todas ellas fueron estudiadas en base seca, asegurando una manipulación adecuada para la obtención de resultados exactos. Las tareas realizadas incluyeron la separación de segmentos del macollo, el secado de las muestras en estufa a 60°C, el posterior pesado de las muestras secas correspondiente a cada parcela y registro de los datos obtenidos.

4.2.6 Manejo del pastoreo

El pastoreo se realizó con novillos de raza Holando, con un peso promedio de 300 kg. Se optó por el pastoreo directo con animales, ya que este método permite obtener resultados más representativos de la realidad productiva de la pastura y, además, facilita la evaluación del impacto de los cambios en la calidad del forraje sobre los resultados productivos y la estructura del pastizal.

Los animales fueron asignados a las parcelas correspondientes dentro de cada bloque experimental, en función de las intensidades de pastoreo definidas (70 % o 30 % de

remanente), ajustándose el número de animales por parcela en consecuencia. Cada período de pastoreo tuvo una duración máxima de tres días.

En cuanto a la frecuencia de pastoreo, el ingreso a las parcelas se realizaba cuando los macollos de festuca alcanzaban dos o cuatro hojas vivas por macollo, según el tratamiento asignado.

5. Resultados

5.1 Producción de biomasa de las parcelas por estación:

Las parcelas mostraron una mayor productividad en invierno respecto con la primavera, ya que las condiciones invernales fueron favorables para que la Festuca alcanzara un mayor rendimiento de biomasa.

En invierno, las parcelas con mayor producción de biomasa fueron 4H 70, 2H 30 y 4H 30, mientras que la de menor producción fue 2H 70. Sin embargo, en primavera, las parcelas con mayor producción fueron 2H 70, 4H 70 y 2H 30, mientras que la de menor producción fue 4H 30.

5.2 Respuesta en la evolución del tamaño y numero de macollos de festuca en pastoreos contrastantes

5.2.1 Evolución del tamaño

Los resultados obtenidos demuestran que, durante el invierno, solo se encontraron diferencias significativas entre las distintas frecuencias de pastoreo y en la interacción frecuencia e intensidad, como se muestra en el tabla N°2 y 3. En cambio, en la primavera, únicamente se observaron diferencias significativas en la frecuencia para las variables vaina-tallo y RS. Además, en esta última variable, también se observaron diferencias en la interacción entre frecuencia e intensidad de pastoreo.

Tabla N° 2

Efecto de la intensidad y frecuencia de pastoreo sobre variables morfológicas en invierno

Frecuencia	lamina	vaina-tallo	RS	Rel lamina/vaina-tallo	Peso promedio por macollo (gMS)
4H	0,24 ± 0,01 a	0,16 ± 0,014 a	0,05 ± 0,014 a	1,64 ± 0,161	0,45 ± 0,03 a
2H	0,19 ± 0,015 b	0,10 ± 0,014 b	0,02 ± 0,005 b	2,05 ± 0,2	0,31 ± 0,03 b
Intensidad					
30	0,22 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,03 ± 0,004	1,97 ± 0,15	0,37 ± 0,03
70	0,22 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,05 ± 0,02	1,72 ± 0,23	0,41 ± 0,04
Frecuencia x Intensidad					
2H 70	0,19 ± 0,019	0,1 ± 0,020 a	0,01 ± 0,004 a	2,11 ± 0,360	0,3 ± 0,04 a
2H 30	0,2 ± 0,026	0,11 ± 0,022 ab	0,03 ± 0,008 a	1,99 ± 0,233	0,34 ± 0,05 a
4H 70	0,24 ± 0,003	0,18 ± 0,012 ab	0,08 ± 0,021 b	1,33 ± 0,075	0,5 ± 0,02 b
4H 30	0,24 ± 0,022	0,13 ± 0,018 b	0,02 ± 0,002 a	1,95 ± 0,225	0,39 ± 0,04 a

Tabla N° 3

Efecto de la intensidad y frecuencia de pastoreo sobre variables morfológicas en primavera

Frecuencia	lamina	vaina-tallo	RS	Rel lamina/vaina-tallo	Peso promedio por macollo (gMS)
4H	0,26 ± 0,02	0,13 ± 0,02 a	0,12 ± 0,03 a	2,16 ± 0,20 a	0,51 ± 0,06 a
2H	0,23 ± 0,02	0,08 ± 0,005 b	0,03 ± 0,004 b	3,08 ± 0,18 b	0,34 ± 0,03 b
Intensidad					
30	0,27 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,03 b	2,56 ± 0,28	0,50 ± 0,06 a
70	0,22 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,04 ± 0,01 a	2,69 ± 0,23	0,36 ± 0,03 b
Frecuencia x Intensidad					
2H 70	0,20 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,02 ± 0,005 a	2,58 ± 0,3	0,31 ± 0,02
2H 30	0,23 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,005 a	2,56 ± 0,3	0,38 ± 0,04
4H 70	0,24 ± 0,01	0,15 ± 0,02	0,07 ± 0,01 a	1,83 ± 0,3	0,41 ± 0,06
4h 30	0,26 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,10 ± 0,03 b	1,97 ± 0,1	0,61 ± 0,09

Nota. 2H = 2 hojas; 4H= 4 hojas. Letras diferentes (a, b) indican diferencias significativas por Tukey ($p < 0,05$); sin letra indica que no se encontraron diferencias significativas. El peso de láminas, vaina-tallo y resto seco (RS) se encuentran en gMS (gramos de materia seca).

Por otro lado, los tratamientos de menor frecuencia de pastoreo (4H) presentaron un mayor peso de macollo con respecto a aquellos de mayor frecuencia (2H). Esta tendencia se observó tanto en el invierno como en la primavera, acentuándose aún más la diferencia en esta última.

Asimismo, la relación lamina/vaina-tallo en primavera fue menor en los tratamientos de menor frecuencia de pastoreo (4H) con respecto a los tratamientos de mayor frecuencia de pastoreo (2H).

Finalmente, en lo que respecta al peso de los macollos, se encontraron diferencias significativas tanto en las frecuencias contrastantes como en la interacción entre frecuencia e intensidad durante el invierno. En este período, las frecuencias más bajas (4H) presentaron un mayor peso promedio por macollo en comparación con las frecuencias más altas (2H). Asimismo, en la interacción entre frecuencia e intensidad, el tratamiento 4H 70 mostró un peso promedio por macollo superior al de los demás tratamientos.

Por otro lado, en primavera, se observaron diferencias significativas tanto en la frecuencia como en la intensidad de pastoreo. En este caso, las frecuencias más altas (4H) registraron un mayor peso promedio del macollo en comparación con las frecuencias más bajas. En cuanto a la intensidad de pastoreo, se constató que en las intensidades más bajas (30) el

peso promedio de los macollos individuales fue superior al observado en intensidades más altas (70).

5.2.2 Numero de macollos en estado vegetativo y reproductivo:

Las tablas N°4 y 5, muestran la relación entre el IAF disponible y el %PAR interceptado, en contraste con el IAF remanente y el %PAR interceptado del IAF remanente, para dos tratamientos de frecuencia (4H y 2H), dos tratamientos de intensidad diferente (30 y 70) y su interacción.

En cuanto al número de macollos, tanto en el invierno como en primavera, no se observaron diferencias significativas en los macollos vegetativos, ni en los reproductivos durante la primavera.

Sin embargo, en primavera se encontraron diferencias significativas entre las frecuencias 4H y 2H en la variable macollo vegetativo + reproductivo/m². La menor frecuencia de pastoreo (4H) mostró un mayor número de macollos vegetativos + reproductivos en comparación al tratamiento de mayor frecuencia de pastoreo (2H).

Tabla N° 4

Comparación del número de macollos vegetativos en dos frecuencias e intensidades de pastoreo en invierno

Frecuencia	Numero macollos veg. prom/m ²
4H	2092 ± 126
2H	2256 ± 157
Intensidad	
30	2098 ± 169
70	2249 ± 111
Frecuencia x Intensidad	
4H 30	2130 ± 208
4H 70	2054 ± 173
2H 30	2067 ± 299
2H 70	2445 ± 45

Tabla N° 5

Comparación de macollos vegetativos y reproductivos en dos frecuencias e intensidades de pastoreo en primavera

Frecuencia	Numero macollos veg. prom/m2	Numero macollos rep. prom/m2	Numero macollos VEG+REP. prom/m2
4H	1117 ± 56	321 ± 34	1438 ± 69 b
2H	982 ± 36	238 ± 43	1220 ± 46 a
Intensidad			
30	1030 ± 34	319 ± 40	1349 ± 62
70	1069 ± 67	240 ± 38	1309 ± 80
Frecuencia x Intensidad			
4H 30	1081 ± 53	366 ± 41	1447 ± 82
4H 70	1154 ± 105	275 ± 47	1429 ± 125
2H 30	979 ± 29	272 ± 66	1251 ± 69
2H 70	985 ± 72	204 ± 60	1189 ± 66

Nota. a, b = indican diferencias significativas en los bloques; sin letra indica sin diferencias significativas; ambas diferencias por Tukey ($p < 0,05$).

Por otro lado, en el invierno se observó que, a medida aumentaba la frecuencia de pastoreo, aumenta el número de macollos vegetativos. Estos resultados no siguieron este mismo patrón en la primavera, por el contrario, frecuencias de pastoreo bajas (4H) tuvieron un mayor número total de macollos (vegetativos ± reproductivos) en comparación con la frecuencia alta (2H).

5.3 Relación entre el IAF y el %PAR interceptado antes y después del pastoreo

Los resultados obtenidos indican que tanto el IAF disponible como el remanente fueron mayores en primavera en relación con el invierno.

Además, en el análisis se puede ver que, a menor frecuencia de pastoreo, mayor es el % de PAR interceptado para las dos estaciones analizadas. También se encontraron diferencias en invierno en cuanto al IAF disponible, donde a menor frecuencia de pastoreo (4H), mayor resultó ser el IAF disponible. No obstante, estas diferencias en el IAF disponible no se observaron en primavera.

Respecto a la intensidad de pastoreo sobre el IAF remanente en invierno, se encontró que las bajas intensidades (30) presentaron un mayor IAF en comparación con las altas intensidades (70) de pastoreo, comportamiento que se observó también en primavera.

Por otro lado, en cuanto al %PAR interceptado del remanente en invierno, se encontraron diferencias significativas entre las intensidades de pastoreo contrastantes. Los

tratamientos con menor intensidad de pastoreo mostraron un mayor %PAR interceptado en comparación con los de mayor intensidad. Sin embargo, en la primavera a pesar de que se observaron mismas tendencias que en invierno, no se encontraron diferencias significativas.

Finalmente, en la interacción frecuencia x intensidad, no se encontraron diferencias significativas en ambas estaciones analizadas para el IAF y % PAR interceptado.

Tabla N° 6

Relación entre el IAF y %PAR interceptado en dos manejos contrastantes del pastoreo en invierno

Frecuencia	IAF disp.	% PAR interceptado disp.	IAF rem.	% PAR interceptado rem.
4H	3,02 ± 0,19 a	0,84 ± 0,01 a	1,72 ± 0,25	0,65 ± 0,05
2H	2,42 ± 0,13 b	0,76 ± 0,03 b	1,56 ± 0,19	0,62 ± 0,05
Intensidad				
30	2,87 ± 0,21	0,81 ± 0,03	1,91 ± 0,21 a	0,69 ± 0,04 a
70	2,56 ± 0,16	0,79 ± 0,03	1,37 ± 0,19 b	0,57 ± 0,05 b
Frecuencia x Intensidad				
4H 30	3,20 ± 0,33	0,85 ± 0,01	2,14 ± 0,36	0,74 ± 0,07
4H 70	2,83 ± 0,19	0,83 ± 0,03	1,31 ± 0,23	0,56 ± 0,06
2H 30	2,54 ± 0,18	0,78 ± 0,05	1,68 ± 0,23	0,65 ± 0,05
2H 70	2,30 ± 0,18	0,75 ± 0,05	1,43 ± 0,34	0,58 ± 0,09

Tabla N° 7

Relación entre el IAF y %PAR interceptado en dos manejos contrastantes del pastoreo en primavera

Frecuencia	IAF disp.	% PAR interceptado disp.	IAF rem.	% PAR interceptado rem.
4H	3,29 ± 0,24	0,84 ± 0,01 a	2,29 ± 0,14	0,66 ± 0,02
2H	3,51 ± 0,19	0,78 ± 0,01 b	2,46 ± 0,10	0,69 ± 0,02
Intensidad				
30	3,56 ± 0,27	0,82 ± 0,02	2,56 ± 0,11 a	0,70 ± 0,02
70	3,24 ± 0,14	0,80 ± 0,01	2,18 ± 0,11 b	0,66 ± 0,02
Frecuencia x Intensidad				
4H 30	3,48 ± 0,46	0,86 ± 0,02	2,55 ± 0,18	0,69 ± 0,03
4H 70	3,10 ± 0,20	0,82 ± 0,01	2,03 ± 0,13	0,64 ± 0,04
2H 30	3,65 ± 0,37	0,78 ± 0,02	2,58 ± 0,14	0,71 ± 0,03
2H 70	3,38 ± 0,16	0,79 ± 0,02	2,34 ± 0,13	0,68 ± 0,02

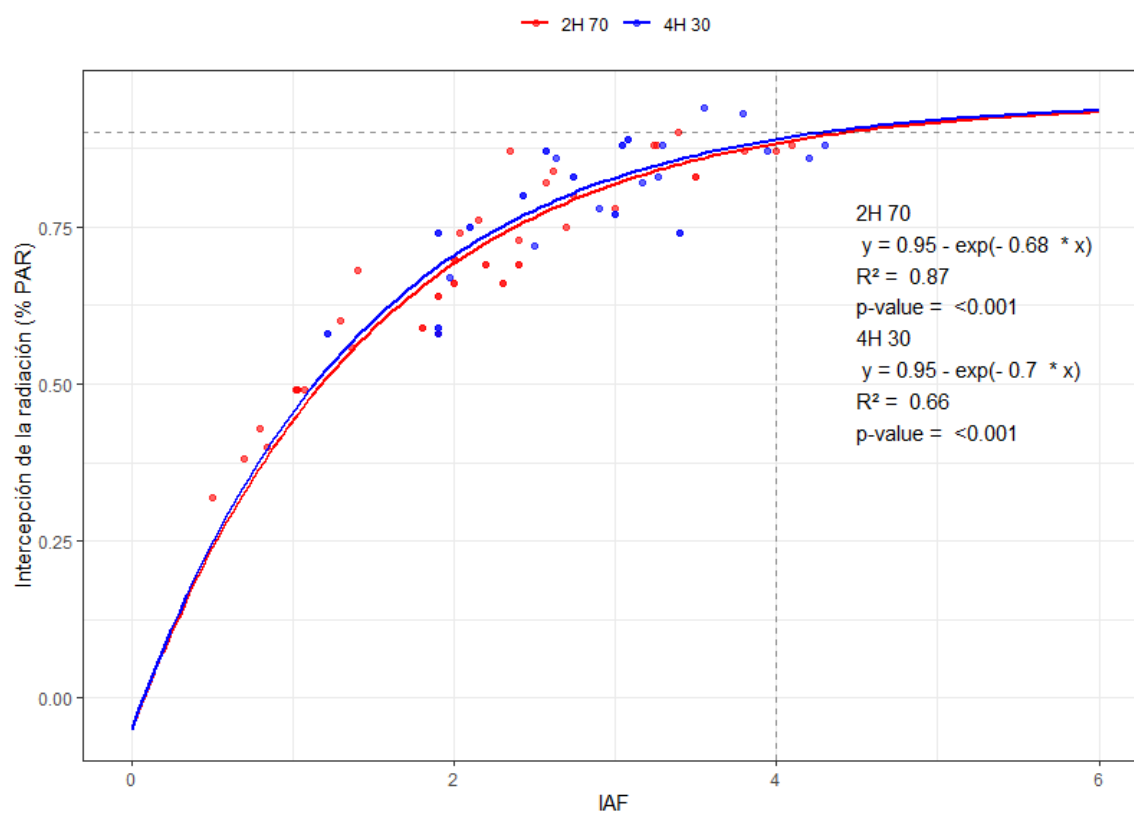
Nota. a, b = indican diferencias significativas en los bloques; sin letra indica sin diferencias significativas; ambas diferencias por Tukey ($p < 0,05$).

En la siguiente figura se muestra la relación proporcional entre el IAF y el %PAR interceptado para dos interacciones contrastantes en cuanto a frecuencia e intensidad de pastoreo. Además, se realizó un modelado exponencial que describe como se comportó esta relación en los distintos tratamientos.

Se observa que, a medida que aumenta el IAF, el % PAR interceptado también aumenta de manera proporcional. Por otro lado, no hubo diferencias entre 2H 30 y 4H70 en cuanto a los coeficientes de modelo, siendo el coeficiente de extinción lumínica de 0.7 (Figura 11).

Figura N° 11

Relación entre el IAF y la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (PAR)



6. Discusión

Uno de los aspectos más relevantes y desafiantes del presente trabajo fue la utilización de animales en el proceso de pastoreo para evaluar las distintas intensidades de uso del forraje. A diferencia de los métodos experimentales donde se realizan cortes mecánicos para simular el pastoreo, en este caso se optó por el uso de animales para pastoreo directo, con el objetivo de reflejar de forma más realista las condiciones de los sistemas productivos predominantes en Uruguay. Esta decisión metodológica, si bien complejiza el control experimental, aporta un valor agregado en términos de aplicabilidad de los resultados.

El uso de animales implica una serie de limitantes prácticas, entre ellas, la mayor dificultad para lograr y mantener las intensidades deseadas, particularmente durante la primavera. En esta estación, el aumento de las temperaturas genera una aceleración en la tasa de crecimiento del forraje, lo cual, combinado con una calidad nutricional decreciente a medida que avanza el ciclo del pasto, dificulta el manejo preciso de la oferta y demanda forrajera bajo pastoreo directo. Esta situación contrasta con los ensayos con corte mecánico, donde se puede establecer una frecuencia y altura de corte uniforme, sin los factores de variabilidad introducidos por el comportamiento animal o las condiciones ambientales cambiantes.

Sin embargo, es precisamente esta complejidad inherente al pastoreo animal la que hace que los resultados obtenidos en este estudio tengan mayor relevancia para la realidad del productor. En la práctica, los sistemas ganaderos extensivos no manejan el forraje con cortes, sino que dependen del consumo directo por parte de los animales. Por tanto, incorporar esta dinámica en el diseño experimental permite capturar interacciones clave entre el crecimiento del forraje, el consumo animal, y las decisiones de manejo, que serían ignoradas en un diseño mecanizado.

Este enfoque refuerza la validez externa de los resultados, es decir, su capacidad para ser extrapolados a situaciones reales en los predios ganaderos uruguayos. Aunque el control experimental sea menor que en estudios con cortes, la representatividad es mayor, y por ende los aportes al conocimiento práctico y aplicable al manejo de pasturas en sistemas de producción pastoril son sustancialmente más relevantes.

Los resultados de este estudio muestran una clara variabilidad en la productividad de biomasa de las parcelas y en la evolución de los macollos de *Festuca* bajo diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo, tanto en invierno como en primavera.

En primer lugar, la mayor productividad de biomasa observada en invierno se debe posiblemente a las condiciones climáticas favorables para el crecimiento de la festuca, como las temperaturas bajas y una mayor disponibilidad de agua. Estos factores mencionados pudieron contribuir positivamente al crecimiento de la planta, resultando en una mayor acumulación de biomasa en comparación con la primavera. Específicamente, la parcela 4H70, 2H30 y 4H30 mostraron una mayor productividad en invierno, lo que sugiere que las bajas frecuencias de pastoreo en esta estación favorecieron una mayor acumulación de biomasa, dado que permitió a las plantas concentrar sus recursos en el crecimiento de macollos más grandes. Por otra parte, las bajas frecuencias favorecieron un mayor peso de macollo, mayor número de macollos, como así también la tasa de crecimiento y producción de tejido luego de cada corte.

En primavera, la producción fue mayor en las parcelas con mayor frecuencia de pastoreo (2H70). Esto puede deberse a la mejora en la tasa de crecimiento post pastoreo, donde el aumento en la frecuencia de pastoreo estimuló la productividad en esta estación, promoviendo un mayor rebrote y crecimiento de los macollos vegetativos. En este sentido, Parson y Chapman (2000) sostienen que una menor altura de la pastura incentiva este fenómeno. Mas bien, el máximo rendimiento por hectárea se alcanza cuando se mantienen IAF relativamente bajo, donde la fotosíntesis y producción bruta de tejido pueden estar reducidas, pero donde se logra un equilibrio óptimo entre la producción bruta de tejido y el consumo de forraje (Parsons et al., 1988). Asimismo, debido a la sequía que ocurrió en la primavera contribuyó a que en los tratamientos laxos de pastoreo se haya dado la muerte de mayor proporción de láminas y macollos, lo cual repercutió en una menor producción.

Asimismo, en primavera, el pasaje de estado vegetativo a reproductivo de la *Festuca* provoca un aumento en el crecimiento de los macollos más grandes, en contraste con los macollos más chicos que no lograron diferenciarse. De este modo, pastoreos más frecuentes e intensivos mantienen altas tasas de producción de biomasa, ya que controlan la dominancia apical y reducen la competencia entre macollos. Este efecto favorece el incremento de la población de macollos vegetativos, lo que permite mantener una alta

productividad de la pastura. Estas observaciones coinciden con lo señalado por Baker y Leaver (1986), Carton et al. (1989), Sayers y Mayne (2001) como se citan en Virkajärvi, (2004), quienes mencionan que, en primavera se produce una disminución en la producción de nuevos macollos. Esta reducción, sumada a la mortandad de estos, lleva a una menor densidad de población y, a largo plazo, a una reducción en la productividad de la pastura. De manera similar, Parsons y Chapman (2000) explican como el manejo del pastoreo influye en la floración y estructura de la pastura, señalando que el pastoreo modifica la proporción de macollos reproductivos y vegetativos, favoreciendo en primavera la aparición de nuevos macollos vegetativos en lugar de reproductivos.

Por otra parte, se determinó que tanto las frecuencias e intensidades del pastoreo contrastantes tienen efecto sobre los diferentes componentes estructurales de un macollo. En primer lugar, se observó que una menor frecuencia de pastoreo favorece un mayor IAF (lamina + vaina) y un mayor peso promedio por macollo. Esto se debe al manejo del pastoreo, dado que con una menor frecuencia (4H), el tiempo de recuperación de la pastura es mayor, lo que se traduce en una mayor producción de materia seca. Por lo tanto, estas diferencias en la presión de pastoreo afectan directamente al tamaño de las plantas, tal como lo indican Curll y Wilkins (1982), Chapman y Clark (1984) como se citan en Cullen et al. (2005).

Adicionalmente, se constató que las frecuencias de pastoreo más bajas (4H) resultaron en un mayor peso promedio de los macollos en comparación con las frecuencias más altas (2H). Esto puede explicarse por la densidad de macollos, donde a medida que aumenta el número de macollos en una parcela, el peso individual de los mismos tiende a disminuir (Parsons & Chapman, 2000). De manera similar, Davies (1998, como se cita en Lemaire & Chapman, 1996), demostró en un estudio, la relación inversamente proporcional entre la densidad y el peso de los macollos (figura N°4). Más allá del manejo, el peso individual de los macollos esta influenciado por otros factores del ambiente, como el sombreadamiento, la temperatura, el agua y disponibilidad de nutrientes como así también por variaciones entre las especies, dando como resultado variaciones en el peso de los macollos (Lemaire & Chapman, 1996).

En cuanto al tiempo descanso entre pastoreos, se observó que un mayor tiempo de descanso de la pastura, permite una mejor recuperación, lo que lleva a un mayor crecimiento y por lo tanto producción por unidad individual. Esto explica por qué las

frecuencias menores permiten un mayor peso promedio de láminas, vainas y, en consecuencia, del macollo, debido a un mayor crecimiento, producción por unidad individual y acumulación de materia seca. Además, cabe destacar que el tratamiento 4H presentó un mayor número de hojas en comparación con el 2H, lo que también contribuyó a un mayor peso.

Por otro lado, en primavera, las menores intensidades de pastoreo también influyeron en el peso promedio por macollo. En este sentido, intensidades de pastoreo menores (30) resultaron en macollos con mayor peso promedio en comparación con intensidades más altas (70). Esto se debe a que, con intensidades menores, se cosecha una menor cantidad de biomasa, permitiendo un mayor remanente en los componentes estructurales de un macollo y, por lo tanto, un mayor peso promedio. Este hecho fue confirmado por Formoso et al. (2013), quienes indican que la presión de pastoreo determina el porcentaje de utilización de una pastura.

Finalmente, se encontraron diferencias en el resto seco (RS) de los macollos tanto en invierno como en primavera. Se comprobó que menores frecuencias de pastoreo tuvieron mayor cantidad de resto seco en comparación con las mayores frecuencias. Un patrón similar se observó en la intensidad de pastoreo en primavera, donde menores intensidades de pastoreo (30) presentaron una mayor cantidad de resto seco en comparación con los tratamientos más intensos (70). En cuanto a la interacción frecuencia x intensidad de pastoreo, en primavera, el tratamiento más laxo (4H30) presentó una mayor cantidad de resto seco respecto a los otros, mientras que, en invierno el tratamiento 4H70, a pesar de ser de alta intensidad de pastoreo, mostró mayor cantidad de resto seco respecto pastoreo más laxo (4H30).

En conclusión, la acumulación de resto seco en pastoreos poco intensos y frecuentes se debe a una mayor cantidad remanente de tejido foliar, que no es consumido por los animales y que, por lo general, se encuentra en los estratos más bajos de la pastura. Esta situación incrementa la proporción vaina/lamina y una reducción en el macollaje, lo que disminuye la relación material verde/seco (Zanoniani et al., 2003). Por lo tanto, cuanto más desarrollada esté la pastura, la calidad disminuye, por lo que, lleva a que los animales seleccionen el forraje de mejor calidad y dejen un remanente de menor calidad (Zanoniani et al., 2003). Para evitar la acumulación de resto seco, Parsons et al. (1988) destacan la importancia de lograr una alta eficiencia de pastoreo, asegurando que el animal consuma

el tejido foliar antes de su senescencia. En este sentido, el mejor momento para iniciar el pastoreo es aquel que evita un desequilibrio entre el material verde y seco (Zanoniani et al., 2003).

Además, en un estudio sobre el manejo de un cultivo de raigrás, se encontró que mantener una elevada superficie foliar condujo al deterioro estructural de la pastura a través de la acumulación de restos secos de la planta (Hunt & Easton, 1989).

Por otro lado, en cuanto al número de macollos promedio para las distintas frecuencias e intensidades de pastoreo en ambas estaciones, no se encontraron diferencias significativas. Esto puede explicarse por el efecto del agua, dado que la *Festuca*, al ser una gramínea perenne, posee mecanismos que le permiten mantener su actividad fotosintética y crecimiento en condiciones de estrés hídrico moderado. Según Bristiel et al. (2017), Keep et al. (2021) como se citan en Barkaoui y Volaire (2023), esta capacidad de adaptación podría haber favorecido la estabilidad en la tasa de macollamiento, independientemente de las condiciones de defoliación evaluadas. Además, la resistencia del tejido meristemático al estrés hídrico (Barlow et al., 1980) y su función como reservorio de carbohidratos (Barkaoui & Volaire, 2023) podrían haber favorecido una recuperación rápida del crecimiento tras períodos de menor disponibilidad de agua, evitando diferencias notorias en el número de macollos.

Asimismo, la temperatura es un factor clave en el crecimiento de las gramíneas forrajeras, ya que influye en la tasa de aparición y elongación foliar (Parsons & Chapman, 2000). Durante el invierno, las bajas temperaturas pueden reducir la tasa de crecimiento y el número de macollos debido a una menor tasa de extensión foliar y una mayor longevidad de las hojas (Lemaire et al., 2009). No obstante, en primavera, el aumento de la temperatura favorece la tasa de aparición foliar y generación de sitios potenciales para formar nuevos macollos (Parsons & Chapman, 2000). Sin embargo, a pesar de este incremento, la temperatura tiene una influencia limitada en el llenado de sitios de macollamiento (Mitchell, 1953), lo que podría explicar la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos.

En relación con el IAF y el %PAR interceptado antes y después del pastoreo, se observa una clara influencia de la estación del año. En particular, la mayor disponibilidad de IAF en primavera, en comparación con el invierno, sugiere una respuesta esperada de la vegetación a condiciones climáticas favorables, como el aumento de la temperatura y

radiación, las cuales estimulan el crecimiento foliar y, en consecuencia, la capacidad de intercepción de la radiación.

Por otro parte, la frecuencia de pastoreo mostró una relación inversamente proporcional con el %PAR interceptado en ambas estaciones. Esto indica que frecuencias de pastoreo bajas (4H) favorece un mayor desarrollo foliar y, en consecuencia, una mayor intercepción de la radiación. En este sentido, las defoliaciones generan efectos directos e indirectos en la morfogénesis del macollo, afectando especialmente la intercepción de la radiación. Directamente, la intercepción disminuye debido a la eliminación de parte del área foliar, lo que provoca una reducción en la tasa fotosintética y, por lo tanto, una menor tasa de crecimiento. Indirectamente, la defoliación incide sobre la composición espectral de luz dentro de la pastura (Gastal & Lemaire, 2015).

Además, la intensidad de pastoreo tuvo un impacto significativo en el IAF remanente durante el invierno, donde las intensidades bajas (30) presentaron un mayor IAF en comparación con las intensidades altas (70). Este resultado refleja el impacto negativo de un manejo intensivo del pastoreo sobre el remanente foliar, lo que afecta la captación de radiación y dificulta el mantenimiento de la producción en invierno, una estación en donde la cantidad de radiación que llega al dosel puede limitar la producción primaria. Sin embargo, en primavera no se observaron diferencias significativas en el % PAR interceptado del IAF remanente.

La menor intensidad de pastoreo lograda en primavera se debió a que los animales rechazaron grandes áreas de pastura debido a la floración de la festuca, lo que llevó a una mayor selectividad en el consumo de forraje por parte de los animales. En estas condiciones, incluso presionando a los animales para que consumieran más forraje, no se habría alcanzado el 70% de intensidad de pastoreo.

En este sentido, aunque la primavera es la estación de mayor producción forrajera anual, también se producen cambios en la estructura de la pastura y pérdidas en la calidad del forraje (Parsons & Chapman, 2000). Así, al momento de pastoreo, las condiciones de la pastura varían en función de su etapa fenológica, es decir, a medida que la pastura se desarrolla, su calidad disminuye, lo que aumenta la selectividad del animal y deja un remanente de menor calidad (Zanoniani et al., 2003).

En conjunto, estos resultados destacan la importancia de un manejo adecuado del pastoreo para optimizar la captación de la radiación y la productividad del sistema. En particular, una menor frecuencia e intensidad de pastoreo favorecieron un mayor IAF remanente, dando como resultado una mayor intercepción de radiación. Esto pone en evidencia que manejos menos intensivos podrían ser beneficiosos para mantener una estructura de la pastura favorable y mejorar la eficiencia en el uso de la radiación.

Finalmente, la relación entre el IAF y %PAR interceptado, mostró que, a medida que el IAF aumentaba, también lo hacía el %PAR interceptado, aunque con incrementos decrecientes hasta alcanzar un valor máximo (IAF crítico). Pastoreos contrastantes como 2H70 y 4H30 que resultan en estructuras de las pasturas distintas, y que repercuten en cambios en la estructura de las plantas, no tuvieron diferencias en el coeficiente de extinción de luz, presentando 2H70 un $k=0.68$ y 4H30 un $k=0.7$. Por lo tanto la festuca no cambió mucho la disposición de las hojas en el dosel. Este comportamiento es característico de las pasturas, ya que la capacidad de captura de radiación se maximiza con valores de IAF de entre 3 y 5, donde además se alcanza la máxima tasa neta de acumulación de forraje. En valores más bajos de IAF, la tasa neta de crecimiento se ve limitada por la intercepción de la radiación, mientras que en valores más altos de IAF, el crecimiento se encuentra limitado por la respiración de órganos sombreados y por la pérdida de tejidos debido a la senescencia (Gastal & Lemaire, 2015). Por otra parte, el coeficiente de atenuación lumínico fue igual para manejos de pastoreo muy contrastantes. Lo que sugiere que la arquitectura foliar (tamaño de láminas y ángulo de inserción de estas) se muestra casi invariable ante modificaciones en la intensidad y frecuencia de pastoreo.

7. Conclusiones

Se demostró que, tanto en primavera como en invierno, los pastoreos más intensos, que implican una mayor proporción de forraje cosechado, promueven tasas de crecimiento más elevadas y, por lo tanto, una mayor productividad.

Por otro lado, en primavera, además de la intensidad de pastoreo, es fundamental aumentar la frecuencia de pastoreo debido a que los procesos morfofisiológicos se aceleran debido a las altas temperaturas.

Asimismo, en invierno se requiere de pastoreos menos frecuentes, mientras que en primavera deben ser más frecuentes para evitar la acumulación de material senescente y así mejorar la eficiencia productiva.

En ambas estaciones, se observó que no es solo la intensidad del pastoreo lo que determina el rendimiento, sino el número de hojas presentes. En este sentido, un Índice de Área Foliar (IAF) de 4 se identificó como el valor óptimo para maximizar la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (%PAR).

8. Referencias bibliográficas

- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echeverría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol. 1. Clasificación de suelos del Uruguay*. MAP.
- Barkaoui, K., & Volaire, F. (2023). Drought survival and recovery in grasses: Stress intensity and plant–plant interactions impact plant dehydration tolerance. *Plant, Cell & Environment*, 46(5), 1489-1503. <https://doi.org/10.1111/pce.14543>
- Barker, D. J., Chu, A. C. P., & Korte, C. J. (1985). Some effects of spring defoliation and drought on perennial ryegrass swards. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 46, 57-63.
https://www.researchgate.net/publication/280880099_Some_effects_of_spring_defoliation_and_drought_on_perennial_ryegrass_swards
- Barlow, E. W. R., Munns, R. E., & Brady, D. J. (1980). Drought responses of apical meristems. En N. C. Turner & P. J. Kramer (Eds.), *Adaptation of plants to water and high temperature stress* (pp. 191-205). John Wiley & Sons.
- Black, C. K., & Chu, A. C. P. (1989). Searching for an alternative way to manage prairie grass. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 50(2), 219-223. <https://doi.org/10.33584/jnzg.1989.50.1859>
- Bourguignon, M., Nelson, J. A., Carlisle, E., Ji, H., Dinkins, R. D., Phillips, T. D., & McCulley, R. L. (2015). Ecophysiological responses of tall fescue genotypes to fungal endophyte infection, elevated temperature, and precipitation. *Crop Science*, 55(6), 2895-2909. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.01.0020>
- Brougham, R. W. (1970). Frequency and intensity of grazing and their effects on pasture production. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 32, 137-144. <https://doi.org/10.33584/jnzg.1970.32.1284>
- 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*. Hemisferio Sur.

- Carrère, P., Louault, F., De Faccio Carvalho, P. C., Lafarge, M., & Soussana, J. F. (2001). How does the vertical and horizontal structure of a perennial ryegrass and white clover sward influence grazing? *Grass and Forage Science*, 56(2), 118-130. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2001.00257.x>
- Chapman, D. F., Clark, D. A., Land, C. A., & Dymock, N. (1984). Leaf and tiller or stolon death of *Lolium perenne*, *Agrostis* spp., and *Trifolium repens* in set-stocked and rotationally grazed hill pastures. *New Zealand journal of agricultural research*, 27(3), 303-312. <https://doi.org/10.1080/00288233.1984.10430629>
- Clark, H., Newton, P. C. D., & Barker, D. J. (1999). Physiological and morphological responses to elevated CO₂ and soil moisture deficit of temperate pasture species growing in an established plant community. *Journal of Experimental Botany*, 50(331), 233-242. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/50.331.233>
- Cross, J. W., Bonos, S. A., Huang, B., & Meyer, W. A. (2013). Evaluation of heat and drought as components of summer stress on tall fescue genotypes. *HortScience*, 48(12), 1562-1567. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.12.1562>
- Cullen, B. R., Chapman, D. F., & Quigley, P. E. (2005). Persistence of *Phalaris aquatica* in grazed pastures: 1. Plant and tiller population characteristics. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45(1), 41-48. <http://dx.doi.org/10.1071/EA03227>
- 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). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1187-1>
- De Brun Cabrera, D. A., González Píriz, M. R., & Redín Navarro, N. M. (2023). *Efecto de la intervención de campo natural con nitrógeno y leguminosas en verano otoño* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Correcciones bibliográficas de trabajos finales de grado. <http://tesis.fagro.edu.uy/index.php/tg/catalog/book/107>

- Deregibus, V. A., Sanchez, R. A., & Casal, J. J. (1983). Effects of light quality on tiller production in *Lolium* spp. *Plant Physiology*, 72(3), 900-912.
<https://doi.org/10.1104/pp.72.3.900>
- Dumont, B., Rossignol, N., Decuq, F., Note, P., & Farruggia, A. (2020). How does pasture size alter plant–herbivore interactions among grazing cattle? *Grass and Forage Science*, 75(4), 438-446. <https://doi.org/10.1111/gfs.12503>
- Durand, J. L., Varlet-Grancher, C., Lemaire, G., Gastal, F., & Moulia, B. (1991). Carbon partitioning in forage crops. *Acta Biotheoretica*, 39(3-4), 213-224.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00114177>
- Equipo del Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes & 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://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15783/1/Revista-INIA-58-Setiembre-2019-p.9-12.pdf>
- Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (s.f.). *Annual climatological summary*.
<http://meteorologia.eemac.edu.uy/NOAAPRYR.TXT>
- Favaro, R., & De Mattos, 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>
- Formoso, D., Fernández Abella, D., Boggiano, P., Aquino, C., & Conde, A. (2013). Efecto de la intensidad de cosecha en la producción y estabilidad de pasturas sembradas. En G. Quintans & A. Scarsi (Eds.), *Seminario de actualización técnica: Cría vacuna* (pp. 35-46). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2555/1/18429260813122332.pdf>
- Formoso, F. (2010). *Festuca arundinácea: Manejo para producción de forraje y semillas*. INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2529/4/18429081210150440.pdf>
- García, J. A. (1995). *Estructura del tapiz de praderas*. Hemisferio Sur.

- García-Favre, J., Zanoniani, R., Cadenazzi, M., & Boggiano, P. (2017). Incidencia de variables biológicas y edáficas en el establecimiento de mezclas forrajeras. *Agro Sur*, 45(1), 3-10. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2017.v45n1-02>
- Garwood, E. A., & Sinclair, J. (1979). Use of water by six grass species: 2. Root distribution and use of soil water. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 25-35. <https://doi.org/10.1017/S0021859600086081>
- Gastal, F., Bélanger, G., & Lemaire, G. (1992). A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany*, 70(5), 437-442. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088500>
- Gastal, F., & Durand, J. L. (2000). Effects of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger, & P. C. de F. Carvalho (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 15-39). CABI.
- Gastal, F., & Lemaire, G. (2015). Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. *Agriculture*, 5(4), 1146-1171. <https://doi.org/10.3390/agriculture5041146>
- Gautier, H., & Varlet-Grancher, C. (1996). Regulation of leaf growth of grass by blue light. *Physiologia Plantarum*, 98(2), 424-430. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1996.980227.x>
- Gautier, H., Varlet-Grancher, C., & Hazard, L. (1999). Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. *Annals of Botany*, 83(4), 423-429. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0840>
- Gibson, D. J., & Newman, J. A. (2001). *Festuca arundinacea* Schreber (F. elatior L. ssp. arundinacea (Schreber) Hackel). *Journal of Ecology*, 89(2), 304-324. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00561.x>

- Gorriti Isern, P., & Pérez del Castillo Raquet, M. (1998). *Respuesta a fuentes, niveles y localización del nitrógeno en la producción y calidad de semilla de Festuca arundinacea Schreb. CV Tacuabé* [Trabajo final de grado, Universidad de la Republica]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25272/1/GorritiIsernPablo.pdf>
- Grant, S. A., Barthram, G. T., Torvell, L., King, J., & Smith, H. K. (1983). Sward management, lamina turnover and tiller population density in continuously stocked *Lolium perenne*-dominated swards. *Grass and Forage Science*, 38(4), 333-344. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1983.tb01657.x>
- Hodgson, J., Rodriguez Capriles, J. M., & Fenlon, J. S. (1977). The influence of sward characteristics on the herbage intake of grazing calves. *Journal of Agricultural Science*, 89(3), 743-750. <https://doi.org/10.1017/S0021859600061542>
- Hunt, W. F., & Easton, H. S. (1989). Fifty years of ryegrass research in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 50(1), 11-23.
https://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland_publication_2222.pdf
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). *Programa nacional de plantas forrajeras*. <http://www.inia.org.uy/investigacion/programas/produccion/pasturas.html>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Balance hídrico*.
<https://www.inumet.gub.uy/clima/agricultura/balance-hidrico>
- 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>
- Jaurena, M., Porcile, V., Baptista, R., Carriquiry, E., & Díaz, S. (2018). La regla verde: Una herramienta para el manejo del campo natural. *Revista INIA*, (54), 24-27.
<http://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/revista-INIA-54-setiembre-2018.pdf#page=26>

- Jewiss, O. R. (1993). Shoot development and number. En A. Davies, R. D. Baker, S. A. Grant, & A. S. Laidlaw (Eds.), *Sward measurement handbook* (pp. 99-120). British Grassland Society.
- Lattanzi, F. A., Schnyder, H., & Thornton, B. (2004). Defoliation effects on carbon and nitrogen substrate import and tissue-bound efflux in leaf growth zones of grasses. *Plant, Cell & Environment*, 27(3), 347-356.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2004.01147.x>
- Lemaire, G., & Chapman, D. (1996). Tissue flows in grazed plant communities. En J. Hodgson & A. W. Illius (Eds.). *The ecology and management of grazing systems* (pp. 3-36). CABI.
- Lemaire, G., & Culleton, N. (1989). Effects of nitrogen applied after the last cut in autumn on a tall fescue sward: II. Uptake and recycling of nitrogen in the sward during winter. *Agronomie*, 9(3), 241-249. <https://doi.org/10.1051/agro:19890302>
- Lemaire, G., Da Silva, S. C., Agnusdei, M., Wade, M., & Hodgson, J. (2009). Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: A review. *Grass and Forage Science*, 64(4), 341-353.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00707.x>
- Lemaire, G., Hodgson, J., De Moraes, A., Nabinger, C. D., & Carvalho, P. C. D. F. (2000). *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CABI.
<https://doi.org/10.1079/9780851994529.0000>
- MacAdam, J. W., & Nelson, C. J. (1987). Specific leaf weight in zones of cell division, elongation and maturation in tall fescue leaf blades. *Annals of Botany*, 59(4), 369-376. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087326>
- Marriott, C. A., & Carrère, P. (1998). Structure and dynamics of grazed vegetation. *Annales de Zootechnie*, 47(5-6), 359-369.
- Matches, A. G. (1992). Plant response to grazing: A review. *Journal of Production Agriculture*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.2134/jpa1992.0001>
- Matthew, C., & Sackville-Hamilton, N. R. (2011). Analysing persistence of grass swards in terms of tiller birth and death. *Research and Practice Series*, 15, 63-68. <https://doi.org/10.33584/rps.15.2011.3225>

- Matthew, C., Xia, J. X., Chu, A. C. P., Mackay, A. D., & Hodgson, J. (1991). Relationship between root production and tiller appearance rates in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). En D. Atkinson (Ed.), *Plant Root Growth: An ecological perspective* (pp. 281-290). Blackwell Scientific Publications.
- Mitchell, K. J. (1953). Influence of light and temperature on the growth of ryegrass (*Lolium* spp.): I. Pattern of vegetative development. *Physiologia Plantarum*, 6(1), 21-46. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1953.tb08930.x>
- Nelson, C. J. (1996). Physiology and developmental morphology. En L. E. Moser, D. R. Buxton, & M. D. Casler (Eds.), *Cool-season forage grasses* (Vol. 34, pp. 87-125). ASA; CSSA; SSSA. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr34.c4>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario 2023*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUARIO2023WEB.pdf>
- Parsons, A. J., & Chapman, D. F. (2000). The principles of pasture growth and utilization. En A. Hopkins (Ed.), *Grass: Its production and utilization* (pp. 31-89). Blackwell Science.
- Parsons, A. J., Johnson, I. R., & Harvey, A. (1988). Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science*, 43(1), 49-59. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1988.tb02140.x>
- 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>
- Risso, D. F., Berretta, E. J., & Morón, A. (Eds.). (1996). *Producción y manejo de pasturas*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2986/1/111219240807135431.pdf>
- Romero, R. (2003). *Características geográficas y socioeconómicas del Uruguay*. INIA. https://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/uruguay_gral.htm

- Rosengurtt, B., Sierra de Soriano, B., & Arrillaga de Maffei, B. R. (1960). Caracteres vegetativos y forrajeros de 175 gramíneas del Uruguay. *Revista de la Facultad de Agronomía*, (47), 3-168.
- Schnyder, H., Schäufele, R., De Visser, R., & Nelson, C. J. (2000). An integrated view of C and N uses in leaf growth zones of defoliated grasses. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. D. Moraes, C. D. Nabinger, & P. D. F. Carvalho (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 41-60). CABI.
- Virkajärvi, P. (2004). *Growth and utilization of timothy-meadow fescue pastures*. [Disercción doctoral, Universidad de Helsinki]. Researchgate.
https://www.researchgate.net/publication/47932268_Growth_and_utilization_of_timothy_-_meadow_fescue_pastures
- Volenec, J. J., & Nelson, C. J. (1981). Cell dynamics in leaf meristems of contrasting tall fescue genotypes. *Crop Science*, 21(3), 381-385.
<https://doi.org/10.2135/CROPSCI1981.0011183X002100030007X>
- West, C. P., Oosterhuis, D. M., & Wullschlegel, S. D. (1990). Osmotic adjustment in tissues of tall fescue in response to water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 30(2), 149-156. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(90\)90059-D](https://doi.org/10.1016/0098-8472(90)90059-D)
- Zanoniani, R. A., Ducamp, F., & Bruni, M. A. (2003). *Utilización de verdeos de invierno en sistemas de producción animal*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/66-verdeos.pdf
- Zarza, R., Calistro, E., & Martinez, E. (2013). Importancia de la implantación en las pasturas perennes. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Reunión técnica: El éxito productivo de una pastura con leguminosas perennes comienza en su implantación* (pp. 1-9).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6728/1/ad-711.p.1-9-ZARZA.pdf>

9. Anexo

Anexo A

Figura A1

Disponibilidad de forraje pre pastoreo 4/08/2023



Figura A2

Disponibilidad de forraje post pastoreo 29/08/2023



Figura A3

Pastoreo animal en invierno 8/09/2023



Figura A4

Corte de forraje remanente 10/09/2023



Figura A5

Forraje disponible pre pastoreo primavera 25/09/2023



Figura A6

Pastoreo animal en primavera 27/09/2023



Figura A7

Disponibilidad de forraje pre pastoreo en primavera 14/11/2023

