

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITRÓGENO-FOSFATADA Y DE LA  
INCORPORACIÓN DE LEGUMINOSAS EN CAMPO NATURAL SOBRE LA  
COMPOSICIÓN BOTÁNICA Y LA PRODUCCIÓN PRIMARIA Y  
SECUNDARIA**

**por**

**Francisco Emilio FERNÁNDEZ RARIZ**

**Juan Manuel SOUZA ECHENIQUE**

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

**MONTEVIDEO**

**URUGUAY**

**2024**

**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final aprobado por:

Director: -----  
Ing. Agr. (Mag.) Felipe Casalás Mouriño

Co-Director: -----  
Ing. Agr. (PhD.) Pablo Rómulo Boggiano Otón

Tribunal: -----  
Ing. Agr. (Mag.) Felipe Casalás Mouriño

-----  
Ing. Agr. (PhD.) Javier García Favre

-----  
Ing. Agr. (PhD.) Stefanía Pancini

Fecha: 9 de diciembre de 2024

Estudiantes: -----  
Francisco Emilio Fernández Rariz

-----  
Juan Manuel Souza Echenique

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestras familias por el continuo acompañamiento a lo largo de la carrera.

A nuestros amigos, compañeros y futuros colegas por los años y momentos compartidos.

A los tutores, Felipe Casalás y Pablo Boggiano, por el apoyo y dedicación durante el proceso de investigación y elaboración de este trabajo.

A Mercedes Verdaguer, Ángel Colombino y Laura Barreto por su colaboración en diferentes tareas durante este proceso.

A los docentes y demás funcionarios de Facultad de Agronomía que han sido parte fundamental en nuestra formación profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....	6
RESUMEN.....	7
SUMMARY .....	8
1 INTRODUCCIÓN.....	9
2 OBJETIVOS .....	10
2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	11
3.1 CONSIDERACIONES SOBRE EL CAMPO NATURAL.....	11
3.1.1 Manejo del pastoreo .....	13
3.1.1.1 Tiempo de ocupación y descanso.....	13
3.1.1.2 Intensidad de defoliación .....	15
3.2 EFECTO DEL AGREGADO DE LEGUMINOSAS Y DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA.....	16
3.3 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITRÓGENO-FOSFATADA.....	20
3.4 HIPÓTESIS BIOLÓGICA .....	24
4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	25
4.2 DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	25
4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	27
4.4 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN.....	28
4.5 HIPÓTESIS ESTADÍSTICA .....	30
4.6 MODELO ESTADÍSTICO .....	31
4.6.1 Variables de producción y estructura analizadas para el periodo de evaluación .....	31
4.6.2 Producción acumulada .....	32
4.6.3 Producción Secundaria.....	32
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
5.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	33
5.1.1 Temperatura y Precipitaciones .....	33
5.1.2 Balance Hídrico .....	33
5.2 ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO .....	34

	5
5.2.1 Producción Primaria .....	34
5.2.2 Composición Botánica .....	41
5.2.2.1 Efecto del tratamiento en la composición botánica .....	44
5.2.2.2 Efecto del ciclo en la composición botánica .....	47
5.2.3 Producción Secundaria.....	50
6 CONSIDERACIONES FINALES .....	54
7 CONCLUSIONES .....	56
8 BIBLIOGRAFÍA.....	57
9 ANEXO.....	69

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla 1</b> Significancia de los efectos y de seis contrastes ortogonales sobre las variables de producción primaria.....	35
<b>Tabla 2</b> Medias y ranking de variables medidas en parcelas de ingreso según el tratamiento .	36
<b>Tabla 3</b> Medias y ranking de variables medidas en parcelas de ingreso según el ciclo de pastoreo .....	36
<b>Tabla 4</b> Medias y ranking de variables medidas en parcelas de salida según el tratamiento....	39
<b>Tabla 5</b> Media y ranking de variables medidas en parcelas de salida según el ciclo de pastoreo .....	39
<b>Tabla 6</b> Significancia de efectos y seis contrastes ortogonales sobre tasa de crecimiento y producción acumulada .....	40
<b>Tabla 7</b> Efecto del tratamiento sobre la tasa de crecimiento (TC) y producción acumulada ...	41
<b>Tabla 8</b> Significancia de los efectos y de seis contrastes ortogonales sobre las variables de composición botánica .....	43
<b>Tabla 9</b> Proporción de diferentes grupos botanales de gramíneas estivales según tratamiento para el total del periodo.....	45
<b>Tabla 10</b> Proporción de diferentes grupos botanales de gramíneas invernales según tratamiento para el total del periodo.....	45
<b>Tabla 11</b> Proporción de los diferentes grupos botanales de leguminosas según tratamiento para el total del periodo.....	46
<b>Tabla 12</b> Proporción de diferentes grupos botanales de otras hierbas según tratamiento para el total del periodo .....	47
<b>Tabla 13</b> Proporción de diferentes grupos botanales de gramíneas estivales según ciclo de pastoreo .....	48
<b>Tabla 14</b> Proporción de los diferentes grupos botanales de gramíneas invernales según ciclo de pastoreo .....	48
<b>Tabla 15</b> Proporción de los diferentes grupos botanales de leguminosas según ciclo de pastoreo .....	49
<b>Tabla 16</b> Proporción de los diferentes grupos botanales de otras hierbas según ciclo de pastoreo .....	50
<b>Tabla 17</b> Significancia de efectos y contrastes ortogonales sobre la ganancia media diaria y oferta de forraje.....	50
<b>Tabla 18</b> Efecto tratamiento sobre la ganancia media diaria, oferta de forraje y ganancia de peso vivo.....	51
<b>Tabla 19</b> Efecto del ciclo sobre la ganancia media diaria y oferta de forraje .....	51
<b>Tabla 20</b> Efecto de la Interacción Tratamiento*Ciclo para ganancia media diaria.....	52
<b>Figura 1</b> Mapa de tipo suelos escala 1:5000 del área del experimento.....	26
<b>Figura 2</b> Mapa del diseño experimental en bloques completos al azar.....	27
<b>Figura 3</b> Temperatura (°C) y precipitaciones (mm) del periodo de análisis y medias históricas (1991-2020) para la EEMAC .....	33
<b>Figura 4</b> Evolución decádica del almacenaje de agua en el suelo, evapotranspiración potencial y evapotranspiración real.....	34

## RESUMEN

El presente estudio fue llevado a cabo en el potrero 18 de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, en el departamento de Paysandú, Uruguay (-32°39'96" S, -58°04'45" W). El experimento en el cual se trabajó se estableció en el 2014, por lo que ha habido un seguimiento de manejo tanto en pastoreo como en agregado de insumos y un probable efecto residual de los mismos. El periodo de evaluación estuvo comprendido entre el 2/4/2024 y el 22/7/2024. Dicho periodo comprende 111 días separados en dos ciclos completos de pastoreo: ciclo 1 (2/4/2024 al 27/5/2024) y ciclo 2 (27/5/2024 al 22/7/2024). El objetivo del trabajo fue evaluar dos tecnologías de intervención en campo natural: fertilización nitrogenada-fosfatada y la introducción de *Lotus tenuis* y *Trifolium pratense* en adhesión con fósforo. A partir de esto se midió el efecto en la producción de MS, composición botánica y producción secundaria. Los tratamientos fueron: testigo sin intervención (CN), campo natural mejorado con leguminosas y agregado de 40 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (CNm) y dos niveles de fertilización nitrogenada: 60 kg/ha/año (N60) y 120 kg/ha/año (N120) fraccionadas en partes iguales en otoño e invierno y agregado de 40 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Dichos tratamientos se ordenaron en un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para cada variable considerada se realizó un análisis de varianza y contraste ortogonales. Las mismas fueron: altura de la materia seca (MS) disponible, MS disponible, %materia verde (MV) disponible, altura de la MS remanente, MS remanente, %MV remanente, %Desaparecido, producción acumulada y tasa de crecimiento. Además, se analizaron diecisiete grupos botanales, %suelo desnudo, %malezas de campo sucio (MCS) en cobertura, ganancia media diaria (GMD) y %oferta de forraje (OF). El estudio indica que no se evidenció superioridad en la producción de forraje ante niveles crecientes de intervención, principalmente debido a condiciones climáticas desfavorables: periodo sucesivo de heladas meteorológicas y exceso hídrico en el mes de fertilización. De igual forma, el agregado de insumos repercutió en cambios en la composición del tapiz, favoreciendo especies de gran calidad forrajera, especialmente en lo que refiere a *Lolium multiflorum*. Esto trae aparejados aumentos en la GMD de los animales, evidenciando diferencias significativas entre los tratamientos CN y N120. Los restantes dos se comportaron de forma intermedia. Es importante resaltar que el aumento de producción de carne se da a expensas de sustitución de especies perennes por anuales, pudiendo esto ser una amenaza ecológica.

*Palabras clave:* campo natural, agregado de leguminosas, fertilización nitrógeno-fosfatada, producción secundaria, amenaza ecológica

## SUMMARY

This study was conducted in paddock 18 of the Mario A. Cassinoni Experimental Station at the Faculty of Agronomy, located in the Paysandú department, Uruguay (-32°39'96'' S, -58°04'45'' W). The experiment, established in 2014, has undergone management monitoring, including grazing practices and the addition of inputs, as well as a potential residual effect from these inputs. The evaluation period spanned from April 2, 2024, to July 22, 2024, encompassing 111 days divided into two complete grazing cycles: Cycle 1 (April 2, 2024, to May 27, 2024) and Cycle 2 (May 27, 2024, to July 22, 2024). The objective of the study was to assess two intervention technologies in natural pasture: nitrogen-phosphorus fertilization and the introduction of *Lotus tenuis* and *Trifolium pratense* along with phosphorus application. The effects measured included dry matter (DM) production, botanical composition, and secondary production. The treatments were as follows: control without intervention (NP), improved natural pasture with legumes and the addition of 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (INP), and two levels of nitrogen fertilization: 60 kg/ha/year (N60) and 120 kg/ha/year (N120), split equally between autumn and winter, along with the addition of 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. These treatments were arranged in a completely randomized block design with four replications. For each variable considered, an analysis of variance and orthogonal contrasts were performed. These variables included the height of available dry matter (DM), available DM, percentage of available green matter (GM), height of residual DM, residual DM, percentage of residual GM, percentage disappeared, accumulated production, and growth rate. Additionally, seventeen botanical groups, percentage of bare soil, percentage of weedy cover (WC), average daily gain (ADG), and percentage of forage supply (FS) were analyzed. The study indicates that no superiority in forage production was observed with increasing levels of intervention, mainly due to unfavorable weather conditions: a consecutive period of frosts and excessive rainfall during the fertilization month. Similarly, the addition of inputs resulted in changes in the composition of the sward, favoring high-quality forage species, particularly concerning *Lolium multiflorum*. This resulted in increases in the ADG of the animals, showing significant differences between the CN and N120 treatments, while the other two exhibited intermediate behavior. It is important to highlight that the increase in meat production occurs at the expense of the replacement of perennial species by annuals, which could pose an ecological threat.

*Keywords:* natural pasture, addition of legumes, nitrogen-phosphorus fertilization, secondary production, ecological threat

## 1 INTRODUCCIÓN

Las pasturas naturales en el Uruguay constituyen la mayor fuente forrajera para el desempeño de la actividad ganadera. El área ocupada por las mismas es de 11,4 millones de hectáreas aproximadamente (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2023), representando cerca de un 70% del total del área destinada para uso agropecuario.

La producción de carne sobre campo natural se caracteriza por ser baja, con un promedio aproximado de 70 kg/ha (Paparamborda, 2017, como se cita en Do Carmo et al., 2019). Además, el índice de destete se encuentra en torno al 62% y la edad de faena ronda los 4 años (Mederos et al., 2022; Zanoniani, 1999). Estos resultados, causantes de una baja rentabilidad, pueden asociarse a las características propias del campo natural. Este presenta una marcada estacionalidad productiva debido a la predominancia de gramíneas perennes estivales, determinando una baja producción invernal de materia seca. La mayor proporción de especies presentes se caracterizan por ser de tipo productivo ordinario, que sumado a una baja presencia de leguminosas y niveles deficientes de nutrientes en el suelo a partir de moderados valores de acidez, determinan un bajo valor nutritivo.

Además de las características productivas naturales del bioma en cuestión, hay que tener en cuenta que el manejo del pastoreo es un factor determinante en su mantenimiento. Situaciones de sobrepastoreo determinan una desaparición de las gramíneas invernales finas y tiernas, acentuando la marcada producción estival, así como una mayor proporción de suelo desnudo. Esto vuelve al sistema más susceptible a la erosión y da lugar al desarrollo de especies anuales, malezas y especies exóticas invasoras como *Cynodon dactylon* (Martínez & Pereira, 2011).

Según los niveles de degradación iniciales que presente el campo natural se han estudiado diversas maneras de incremento de la productividad. Entre las opciones que pueden considerarse se encuentran: ajustes en el manejo del pastoreo, introducción de leguminosas o fertilización nitrógeno-fosfatada.

Se entiende que comprender el funcionamiento de este bioma y conocer las alternativas de manejo e intensificación sustentables es fundamental para aprovecharlo de la mejor manera, intentando mantener su estructura base y los servicios ecosistémicos que brinda. Por este motivo, este trabajo procura evaluar algunas de estas alternativas y su efecto en la dinámica del campo natural así como en la producción tanto vegetal como animal.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GENERALES

Evaluar dos tecnologías de intervención en campo natural; la fertilización nitrógeno-fosfatada y el agregado de *Trifolium pratense* y *Lotus tenuis* y su efecto en la composición botánica, la producción de materia seca y en la producción animal.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar variaciones en la producción primaria según las diferentes medidas de intervención.

Analizar el cambio en la composición botánica entre los tratamientos propuestos.

Evaluar la ganancia media diaria de peso vivo y producción de carne por unidad de superficie a partir de las diferentes condiciones de forraje.

### 3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CONSIDERACIONES SOBRE EL CAMPO NATURAL

A fines del siglo XVII, se estima que el ganado vacuno ya se extendía por todo el país, años después de su introducción por parte de Hernandarias en 1611 (Instituto Nacional de Carnes, s.f.). Desde entonces, la ganadería ocupa un lugar fundamental en la cultura y la economía uruguaya, posicionada en el primer lugar de las exportaciones con un valor de 2081 millones de USD en 2023 (Uruguay XXI, 2023). Este escenario con más de 400 años de historia fue posible entre otras cosas gracias al recurso forrajero por excelencia de nuestras latitudes: el campo natural.

Esta fuente forrajera, dado su bajo costo, suele tratarse con ligereza y simplicidad a nivel comercial cuando en realidad posee gran complejidad. El campo natural constituye la mayor riqueza de biodiversidad de nuestro territorio representando el 80% de la diversidad florística del país (Andrade et al., 2018). Existe gran heterogeneidad en composición y estructura, pudiéndose encontrar en campos bien conservados de 25 a 50 especies/m<sup>2</sup> que presentan diferentes ciclos de vida y producción, además de múltiples tipos vegetativos y productivos (Pañella et al., 2024). La razón de esta diversidad radica en los suelos en los que se desarrolla dicha vegetación que presentan una alta variabilidad, en ocasiones en distancias muy cortas, debido fundamentalmente a la pluralidad de materiales geológicos y relieves presentes en nuestro país (Marchesi & Durán, 1969). De esta manera, es frecuente encontrar diversas condiciones de fertilidad, drenaje, exposición a la radiación, entre otras variables, coexistiendo en los mismos potreros que permiten la colonización de dichas áreas por aquellas especies más adaptadas a cada una de ellas (Izaguirre et al., 2024).

Esta complejidad de ambientes y de especies sumado al manejo realizado explican la composición botánica de los campos de cada establecimiento. La producción de materia seca, su estacionalidad y calidad nutritiva son consecuencia entre otras cosas, de esta composición.

Como se mencionó anteriormente, la producción invernal de este recurso encarna una de las mayores limitantes productivas fundamentalmente por el volumen de la misma. A nivel nacional, estas producciones se encuentran dentro de un rango de 263 kg MS/ha para un Brunosol Éútrico en cristalino (Formoso, 1991) y 569 kg MS/ha para basalto profundo (Berretta, 1991), correspondiente a un 7 y 12% de la producción anual respectivamente. Dicho escenario responde a una baja frecuencia de especies invernales C3 debido a una menor eficiencia en el uso del nitrógeno con respecto a las C4 y a la intensa defoliación ejercida sobre las invernales en los periodos críticos de crecimiento. Las especies estivales, por su parte, escapan a dicho efecto nocivo dado su crecimiento en momentos de exceso de forraje (Carámbula, 1991). Teniendo en cuenta que en las diferentes regiones del país se observa una relación de gramíneas estivales e invernales que ronda 4:1, los mayores aportes de forraje se dan en el período primavero-estivo-otoñal (Peirano & Rodríguez, 2004).

La marcada estacionalidad de la producción de forraje del campo natural es acompañada por una baja calidad en el período primavero-estival. Una de las causas de esto es a partir de la ya mencionada dominancia de especies C4, ya que en su composición de tejidos hay un mayor porcentaje de esclerénquima, en comparación con las especies invernales donde hay mayor proporción de clorénquima y parénquima incoloro (Ferrés & Álvarez, 1982). Una mayor proporción de tejido lignificado se traduce en una menor digestibilidad, que en el período estival disminuye a 50% mientras en el invierno-primaveral se encuentra alrededor del 60% (Zanoniani, 2009).

También, la moderada acidez y los bajos contenidos de nutrientes en el suelo suponen una menor calidad del forraje. Por ejemplo, los bajos contenidos de fósforo en todos los suelos del país, donde como máximo se ofrecen 9ppm en el litoral oeste, justifican una baja proporción de leguminosas, alrededor del 5 y 2% para cristalino y areniscas respectivamente (Carámbula, 1991). Estas especies, además de ser donantes de fertilidad al suelo consecuencia de la fijación biológica de nitrógeno, presentan alto contenido de proteína cruda (PC) en sus tejidos. Souza (1985), como se cita en Carámbula (1991) establece que para el verano en pasturas naturales dicho parámetro ronda promedialmente el 8,4% y puede ascender a 12,5% en el período invernal. Dichos valores se encuentran muy por debajo de los que presentan leguminosas nativas como la *Adesmia bicolor* y *Trifolium polymorphum*, encontrándose alrededor de 18 y 22% y digestibilidades superiores al 70% (Coll & Zarza, 1992).

Considerando lo anterior y acompañado por deficiencias en micronutrientes, el campo natural como base forrajera puede estar condicionando la producción animal. Por ejemplo, deficiencias de cobre (Cu) pueden significar anormalidades esqueléticas, falencias en la pigmentación del pelo y lana y pérdidas en el rizado de esta última. Bajos valores de cobalto (Co) se traducen en falta de sustrato para la síntesis de vitamina B12, lo que bloquearía la utilización de ácido propiónico, siendo este la principal fuente energética de los rumiantes (Pigurina et al., 1998).

Entonces, el déficit forrajero invernal, que coincide con un aumento en los requerimientos energéticos de los animales debido a las condiciones climáticas y eventos fisiológicos tales como la preñez, se traduce en pérdidas de peso, provocando así una mayor edad de faena, un índice de procreo de 60% y una tasa de extracción del 24.5% (Gorga & Mila, 2022). En otras palabras, la problemática invernal en el campo natural pone un techo a la producción sobre este recurso. Es por este motivo que la planificación y el manejo estratégico del mismo y de los rodeos se tornan fundamentales para lograr cumplir con los requerimientos animales y perfeccionar los resultados productivos.

### 3.1.1 Manejo del pastoreo

Según Berretta (1991), la investigación en producción animal y pasturas supone comprender la relación planta-animal y la influencia de cada uno de estos componentes sobre el otro. El pastoreo es un factor de modificación clave en el ambiente vegetal puesto que, mediante una defoliación diferencial sobre las especies que lo componen, genera impactos en la estructura y funcionamiento de las poblaciones y comunidades. Esto implica la ocurrencia de variaciones en la composición botánica de las pasturas que como ya fue mencionado es lo que explica la producción total de forraje, su estacionalidad y calidad (Nabinger & Carvalho, 2009). De esta manera, el pastoreo surge como “una herramienta para mejorar la productividad de las pasturas naturales” (Berretta, 1988, p. 79) y permite mediante el ajuste de la frecuencia, intensidad y momento de la defoliación incidir en los aspectos mencionados.

#### 3.1.1.1 Tiempo de ocupación y descanso

La frecuencia de la defoliación está determinada por el tiempo de permanencia de los animales en determinada parcela y los días de descanso de esta. La suma de estos dos tiempos conforma lo que se conoce como un ciclo de pastoreo.

El tiempo de descanso de una parcela es fundamental para que las plantas puedan recuperar el área foliar perdida a causa del consumo animal, realizar los procesos fotosintéticos correspondientes y distribuir adecuadamente fotoasimilados. Además de tener un impacto en los procesos fisiológicos de las plantas, la frecuencia de la defoliación también incide en la ecología de las pasturas naturales.

Con respecto a este último punto, el manejo de estos tiempos debe tener por objetivo la promoción de especies cespitosas invernales y estivales, con mayor hincapié en las primeras (Zanoniani, 1999). Este tiempo puede ser igual a cero, sistema conocido como pastoreo continuo o mayor a cero en sistemas rotativos. Si este tiempo es muy reducido o nulo las plantas no podrán recuperarse apropiadamente, fundamentalmente las cespitosas y finas puesto que son menos adaptadas a la defoliación. Mientras que estas sufren un efecto adverso bajo estas condiciones, se favorecen las especies menos preferidas en el proceso de selección de los rumiantes, de menor calidad y de hábito de crecimiento estolonífero o rizomatoso, es decir, especies menos erectas.

Resultados de este tipo son los obtenidos en basalto por Berretta (2005) al evaluar la frecuencia relativa de *Paspalum notatum*, especie estolonífera/rizomatosa, bajo dos frecuencias de defoliación diferentes, donde se vio favorecido en manejos de carga continua. En contraposición, el *Paspalum plicatulum*, especie cespitosa, tuvo una reducción bajo estas condiciones. A su vez, en un experimento realizado en la zona de Castillos, Rocha, se determinó que, en los tratamientos con cargas rotativas, el aumento de las gramíneas cespitosas fue mayor que en el tratamiento sin descanso (Jaurena & Rivas, 2005).

En cuanto a la zona del Litoral Oeste, Boggiano et al. (2005) observan que en los tratamientos rotativos se encuentra mayor cantidad de gramíneas (al menos en las laderas) y de leguminosas y una menor cantidad de malezas enanas y de campo sucio al compararse contra un pastoreo continuo. Al observar la evolución de los tipos productivos presentes en los campos, se aprecia que, a mayor tiempo de descanso, mayor es la contribución de especies finas en el tapiz, las duras oscilan en un mismo rango y se reducen drásticamente las no palatables (*Baccharis trimera*, *Eupatorium buniifolium*, *Eryngium horridum*). En este mismo trabajo, también se observó un incremento de *Paspalum dilatatum* y *Paspalum quadrifarium* al aumentar los días de descanso entre pastoreos. Al permitir descansos a las pasturas las especies cespitosas verán favorecido su crecimiento sombreando a las malezas enanas o gramíneas más postradas reduciendo su participación en el tapiz (Zanoniani, 1999). Sin embargo, este último autor establece que especies cespitosas de tipo productivo duro (como *P. quadrifarium*). junto con las malezas de campo sucio también pueden verse favorecidas con descansos prolongados. Por su parte, Berretta (2005) afirma que si los tiempos de descanso son demasiado largos, también se corre riesgo de envejecimiento de las hojas y de la lignificación de las plantas a causa de la encañazón y floración, perdiendo calidad nutricional, así como eficiencia en el uso de la radiación.

Por este motivo, Rosengurtt (1979) propone pastoreos más frecuentes en el verano para que las estivales duras sean consumidas y se reduzca su capacidad competitiva. Por su parte establece cierres otoñales para promover el rebrote y germinación de las invernales y luego pastoreos más aliviados durante el invierno e inicios de la primavera para aprovechar la buena calidad de estas especies sin perjudicar su persistencia. En el trabajo ya mencionado de Boggiano et al. (2005) se reafirman estos conceptos.

Otro factor de relevancia, además del cambio en la composición de especies, es la producción de materia seca y su variación en función de estos tiempos de descanso. Se ha documentado una relación positiva entre el tiempo de descanso y el porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente que es absorbida por las plantas (Boggiano et al., 2011). Del mismo modo la relación entre la PAR absorbida y la productividad primaria neta aérea (PPNA) es positiva y lineal (Baeza et al., 2011). En la región de lomadas del este, las parcelas con exclusión de pastoreo durante 90 días mostraron una producción significativamente mayor de materia seca que aquellas con 30 días de descanso durante 5 años (Ayala & Bermúdez, 2005). En el total acumulado para todo el período, las fracciones con mayor intervalo entre pastoreos produjeron casi un 70% más de materia seca. En promedio la diferencia fue de 1674 kg MS/ha/año.

En campos naturales sobre el Basamento Cristalino, las parcelas con descanso produjeron un 23 y un 12% más de materia seca que aquellas sin descanso para dos relaciones lanar/vacuno diferentes (Formoso, 1991). Boggiano et al. (2005) para la región Litoral Oeste, indican que hubo diferencias significativas entre parcelas con 40 y 20 días de descanso en posición topográfica de ladera mientras que entre 40 y 80 no las hubo. Además, estos últimos autores también encontraron que, para el caso de los bajos, si hubo

respuesta significativa en los tratamientos de 80 días respecto a los demás fundamentalmente en primavera y verano. Sin embargo, en este mismo trabajo se concluye que el manejo de 40 días durante primavera y verano y 60 días en el invierno es adecuado para evitar la pérdida de calidad por los procesos ya descritos anteriormente.

En resumen, la existencia de períodos de descanso entre pastoreos permite la reposición de los tejidos, favorece especies cespitosas y aumenta la producción de materia seca. Para la zona del Litoral Oeste, el período óptimo donde se encuentra un balance entre una buena producción y un mantenimiento de la calidad nutritiva se ubica entre los 40 y los 60 días.

### 3.1.1.2 Intensidad de defoliación

Tal como se estableció anteriormente, la intensidad de defoliación es otro de los parámetros que componen al pastoreo que tienen gran impacto sobre las comunidades vegetales. El mismo, al igual que el punto anterior, es fácilmente modificable por técnicos y ganaderos para emplearlo a su beneficio. Pastoreos más intensos se relacionan a menores asignaciones de forraje por animal y por día y tiene como consecuencias remanentes de menores alturas y menor selectividad animal. Lo opuesto ocurre en pastoreos más aliviados.

La asignación de forraje establecida tiene consecuencias en la composición de especies, en la producción de forraje y en el desempeño animal. Referente al primer punto, Ayala y Bermúdez (2005) determinaron que en pastoreos intensos con remanentes de 2,5 cm de altura la relación gramíneas/otras hierbas fue de 60/40 frente a un 90/10 aproximadamente en el tratamiento de 7,5 cm de remanente. Asimismo, al evaluar cuáles eran esas gramíneas, se observó que, en el tratamiento de mayor intensidad, cerca del 90% corresponden a especies estoloníferas/rizomatosas mientras que en el caso del más aliviado estas eran alrededor del 50% siendo las restantes gramíneas cespitosas. Este fenómeno de pérdida de las especies cespitosas generó una dominancia en los campos de especies de porte rastrero que a su vez significan una pérdida de diversidad. En los tratamientos de mayor intensidad, un menor número de especies significó un mayor porcentaje de contribución al total de especies presentes. La altura del remanente está vinculada a la oferta de forraje y hay una relación entre esta y el índice de diversidad vegetal, siendo este mayor según aumentan los kg MS/100 kg PV/día ofrecidos. En otras palabras, pastoreos de menor intensidad aumentan la diversidad de especies presentes. Este índice parece maximizarse en el entorno del 12% de oferta (Carvalho et al., 2003, Pinto, 2010, como se citan en Nabinger et al., 2011). Esto concuerda con lo obtenido por Basso (2016) al evaluar niveles crecientes de oferta de forraje con índice NDVI. Para valores de 4% de oferta de forraje se obtuvieron las menores variaciones del índice, variaciones medias en 8% y 16-12% y las mayores variaciones para los tratamientos de 12%, 8-12%, 12-8% y 16%. Variaciones mayores indican mayor heterogeneidad del tapiz.

En lo que refiere a producción de materia seca, la tasa de crecimiento diaria medida como kg de MS/ha/día se explica por una relación cuadrática aumentando con incrementos decrecientes hasta un máximo de 11,5% PV de oferta de forraje. Al aumentarse aún más la oferta, esta tasa comienza a decrecer (Moojen & Maraschin, 2002). En este mismo trabajo se evaluó la producción total de materia seca y, como es lógico, también se maximizó en niveles de oferta similares, puesto que la producción es igual a la tasa de crecimiento diaria por el tiempo transcurrido en días. Resultados similares son los obtenidos por Aguinaga (2004) en donde las producciones de materia seca fueron máximas en el tratamiento de 8 y 12% de oferta de forraje para la primavera y el resto del año respectivamente. Este tratamiento produjo cerca del doble que el de 4% y una diferencia mayor a 2000 kg MS/ha que el que variaba entre 16 y 12%.

Al observar la producción animal en función de la oferta de forraje, Moojen y Maraschin (2002) determinaron que en el entorno del 12% de oferta de forraje, las ganancias en kg/ha se hicieron máximas, mientras que las mayores ganancias medias diarias (GMD) se obtuvieron en valores de 13,4% del PV. A menores ofertas, la performance animal se reduce. Esto tiene fundamento en que el número de estaciones alimentarias visitadas por el animal con bajas ofertas de forraje es similar al número de estaciones existentes. Como consecuencia, la selectividad animal es baja y la calidad de la dieta consumida también lo es. Al incrementarse las ofertas, el número de sitios potenciales de consumo es considerablemente mayor que el número de sitios visitados, traduciéndose en mayor selectividad y una dieta consumida de mejor calidad (Mezzalana et al., 2010, como se cita en Nabinger et al., 2011). De este modo, las ganancias de peso vivo son superiores. Sin perjuicio de lo anterior, cabe destacar que la oferta de forraje está correlacionada lineal y positivamente con la proporción de material muerto de la materia seca y negativamente con la concentración de proteína bruta y digestibilidad de la materia seca (Moojen & Maraschin, 2002). Estas relaciones, comienzan a actuar en detrimento de la performance animal bajo ofertas de forraje superiores al 12%.

### 3.2 EFECTO DEL AGREGADO DE LEGUMINOSAS Y DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA

El fósforo (P) es un macronutriente esencial en la composición de los organismos, ya que es componente de la fuente de almacenamiento de energía conocida como el adenosín trifosfato (ATP), así como integrante de ácidos nucleicos, fosfolípidos y coenzimas NAD y NADP (Morón, 1996b).

En el suelo, el fósforo se puede encontrar en dos grandes grupos: conformado la fase sólida o en solución. Dentro de la fase sólida se puede clasificar en fracción orgánica o inorgánica. La primera forma se compone de biomasa microbiana, humus y restos frescos (Abella & Nin, 2003). Por su parte, la fase sólida inorgánica hace referencia a la combinación del elemento en cuestión con hierro, aluminio y calcio, así como con arcillas de tipo 1:1 y 2:1 (Morón, 1992).

Por su parte, el fósforo en solución se encuentra de forma inorgánica, fundamentalmente en forma de ion fosfato (Morón, 1992). Este contenido es variable según la región del país. Los menores valores se encuentran sobre el basalto superficial, cuyas concentraciones rondan las 2,5-3,5 ppm, mientras que los valores máximos, alrededor de 8,5-9,5 ppm, se encuentran sobre Formación Fray Bentos (Carámbula, 1991). Aunque estos valores significan un factor limitante en el proceso de absorción, las especies del tapiz natural se encuentran adaptadas a esta condición, pero repercutiendo en una menor concentración de nutriente en planta (Hernández et al., 1995, como se cita en Kessler et al., 2022).

Se ha estudiado la respuesta del campo natural al agregado único de fósforo. Mas (1992) establece que, aunque se han constatado variaciones en la producción primaria de entre 10 y 30%, en términos absolutos en ningún caso es significativo, debido a que la magnitud del déficit invernal no varía. Morón y Risso s/p, como se cita en Millot et al. (1987), evaluaron el efecto de la fertilización fosfatada sobre Cristalino y constataron un aumento del 26% en producción y unos escasos 0,3% y 0,08% para PC% y P% respectivamente. Este estancamiento tanto en volumen como en calidad se debe principalmente a la baja proporción de leguminosas nativas (Allegrí et al., 1975, como se cita en Bemhaja, 2006). Esto indica así otra limitante nutricional: el nitrógeno, ya que las leguminosas nativas son ineficientes en la fijación biológica (Mas, 1992) y dicho nutriente presenta escasa residualidad en el suelo debido a su alta lixiviación (Millot et al., 1987).

El nitrógeno (N) es el nutriente más importante para el crecimiento de las plantas, debido a su importancia en la composición de macromoléculas, como en vitaminas, coenzimas y clorofila. Su presencia en el suelo es fundamentalmente de forma orgánica, no siendo la forma en la que las plantas lo absorben. Para esto, el proceso de mineralización llevado a cabo por la biomasa microbiana es fundamental, aunque este se encuentra condicionado por las condiciones climáticas (Morón, 1996a). Teniendo en cuenta esto y la mencionada escasez de nitrógeno fijado desde la atmósfera, el nitrógeno es la principal limitante productiva en la mayoría de los ecosistemas de pasturas naturales (Gibson, 2009, como se cita en Madeira, 2019).

El agregado de leguminosas surge como una alternativa de gran relevancia, ya que es la manera más económica de introducir nitrógeno al sistema y de esta forma, en conjunto con agregado de fósforo, aumentar los rendimientos de forraje y su calidad (Ayala & Carámbula, 1995). Rebuffo et al. (1980) establecen que estos mejoramientos permiten cambios significativos a nivel de forraje estacional, produciendo aumentos de 7 a 18 kg MS/ha/día en invierno y de 15 a 31 kg MS/ha/día en primavera y duplicando los contenidos de proteína cruda del forraje.

Los criterios de fertilización pueden variar según el género con el que se esté trabajando. En especies del género *Lotus* niveles iniciales de 30 a 40  $UP_2O_5/ha$  y aplicaciones anuales de 30  $UP_2O_5/ha$  posibilitan un buen comportamiento productivo del

mejoramiento, mientras que, en el otro extremo, las dosis para trébol blanco deberán ser superiores (60 - 80  $UP_2O_5/ha$  iniciales y por lo menos 40  $UP_2O_5/ha$  anuales) (Risso, 1998).

Las diferentes respuestas al agregado de leguminosas y fertilización fosfatada presentan diferentes magnitudes según la región del país en la que nos encontremos. Por ejemplo, Bemhaja et al. (1993, como se cita en Bemhaja y Risso, 2006), establecen que en las areniscas de Tacuarembó y Rivera si se puede corregir la acidez mediante encalado, la producción primaria, la cual ronda los 5100 kg MS/ha, puede ascender a los 8200 kg MS/ha con la incorporación de trébol blanco. En suelos de escasa profundidad como los son los de Sierras del Este, la incorporación de leguminosas anuales invernales provocó aumentos de un 144% (Mas & Bermúdez, 1986, como se cita en Carámbula, 1991).

Por su parte, el rendimiento de forraje anual para Cristalino se duplicó. Risso et al. (2001) evaluaron la respuesta del campo natural a dos tratamientos: agregado de *Lotus subbiflorus* cv. El Rincón y mezcla de trébol blanco y *Lotus corniculatus*, alcanzando rendimientos de 7129 kg MS/ha y 7658 kg MS/ha respectivamente.

Para condiciones de basalto, Platero et al. (2001) determinaron que a partir de la incorporación de *Lotus subbiflorus* cv. El Rincón la producción forrajera ascendió de 4124 kg MS/ha a 7004 kg MS/ha, representando un aumento del 70%. Por su parte, Bemhaja (1998) ante la incorporación de trébol blanco y *Lotus corniculatus* evidenció aumentos del 107%, alcanzando rendimientos de 9333 kg MS/ha.

Los suelos sobre formación Fray Bentos se caracterizan por su alta fertilidad, por lo que las poblaciones de leguminosas nativas pueden alcanzar poblaciones importantes. Symonds y Salaverry (1978) evidenciaron que con fertilización iniciales de 80 kg de  $P_2O_5/ha$  y refertilizaciones anuales de 300 kg de  $P_2O_5/ha$  en situaciones de dominancia de *Adesmia bicolor* y *Medicago polymorpha* los rendimientos variaron de 4000 kg MS/ha a 5600 kg MS/ha. Por su parte, en donde la fracción leguminosa no es dominante y a partir de la incorporación de *Lotus tenuis* y *Trifolium pratense* en adhesión con 40 kg  $P_2O_5/ha$ , se han constatado incrementos de rendimiento de 34%, ascendiendo de 5486 kg MS/ha a 7378 kg MS/ha (Boggiano et al., 2023). En bajos en donde se sembró en cobertura trébol blanco con fertilizaciones iniciales de 300 kg/ha y refertilizaciones cada dos años con 200 kg/ha de superfosfato se alcanzaron rendimientos de 7758 kgMS/ha (Symonds & Salaverry, 1978).

Además de producir aumentos en la producción primaria, el mejoramiento en cuestión favorece la calidad del forraje, ya que las leguminosas aportan Ca, P y proteínas, resultando en una mejora del valor nutritivo de la dieta. Además, dicha incorporación tiene efectos indirectos en la composición botánica del tapiz. Al haber más contenido de nitrógeno en el suelo a partir de la descomposición del tejido ocurre un fomento de gramíneas nativas productivas (Millot et al., 1987).

Royo y Pizzio (1998b) evidenciaron que en un campo natural mejorado hubo mayor presencia de especies de interesante valor forrajero como *Coelorhachis selloana*, *Paspalum alnum*, *Paspalum notatum*, y *Paspalum plicatulum*, en comparación con el testigo donde predominaban las especies ordinarias y duras, tal como *Andropogon lateralis*, *Aristida venustula* y *Bothriochloa selloana*.

Por su parte, Risso (1998) constató que diferentes ensayos con *Lotus corniculatus* y *Lotus pedunculatus* con fertilizaciones y refertilizaciones anuales, especies como *Adesmia bicolor*, *Piptochaetium stipoides*, *Poa lanigera* y *Stipa setigera* incrementaron su frecuencia, haciendo que la vegetación del mejoramiento sea más invernal que la de los campos que le dio origen. Carámbula (1991) establece que, en pasturas naturales sobre lomadas del este ante la incorporación de leguminosas anuales en los suelos superficiales, la estacionalidad productiva pasa de 28%-9%-38%-25% en otoño, invierno, primavera y verano respectivamente a 18%-12%-40%-30%. Así mismo, en cristalino la producción invernal aumenta tres puntos porcentuales, pudiendo equivaler hasta 795 kg MS/ha de diferencia (Risso et al., 2001),

Benítez et al. (2004) en un predio de la provincia de Corrientes, donde dominaban *Andropogon lateralis*, *Axonopus argentinus* y *Sporobolus indicus*, a partir de la intersembrado de *Medicago polymorpha* y fertilizaciones fosfóricas observaron la respuesta de leguminosas como *Desmodium incanum* y *Trifolium polymorphum*, así como dos gramíneas indicadoras de fertilidad como los son la *Paspalum dilatatum* y *Poa annua*.

Acarreado por una mayor calidad del forraje, la producción secundaria se ve favorecida. En un ensayo en Glencoe, Paysandú, se constató que en parcelas mejoradas con *Lotus angustissimus* cv. INIA Basalto y *Lotus pedunculatus* cv. INIA e-tanin e INIA Gemma, donde pastoreaban terneras de sobreaño durante el periodo primaveral se obtuvieron ganancias diarias de 0,581 kg/animal, con respecto a 0,235 kg/animal en el testigo (Alecrim et al., 2024).

Por su parte, Boggiano et al. (2023) afirman ganancias de 0,54 kg/animal en un campo natural mejorado con *Lotus tenuis* y trébol rojo, en comparación con 0,36 kg/animal del testigo. Dichos datos se correlacionan con ganancias de peso vivo por hectárea de 332 kg/año y 207 kg/año respectivamente.

Sobre la Unidad Alférez se realizó un mejoramiento con *Lotus corniculatus* cv. Ganador y trébol blanco cv. Zapicán, con fertilización inicial y refertilización de 260 kg/ha de superfosfato simple por ocasión. Se evaluaron novillos de 200 kg en pastoreo desde marzo al enero siguiente a una carga de 1,22 UG/ha. El peso final resultó ser 408 kg, marcando así ganancias medias diarias de 0,7 kg/animal, siendo más que relevante si lo comparamos con los 0,28 kg/animal/día del testigo (Ayala & Carámbula, 1995).

Risso et al. (2002) evaluó la ganancia animal diaria en dos diferentes mejoramientos a dos diferentes cargas sobre cristalino. Para novillos pastoreando campo natural mejorado con *Lotus corniculatus* y trébol blanco constató ganancias diarias de

0,632 kg/animal y 0,671 kg/animal para carga alta y baja respectivamente. Por su parte, para un mejoramiento con *Lotus subbiflorus* cv. El Rincón se obtuvieron ganancias anuales de 0,584 kg/animal/día y 0,595 kg/animal/día para carga alta y baja respectivamente.

En el sur de Corrientes se evaluó la ganancia de peso de novillos cruza Santa Gertrudis sobre campo natural con intersiembra de trébol carretilla. En 59 días de pastoreo evaluados que se corresponden entre agosto y octubre, los animales presentaron un aumento de 66 kg, equivaliendo a ganancias diarias de 1,118kg. Esto es relevante ya que se llevó a cabo en una época donde normalmente el animal solo logra cubrir los requerimientos de mantenimiento, alcanzando los 400 kg de peso final con buen grado de terminación (Royo & Pizzio, 1998a).

### 3.3 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITRÓGENO-FOSFATADA

Por su parte, el agregado de forma directa de N mediante el uso de fertilizantes inorgánicos ha sido de relevancia en el aumento de la producción de forraje de los predios ganaderos, ya que la misma se encuentra limitada por la deficiencia de N y puede aumentar en un 50% si es corregida (Bemhaja, 1994).

Según Chapman y Lemaire (1993, como se cita en Boggiano, 2000), la producción de forraje depende fundamentalmente de tres variables morfogénicas: tasa de aparición foliar (TAF), tasa de elongación foliar (TEF) y vida media foliar. Dichas variables se encuentran genéticamente definidas, pero la acción de factores ambientales tales como temperatura, disponibilidad hídrica y agregado de nitrógeno pueden modificarlas. En Uruguay, la aplicación de nitrógeno tiene pequeño o nulo efecto sobre la tasa de elongación foliar para *Bromus auleticus*, mientras que en *Stipa setigera* hubo una tendencia de aumento del 28% (Azanza et al., 2004, como se cita en Zanoniani, 2009). Por su parte, en Balcarce, Argentina, Rodríguez (1998, como se cita en Zanoniani, 2009) encontró que ante el agregado de 100 kg de N/ha la tasa de elongación foliar de *Hordeum stenostachys*, *Lolium multiflorum* y *Stipa setigera*, tanto en invierno como en primavera, aumentó un 17%. Datos similares fueron los encontrados por Mazzanti y Lemaire (1994, como se cita en Boggiano, 2000), donde constataron aumentos del 15 a 28% para dosis altas de nitrógeno.

La respuesta al agregado de nutrientes varía según si la especie es tropical/subtropical o templada debido a diferentes eficiencias en el uso de los nutrientes. Carámbula (1997, como se cita en Zanoniani, 2009), establece que la producción de materia seca en las especies templadas hay respuesta casi lineal hasta dosis de 350 kgN/ha, mientras que las subtropicales presentan respuesta hasta los 1800 kgN/ha. Ejemplos de esto son los constatados por Oliveira y Moraes (1998, como se cita en Zanoniani, 2009), donde observaron que *Bromus auleticus* presentó respuesta a aplicaciones crecientes de nitrógeno hasta 150 kgN/ha. Así mismo, especies subtropicales

como el *Paspalum guenoarum* y *Paspalum notatum* obtuvieron producciones de 18000 kgMS/ha y 14000 kgMS/ha respectivamente a partir de fertilizaciones de 500 kg/ha de urea (Costa, 1997, Steiner, 2006, como se citan en Zanoniani, 2009).

Para reducir el impacto de la escasa producción invernal se ha estudiado que con fertilizaciones fraccionadas a comienzos del otoño y fines del invierno la fecha de iniciación del pastoreo logra adelantarse hasta 6 semanas (Hoglund et al., 1952, como se cita en Bottaro & Zavala, 1974). La primera aplicación busca estimular el rebrote y crecimiento de las especies invernales, además de alargar el periodo vegetativo de las especies estivales. Por su parte, la fertilización a fines del invierno seguirá estimulando a las invernales y ayudaría al rebrote temprano de las estivales (Berretta et al., 1998). Las fertilizaciones primaverales con el fin de favorecer la producción estival determinaron un incremento en la producción de forraje, pero de baja calidad debido a la promoción de especies C4 dominantes del tapiz (Bemhaja & Olmos, 1996).

Dicha práctica se realiza conjuntamente con el agregado de fósforo. Según Stoddart et al. (1975, como se cita en Berretta et al., 1998), el agregado conjunto es más eficiente que la aplicación de ambos elementos por separado. Esta sinergia se observa en varios experimentos realizados. Bottaro y Zavala (1974) evaluaron la producción de forraje a diferentes combinaciones de dosis de N, P y K. En una pradera negra sobre basalto constataron que ante el agregado simple de 160 kgN/ha y 160 kgP/ha obtuvieron rendimientos de 3745 y 2745 kgMS/ha respectivamente, en referencia a un testigo de 2785 kgMS/ha. Ante el agregado conjunto de dichos nutrientes en dosis de 160 kg/ha, la producción ascendió a 5540 kgMS/ha. Estos últimos autores concluyen que los nutrientes en cuestión presentan una interacción positiva y significativa en todas las estaciones de crecimiento. Así mismo, Ayala y Carámbula (1994) sobre Unidad Alferéz visualizaron que ante un testigo con cortes cada 45 días la producción anual de forraje se encontraba en torno a los 3916 kgMS/ha. Ante el agregado de 320 kgN/ha y 200 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha de forma simple se obtuvieron 6454 y 4291 kgMS/ha respectivamente, cuando en forma conjunta y en adhesión con 80 kg KCl/ha se logran producir 9922 kgMS/ha. Por su parte, Royo y Pizzio (1998a) en Mercedes, Corrientes (Argentina), constataron que de forma simple el rendimiento anual de MS promedio para los tres años de estudio aumentó en un 25 y 27% para el agregado de P y N respectivamente, mientras que de forma conjunta el aumento fue de 59%.

Además, es de relevancia el factor suelo. Por ejemplo, Termezana y Carámbula (1971) encontraron respuestas distintas para suelos superficiales de basalto. Mientras que en litosoles negros presentaron respuesta significativa solo a dosis altas de N, los litosoles rojos respondieron a todos los niveles.

Por su parte, en un ensayo sobre basalto profundo se agregaron 40, 80 y 120 unidades de N/ha, donde se constató una respuesta creciente en referencia al testigo. Al segundo año, en el tratamiento de 120N, se obtuvo un 83% más de producción de forraje (Bemhaja, 1994). Berretta et al. (1998) evaluaron sobre la Unidad Queguay Chico la

respuesta de la producción de forraje al agregado de 200 kg/ha de urea y 200 kg/ha de superfosfato. Evidenciaron que en el primer año si bien la diferencia entre los tratamientos fertilizados y el testigo era significativa, esta equivalía a un 27%. A medida que aumentaban el número de aplicaciones, las diferencias se hacían mayores, pudiendo hasta llegar a un 75% más de crecimiento. Berretta (2005) asegura que la respuesta al agregado de nitrógeno es acumulativa a medida que aumente el nivel trófico del sistema, pudiendo estabilizar una producción 60% superior a campos sin N+P. Rodríguez Palma et al. (2009) obtuvieron que aplicaciones en otoño e invierno de 100 kg/ha de N durante 7 años permitieron un aumento del 29% de la producción anual en el norte del Uruguay, mejorando las tasas de crecimiento en un 40, 46 y 15% para las estaciones de invierno, primavera y verano respectivamente.

Los suelos arenosos de Tacuarembó y Rivera presentan una producción de forraje total superior a 5000 kgMS/ha, caracterizada por una marcada estacionalidad primavero-estival y una ínfima producción invernal, la cual ronda el 7% (Bemhaja, 2001). Debido a esto, los estudios sobre este tipo de campos se centran en fertilizaciones estivales. Bemhaja y Olmos (1996) evidenciaron que fertilizaciones a dosis variables en dos años consecutivos promovieron en un 25, 43 y 65% la producción primavero-estival al agregado de 40, 80 y 120 UN respecto al testigo sin fertilizar.

Sobre Formación Fray Bentos se evaluó la respuesta a dos dosis de agregado de nitrógeno. La media de tres años arrojó que ante la producción anual de un testigo de 5486 kgMS/ha, el agregado de 60UN/ha y 120UN/ha significó un ascenso de la producción a 7315 y 7281 kgMS/ha respectivamente, equivalente a un 33% superior (Boggiano et al., 2023). Zanoniani et al. (2011) visualizaron la interacción entre el agregado de nitrógeno y la oferta de forraje. La mayor producción invernal estimada resultó ser de 1650 kgMS/ha, la cual se logró con dosis de 274 kgN/ha y oferta de 4%. Estos últimos autores atribuyen que lo anterior se debe a un rebote y llegada al IAF óptimo de forma más rápida. Por su parte, a ofertas altas el IAF remanente es mayor, lo que lleva a condiciones de sombreado y reducción de la acumulación de materia seca verde.

Correa et al. (2004) estudiaron que en una pastura natural en Rio Grande do Sul ante el agregado de 200 kgN/ha se obtuvo una producción máxima de 5421 kgMS/ha, siendo esta producción el 194% con respecto al testigo. Silva et al. (1994, como se cita en Boggiano, 2000), en la región de Pelotas ante el agregado de una dosis única de 100 kgN/ha al inicio de la primavera se logró una eficiencia de 67 kgMS/ha por kg de nitrógeno aplicado.

Hay que considerar que al fertilizar se está produciendo un cambio en la disponibilidad de nutrientes para la planta, apuntando a un nuevo punto de equilibrio donde las especies adaptadas a altos niveles de fertilidad adquieren capacidad de competir. Berretta et al. (1998) observaron que las especies invernales dominantes sobre el basalto son Ciperáceas, *Oxalis sp.*, *Piptochaetium stipoides* y *Stipa setigera*, Por su parte, dentro de las estivales destacan *Andropogon ternatus*, *B. laguroides*, *P. notatum*,

*P. plicatulum* y *Schizachyrium spicatum*. A partir de la fertilización nitrogenada, las especies finas y tierna-finas se volvieron más frecuentes, siendo las principales *Adesmia bicolor*, *Paspalum dilatatum*, *Poa lanigera* y *Stipa setigera*. Bemhaja (1994) coincide en el favorecimiento de “pastos finos, particularmente de ciclo invernal y tiernos por lo que aumenta la calidad de la pastura” (p. 51).

En campos arenosos fertilizados no se constataron diferencias en la composición botánica, pero sí en el tamaño y peso de macollos, así como en el largo y ancho de láminas y número de inflorescencias; 87 en el testigo frente a 330 en el tratamiento de 120N (Bemhaja & Olmos, 1996).

Zanoniani et al. (2011) aseguran que la contribución de las gramíneas invernales aumentó hasta el entorno de 180 kgN/ha, para descender acentuadamente con dosis superiores. Con dosis intermedias de 100 kgN/ha pueden lograr que las gramíneas invernales tripliquen el aporte de las gramíneas estivales. Por su parte, Boggiano et al. (2023) aseguran que las transformaciones del tapiz a partir del agregado de nitrógeno pueden ser analizadas desde dos enfoques. En primer lugar, los aumentos productivos de forraje son explicados por la promoción de las especies perennes objetivo, tales como *Bromus auleticus*, *Piptochaetium bicolor* y *Stipa setigera*, así como de forma indirecta del *Lolium multiflorum*. Sin embargo, la aparición de esta última, así como de otras especies anuales, tales como las malezas *Carduus acanthoides*, *Cirsium vulgare* y *Sida spp.*, suponen una degradación del tapiz a nivel ambiental, “quitándole capacidad de resistencia y resiliencia del campo natural frente a condiciones extremas perjudiciales” (Boggiano et al., 2023, p. 56). De igual forma, Ayala y Carámbula (1994) constatan la gran respuesta de especies anuales, tal como *Gaudinia fragilis* y *Vulpia australis*, pudiéndose traducir en un perjuicio ecosistémico.

Wayne et al. (1961, como se cita en Bottaro y Zavala, 1974), trabajaron sobre un campo virgen desmalezado y un campo degradado. Este último fue abonado y repoblado con gramíneas durante veinte años. Los autores observaron que en el campo virgen las malezas representaron el 22% de la producción, pero que una vez fertilizado dicho porcentaje ascendió a 42%. En el campo natural degradado se visualizó la misma tendencia ya que en el testigo la proporción de malezas se correspondía con el 16%, mientras que en el fertilizado la proporción se elevó hasta el 50%.

Este cambio en la composición botánica trae aparejados cambios en la calidad del forraje. Bemhaja et al. (1998) determinó que los valores de FDN y FDA resultaron ser inferiores al testigo. Mientras que en el campo natural de referencia los valores de FDN y FDA son 73,95 y 39,25%, ante el agregado de 120N los valores disminuyen a 66,7 y 35,4% respectivamente. Por su parte, el valor de PC ascendió de 9,25% a 13,45% ante el agregado de 120N con respecto al testigo. Ayala y Carámbula (1994) constataron diferencias significativas entre los valores de PC, dándose un aumento de 8,7 a 10,3% en el testigo y el fertilizado con 320 kgN/ha/año respectivamente.

Los mencionados cambios en la composición botánica indican una mejora en la calidad, por lo que debería manifestarse en la performance animal (Rodríguez Palma et al., 2004). La fertilización con N y P permiten obtener una producción de PV/ha hasta tres veces mayor que la producción obtenida sobre campos sin fertilizar (Risso et al., 1998, como se cita en Berretta, 2005). Datos concordantes fueron los obtenidos por Boggiano et al. (2023), donde mientras en el testigo se producen 207 kgPV/ha/año, en el tratamiento fertilizado dicho valor se eleva a 492 kgPV/ha/año, representando una maximización de 137%

Boggiano et al. (2023) constataron que las ganancias medias diarias de animales pastoreando una pastura natural con agregado de 60 UN/ha y 40 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha son de 0,580 kg/an/d, en contraste con los 0,360 kg/an/d del testigo. Casalás et al. (2017) lo adjudican a un gran incremento en el volumen de forraje con alta frecuencia de *Bromus auleticus*, *Lolium multiflorum* y *Stipa setigera*, que en las estaciones de invierno y primavera se traducen en ganancias de 1,07 kg/an/d.

Royo y Pizzio (1998a) en promedio de ocho años a carga constante evaluaron la ganancia de peso de novillos, donde arrojó que los animales sobre el campo natural fertilizado tuvieron una ganancia de peso individual 23% mayor que el testigo, equivalente a 27 kg/nov/año de brecha. Durante el verano el campo natural fertilizado dio una mayor ganancia de peso, 0,633 kg/an/d en comparación con 0,533 kg/an/d, mientras que en el invierno las pérdidas de peso fueron menores con respecto al testigo, siendo estas de -0,06 kg/an/d y -0,37 kg/an/d respectivamente. Los mismos autores evaluaron que durante tres años el efecto de la fertilización del campo natural con NPK produjo un aumento de la producción de carne del 78%, elevando la producción de 98 kg carne/ha/año en el testigo a 175 kg carne/ha/año.

Genro et al. (2017) en Bagé, Rio Grande do Sul, obtuvieron que ante una oferta de forraje del 12% en un campo natural nitrogenado se obtuvieron ganancias medias diarias de 0,444 kg/an/d ante los 0,280 kg/an/d del testigo. Esto lleva a que la producción de carne anual sea de 425 kg/ha y 259 kg/ha respectivamente.

### 3.4 HIPÓTESIS BIOLÓGICA

A partir de la incorporación de fósforo y nitrógeno de forma directa o indirecta, la producción primaria aumentará. Dicha producción será acompañada por cambios en el tapiz, principalmente explicada por el favorecimiento de especies perennes invernales tiernas-finas y *Lolium multiflorum*. El favorecimiento de especies de mayor valor forrajero significará un aumento de la producción secundaria. En los tratamientos nitrogenados la presencia de raigrás será superior frente al testigo, produciéndose sustitución de especies perennes por anuales, así como incremento de malezas de campo sucio.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL SITIO EXPERIMENTAL

Este experimento se encuentra ubicado en el potrero 18 de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, Universidad de la República. La misma se encuentra en el km 363 de la Ruta Nacional número 3 en el departamento de Paysandú, Uruguay (-32°39'96" S, -58°04'45" W).

Según Kottek et. al. (2006) siguiendo la caracterización climática de Köppen, Uruguay tiene un clima de tipo "Cfa". La letra "C" indica que la temperatura media del mes más cálido es mayor o igual a 10°C y la del más frío se encuentra entre -3°C y 18°C. La letra "a" como subclasificación indica que la temperatura del mes más cálido es superior a los 22°C. Esto concuerda con los registros del Instituto Nacional de Meteorología (INUMET, s.f.) para el período 1991-2020 donde el mes más cálido en Paysandú fue enero con una temperatura media de 25,8°C y el más frío fue Julio con una media de 13,3°C. Para el período de evaluación (abril-julio) las temperaturas medias históricas son 19,9, 16,2, 14 y 13,3 °C respectivamente para cada mes (Anexo A). En lo referente a las precipitaciones, la letra "f" indica que las precipitaciones están distribuidas de manera homogénea a lo largo del año sin la existencia de estaciones secas o húmedas. Según INUMET (s.f.), las precipitaciones varían entre 1100 mm y 1600 mm anuales, incrementándose de Sur a Norte en forma de líneas isohigras. Particularmente, el departamento de Paysandú es atravesado por la línea que indica una precipitación de 1300 mm/año. Estas lluvias se distribuyen en partes iguales durante los meses del año, existiendo cierta tendencia a disminuir en el invierno y aumentar en primavera-verano. Los datos del promedio histórico en Paysandú indican para el período de evaluación, una precipitación acumulada de 390 mm distribuidos en 154, 109, 72 y 55 mm respectivamente para cada mes. Sin embargo, la variabilidad mensual interanual medida en mm es casi tan alta como la media, por lo que de un año a otro la situación puede cambiar drásticamente.

### 4.2 DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

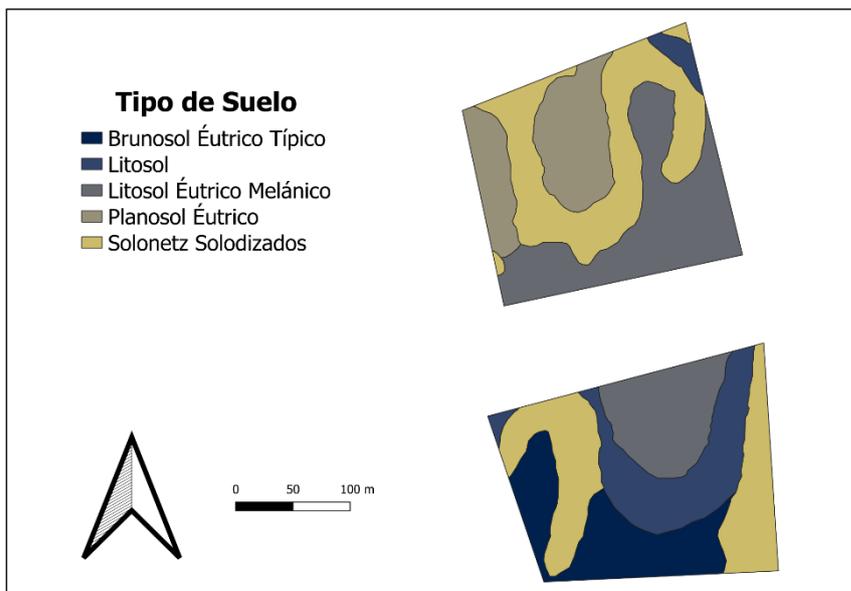
Este experimento de largo plazo fue instalado en el año 2014. Su área total es de 8 hectáreas y se ubica en una posición de ladera variando su altitud desde los 45 metros hasta los 31 metros sobre el nivel del mar.

El mismo se encuentra sobre la Unidad de Suelo San Manuel según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976) y la formación Fray Bentos según la Carta Geológica del Uruguay 1:500.000 (Preciozzi et al., 1985). Según la carta de suelos realizada específicamente para la EEMAC de escala 1:5000 (F. Casalás, comunicación personal, s.f.) los suelos dominantes son Litosoles

Éutricos Melánicos y Solonetz Solodizados, representando un 40,6 y 40% del área total respectivamente. Además, existen menores contribuciones de Brunosoles Éutricos Típicos y Litosoles y Planosoles Éutricos, que ocupan un 12,3 y 13% del área respectivamente (Figura 1).

**Figura 1**

*Mapa de tipo suelos escala 1:5000 del área del experimento*



La vegetación del sitio experimental se compone de tres estratos: alto, medio y bajo. El estrato alto presenta especies arbóreas típicas de monte parque, tal como *Acacia cavendishii* y *Prosopis affinis*. Por su parte, en el estrato medio se encuentran malezas de campo sucio, tal como *Baccharis coridifolia*, *Eryngium horridum* y *Sida rhombifolia*, así como renuevos de especies arbóreas. Por último, en el estrato inferior se encuentra la vegetación herbácea, principalmente gramíneas. Dentro de las estivales destacan *Coelorhachis selloana*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Paspalum quadrifarium*, *Setaria geniculata*, *Setaria vaginata*, entre otras. Debido al muy buen aporte invernal que presentan estos campos, es relevante mencionar especies de dicho ciclo de producción como *Bromus auleticus*, *Piptochaetium spp* y *Stipa setigera*. Dentro de este estrato también pueden verse asociadas leguminosas, tal como *Desmodium incanum* y *Medicago lupulina*, así como malezas menores, como *Dichondra microcalyx*, *Oxalis spp*, entre otras.

La zona experimental ha estado siempre bajo producción ganadera sobre campo natural sin historia agrícola por lo que su clasificación de etapa de regresión campestre corresponde a campo virgen. Dicha clasificación se sustenta con la presencia de especies indicadoras, tal como *Dorstenia brasiliensis* y poblaciones de *Bromus auleticus* en alta proporción (Rosengurtt, 1979).

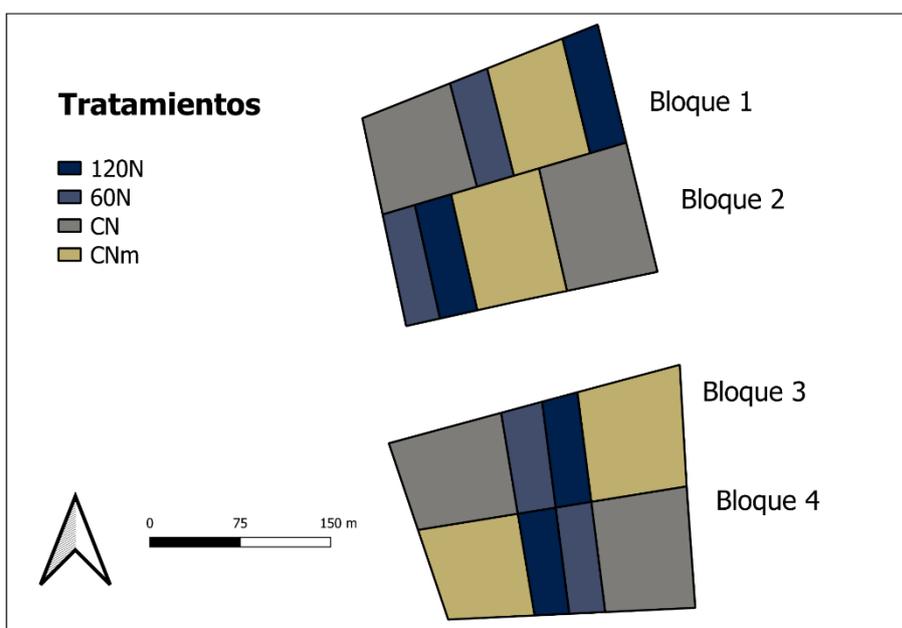
### 4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El área del experimento se encuentra subdividida en cuatro parcelas a lo largo de los cuatro bloques (Figura 2). El área que ocupa cada uno de los tratamientos se respeta en todos los bloques. Los tratamientos son:

- Campo natural sin intervención (CN) con un área de 0,7 ha por bloque (2,8 ha en total).
- Campo natural mejorado con leguminosas y fertilización fosfatada (CNm) con un área de 0,7 ha por bloque (2,8 ha en total). Las leguminosas sembradas fueron *Lotus tenuis* cv. El Matrero y *Trifolium pratense* cv. E116 en cobertura de 6 y 8 kg/ha respectivamente. Dicha siembra se realizó en 2014 con resiembras en 2016 y 2018. Las fertilizaciones anuales son de 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.
- Campo natural fertilizado con 60 UN/ha y 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (N60) con 0,3 ha por bloque (1,2 ha en total). Las aplicaciones son fraccionadas en partes iguales en otoño para favorecer el crecimiento de las invernales y en el invierno para extender la etapa vegetativa de las invernales en momentos donde el nutriente es limitante.
- Campo natural fertilizado con 120 unidades de nitrógeno y 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (N120) con 0,3 ha por bloque (1,2 ha en total). Se utilizan los mismos criterios que el tratamiento anterior.

#### Figura 2

Mapa del diseño experimental en bloques completos al azar



Los animales utilizados (n=24) en el experimento fueron vaquillonas de 15 meses de la raza Hereford del rodeo perteneciente a la EEMAC con un peso promedio inicial de 253 +/- 24,6 kg PV. El ciclo de pastoreo objetivo consistió en 15 días de ocupación y 45 días de descanso. Se completaron 2 ciclos de pastoreo para este experimento. El primero fue desde el 2/4/24 hasta el 27/5/24 y el segundo desde el 27/5/24 hasta el 22/7/24. Esto significa una duración total del experimento de 111 días. Las ofertas de forraje objetivo para el período bajo estudio fueron de 6% PV para todos los tratamientos.

#### 4.4 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

Con respecto a los registros en la pastura, se evaluaron para las parcelas de ingreso (disponible) las variables altura, relación verde/seco, composición botánica, presencia de malezas como porcentaje de cobertura y proporción de suelo desnudo. A su vez se midió la MS disponible en cada parcela. En los remanentes se registró la altura y verde/seco y también se estimó la MS remanente en cada parcela.

Para la estimación de la MS disponible, se llevó a cabo la técnica de doble muestreo (Haydock & Shaw, 1975), donde se elaboró una escala visual que contemplaba altura y densidad. La misma fue del 1 al 5, clasificando como 1 aquellos puntos de menor disponibilidad de forraje en la parcela y como 5 los de mayor disponibilidad. Hay que tener en cuenta que la masa de forraje también se estimó de forma directa mediante cortes. Se efectuaron cortes de tres repeticiones por cada punto de escala de modo que, en los tratamientos de CN, CNm y en N60 o N120 estuvieran representados todos los valores de la escala. Estas muestras fueron pesadas en fresco y luego secadas en estufa a 60°C durante 48 h para ser pesadas nuevamente en seco. De este modo, se obtuvo el porcentaje de MS de la pastura y una ecuación de regresión de la MS disponible en función de la escala, permitiendo estimar de manera más precisa la misma según la escala promedio de cada parcela.

La técnica mencionada anteriormente se combinó con el método botanal (Tothill et al., 1992), ya que a cada punto de muestreo del botanal se le asignaba su correspondiente escala. El mismo consiste en colocar un aro, de diámetro conocido, en diversos puntos de las parcelas. Se muestrearon 60 puntos en los tratamientos de CN y CNm y 30 en N60 y N120. En cada punto se registraba la altura, considerando esta como el punto de contacto de la hoja vegetativa más alta con la regla. La relación verde/seco se estimaba de manera visual como proporciones del área del círculo formado por el aro. En cuanto a la composición botánica, se registraron hasta 5 grupos funcionales en orden de importancia. Sumado a esto, se asignó un código o rango a cada punto que indicaba proporciones preestablecidas en las que esos grupos funcionales se presentaban (Anexo C). Para este trabajo se tuvieron en cuenta 17 grupos, siendo estos: 1- *Paspalum notatum* (PN), 2- *Cynodon dactylon* + *Bouteloua megapotamica* (CD+BM), 3- *Paspalum dilatatum* (PD), 4- Gramíneas Perenne Estival Tiernas (GPET), 5- Gramíneas Perenne Estival Ordinarias (GPEO), 6- Gramíneas Perenne Estival Duras (GPED), 7- Gramíneas

Perenne Invernales finas, tierna-finas y tiernas (GPITF), 8- Gramíneas Perenne Invernales Ordinarias (GPIO), 9- Gramíneas Perenne Invernal Duras (GPID), 10- Anuales Estivales (AE), 11- Gramíneas Anuales Invernales Finas (AIF), 12- Anuales Invernales Otros (AIO), 13- Leguminosas Nativas (LegN), 14- Leguminosas Introducidas (LegInt), 15- Cyperaceas y Juncaceas (CJ), 16- Hierbas Menores y Enanas (HM+E) y 17- Restos Secos (RS). También se estimó de manera visual la cobertura de malezas de campo sucio y de suelo desnudo.

Cabe destacar que para la variable altura en disponible, además de los 60 puntos de botanal en CN y CNm se tomaron 40 puntos adicionales de altura y además de los 30 puntos de botanal en N60 y N120 se tomaron 20 puntos más únicamente de altura. Esto a los efectos de ser aún más preciso y representativo en cuanto a la altura de la pastura.

En los remanentes, se registraron 100 y 60 puntos de altura y verde/seco respectivamente para los tratamientos de CN y CNm. Para ambos tratamientos nitrogenados esta medición fue en 50 y 30 puntos. Para la estimación del porcentaje de MS y MS disponible se tomaron las alturas extremas (mínima y máxima) y se definieron 3 alturas intermedias de manera que la diferencia entre las sucesivas alturas fuera la misma en todos los casos. De este modo y de manera similar al procedimiento en las parcelas de ingreso, se realizaron 3 cortes de cada altura, uno en CN, otro en CNm y el último en N60 o N120. Las muestras fueron pesadas en fresco y seco para obtener la relación entre estos pesos y una ecuación de regresión que vincula la MS remanente con la altura.

Por último, se evaluó el porcentaje de materia seca desaparecida (%Desap), entendida como la diferencia de MS entre el remanente y disponible de un tiempo de ocupación.

Por su parte, la variable mediante la cual se evaluó la performance animal fue la ganancia media diaria (GMD). Las vaquillonas fueron pesadas al inicio del experimento y a partir de allí, una vez cada 30 días. Previo a cada pesada los animales tenían 12 horas de ayuno. Además, el pesaje de los animales tenía como fin el ajuste de la carga para mantener una oferta de forraje objetivo de 6%. Para esto se utilizó el método “put and take” (Mott & Lucas, 1952, como se cita en Dutra da Silveira & Fernández, 2020). El mismo consiste en clasificar a los animales en “testers” y “volantes”. Los testers son aquellos que estuvieron presentes a lo largo de todo el experimento y en función de los cuales se midió la variable GMD. Por su parte los volantes son animales que pueden ingresar o salir del experimento para permitir este ajuste de carga y de oferta de forraje. A su vez, se reporta la producción de carne vacuna (PCV) para el período experimental. Este dato es de carácter informativo puesto que no tiene evaluación estadística, por lo que compararlo con otros datos puede ser de interés, pero no con una certeza significativa.

## 4.5 HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

- Efecto tratamiento:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4$$

Ha: existe al menos un efecto de tratamiento diferente  $\tau_i \neq \tau_i'$

- Efecto ciclo:

$$H_0: C_1 = C_2$$

Ha: existe al menos un  $C_k \neq C_k$

- Efecto interacción tratamiento x ciclo

$$H_0: \tau_{C_{11}} = \tau_{C_{12}} = \tau_{C_{21}} = \tau_{C_{22}} = \tau_{C_{31}} = \tau_{C_{32}} = \tau_{C_{41}} = \tau_{C_{42}}$$

Ha: existe al menos una  $(\tau C)_{ik} \neq (\tau C)_{ik}$

- Contrastes ortogonales:

Según el ciclo de pastoreo, ¿Hay efecto en la intervención del campo natural?

$$H_0: \mu_1 - 0\mu_2 - 1/3\mu_3 - 0\mu_4 - 1/3\mu_5 - 0\mu_6 - 1/3\mu_7 - 0\mu_8 = 0$$

$$H_a: \mu_1 - 0\mu_2 - 1/3\mu_3 - 0\mu_4 - 1/3\mu_5 - 0\mu_6 - 1/3\mu_7 - 0\mu_8 \neq 0$$

$$H_0: 0\mu_1 - 1\mu_2 - 0\mu_3 - 1/3\mu_4 - 0\mu_5 - 1/3\mu_6 - 0\mu_7 - 1/3\mu_8 = 0$$

$$H_a: 0\mu_1 - 1\mu_2 - 0\mu_3 - 1/3\mu_4 - 0\mu_5 - 1/3\mu_6 - 0\mu_7 - 1/3\mu_8 \neq 0$$

A partir de la intervención, ¿Hay efectos según el tipo de intervención en los diferentes ciclos de pastoreo?

$$H_0: 0\mu_1 - 0\mu_2 - 1\mu_3 - 0\mu_4 - 1/2\mu_5 - 0\mu_6 - 1/2\mu_7 - 0\mu_8 = 0$$

$$H_a: 0\mu_1 - 0\mu_2 - 1\mu_3 - 0\mu_4 - 1/2\mu_5 - 0\mu_6 - 1/2\mu_7 - 0\mu_8 \neq 0$$

$$H_0: 0\mu_1 - 0\mu_2 - 0\mu_3 - 1\mu_4 - 0\mu_5 - 1/2\mu_6 - 0\mu_7 - 1/2\mu_8 = 0$$

$$H_a: 0\mu_1 - 0\mu_2 - 0\mu_3 - 1\mu_4 - 0\mu_5 - 1/2\mu_6 - 0\mu_7 - 1/2\mu_8 \neq 0$$

En cuanto a la fertilización nitrógeno-fosfatada, ¿Hay efecto en la dosis de nitrógeno empleada según el ciclo de pastoreo?

$$H_0: 0\mu_1 - 0\mu_2 - 0\mu_3 - 0\mu_4 - 1\mu_5 - 0\mu_6 - 1\mu_7 - 0\mu_8 = 0$$

$$H_a: 0\mu_1 - 0\mu_2 - 0\mu_3 - 0\mu_4 - 1\mu_5 - 0\mu_6 - 1\mu_7 - 0\mu_8 \neq 0$$

$$H_0: 0\mu_1 - 0\mu_2 - 0\mu_3 - 0\mu_4 - 0\mu_5 - 1\mu_6 - 0\mu_7 - 1\mu_8 = 0$$

$$H_a: 0\mu_1 - 0\mu_2 - 0\mu_3 - 0\mu_4 - 0\mu_5 - 1\mu_6 - 0\mu_7 - 1\mu_8 \neq 0$$

Los contrastes ortogonales se encuentran sintetizados en Anexo B.

#### 4.6 MODELO ESTADÍSTICO

##### 4.6.1 Variables de producción y estructura analizadas para el periodo de evaluación

Para las variables altura de la MS disponible, MS disponible, altura de la MS remanente, MS remanente, %Desaparecido, %MV del disponible y remanente, así como la composición botánica, se analizó en un diseño en bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas, representados estadísticamente como:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + C_k + \delta_{ij} + (T\beta)_{ij} + (TC)_{ik} + \xi_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3, 4$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

$$k = 1, 2$$

Siendo:

- Y = variable de interés.
- $\mu$  = media general.
- $T_i$  = efecto de la i-ésimo tratamiento.
- $\beta_j$  = efecto del j-ésimo bloque.
- $C_k$  = efecto del k-ésimo ciclo.
- $\delta_{ij}$  = error aleatorio asociado a la observación  $Y_{ij}$ .
- $(T\beta)_{ij}$  = efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo bloque.
- $(TC)_{ik}$  = efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y el k-ésimo ciclo.
- $\xi_{ijk}$  = error aleatorio asociado a la observación  $Y_{ijk}$ .

El factor  $\xi_{ijk}$  no fue significativo, por lo que sus grados de libertad fueron destinados al error.

#### 4.6.2 Producción acumulada

El modelo utilizado para el análisis de tasa de crecimiento y producción acumulada fue un diseño en bloques completos al azar (DBCA), representado como:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

Siendo:

- $Y$  = variable de interés.
- $\mu$  = media general.
- $\tau_i$  = efecto de la  $i$ -ésimo tratamiento.
- $\beta_j$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque.
- $\xi_{ij}$  = error aleatorio asociado a la observación  $Y_{ij}$

#### 4.6.3 Producción Secundaria

Para el análisis de la GMD, se utilizó un modelo de diseño completo al azar (DCA) con parcelas divididas en el tiempo, representado como:

$$Y_i = \beta_0 + \tau_i + \beta_1 PVI_i + \varepsilon_i$$

Siendo:

- $Y_i$ : variable de interés: GMD
- $\beta_0$ : media general corregida por la covariable (peso de inicio)
- $\tau_i$ : efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.
- $\beta_1$ : coeficiente de regresión de la covarianza  $PVI_i$ .
- $PVI_i$ : peso vivo inicial.
- $\varepsilon_i$ : error aleatorio asociado a la observación  $Y_i$ .

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

#### 5.1.1 Temperatura y Precipitaciones

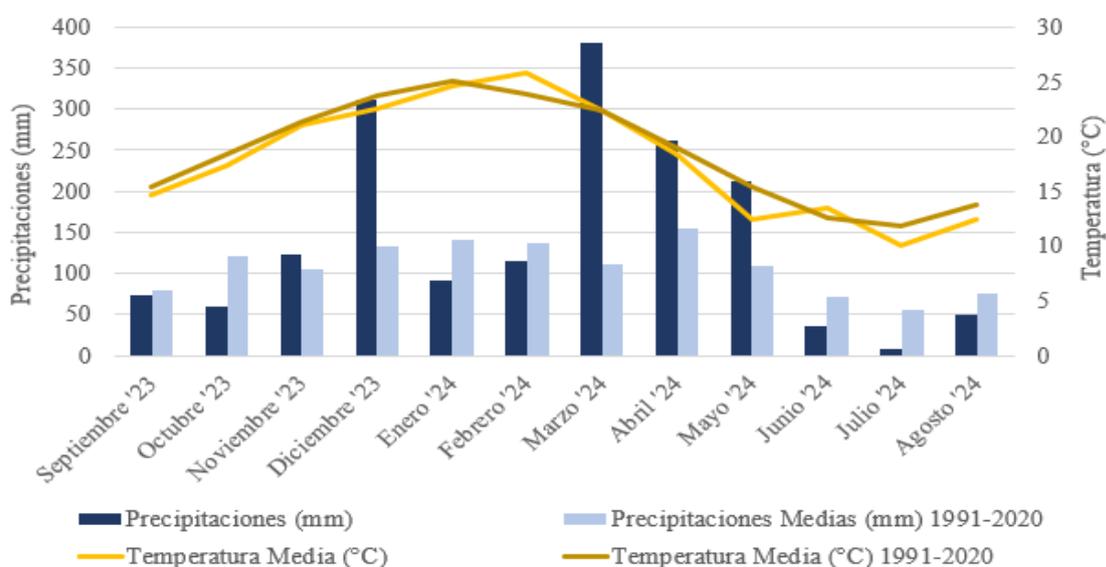
En la Figura 3 se visualiza la caracterización climática en cuanto a precipitaciones y temperatura que comprende el periodo estudiado obtenidos de la estación meteorológica de la EEMAC, en comparación con la recopilación de datos desde 1991 a 2020 para el departamento de Paysandú por parte de INUMET (s.f.).

Para el periodo de estudio la temperatura siguió las tendencias de comportamiento del promedio histórico, salvo en el mes de mayo, donde la temperatura se ubicó 3°C por debajo de la media histórica. Esto es de gran relevancia, ya dicho factor es primordial en la producción de forraje.

En cuanto al régimen de lluvias se logra visualizar que el inicio del verano y durante el periodo otoñal las precipitaciones se encontraron por encima del promedio histórico, siendo estos meses de relevancia para la recarga del perfil. El mes de marzo fue en el que se produjo la mayor brecha entre el valor histórico y el año de estudio, registrando 3,4 veces más de lluvias en este último.

**Figura 3**

*Temperatura (°C) y precipitaciones (mm) del periodo de análisis y medias históricas (1991-2020) para la EEMAC*



#### 5.1.2 Balance Hídrico

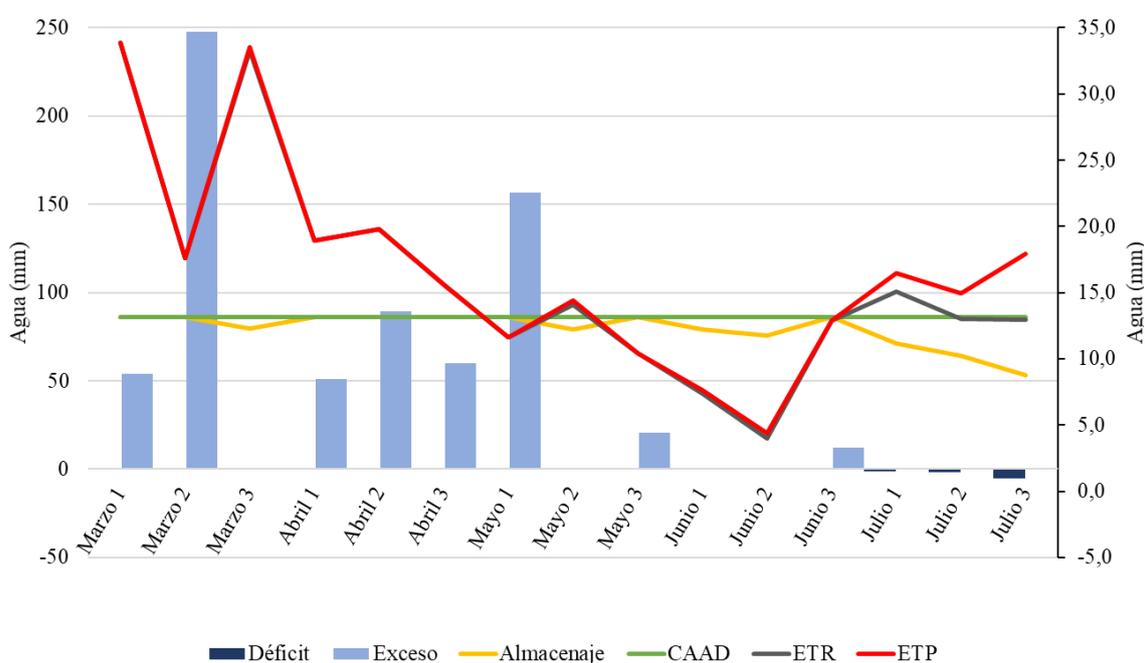
La Figura 4 muestra el balance hídrico para el período de estudio en relación a la capacidad de almacenaje de agua del suelo (CAAD). Dicho balance se realizó siguiendo

la metodología de Thornthwaite y Mather (1957), con el coeficiente de corrección ( $K_c$ ) estipulado por Jia et al. (2009) y una CAAD de 86 mm para el CONEAT 11.3 (Molfino, 2009).

El período del experimento se caracterizó por una disponibilidad hídrica no limitante. Únicamente en el mes de julio se ven pequeños déficits. Estos datos y fundamentalmente los claros excesos concuerdan con lo presentado anteriormente donde se ve un régimen de precipitaciones considerablemente superior al promedio en los meses de marzo, abril y mayo.

#### Figura 4

*Evolución decádica del almacenaje de agua en el suelo, evapotranspiración potencial y evapotranspiración real*



*Nota.* La evolución de las distintas variables se realizó cada diez días. CAAD = capacidad de almacenaje de agua disponible; ETR = evapotranspiración real; ETP = evapotranspiración potencial. Se trabajó con un valor de CAAD de 86mm.

Los déficits fueron visibles cuando las precipitaciones fueron menores a la ETP, siendo visibles principalmente al final del periodo de análisis.

## 5.2 ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO

### 5.2.1 Producción Primaria

En la Tabla 1 se puede apreciar que el efecto del tratamiento fue significativo para todas las variables menos para %Desap. En cuanto a la significancia del efecto ciclo,

existió para todas las variables excepto Alt MS Rem, mientras que para el efecto de la interacción entre ambos no hubo significancia para ninguna variable.

Al observar los contrastes ortogonales, las variables %Desap no mostró diferencias en cuanto a sus medias entre los tratamientos contrastados. En el resto de las variables, existió al menos una diferencia.

**Tabla 1**

*Significancia de los efectos y de seis contrastes ortogonales sobre las variables de producción primaria*

Variable	Efecto Tratamiento	Efecto Ciclo	Efecto Tratamiento*Ciclo	Contrastes					
				1	2	3	4	5	6
Alt MS Disp	**	***	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
MS Disp	*	***	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
%MV Disp	**	**	ns	**	*	ns	***	**	ns
Alt MS Rem	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns
MS Rem	*	***	ns	***	ns	ns	***	**	ns
%MV Rem	**	*	ns	ns	***	*	***	***	ns
%Desap	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*Nota.* ns: no significativo; \* significativo al 10%; \*\* significativo al 5%; \*\*\* significativo al 1%. Contraste 1: CN 1 (Ciclo 1) vs. Tratamientos 1; Contraste 2: CNm1 vs. Nitrógeno 1; Contraste 3: N120 1 vs. N60 1; Contraste 4: CN2 (Ciclo 2) vs. Tratamientos 2; Contraste 5: CNm 2 vs. Nitrógeno 2; Contraste 6: N120 2 vs. N60 2. Variables de Producción Primaria: Alt MS Disp (Altura de la MS Disponible); MS Disp Altura (Materia Seca Disponible según Altura); %MV Disp (Porcentaje de Materia Verde Disponible); Alt MS Rem (Altura de la MS Remanente); MS Rem (Materia Seca Remanente); %MV Rem (Porcentaje de Materia Verde Remanente); %Desap (Porcentaje Desaparecido).

**Tabla 2***Medias y ranking de variables medidas en parcelas de ingreso según el tratamiento*

Tratamiento	Altura MS Disp	MS Disponible	%MV Disponible
CN	20,1 A	3423 A	71 B
CNm	18,6 AB	3026 AB	74,2 AB
N60	17,6 B	2729 AB	80,4 A
N120	17,1 B	2616 B	79,8 A

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

**Tabla 3***Medias y ranking de variables medidas en parcelas de ingreso según el ciclo de pastoreo*

Ciclo de Pastoreo	Altura MS Disp	MS Disponible	%MV Disponible
1	21,6 A	3772 A	78,5 A
2	15,1 B	2125 B	74,3 B

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

Las tres variables expresadas en las Tablas 2 y 3 referentes a mediciones realizadas previo al ingreso de los animales presentaron diferencias significativas entre ellas. En lo referente a la altura del material de ingreso a las parcelas, CN presentó la mayor altura promedio, diferenciándose de los nitrogenados. Dichas diferencias son aún más acentuadas en el primer ciclo de pastoreo. Cabe destacar que las parcelas estuvieron excluidas del pastoreo durante seis meses previo al inicio del experimento (octubre a marzo) por lo que la estructura de la pastura al comenzar era densa, con mucho volumen y con plantas de ciclo estival totalmente desarrolladas, en floración y semillazón. Dicha exclusión coincidió con condiciones hídricas predisponentes para el crecimiento de forraje. En el caso de CN, la proporción de especies estivales, fundamentalmente las gramíneas perennes estivales tiernas (%GPET), fue significativamente mayor (Tabla 9). Como consecuencia, el testigo tuvo una altura mayor en el Ciclo 1 que el resto de los tratamientos para luego estabilizarse en el ciclo 2, ubicándose los 4 tratamientos a menos de un centímetro de diferencia de altura. Los contrastes ortogonales muestran esto mismo, siendo significativo el contraste 1 ( $p\text{-valor}=0,0214$ ). El resultado de este fue de 4,52 cm a favor del testigo. En contraposición, el contraste 4 no fue significativo, indicando que las medias de los tratamientos fueron muy similares entre sí para ese ciclo. Por esta razón puede afirmarse que el efecto ciclo fue significativo, como se aprecia en la Tabla 3 ( $p\text{-valor} < 0,0001$ ).

Por su parte la materia seca disponible tuvo un comportamiento similar siendo significativos el efecto tratamiento, el efecto ciclo y el contraste 1. Sin embargo, los únicos tratamientos que se puede afirmar que fueron significativamente distintos son CN y N120 con una diferencia de aproximadamente 800 kgMS/ha a favor del primero. N60 se ubicó apenas 100 kgMS/ha por encima del otro nitrogenado, pero sin embargo no fue significativamente distinto al testigo. Nuevamente, el efecto ciclo es muy importante como se evidencia en la Tabla 3 producto del descanso prolongado y la acumulación de forraje. En el ciclo 1, las diferencias entre CN y el resto de los tratamientos fue de 1026 kgMS/ha según el contraste 1 ( $p\text{-valor}=0.0185$ ).

En cuanto a la variable porcentaje de materia verde disponible (%MV Disp) fueron significativos los efectos tratamiento y ciclo. También hubo significancia en los contrastes ortogonales 1, 2, 4 y 5. En cuanto al efecto tratamiento, las parcelas nitrogenadas fueron significativamente diferentes al testigo ( $p\text{-valor}=0,0132$ ) con aproximadamente 10% más de materia verde. El CNm mostró un comportamiento intermedio. Estos resultados se deben fundamentalmente a las diferencias en composición botánica y en la disponibilidad de nitrógeno de cada tratamiento. El testigo con su mayor proporción de %GPET presentó mayor cantidad de forraje senescente o envejecido, disminuyendo el porcentaje de verde en la escala visual. Por su parte, los tratamientos nitrogenados poseen una importante proporción de especies anuales invernales finas (%GAIF), fundamentalmente *Lolium multiflorum*, que por su ciclo de vida comenzaba a germinar a los inicios del experimento aportando forraje nuevo y aumentando el porcentaje de verde. En cuanto al efecto del nitrógeno, además de incrementar la participación de esta especie en el tapiz también incrementa la cantidad de hojas verdes en el canopeo aumentando el porcentaje registrado con la escala visual (Ferreira et al., 2008, Errandonea & Kuchman, 2008, como se citan en Belora et al., 2017). Estas diferencias podrían indicar calidades de forraje contrastantes. Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Gómez et al. (2023) donde para el periodo otoño-invierno en el mismo experimento los valores obtenidos fueron 81,8A; 80,3A; 77,1AB y 72,8B para 120N, 60N, CNm y CN respectivamente.

Los contrastes ortogonales para esta variable también mostraron diferencias. En el caso de los contrastes 1 y 4, ambos arrojaron resultados negativos ( $p\text{-valor}=0,0446$ ;  $p\text{-valor}=0,0080$ ), indicando que el CN tuvo -5,9% y -8,4% de verde en comparación con el resto de los tratamientos para cada ciclo. Para el caso de CNm si bien no se detectaron diferencias a través de la prueba Tukey, los contrastes 2 y 4 tuvieron resultados de -5,08% y -6,71% ( $p\text{-valor}=0,095$ ;  $p\text{-valor}=0,0340$ ). Estos contrastes indican que sus medias fueron diferentes y superiores en el caso de los tratamientos nitrogenados.

En relación con las variables medidas posterior a cada pastoreo, es decir, en los remanentes, se observa lo siguiente. Para la variable de altura de remanente, fueron significativos el efecto tratamiento ( $p\text{-valor}=0,0785$ ) y los contrastes 1 y 4 ( $p\text{-valor}=0,0691$ ;  $p\text{-valor}=0,0751$ ). En este caso el efecto ciclo no fue significativo. Los únicos que fueron distintos entre sí fueron CN y N120 (Tabla 4). Estas diferencias podrían

deberse a la mayor proporción de GPET en el caso de CN, particularmente *Setaria geniculata*, especie en la que se constató que aquellas matas florecidas no eran apetecidas por el ganado (Tabla 9). Al tomar la medición de la hoja vegetativa más alta que contactara con la regla dentro de esos “manchones”, usualmente generaban registros de altura mayores que el resto de la parcela elevando la media de esta. Otra posible causa es la proporción levemente mayor, pero que aun así fue significativa, de GPED, como *Paspalum quadrifarium*, que, siendo poco apetecida por su tipo productivo duro y con su considerable altura, aquellos muestreos que incluyeran esta especie podrían tener registros realmente más altos que la media. Dicha situación según los resultados sería más frecuente en CN. En cuanto a los contrastes 1 y 4, muestran que CN presentó 1,4 cm más de altura que los demás tratamientos en el primer ciclo y 1,36 cm más en el segundo ciclo.

En lo que refiere a materia seca remanente, fueron significativos el efecto tratamiento ( $p$  valor=0,0989), el efecto ciclo y los contrastes 1, 4 y 5. Se encontraron diferencias significativas entre CN y N120 siendo esta de alrededor de 500 kgMS/ha. Los contrastes ortogonales 1 y 4 mostraron que CN tuvo remanentes superiores al resto de los tratamientos de 325 y 420 kgMS/ha para el ciclo 1 y 2 respectivamente ( $p$ -valor=0,0038;  $p$ -valor=0,0006). Cabe destacar que las ofertas de forraje efectivas (Tabla 18) fueron levemente superiores en el caso de CN, fundamentalmente al compararlo con N120 que, aunque estas diferencias no fueron significativas, superaron el punto porcentual. Esto probablemente es consecuencia de los ingresos a pastoreo con alturas y MS disponible también mayores y significativamente superiores como ya fue analizado. Considerando esto, no resulta extraño observar remanentes menores en el caso de N120. Para el caso de CNm, el contraste 5 arrojó una diferencia a favor de este tratamiento de 290,1 kgMS/ha ( $p$ -valor=0,0108). Vale recordar que para las variables altura de ingreso y MS disponible este tratamiento tuvo un comportamiento intermedio entre CN y N120 y en estas variables de altura de remanente y MS remanente el comportamiento es el mismo. En cuanto a la OF también fue intermedia entre CN y N120 como se aprecia en la Tabla 18 por lo que existe coherencia entre los resultados.

La variable porcentaje de materia verde en remanente (%MV Rem) tuvo significancia para el efecto tratamiento ( $p$ -valor=0,0189), ciclo y contrastes 2, 3, 4 y 5. El tratamiento que presentó mayor media fue N60 con 74,2% diferenciándose de CNm y CN que presentaron 64% y 64,4% respectivamente. N120 tuvo un comportamiento intermedio. Los contrastes 2 y 5 muestran que CNm tuvo 7,8% y 8% menos de materia verde en su remanente que los nitrogenados para el ciclo 1 y 2 respectivamente ( $p$ -valor=0,0029;  $p$ -valor=0,0024). El contraste 3 mostró diferencias entre N120 y N60, teniendo N120 un 4,8% menos de %MV Rem en el primer ciclo ( $p$ -valor=0,0699). Esto puede deberse a una menor proporción de lámina a partir de una menor altura remanente. El contraste 6 no fue significativo por lo que esa diferencia no se constató en el ciclo 2. Por último, el contraste 4 mostró que para el ciclo 2 de pastoreo CN tuvo 8,6% menos de %MV Rem que el resto de los tratamientos ( $p$ -valor=0,0010). Dutra da Silveira y Fernández (2020) presentan resultados similares, aunque no significativamente diferentes

entre sí de 70,7%; 70,7%; 70,5% y 69% para CN, CNm, N60 y N120 respectivamente para el mismo experimento en un período de evaluación similar.

**Tabla 4**

*Medias y ranking de variables medidas en parcelas de salida según el tratamiento*

Tratamiento	Altura MS Remanente	MS Remanente	%MV Remanente	% Desap
CN	11,1 A	1841 A	64,4 B	59
CNm	10,1 AB	1583 AB	64 B	53,5
N60	9,8 AB	1454 AB	74,2 A	57,4
N120	9,3 B	1370 B	69,8 AB	53,9

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

En cuanto al porcentaje desaparecido (%Desap) no arrojó diferencias significativas entre tratamientos, pero sí entre ciclos, siendo este el único efecto significativo ( $p\text{-valor} = 0,0049$ ). Como se mencionó anteriormente, las alturas de ingreso a las parcelas fueron mucho más variables y contrastantes en el ciclo 1 y luego se homogeneizaron en el segundo ciclo. Por este motivo y siendo mayor la diferencia entre ciclos para Alt Ing que para Alt Rem, se puede afirmar que el porcentaje del disponible consumido por los animales en el ciclo 1 fue mayor que en el ciclo 2. Esto es contrastante con los resultados presentados por Gallinal et al. (2016) cuyos resultados van desde 12% a 28% para la estación de otoño de desaparecido para todos los tratamientos, pero con OF de 10-20%; es decir, ofertas mucho mayores que las de este trabajo. Cuando se observan datos de experimentos con ofertas de forraje más bajas cercanas a las de este trabajo (6-8% PV), los resultados de %Desap también se aproximan. Tal es el caso de lo reportado por Dutra Da Silveira & Fernández (2020) con datos de 58%; 65,6%; 60,4% y 55,5% para CN, CNm, N60 y N120 respectivamente en el período otoñal en el mismo experimento.

**Tabla 5**

*Media y ranking de variables medidas en parcelas de salida según el ciclo de pastoreo*

Ciclo de Pastoreo	Altura MS Remanente	MS Remanente	%MV Remanente	% Desap
1	10,3	1779 A	69,3 A	63 A
2	9,8	1345 B	66,8 B	48,9 B

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

### 5.2.1.1 Producción de forraje acumulada para el periodo de análisis

Para el análisis de producción y tasa de crecimiento se tuvo en cuenta únicamente el efecto en el segundo ciclo de pastoreo, por faltante de conocimiento de datos de remanente anteriores al inicio del experimento. Para el ciclo 1, se consideraron las mismas tasas.

Ambas variables resumidas en la Tabla 6 resultaron ser no significativas para el efecto y los contrastes realizados.

**Tabla 6**

*Significancia de efectos y seis contrastes ortogonales sobre tasa de crecimiento y producción acumulada*

Variable	Efecto Tratamiento	Contrastes ortogonales		
		1	2	3
TC	ns	ns	ns	ns
Producción	ns	ns	ns	ns

*Nota.* ns: no significativo; \* significativo al 10%; \*\* significativo al 5%; \*\*\* significativo al 1%. Contraste 1: CN vs. Tratamientos; Contraste 2: CNm vs. Nitrógeno; Contraste 3: N120 vs. N60.

En cuanto al CNm, los resultados obtenidos no corresponden con lo presentado por Bemhaja (1998), donde reporta una superioridad del 117 y 147% para las estaciones otoño e invierno respectivamente, con respecto al campo natural. Esto se puede adjudicar a la baja proporción de leguminosas presentes en dicho tratamiento actualmente (Tabla 11).

Por su parte, en cuanto a la respuesta al agregado de nitrógeno, los resultados obtenidos pueden deberse a efectos climáticos. Rebuffo (1994) menciona que los fertilizantes aplicados en superficie son ineficientes en condiciones de seca o lluvias excesivas, así como bajas temperaturas reducen la respuesta potencial. El periodo de análisis se caracterizó por presentar situaciones de exceso hídrico en gran parte del periodo de análisis, además de temperaturas medias por debajo del promedio histórico, encontrándose hasta 3 °C por debajo del promedio en el mes de mayo. Esto, se relaciona también con la gran ocurrencia de heladas agrometeorológicas, habiendo ocurrido casi que el doble de dicho evento climático a la media histórica (Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], 2024).

**Tabla 7***Efecto del tratamiento sobre la tasa de crecimiento (TC) y producción acumulada*

Tratamiento	TC	Producción
CN	13,97	1551
CNm	12,83	1423
N60	11,24	1248
N120	16,27	1806

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

Debido al efecto de las condiciones climáticas, varios autores no han encontrado diferencias significativas entre tratamientos. Dutra da Silveira y Fernández (2020) reportaron que durante la evaluación otoñal no se visualizaron diferencias entre tasas de crecimiento, donde la temperatura, radiación y ETR del cultivo no fueron favorables. De igual forma, Gallinal et al. (2016) y Rodríguez Palma et al. (2009) no reportaron diferencias significativas en la acumulación de forraje entre tratamientos en la estación otoñal. Por su parte, Pirez (2012) evaluó la respuesta para *Bromus auleticus* y *Stipa setigera* ante el agregado de 100kg N/ha, no reportando efectos para el mismo momento de análisis.

Sin embargo, datos sobre la superioridad en producción a partir de la fertilización nitrogenada otoñal han sido reportados por Rodríguez Palma et al. (2009), donde a partir de la aplicación de 100 kgN/ha durante siete años la producción anual aumentó un 29%, mejorando las tasas de crecimiento un 40% en invierno. Por su parte, Gómez et al. (2023) y Belora et al. (2017) para otoño reportan aumentos de producción en un 44% y 60% respectivamente.

### 5.2.2 Composición Botánica

Los diferentes grupos botanales que se tuvieron en cuenta durante el periodo de estudio, así como la cobertura de malezas de campo sucio y proporción de suelo desnudo, se evaluaron según tratamiento, ciclo y la interacción entre ambas variables mencionadas. En la Tabla 8 se observan las significancias estadísticas para los efectos estudiados, así como los contrastes ortogonales.

En la Tabla 8 se observa que para el efecto tratamiento las variables %GPET, %GPED, %GAIF y %LegInt presentaron diferencias significativas. Por su parte, para el efecto ciclo las variables en las que se observó significancia fueron %SD, %MCS, %PN, %PD, %GPET, %GPID, %GAIF, %LegInt, %HE+HM y %RS. Por último, para la

interacción de los efectos mencionados, la única variable que presentó diferencias significativas fue %LegInt.

En cuanto a los contrastes ortogonales, se encontró diferencias significativas para al menos una variable en todas las situaciones de comparación. En el contraste 1, donde se comparan las medias del testigo con los tratamientos de estudio durante el primer ciclo de pastoreo, se observaron diferencias significativas para %MCS, %CD+BM, %PD, %GPET y %GPITF. En el contraste 2, donde se compara las medias del tratamiento ante la incorporación de leguminosas y fertilización fosfatada contra las medias de los tratamientos nitrogenados, se apreciaron diferencias para %MCS y %PD. El contraste 3, el cual es el último para el ciclo de pastoreo en cuestión y que compara los efectos de las diferentes dosis empleadas de nitrógeno, evidenció diferencias en la proporción de MCS, %GPID y la familia de la Cyperaceae y Juncaceae. En cuanto al segundo ciclo de pastoreo, el contraste 4 marcó diferencias en las variables %MCS, %CB+BM, %PD, %GPED, %GAIF, %LegInt y %HM+HE. Con respecto al contraste 5, ante la intervención del campo natural se visualizaron diferencias según %MCS, %CD+BM, %GAIF y %LegInt. Por último, ante diferentes dosis, en el segundo ciclo de pastoreo analizado, se apreció efecto en las variables %PD y %HM+HE.

**Tabla 8**

*Significancia de los efectos y de seis contrastes ortogonales sobre las variables de composición botánica*

Variable	Efecto Tratamiento	Efecto Ciclo	Efecto Tratamiento*Ciclo	Contrastes					
				1	2	3	4	5	6
%SD	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%MCS	ns	***	ns	***	***	**	***	***	ns
%PN	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CD+BM	ns	ns	ns	***	ns	ns	***	*	ns
%PD	ns	***	ns	***	**	ns	**	**	*
%GPET	**	***	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
%GPEO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%GPED	***	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
%GPITF	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
%GPIO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%GPID	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
%AE	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%GAIF	*	***	ns	ns	ns	ns	***	***	ns
%LegN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%LegInt	*	***	***	ns	ns	ns	***	***	ns
%CJ	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
%HM+E	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*
%RS	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*Nota.* ns: no significativo; \* significativo al 10%; \*\* significativo al 5%; \*\*\* significativo al 1%. Contraste 1: CN 1 (Ciclo 1) vs. Tratamientos 1; Contraste 2: CNm 1 vs. Nitrógeno 1; Contraste 3: N120 1 vs. N600 1; Contraste 4: CN2 (Ciclo 2) vs. Tratamientos 2; Contraste 5: CNm 2 vs. Nitrógeno 2; Contraste 6: N120 2 vs. N60 2. Variables de la composición botánica: %SD (Suelo desnudo); %MCS (Malezas de Campo Sucio); %PN (*P. notatum*); %CD+BM (*C. dactylon* + *B. megapotamica*); %PD (*P. dilatatum*); %GPET (Gramíneas Perenne Estival Tiernas); %GPEO (Gramíneas Perenne Estival Ordinaria); %GPED (Gramínea Perenne Estival Dura); %GPITF (Gramíneas Perenne Invernal Fino, Tierno-Fino, Fino); %GPIO (Gramíneas Perenne Invernal Ordinario); %GPID (Gramínea Perenne Invernal Duro); %AE (Anuales Estivales); %GAIF (Gramínea Anual Invernal Fino); %LegN (Leguminosa Nativa); %LegInt (Leguminosa Introducida); %CJ (Cyperaceae y Juncaceae); %HE+HM (Hierbas Enanas y Menores); %RS (Restos Secos).

### 5.2.2.1 Efecto del tratamiento en la composición botánica

Para las variables analizadas en la Tabla 9, las variables %GPET y %GPED fueron las únicas que presentaron diferencias significativas según tratamiento ( $p$ -valor=0,0261;  $p$ -valor=0,0037).

En cuanto a las especies estivales tiernas se puede ver que el testigo es quien presenta una mayor contribución, siendo significativamente diferente de CNm y N120, mientras N60 no presenta diferencias con todos los tratamientos analizados. En el contraste 1 ( $p$ -valor=0,0466), se visualiza que, en el primer ciclo de pastoreo, la presencia de dicho grupo botanal en el testigo era de un 13,6% superior a los tratamientos. Teniendo en cuenta la gran proporción que ocupa dicho grupo botanal dentro del tapiz en el testigo, ante niveles de intervención que provoquen cambios tróficos lleva a la sustitución de especies, favoreciendo fundamentalmente las invernales C3, pudiendo superar tres veces el aporte de las estivales (Berretta et al., 2001; Boggiano et al., 2004). De la misma manera, en las gramíneas de tipo productivo duro se visualiza dicha tendencia mencionada. El contraste 4 ( $p$ -valor = 0,0175) muestra que en el segundo ciclo de pastoreo el testigo presentó un 2,2% más de cobertura de gramíneas estivales duras que los tratamientos con algún tipo de intervención.

Aunque no se hayan constatado diferencias significativas entre tratamientos con la variable %CD+BM, los contrastes arrojan diferencias interesantes. En primer lugar, el contraste 1 ( $p$ -valor=0,0019), remarca lo mencionado en el párrafo anterior sobre el desplazamiento de especies estivales por perennes invernales, habiendo en el testigo un 2% más de dichas gramíneas estivales por sobre los tratamientos. El contraste 4 marca lo mencionado ( $p$ -valor=0,0028). Por su parte, el contraste 5 pauta que las diferencias entre el CNm y los nitrogenados de -0,8% es significativa ( $p$ -valor=0,0754), a favor del primero. Esto puede ser considerado otra amenaza ecológica de las fertilizaciones nitrogenadas anuales ya que, a partir de la anualización del tapiz, se favorece la capacidad invasora de especies competitivas como la gramilla.

Para los grupos botanales de gramíneas invernales no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. De todas formas, para las anuales invernales se constató efecto significativo del tratamiento ( $p$ -valor=0,0984). Esto concuerda con los contrastes 4 y 5 ( $p$ -valor=0,0086;  $p$ -valor=0,0049). En el segundo ciclo de pastoreo, el testigo presentó un 16,6% menos que la media de los tratamientos, mientras que si comparamos el CNm con los nitrogenados el primero presentó 19,7% menos de aporte de raigrás.

**Tabla 9**

*Proporción de diferentes grupos botanales de gramíneas estivales según tratamiento para el total del periodo*

Tratamiento	%PN	%CD+BM	%PD	% GPET	% GPEO	% GPED
CN	23,9	3,1	9,3	30 A	1,4	3,4 A
CNm	22,3	0,9	8	19,2 B	3,2	1,9 B
N60	17,7	1,3	5	22 AB	2,4	2,1 B
N120	15,4	1,8	5,1	16,8 B	3	0,9 B

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

En cuanto a las gramíneas perennes invernales, las tiernas-finas son las de mayor predominancia en el tapiz, con una media de 24,3% entre tratamientos. En el contraste 1 ( $p$ -valor=0.0360) se visualiza que el testigo presenta un 16,7% menos de cobertura por parte dicho grupo botanal. Esto puede asociarse a lo constatado por Berretta et al. (1998) y Boggiano et al. (2023), donde destacan el favorecimiento de especies, tal como *Bromus auleticus*, *Poa lanigera* y *Stipa setigera*, ante niveles crecientes de intervención del campo natural. Los demás grupos botanales presentados en la Tabla 10 tuvieron una marcada menor participación.

**Tabla 10**

*Proporción de diferentes grupos botanales de gramíneas invernales según tratamiento para el total del periodo*

Tratamiento	%GPITF	% GPIO	% GPID	%GAIF
CN	16,7	0,7	0,9	0,5
CNm	27,6	0,6	1,7	2,3
N60	24,6	0,3	0,9	14,1
N120	28,4	1,1	2,6	14,3

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

El mencionado aumento de gramíneas anuales invernales, principalmente gracias a *Lolium multiflorum*, ha sido evidenciado por diferentes autores ante el agregado de nitrógeno. Gómez et al. (2023) reportan aportes otoñales de 27,83%, pudiendo ascender hasta aportes del 54% de la masa de forraje total durante el invierno ante el agregado de 120UN. Datos concordantes han sido los de Duhalde y Silveira (2018) y Durán y Guido

(2022), donde la presencia de raigrás es significativamente diferente entre tratamientos, alcanzando 38% y 45% de cobertura ante el agregado de 120UN.

Con respecto a la familia de las leguminosas, se observaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor=0,0594), únicamente para las leguminosas introducidas.

**Tabla 11**

*Proporción de los diferentes grupos botanales de leguminosas según tratamiento para el total del periodo*

Tratamiento	%LegN	%LegInt
CN	1	0
CNm	2,4	1,1
N60	2	0
N120	1	0

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

Las leguminosas introducidas tuvieron relevancia en el tratamiento de CNm. Esto coincide con lo plasmado por el contraste 4, donde se muestra una superioridad del 2,6% de cobertura del tapiz en contraposición con los tratamientos nitrogenados. De igual forma, Dutra da Silveira y Fernández (2020), en el mismo experimento, reportan que de forma conjunta, las nativas e introducidas, explicaron el 34% del forraje disponible en el verano-otoño analizado, así como Durán y Guido (2022) constataron contribuciones del 27% en el primer tercio del invierno. El marcado descenso de la presencia de dichas especies se puede deber a varios factores. Debido al exceso de forraje producto del verano llovedor, *Lotus tenuis*, que presenta ciclo primavero-estivo-otoñal, se pudo haber visto perjudicado ante la competencia con el tapiz natural. Una vez removido el excedente de forraje a partir del primer ciclo de pastoreo y comienzo del ciclo de producción del trébol rojo, el cual es otoño-inverno-primaveral, el componente de leguminosas introducidas se vio favorecida, pudiéndose apreciar con la significancia del efecto ciclo ( $p$ -valor=0,0027). De igual forma, hay que considerar también la baja persistencia que presentan las especies introducidas, debido a, por ejemplo, la gran susceptibilidad a podredumbre de raíz por parte del *Trifolium pratense*.

Para los grupos botanales plasmados en la Tabla 12 no se evidenció efecto tratamiento. En términos absolutos, los tratamientos nitrogenados presentaron una mayor cobertura por parte de malezas de campo sucio, lo cual coincide con lo arrojado por los contrastes para ambos ciclos de pastoreo.

**Tabla 12**

*Proporción de diferentes grupos botanales de otras hierbas según tratamiento para el total del periodo*

Tratamiento	%CJ	%HM+E	% MCS	% RS
CN	1,8	1,9	5,8	5,5
CNm	1,9	2,3	5,8	4,3
N60	1,7	2,6	14	3,2
N120	4,2	3,1	16,5	2

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ). CJ (Cyperaceas y Juncaceas); HM+E (Hierbas menores y enanas); MCS (Malezas de campo sucio); RS (Restos secos).

De media, para ambos ciclos de pastoreo, el testigo presentó un 6,4% menos de cobertura que los tratamientos con algún agregado de insumo ( $p$ -valor=0,0078;  $p$ -valor=0,0059 para ciclo 1 y 2 respectivamente). Por su parte, si se compara el CNm y los nitrogenados, el primero tuvo de media un 9,5% menos de infestación ( $p$ -valor=0,0014;  $p$ -valor=0,0005 para ciclo 1 y 2 respectivamente). Esto se debe a que un aumento de la fertilidad del suelo promueve la germinación de malezas (Ríos, 1996). Las especies dominantes en estos casos fueron *Carduus acanthoides*, *Carduus nutans* y *Cirsium vulgare*, los cuales son especies anuales invernales con gran desarrollo en suelos fértiles y calcáreos y cuya roseta puede alcanzar los 20-30 cm de diámetro, impidiendo así el crecimiento de especies forrajeras de interés (Vila, 1993).

La anualización del tapiz ha sido destacada por diversos autores. Zanoniani et al. (2011) establecen que ante dosis de 150 kgN/ha a 9% de OF constante, provoca una reducción de diversidad y un aumento de especies exóticas invasoras, como el ya mencionado *Lolium multiflorum*, pero también por malezas de campo sucio como *Carduus nutans*. Boggiano et al. (2023) establecen que dicha modificación afecta la resistencia y la resiliencia del campo natural.

#### 5.2.2.2 Efecto del ciclo en la composición botánica

De las variables presentadas en la Tabla 13, las únicas variables que presentaron diferencias significativas fueron %PN, %PD y %GPET ( $p$ -valor=0,0149;  $p$ -valor=0,0097;  $p$ -valor=0,0027). Estas diferencias entre ciclos se deben al cese del ciclo de producción de dichos grupos botanales.

**Tabla 13**

*Proporción de diferentes grupos botanales de gramíneas estivales según ciclo de pastoreo*

Ciclo de Pastoreo	%PN	%CD+BM	%PD	% GPET	% GPEO	% GPED
1	24,2 A	1,5	7,9 A	28,8 A	2,9	1,9
2	15,5 B	2	5,9 B	15,2 B	2,1	2,2

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

En la tabla 14, dos grupos botanales presentaron diferencias significativas entre ciclos, para %GPID ( $p$ -valor=0,0866) y %GAIF ( $p$ -valor=0,0071). El comportamiento de estas especies es el esperado, ya que en el primer ciclo de pastoreo el excedente de forraje impedía el buen desarrollo de estas especies, que una vez removido y acompañado por un cese del ciclo de producción de las estivales, las invernales vieron promovido su crecimiento. Además, el contraste 1 muestra que el testigo presentó un 16,7% menos de presencia de GPITF ( $p$ -valor=0,0360). Esto se asocia al ya mencionado efecto de la intervención sobre la promoción de especies invernales.

**Tabla 14**

*Proporción de los diferentes grupos botanales de gramíneas invernales según ciclo de pastoreo*

Ciclo de Pastoreo	%GPITF	% GPIO	% GPID	%GAIF
1	23,3	0,3	1 B	1,7 B
2	25,4	1	2 A	13,9 A

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

La diferencia más marcada en cuanto a cambios en la proporción entre ciclos es la de las GAIF. Esto se debe a que el raigrás es una especie anual, por lo que adquiere vigor rápidamente, y es de baja producción otoñal. En el segundo ciclo de producción, los contrastes 4 y 5 arrojan diferencias significativas ( $p$ -valor=0,0086;  $p$ -valor=0,0049), donde la población de raigrás resultó ser un 16,6 y 19,7% superior a favor de los tratamientos con algún tipo de intervención y nitrogenados respectivamente, validando así el efecto nitrófilo de dicha gramínea.

Como se puede ver en la Tabla 15, no se observaron diferencias significativas entre ciclos para las leguminosas nativas, pero sí para las leguminosas introducidas ( $p$ -valor=0,0027). Teniendo en cuenta el ya mencionado efecto del raleo con el primer ciclo

de pastoreo, el trébol rojo, adquirió vigor al interceptar luz y comenzar su ciclo de producción, aunque hay que tener en cuenta que es de bajo aporte en dicha estación y sus picos de producción son primaverales.

**Tabla 15**

*Proporción de los diferentes grupos botanales de leguminosas según ciclo de pastoreo*

Ciclo de Pastoreo	%LegN	%LegInt
1	2,1	0,1 B
2	1,1	0,7 A

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

Por último, en la Tabla 16 se muestra que las %HM+E ( $p$ -valor=0,0859), %MCS ( $p$ -valor=0,0056) y %RS ( $p$ -valor=0,0310) presentaron diferencias significativas entre ciclos de pastoreo.

En cuanto %HM+E se puede atribuir una mayor presencia en el segundo ciclo de pastoreo a partir de una mayor captación de luz por una menor interferencia. Esto es acompañado por los contrastes realizados, ya que en el primer ciclo no se presentan diferencias entre tratamientos, pero en el segundo ciclo sí. Por ejemplo, el testigo presenta un 1,5% menor de cobertura que los demás tratamientos ( $p$ -valor=0,0578) y el CNm en términos absolutos también presenta menor participación de dicho grupo botanal en su tapiz que los nitrogenados. Esto, relacionado también a que en el primer ciclo no se había realizado la primera fertilización nitrogenada, se puede asociar a la también respuesta nitrófila de especies presentes, tal como *Stellaria media* (Ríos, 1996).

Los restos secos aumentaron 37 veces entre los ciclos de pastoreo. Al inicio del periodo evaluado, hubo un exceso de forraje en transición entre ciclos de producción, destacándose el encañado de las especies estivales, produciendo así rechazo por parte de los animales. De esta forma, en el segundo ciclo, la proporción de restos secos se vio favorecida.

**Tabla 16**

*Proporción de los diferentes grupos botanales de otras hierbas según ciclo de pastoreo*

Ciclo de Pastoreo	%CJ	%HM+E	% MCS	% RS
1	2,4	2 B	12,5 A	0,2 A
2	2,3	2,9 A	8,5 B	7,7 B

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ). CJ (Cyperaceas y Juncaceas); HM+E (Hierbas menores y enanas); MCS (Malezas de campo sucio); RS (Restos secos).

### 5.2.3 Producción Secundaria

Las variables de producción secundaria fueron analizadas según los efectos del tratamiento, ciclo y la interacción tratamiento\*ciclo.

**Tabla 17**

*Significancia de efectos y contrastes ortogonales sobre la ganancia media diaria y oferta de forraje*

Variable	Efecto Tratamiento	Efecto Ciclo	Efecto Tratamiento*Ciclo	Contrastes					
				1	2	3	4	5	6
GMD	***	**	***	ns	ns	ns	***	***	ns
OF%	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*Nota.* ns: no significativo; \* significativo al 10%; \*\* significativo al 5%; \*\*\* significativo al 1%. GMD = ganancia media diaria; OF% = oferta de forraje; Contraste 1: CN 1 (Ciclo 1) vs. Tratamientos 1; Contraste 2: CNm 1 vs. Nitrógeno 1; Contraste 3: N120 1 vs. N60 1; Contraste 4: CN2 (Ciclo 2) vs. Tratamientos 2; Contraste 5: CNm 2 vs. Nitrógeno 2; Contraste 6: N120 2 vs. N60 2.

La variable GMD presentó diferencias significativas ante todos los efectos analizados, así como presentó diferencias en dos de los seis contrastes ortogonales realizados. Por su parte, el efecto ciclo fue significativo para la variable OF%, no así los otros efectos ni contrastes ortogonales.

La Tabla 18 evidencia diferencias significativas entre tratamientos para la variable GMD ( $p\text{-valor}=0,0032$ ). El testigo no varía estadísticamente con el CNm y este último no difiere con el N60. Datos similares han sido reportados por Gómez et al. (2023) y Casalás et al. (2017).

**Tabla 18**

*Efecto tratamiento sobre la ganancia media diaria, oferta de forraje y ganancia de peso vivo*

Tratamiento	GMD (g/d)	OF %	GPV (kg/ha)*
CN	229 C	6,6	122
CNm	281 BC	5,7	149
N60	427 AB	6,2	199
N120	491 A	5,4	209

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ). GMD = ganancia media diaria; OF% = oferta de forraje; GPV = ganancia de peso vivo; GPV (kg/ha) \* no presenta análisis estadístico por falta de repetición.

De igual forma, los contrastes ortogonales marcan diferencias significativas con respecto a dicha variable en el segundo ciclo de pastoreo. El contraste 4 ( $p\text{-valor}=0,0010$ ) arroja que las ganancias del testigo se encontraban 293 g/d por debajo de los tratamientos con algún agregado de insumos. Por su parte, el contraste 5 ( $p\text{-valor}=0,0002$ ) marca que las ganancias de los animales pastoreando el tratamiento de CNm obtuvieron ganancias 379 g/d menos que los animales sobre los tratamientos nitrogenados. Esto coincide con lo plasmado en la Tabla 19, la cual muestra que hay diferencias significativas entre ciclos de pastoreo ( $p\text{-valor}=0,0241$ ).

**Tabla 19**

*Efecto del ciclo sobre la ganancia media diaria y oferta de forraje*

Ciclo de Pastoreo	GMD (g/d)	OF%
1	298 B	7,1 A
2	416 A	4,9 B

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ). GMD = ganancia media diaria; OF% = oferta de forraje.

Las mencionadas diferencias de ganancias se deben a la calidad de la pastura. Como ya se ha mencionado, el primer ciclo de pastoreo se caracterizó por la presencia de gran abundancia de pasto debido a la restricción del pastoreo estival, el cual coincidió con condiciones de precipitaciones muy favorables para el desarrollo vegetal. Entonces, el inicio del periodo experimental fue acompañado por gran oferta de forraje, pero no en calidad, ya que el periodo otoñal es de transición, donde las estivales presentan gran

proporción de vaina a partir del encañado. Sin embargo, una vez ocurrido el pastoreo, especies de calidad, como son las especies invernales, adquirieron vigor y se vieron promovidas. Esto llevó a que en el segundo ciclo de pastoreo las ganancias fueran significativamente diferentes, más aún a partir del apalancamiento de los tratamientos nitrogenados. Especies con alta respuesta al agregado de nitrógeno, como el *Lolium multiflorum*, se ven favorecidas ante la intervención, dándose así dominancia de una especie de alta calidad y aptitud engordadora. Dicha afirmación coincide con lo presentado por Gómez et al. (2023), donde se dio un aumento del 73% en dicha variable debido al aumento porcentual de raigrás y, en menor medida, por las especies tiernas-finas.

Con respecto a la GPV, los valores obtenidos pueden ser comparados con otros estudios en el mismo experimento. Belora et al. (2017) reportan ganancias de 153; 225; 226 y 269 kg/ha para testigo, CNm, N60 y N120 respectivamente desde diciembre a junio. Por su parte Gómez et al. (2023) evidenciaron ganancias de 64; 117; 200 y 203 kg/ha para el mismo orden de tratamientos mencionado desde fines de mayo a mediados de septiembre.

La OF% también presentó significancia ante el efecto del ciclo ( $p\text{-valor} < 0.0001$ ). Esto se debió a que en el segundo ciclo de pastoreo las ofertas de los nitrogenados se encontraron por debajo del objetivo, pero a efectos de mantener la población tester dentro del experimento no se realizó ajuste de carga.

**Tabla 20**

*Efecto de la Interacción Tratamiento\*Ciclo para ganancia media diaria*

Tratamiento	Ciclo	Media
N120	2	673 A
N60	2	559 AB
CNm	1	326 BC
N120	1	310 BC
N60	1	295 BC
CN	1	261 C
CNm	2	236 C
CN	2	196 C

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

Para la variable GMD, la interacción tratamiento\*ciclo fue significativa ( $p$ -valor=0,0048). Para el testigo, CNm y N60 no se observaron diferencias significativas entre ciclos, mientras que para N120 sí. Cabe resaltar, que, en términos absolutos, la GMD en N60 aumenta en un 90% de un ciclo a otro.

Para continuar destacando lo anterior, teniendo en cuenta que la oferta de forraje no fue significativa para el efecto tratamiento, la superioridad en ganancia media diaria por parte de los tratamientos nitrogenados fue a partir de una mayor calidad de forraje. Esto se dio aun cuando en el segundo ciclo de pastoreo se trabajó con ofertas por debajo del objetivo, periodo que coincide con un mayor aporte del raigrás a la masa de forraje total.

## 6 CONSIDERACIONES FINALES

El periodo de análisis se caracterizó por ser desfavorable para el crecimiento de forraje, debido a un registro de temperaturas por debajo de la media, acompañado por eventos sucesivos de heladas meteorológicas y precipitaciones en exceso. Dichas condiciones climáticas retrasaron la emergencia de nuevas plántulas e inhibieron el rebrote de especies invernales, no expresándose los efectos del agregado de nitrógeno, representado por la no ocurrencia de diferencias significativas entre tratamientos para las variables de MS acumulada y TC.

El testigo presentó mayores contribuciones de especies perenne estivales, dándose diferencias significativas en las de tipo productivo tierno y duro. Por su parte, los perennes invernales no presentaron diferencias significativas, aunque es relevante considerar que el historial de manejo del pastoreo incidió en una buena contribución de las de tipo productivo tierno-fino. Para las anuales invernales, el efecto tratamiento fue significativo. En el segundo ciclo de pastoreo, se reportó una superioridad en la proporción de raigrás por parte de los tratamientos nitrogenados por sobre el testigo y el CNm, asociándose a un mayor %MV. Dicho efecto se visualizó en el segundo ciclo a partir de la fertilización, evidenciando su efecto ante el agregado directo.

En lo que respecta al aporte de leguminosas fue muy bajo, tanto para las nativas como introducidas, no percibiendo diferencias significativas entre tratamientos. Esto denota la baja presencia de dicho grupo botanal en los campos de la región en cuestión, la inhibición de la FBN ante el agregado de N de forma antropogénica y la baja persistencia de las especies utilizadas para el mejoramiento extensivo.

En cuanto a las MCS no se reportaron diferencias significativas entre tratamientos, pero los contrastes demuestran una preferencia de las especies *Carduus acanthoides* y *Cirsium vulgare* por los tratamientos con el agregado de nitrógeno.

La respuesta del tapiz natural ante el agregado directo de nitrógeno demuestra un riesgo ambiental de esta práctica, ya que se da un favorecimiento de especies anuales con efecto nitrófilo, sustituyendo así a las especies perennes, perjudicando la estabilidad característica del bioma. A partir de esto se podría establecer que la introducción de leguminosas tendría un menor impacto ecológico en ese sentido.

Dicha amenaza ecológica se da de forma paralela con un aumento en la producción secundaria, ya que a partir del agregado de insumos se favorecen especies de tipo productivo fino y tierno-fino, los cuales presentan aptitud engordadora. Para el periodo de análisis se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos nitrogenados y el testigo, mientras que el CNm se comportó como intermedio entre CN y N60. También se evidenciaron diferencias entre ciclos de pastoreo, siendo superiores en invierno gracias a una mayor contribución del raigrás al forraje total.

Hay que considerar que las respuestas obtenidas en el periodo de evaluación no son extrapolables en su totalidad, ya que son el resultado de años de historia de agregado de insumos y manejo de pastoreo, lo que ha determinado una vegetación con muy buen aporte invernal.

## 7 CONCLUSIONES

La intensificación en el uso de los recursos no significó un aumento de producción de forraje. En lo referente a especies de gramíneas perennes invernales tiernas-finas, se observó cierta tendencia a un incremento en su participación en el tapiz a partir del agregado de nitrógeno. Sin embargo, *Lolium multiflorum* respondió a niveles crecientes de agregado de nitrógeno, generando un aumento en la producción secundaria debido a su alta calidad forrajera.

El mencionado aumento de la producción secundaria se produce a expensas de la sustitución de especies perennes por anuales, incluyendo malezas de campos sucio, por lo que se puede ver perjudicada la estabilidad productiva del campo natural.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Abella, M., & Nin, A. (2003). *Evolución en las formas y contenidos de fósforo del suelo bajo sistemas de pasturas y cultivos con laboreo convencional y siembra directa* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25369/1/AbellaFaguagaMar%c3%adadelRosario.pdf>
- Aguinaga, A. (2004). *Manejo da oferta de forragem e seus efeitos na produção animal e na produtividade primária de uma pastagem natural na Depressão Central do Rio Grande do Sul* [Tesis de maestría, Universidad Federal do Rio Grande do Sul]. Lume. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/4147>
- Alecrim, F., Devincenzi, T., Reyno, R., Mederos, A., Simón, C., Mariotta, J., Santander, D., Lattanzi, F., Irigoyen, L., & Ciganda, V. (2024). El uso de leguminosas forrajeras en mejoramientos de campo natural como estrategia de intensificación sostenible para la ganadería de carne: Su implicancia en las emisiones entéricas de metano y en la eficiencia de la utilización del nitrógeno. *Revista INIA*, (76), 51-55. <http://inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/Revista-INIA-76-Marzo-2024.pdf>
- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol. 1. Clasificación de suelos*. MAP. [https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/carta\\_de\\_reconocimiento\\_de\\_suelos\\_Tomo\\_I.pdf](https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/carta_de_reconocimiento_de_suelos_Tomo_I.pdf)
- Andrade, B., Marchesi, E., Burkart, S., Bernal, R., Lezama, F., Perelman, S., Schneider, A., Trevisan R., Ernst, G., & Iob, I. (2018). Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata grasslands. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 188(3), 250-256. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boy063>
- Ayala, W., & Bermúdez, R. (2005). Estrategias de manejo en campos naturales sobre suelos de lomadas en la región este. En R. Gómez Miller & M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (pp. 41-50). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2896/1/15630021107142110.pdf>
- Ayala, W., & Carámbula, M. (1994). Nitrógeno en campo natural. En A. Morón & D. Risso (Coords.), *Nitrógeno en pasturas* (pp. 33-42). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8377/1/111219220807121938-p.33-42.pdf>

- Ayala, W., & Carámbula, M. (1995). Evaluación productiva de mejoramientos extensivos sobre suelos de lomadas en la región este. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Mejoramientos extensivos: Manejo y utilización* (pp. 26-35).  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10887/1/Ad-75.pdf>
- Baeza, S., Paruelo, J., & Ayala, W. (2011). Eficiencia en el uso de la radiación y productividad primaria en recursos forrajeros del este de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(2), 48-59. <https://doi.org/10.31285/AGRO.15.592>
- Basso, C. (2016). Comparação de heterogeneidade em pastagens nativas no sul do Brasil sob distintas ofertas de forragem por índices de vegetação. En *Salão UFRGS 2016: SIC - XXVIII Salão de Iniciação Científica da UFRGS, Porto Alegre*. [https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/155186/Resumo\\_48679.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/155186/Resumo_48679.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Belora, F., Puig, F., & Zerbino, J. (2017). *Respuesta productiva de un campo natural sometido a niveles de fertilización nitrogenada y mejoramiento con leguminosas* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Bemhaja, M. (1994). Fertilización nitrogenada en sistemas ganaderos. En A. Morón & D. Risso (Coords.), *Nitrógeno en pasturas* (pp. 49-58). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8379/1/111219220807121938-p.49-56.pdf>
- Bemhaja, M. (1998). Caracterización de mejoramiento de campo bajo diferentes cargas con novillos durante tres años. En E. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización en tecnologías para basalto* (pp. 83-90). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7816/1/ST-102-83-90.pdf>
- Bemhaja, M. (2001). Forrajeras de invierno: Alternativas para suelos arenosos. *Revista del Plan Agropecuario*, (96), 36-38.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13673/1/Plan-Agropecuario-96-2001.pdf>
- Bemhaja, M. (2006). Productividad forrajera de comunidades de campo natural. En M. Bemhaja & O. Pittaluga (Eds.), *30 años de investigación en suelos de areniscas INIA Tacuarembó* (pp. 33-38). INIA.  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429250309101451.pdf>

- Bemhaja, M., Berretta, E., & Brito, G. (1998). Respuesta a la fertilización nitrogenada de campo natural en basalto profundo. En E. Berretta (Ed.), *XIV Reunión del grupo tecnico regional del Cono Sur en mejormaineto y utilizacion de los recursos forrajeros del area tropical y subtripocal: Grupo Campos* (pp. 119-122). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8530/1/ST-94.-p.119-122.pdf>
- Bemhaja, M., & Olmos, F. (1996). Producción de pasturas en suelos arenosos. En D. Risso, E. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas* (pp. 221-229). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8494/1/ST80-p.221-229.pdf>
- Bemhaja, M., & Risso, D. (2006). Cultivares de forrajeras seleccionadas, evaluados y liberados para areniscas. En M. Bemhaja & O. Pittaluga (Eds.), *30 años de investigación en suelos de areniscas INIA Tacuarembó* (pp. 39-55). INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429250309101451.pdf>
- Benítez, C., Fernández, J. G., Pizzio, R. M., & Pallarés, O. R. (2004). *Mejoramiento y carga animal de un campo natural de la Provincia de Corrientes*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20naturales/61-mejoramiento\\_y\\_carga\\_corrientes.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20naturales/61-mejoramiento_y_carga_corrientes.pdf)
- Berretta, E. (1988). El pastoreo como herramienta para mejorar la productividad de las pasturas naturales. En J. Silva (Ed.), *IX Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos y Chaco* (pp. 79-93). CIAAB. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6890/1/Berretta-1988-Reunion-grupo-campo-9.pdf>
- Berretta, E. (1991). Producción de pasturas en basalto: Producción mensual y estacional de forraje de cuatro comunidades nativas sobre suelos de basalto. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (2ª ed., pp. 12-18). INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807115854.pdf>
- Berretta, E. (2005). Producción y manejo de la defoliación en campos naturales de basalto. En R. Gómez Miller & M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (pp. 61-74). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2896/1/15630021107142110.pdf>

- Berretta, E., Risso, D., & Bemhaja, M. (2001). Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de Basalto. En D. Risso & E. Berretta (Eds.), *Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos en Uruguay* (pp. 1-37). INIA <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630031107111008.pdf>
- Berretta, E., Risso, D., Levratto, J., & Zamit, W. (1998). Mejoramiento de campo natural de basalto fertilizado con nitrógeno y fósforo. En E. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización en tecnologías para basalto* (pp. 63-73). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7814/1/ST-102-63-73.pdf>
- Boggiano, P. (2000). *Dinâmica da produção primária da pastagem nativa em área de fertilidade corrigida sob efeito de adubação nitrogenada e oferta de forragem* [Disertación doctoral]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Boggiano, P., Nabinger, C., Cadenazzi, M., & Maraschin, G. (2011). The impact of grazing intensity on photosynthetically active radiation absorbed by a fertilized natural pasture. En S. Feldman, G. Oliva, & M. Sacido (Eds.), *IX International Rangeland Congress: Diverse rangelands for a sustainable society* (p. 645). INTA.
- Boggiano, P., Zanoniani, R., Cadenazzi, M., & Medeiros, J. (2004). Respuesta invernal del campo natural a la fertilización nitrogenada y oferta de forraje en producción y composición del disponible. En S. Saldanha, M. Bemhaja, E. Moliterno, F. Olmos, & G. Uriarte (Eds.), *XX Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas: Memorias* (pp. 296-297). Universidad de la República; INIA. [https://www.grupo-campos.org/wp-content/uploads/2019/11/Proceedings-Grupo-Campos\\_2004.pdf](https://www.grupo-campos.org/wp-content/uploads/2019/11/Proceedings-Grupo-Campos_2004.pdf)
- Boggiano, P., Zanoniani, R. & Millot, J. (2005). Respuestas del campo natural a manejos con niveles creciente de intervención. En R. Gómez Miller & M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (pp. 105-114). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2896/1/15630021107142110.pdf>
- Boggiano, P., Zanoniani, R., Noëll, S., Casalás, F., Caram, N., & Garcia Favre, J. (2023). Treinta años aportando a la formación y al conocimiento en campo natural y pasturas sembradas. *Cangüé*, (45), 54-56. <https://web.archive.org/web/20240123124531/http://www.eemac.edu.uy/images/revistas/numero45/v1/pag52-60Pasturas.pdf>

- Bottaro, C., & Zavala, F. (1974). *Efecto de la fertilización mineral NPK en la producción de forraje de algunas pasturas naturales del Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/24630/1/BotteroCarlos.pdf>
- Carámbula, M. (1991). *Aspectos relevantes para la producción forrajera*. INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2921/1/111219220807114541.pdf>
- Casalás, F., Caram, N., García, J., Zanoniani, R., Duhalde, M., Silveira, M., Cadenazzi, M., & Boggiano, P. (2017). Respuesta en desempeño animal al mejoramiento y fertilización de campo natural. En W. Ayala, P. Boggiano, & O. Álvarez (Eds.), *XXIV Reunión del grupo técnico en forrajeras del Cono Sur: Bioma campos: Retomando un camino de oportunidades para una producción ganadera sustentable: Memorias* (pp. 131-133). INIA; MGAP; Universidad de la República; FAO. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7112/1/Grupo-Campo-2017.pdf>
- Coll, J., & Zarza, A. (1992). *Leguminosas nativas promisorias: Trébol polimorfo y babosita*. INIA.  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807154819.pdf>
- Correa, D., Scheffer-Basso, S., & Fontaneli, R. (2004). Adubação nitrogenada em uma pastagem natural da região da campanha de Rio Grande do Sul. En S. Saldanha, M. Bemhaja, E. Moliterno, F. Olmos, & G. Uriarte (Eds.), *XX Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas: Memorias* (pp. 275-276). Universidad de la República; INIA.
- Do Carmo, M., Cardozo, G., Jaurena, M., & Soca, P. (2019). Demonstrating control of forage allowance for beef cattle grazing Campos grassland in Uruguay to improve system productivity. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 7(1), 35-47. <https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/391/288>
- Duhalde, M. E., & Silveira, M. I. (2018). *Efecto de la fertilización nitrogenada y mejoramiento de campo natural sobre la productividad invierno-primaveral* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Durán, M., & Guido, M. (2022). *Efecto del nivel de intervención en campo natural sobre la producción de forraje y la composición botánica en el periodo invierno-primaveral* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

- Dutra da Silveira, J. M., & Fernández, G. (2020). *Efecto de la intervención de campo natural con nitrógeno y leguminosas en verano otoño sobre la producción primaria y secundaria* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Ferrés, P., & Álvarez, M. (1982). Variación estacional de la proporción de tejidos foliares de las gramíneas invernales *Piptochaetium bicolor*, *Hordeum stenostachys* y *Stipa setigera*. En *5ta Reunión técnica de la Facultad de Agronomía* (p. 32). Universidad de la República.
- Formoso, D. (1991). Productividad y manejo de pasturas naturales en cristalino. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (pp. 51-58). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8312/1/111219220807115854-p.51-58.pdf>
- Gallinal, J. M., García Pintos, R., & García Pintos, F. (2016). *Respuesta a los niveles de intervención de un campo natural sobre la producción primaria y secundaria* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Genro, T. C. M., Volk, L. B. da S., Faria, B. M., Bayer, C. & Carvalho, P. C. de F. (2017). Consumo, emisiones de metano, desempeño animal e dinámica de carbono en pastagem natural. En W. Ayala, P. Boggiano, & O. Alvarez (Eds.), *XXIV Reunión del grupo técnico en forrajeras del Cono Sur: Bioma campos: Retomando un camino de oportunidades para una producción ganadera sustentable: Memorias* (pp. 38-44). INIA; MGAP; Universidad de la República; FAO. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7112/1/Grupo-Campo-2017.pdf>
- Gómez, M., Mora, J. M., & Moreira, L. (2023). *Respuesta a la intensificación productiva del campo natural en el período otoño-invernal* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.  
<http://tesis.fagro.edu.uy/index.php/tg/catalog/book/147>
- Gorga, L., & Mila, F. (2022). Cadena de la carne vacuna: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2022* (pp. 33-59). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/analisis-sectorial-cadenas-productivas/cadena-carne>
- Haydock, K., & Shaw, N. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15(76), 663-670.
- Instituto Nacional de Carnes. (s.f.). *Tradición de más de 400 años*.  
<https://www.inac.uy/innovaportal/v/3092/17/innova.front/tradicion-de-400-anos>

- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Tablas estadísticas*.  
<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (2024). *Invierno 2024*.  
<https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2024-09/Boletin%20invierno%202024%202.pdf>
- Izaguirre, P., Beyhaut, R., González, A., & Boggiano, P. (2024). *Gramíneas del campo uruguayo*. Hemisferio Sur.
- Jaurena, M., & Rivas, M. (2005). La pradera natural del palmar de *Butia Capitata* (Arecacea) de Castillos (Rocha): Evolución con distintas alternativas de pastoreo. En R. Gómez Miller & M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (pp. 15-20). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2896/1/15630021107142110.pdf>
- Jia, X., Dukes, M. D., & Jacobs, J. M. (2009). Bahiagrass crop coefficients from eddy correlation measurements in central Florida. *Irrigation Science*, (28), 5-15.  
<https://doi.org/10.1007/s00271-009-0176-x>
- Kessler, G., Mata, S., & Pieroni, M. (2022). *Estructura de parches y dinámica de utilización en campo natural y mejoramientos bajo pastoreo rotativo* [Trabajo final de Grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<http://tesis.fagro.edu.uy/index.php/tg/catalog/download/60/38/960?inline=1>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Madeira, W. (2019). *Efectos de la fertilización primavera-estival nitrógeno-fosfatada y del riego suplementario en la productividad y eficiencia de uso de nutrientes del campo natural* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29801/1/MadeiradeQuadrosWilliam.pdf>
- Marchesi, E., & Durán, A. (1969). *Suelos del Uruguay*. Nuestra tierra.  
[https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/9624/1/Nuestra tierra 18.pdf](https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/9624/1/Nuestra%20tierra%2018.pdf)
- Martínez, M., & Pereira, M. (2011). *Pautas para el manejo del campo natural*. IPA.  
<https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/filemanager/source/2021/Librillos/pdf/Pautas%20para%20el%20manejo%20del%20campo%20natural.pdf>

- Mas, C. (1992). Mejoramientos extensivos: Antecedentes. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Mejoramientos extensivos en la región este: Resultados experimentales 1991-92* (pp. 1-10).  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4130/1/Mejoramientos-Extensivos-en-la-Region-Este-1992.pdf>
- Mederos, A., Faliveni, C., & Dutram, F. (2022). Estudios sobre las pérdidas reproductivas en los rodeos de cría del norte y este de Uruguay. *Revista INIA*, (69), 20-24. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16532/1/Revista-INIA-69-Junio-2022-6.pdf>
- Millot, J., Risso, D., & Methol, R. (1987). *Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos en áreas ganaderas del Uruguay*. MGAP.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6305/1/Relevamiento-de-pastnaturales-y-mejora-extensivos-en-areas-ganad-del-Urug-Millot-1987ainfo-incompleto.pdf>
- Molfino, J. (2009). *Estimación del agua potencialmente disponible en los grupos CONEAT*. MGAP; INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4925/1/Molfino-J.H.-2009.-Estimacion-del-agua....pdf>
- Moojen, E., & Maraschin, G. (2002). Potencial productivo de una pastagem nativa do Rio Grande do Sul submetida a níveis de oferta de forragem. *Ciência Rural*, 32(1), 127-132.  
<https://www.scielo.br/j/cr/a/k6M6sD7gstxgwYT9fxjqLjy/?lang=pt&format=pdf>
- Morón, A. (1992). El fósforo en el sistema suelo-planta. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas*, (1), 45-60.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8837/1/IA-T1v.1-p.45-60.pdf>
- Morón, A. (1996a). El ciclo del nitrógeno en el sistema suelo-planta-animal. En D. Risso, E. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Manejo y fertilidad de suelos: Producción y manejo de pasturas* (pp. 21-32). INIA.  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
- Morón, A. (1996b). El fósforo en los sistemas productivos: Dinámica y disponibilidad en el suelo. En D. Risso, E. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Manejo y fertilidad de suelos: Producción y manejo de pasturas* (pp. 33-40). INIA.  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>

- Nabinger, C., & Carvalho, P. (2009). Ecofisiología de sistemas pastoriles: Aplicaciones para su sustentabilidad. *Agrociencia (Uruguay)*, 8(3), 18-27.  
<https://doi.org/10.31285/AGRO.13.842>
- Nabinger, C., Carvalho, P., Pinto, E., Mezzalira, J., Brambilla, D., & Boggiano, P. (2011). Servicios ecosistémicos de las praderas naturales: ¿Es posible mejorarlos con más productividad? *Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 19(3-4), 27-34. [https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs\\_files/article/download/1637/645](https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/download/1637/645)
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario Estadístico Agropecuario 2023*. MGAP.
- Pañella, P., Guido, A., Lezama, F., Cardozo, G., Pereira, M., & Jaurena, M. (2024). ¿Qué sabemos sobre recuperar el campo natural? *Revista INIA*, (76), 35-38.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17537/1/Revista-INIA-76-Marzo-2024-10.pdf>
- Peirano, M., & Rodríguez, A. (2004). *Evaluación de la fertilización nitrogenada de campo natural bajo pastoreo de vacunos en el período otoño-invernal* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/25481>
- Pigurina, G., Soares de Lima, J., & Berretta, E. (1998). Contenido de minerales en pasturas naturales de Basalto II: Pasturas naturales. En E. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización en tecnologías para basalto* (pp. 113-124). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7819/1/ST-102-113-122.pdf>
- Pirez, L. (2012). *Evaluación de la fertilización nitrogenada del campo natural para Stipa setigera Presl y Bromus auleticus Trinius bajo pastoreo vacuno en el periodo invernal* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1712/1/3821pir.pdf>
- Platero, H., Otero, J., Aguerre, J., Argelaguet, R., & Erramún, M. (2001). Caracterización de la producción de mejoramientos extensivos con Lotus Rincón en campos de basalto. En Secretariado Uruguayo de la Lana (Ed.), *Utilización y manejo de mejoramientos extensivos con ovinos* (pp. 66-71).
- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., & Rossi, P. (1985). *Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a la escala 1:500000*. MIE.
- Rebuffo, M. (1994). Fertilización nitrogenada en pasturas mezclas. En A. Morón & D. Risso (Coords.), *Nitrógeno en pasturas* (pp. 27-32). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8376/1/111219220807121938-p.27-32.pdf>

- Rebuffo, M., Bemhaja, M., & Risso, D. (1980). *Uso de leguminosas forrajeras en sistemas pastoriles: Situación actual de Uruguay*. INIA.  
<http://www.inia.org.uy/sitios/lnl/vol36/rebuffo2.pdf>
- Ríos, A. (1996). El uso de los suelos y la evolución florística de los agroecosistemas. En A. Morón, D. Martino, & J. Sawchik (Eds.), *Manejo y fertilidad de suelos* (pp. 95-100). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8462/1/111219240807135249-Rios-p.95-100.pdf>
- Risso, D. (1998). Mejoramientos extensivos en el Uruguay. En E. Berretta (Ed.), *XIV Reunión del grupo técnico regional del cono sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical, Grupo campos* (pp. 23-29). INIA.  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103205.pdf>
- Risso, D., Berretta, E., & Zarza, A. (2001). Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos sobre Cristalino. En D. Risso & E. Berretta (Eds.), *Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos de Uruguay* (pp. 39-67). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8690/1/bd-76-p.39-67.pdf>
- Risso, D., Berretta, E., Zarza, A., & Cuadro, R. (2002). Productividad, composición y persistencia de dos mejoramientos de campo para engorde de novillos en la región de Cristalino. En D. Risso & F. Montossi (Eds.), *Mejoramientos de campo en la region de Cristalino: Fertilización, producción de carne de calidad y persistencia productiva* (pp. 3-31). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8608/1/ST-129-p-3-31.pdf>
- Rodríguez Palma, R., Rodríguez, T., Andión, J., & Vergnes, P. (2009). Respuesta en producción animal a la fertilización de campo natural. *Agrociencia (Uruguay)*, 13(3), 87. <https://doi.org/10.31285/AGRO.13.854>
- Rodríguez Palma, R., Saldanha, S., Andión, J., & Vergnes, P. (2004). Fertilización nitrogenada de campo natural de basalto. 1. Producción de forraje. En S. Saldanha, M. Bemhaja, E. Moliterno, & F. Olmos (Eds.), *XX Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas: Memorias* (pp. 289-291). Universidad de la República; INIA.
- Rosengurtt, B. (1979). *Tablas de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay*. Universidad de la República.

- Royo, O., & Pizzio, R. (1998a). Experiencia de fertilización de pasturas naturales en el centro-sur de Corrientes. En E. Berretta (Ed.), *XIV Reunión del grupo técnico regional del cono sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo campos* (pp. 109-118). INIA.  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103205.Bapdf>
- Royo, O., & Pizzio, R. (1998b). Introducción de especies para el mejoramiento del campo natural en el sur de Corrientes - Argentina. En E. Berretta (Ed.), *XIV Reunión del grupo técnico regional del cono sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo campos* (pp. 31-38). INIA.  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807103205.pdf>
- Symonds, R., & Salaverry, S. (1978). Región Litoral-Oeste. En Centro de Investigaciones Agrícolas “Alberto Boerger” (Ed.), *Pasturas IV* (pp. 85-104).  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4799/1/miscelanea-18.pdf>
- Termezana, A., & Carámbula, M. (Eds.). (1971). *Proyecto Basalto: Estudios de forrajeras*. Universidad de la República; Instituto Plan Agropecuario.
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. *Publications in Climatology*, 10(3), 185-243.
- Tothill, J. C., Hargreaves, J. N. G., Jones, R. M., & McDonald, C. K. (1992). *BOTANAL - A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition: 1. Field Sampling*. CSIRO.
- Uruguay XXI. (2023). *Informe anual de comercio exterior*.  
<https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/3fda643c80b4c3ca697cba33a4b1a26cdcc12af5.pdf>
- Vila, O. (1993). Los cardos y su control. *Revista del Plan Agropecuario*, (64), 8-9.  
[https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R64/R\\_64\\_08.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R64/R_64_08.pdf)
- Zanoniani, R. (1999). Algunas alternativas para mejorar la productividad de nuestras pasturas naturales. *Cangüé*, (15), 13-17.
- Zanoniani, R. (2009). *Efecto de la oferta de forraje y la fertilización nitrogenada sobre la productividad otoño invernal de un campo natural del litoral* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1790/1/0025zan.pdf>

Zanoniani, R., Boggiano, P., & Cadenazzi, M. (2011). Respuesta invernal de un campo natural a fertilización nitrogenada y ofertas de forraje. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(1), 115-124. <https://doi.org/10.31285/AGRO.15.617>

## 9 ANEXO

**Anexo A**

*Caracterización climática para la serie histórica (1991-2020) y para el periodo analizado para la EEMAC*

Mes	T°C promedio	T°C promedio (1991-2020)	Precipitaciones	Precipitaciones (1991-2020)
Septiembre '23	14.6	15.4	73.2	79
Octubre '23	17.4	18.4	59.6	121
Noviembre '23	21.1	21.3	122.6	105
Diciembre '23	22.5	23.7	312	132
Enero '24	24.6	25.1	90.6	141
Febrero '24	25.8	23.9	115.4	136
Marzo '24	22.4	22.4	380	112
Abril '24	18.4	18.9	261.6	154
Mayo '24	12.4	15.4	213.2	109
Junio '24	13.4	12.6	36.7	72
Julio '24	10.1	11.9	8.4	55
Agosto '24	12.4	13.8	48.8	75

**Anexo B***Contrastes ortogonales entre tratamientos según ciclo de pastoreo*

Tratamiento*Ciclo	Contraste 1	Contraste 2	Contraste 3	Contraste 4	Contraste 5	Contraste 6
CN:C1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CN:C2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
CnM:C1	-0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CNm:C2	0,0	0,0	0,0	-0,3	1,0	0,0
N120:C1	-0,3	-0,5	1,0	0,0	0,0	0,0
N120:C2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,5	1,0
N60:C1	-0,3	-0,5	-1,0	0,0	0,0	0,0
N60:C2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,5	-1,0

**Anexo C***Rango y código para las diferentes proporciones de los grupos botanales*

Especies	Rango	1	2	3	4	5
1	100	70	0	0	0	0
12	110	70	21	0	0	0
12	200	45,5	45,5	0	0	0
123	111	70	21	9	0	0
123	201	45,5	45,5	9	0	0
123	120	70	15	15	0	0
123	300	33,3	33,3	33,3	0	0
1234	202	45,5	15,5	4,5	4,5	0
1234	112	70	21	4,5	4,5	0
1234	211	35	35	21	9	0
1234	130	70	10	10	10	0
1234	400	25	25	25	25	0
1234	121	70	10	10	9	0
1234	301	32,3	32,3	32,3	3	0
12345	113	70	21	3	3	3
12345	203	45,5	45,5	3	3	3
12345	302	31,3	31,3	31,3	3	3
12345	311	23,3	23,3	23,3	21	9