

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESTUDIO DE LA RESILIENCIA PRODUCTIVA DEL CAMPO  
NATURAL BAJO INTERVENCIONES DE LARGO PLAZO POST ESTRÉS  
HÍDRICO ESTIVAL**

**por**

**Victoria Nazarena FRANCHI DE GREGORIO  
Tadeo Tomás HERNÁNDEZ MALÁN**

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

**PAYSANDÚ  
URUGUAY  
2025**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia

“Creative Commons **Reconocimiento**”.



## PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director: \_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Dr.) Pablo Rómulo Boggiano Otón

Co-Director: \_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Mag.) Felipe Carlos Casalás Mouriño

Tribunal: \_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Mag.) Nicolás Caram  
\_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Mag.) Daniel Formoso  
\_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Mag.) Felipe Carlos Casalás Mouriño

Fecha: 15 de mayo de 2025

Autores: \_\_\_\_\_  
Victoria Nazarena Franchi De Gregorio  
\_\_\_\_\_  
Tadeo Tomás Hernández Malán

## AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía, en especial a la EEMAC, por formarnos como profesionales y por facilitar los recursos necesarios para llevar a cabo nuestro desarrollo académico.

Extendemos nuestro agradecimiento al director de tesis, el Ingeniero Agrónomo Pablo Boggiano, y al Ingeniero Agrónomo Felipe Casalás, por sus valiosos asesoramientos, orientación y apoyo fundamental en la planificación y ejecución de este proyecto de investigación.

Asimismo, agradecemos a la Estación Experimental Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía por proporcionar las herramientas esenciales para la realización de este trabajo. Así como también a los funcionarios de la EEMAC, en particular a los del laboratorio 1, así como también a los del sector ganadero, por la ayuda y disposición brindada durante la etapa experimental del trabajo.

A nuestras familias les agradecemos por su apoyo constante a lo largo de toda nuestra formación académica.

Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que, de diversas maneras, contribuyeron al desarrollo y éxito de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	8
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1.INTRODUCCIÓN	13
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>14</b>
<b>Estudiar la respuesta en producción primaria y secundaria de un campo natural sometido a dos niveles de fertilización nitrogenada otoño invernal, y mejoramiento con siembra de leguminosas; y la capacidad de recuperación de la composición botánica específica y funcional posterior al período de estrés hídrico estival.</b>	<b>14</b>
<b>1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>14</b>
2.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
<b>2.1 LA RESILIENCIA PRODUCTIVA DEL CAMPO NATURAL POST ESTRÉS HÍDRICO ESTIVAL</b>	<b>15</b>
2.1.1 El clima en Uruguay	15
2.1.2 Efecto de la disponibilidad hídrica sobre la fotosíntesis	16
2.1.3 Respuesta de las plantas al déficit hídrico	16
<b>2.2 EL CAMPO NATURAL Y SU RELACIÓN CON LA GANADERÍA</b>	<b>17</b>
<b>2.3 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA</b>	<b>21</b>
2.3.1 En la producción primaria	21
2.3.2 En la composición botánica	23
2.3.3 En la calidad del forraje	25
2.3.4 Sobre el ambiente	26
2.3.5 En la producción secundaria, carga animal y ganancia individual	26
<b>2.4 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA</b>	<b>29</b>
2.4.1 En la producción primaria y calidad	29
<b>2.5 EFECTO DE LA INTRODUCCIÓN DE ESPECIES LEGUMINOSAS</b>	<b>30</b>
2.5.1 En la producción primaria	31
2.5.2 En la producción secundaria	33
<b>2.6 EFECTO DEL CONTROL DE LA OFERTA DE FORRAJE</b>	<b>35</b>
2.6.1 En la producción primaria	37
2.6.2 Cambios en la estructura y composición botánica	39
2.6.3 En la calidad del forraje	40
<b>2.7 HIPÓTESIS BIOLÓGICA</b>	<b>41</b>
3.MATERIALES Y MÉTODOS	43
<b>3.1 PARÁMETROS EXPERIMENTALES GENERALES</b>	<b>43</b>
3.1.1 Localización y período de evaluación	43
3.1.2 Caracterización del sitio experimental	43
3.1.2.1 Suelos	43

3.1.2.2 Vegetación-----	44
3.1.2.3 Antecedentes del potrero -----	45
3.1.3 Descripción de los tratamientos-----	45
3.1.4 Animales experimentales -----	46
3.1.5 Diseño experimental -----	46
3.1.6 Manejo experimental -----	47
<b>3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL -----</b>	<b>47</b>
3.2.1 Determinación de la productividad primaria -----	47
3.2.1.1 Materia seca presente -----	47
3.2.1.2 Materia seca disponible -----	48
3.2.1.3 Materia seca remanente -----	49
3.2.1.4 Altura de forraje presente y remanente-----	49
3.2.1.5 Tasa de crecimiento diaria-----	49
3.2.1.6 Materia seca producida-----	49
3.2.1.7 Materia seca desaparecida-----	49
3.2.1.8 Porcentaje de cosecha -----	49
3.2.1.9 Determinación de la composición botánica-----	50
3.2.2 Determinación de la productividad secundaria -----	50
3.2.2.1 Peso vivo-----	50
3.2.2.2 Carga total e instantánea -----	50
3.2.2.3 Ganancia media diaria-----	50
3.2.2.4 Ganancia por hectárea -----	51
3.2.2.5 Oferta de forraje-----	51
<b>3.3 MODELO ESTADÍSTICO -----</b>	<b>51</b>
3.3.1 Productividad primaria -----	51
3.3.1.1 Producción teniendo en cuenta el efecto período -----	51
3.3.1.2 Producción total acumulada-----	52
3.3.2 Productividad secundaria -----	53
<b>4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----</b>	<b>55</b>
<b>4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA-----</b>	<b>55</b>
4.1.1 Temperatura y precipitaciones-----	55
4.1.2 Balance hídrico -----	56
<b>4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS -----</b>	<b>58</b>
4.2.1 Análisis de suelo de nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) y fósforo disponible (P Bray I) en el suelo al inicio del experimento -----	58
4.2.2 Impacto del déficit hídrico sobre la cobertura verde en dos muestreos contrastantes -----	59
4.2.3 Recuperación del tapiz vegetal post estrés hídrico estival: el papel de las especies regeneradoras. -----	60
4.2.3.1 Evolución de la proporción de suelo descubierto, cobertura verde y mantillo en cuatro tratamientos a lo largo del período analizado. -----	61
4.2.3.2 Evolución de la cobertura verde de distintos grupos funcionales y especies dentro del tapiz. -----	64
4.2.4 Producción primaria-----	69
4.2.4.1 Producción de forraje para el total del período -----	69
4.2.4.2 Análisis del efecto del tratamiento, período y su interacción en la Producción Primaria. -----	73
4.2.4.3 Producción de forraje por subperíodo -----	75
4.2.4.3.1 Otoño – Invierno -----	76
4.2.4.3.2 Invierno – Primavera -----	78
4.2.5 Composición botánica-----	81
4.2.5.1 Análisis de la composición botánica para el total del período -----	82

4.2.5.2 Análisis de la composición botánica por subperíodo-----	90
4.2.6 Producción secundaria-----	93
4.2.6.1 Análisis de la producción secundaria para el total del período -----	93
4.2.6.2 Análisis del efecto del tratamiento, período y su interacción en la Producción Secundaria: Significancias estadísticas de las variables.-----	95
4.2.6.3 Análisis de la producción secundaria por subperíodo -----	96
4.2.6.3.1 Otoño - Invierno-----	96
4.2.6.3.2 invierno - primavera-----	98
5. CONSIDERACIONES FINALES -----	99
6.CONCLUSIONES -----	102
7. BIBLIOGRAFÍA -----	103
8.ANEXO-----	115

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla No. 1</b> Caracterización del tapiz vegetal post estrés hídrico estival, considerando el efecto tratamiento, período e interacción -----	60
<b>Tabla No. 2</b> Efecto de los tratamientos sobre MS Producida y TC para el total del período analizado-----	69
<b>Tabla No. 3</b> <i>Efecto de tratamientos sobre la MS Presente, altura presente, MS Remanente y altura remanente</i> -----	70
<b>Tabla No. 4</b> Efecto de tratamientos sobre MS Disponible, MS Desaparecida y % de cosecha-----	72
<b>Tabla No. 5</b> Significancia del ANOVA y test de medias: efectos tratamiento y período, y seis contrastes ortogonales -----	74
<b>Tabla No. 6</b> Efecto de los subperíodos sobre la MS Producida y TC-----	75
<b>Tabla No. 7</b> Efecto de tratamientos sobre MS Producida y TC para el subperíodo otoño – invierno-----	76
<b>Tabla No. 8</b> Efecto tratamientos sobre MS Presente, altura presente, MS Remanente y altura remanente para otoño – invierno -----	77
<b>Tabla No. 9</b> Efecto tratamientos sobre MS Disponible, MS Desaparecida y % de cosecha para otoño - invierno-----	77
<b>Tabla No. 10</b> Efecto de tratamientos sobre MS Producida y TC para el subperíodo invierno - primavera-----	78
<b>Tabla No. 11</b> Efecto tratamientos sobre MS Presente, altura presente, MS Remanente y altura remanente para invierno – primavera -----	80
<b>Tabla No. 12</b> Efecto de tratamientos sobre MS Disponible, MS Desaparecida y % de cosecha para invierno - primavera-----	81
<b>Tabla No. 13</b> Contribución porcentual de distintos grupos funcionales invernales y de raigrás en la MS disponible -----	82
<b>Tabla No. 14</b> Contribución porcentual de distintos grupos funcionales estivales en la MS disponible-----	84
<b>Tabla No. 15</b> Contribución de leguminosas, Cyperaceae y Juncaceae, y hierbas enanas o menores a la MS disponible-----	87
<b>Tabla No. 16</b> Significancia del ANOVA y test de medias: efectos tratamiento y período, y seis contrastes ortogonales -----	89
<b>Tabla No. 17</b> Contribución porcentual de distintos grupos funcionales invernales y de raigrás a la MS disponible-----	91
<b>Tabla No. 18</b> -----	91

<b>Tabla No. 19</b> Contribución porcentual leguminosas, Cyperaceae y Juncaceae, y hierbas enanas o menores a la MS disponible-----	92
<b>Tabla No. 20</b> Efecto del tratamiento sobre la OF, GMD, CT y PT, para el total del período -----	93
<b>Tabla No. 21</b> Resumen estadístico de significancia para los efectos analizados y tres contrastes ortogonales-----	95
<b>Tabla No. 22</b> Oferta de forraje y ganancia media diaria, según subperíodo-----	96
<b>Tabla No. 23</b> Efecto del tratamiento sobre la OF, GMD, CT y PT para el subperíodo otoño – invierno -----	97
<b>Tabla No. 24</b> Efecto del tratamiento sobre la OF, GMD, CT y PT para el subperíodo invierno - primavera-----	98

<b>Figura No.</b>	<b>Página</b>
<b>Figura No. 1</b> Mapa de suelos presentes en el área experimental -----	44
<b>Figura No. 2</b> Mapa ilustrativo del diseño experimental-----	46
<b>Figura No. 3</b> Evolución de PP acumulada y T. media en 2023 y serie histórica para Paysandú -----	56
<b>Figura No. 4</b> Relación entre almacenaje de agua en el suelo, ETP y déficit/excesos hídricos -----	57
<b>Figura No. 5</b> Contenido de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y fósforo disponible (P Bray I) en el suelo al inicio del experimento -----	58
<b>Figura No. 6</b> Cobertura verde en nov-dic 2022 y marzo 2023 -----	59
<b>Figura No. 7</b> Evolución de suelo descubierto, cobertura verde y mantillo en cuatro tratamientos -----	61
<b>Figura No. 8</b> Evolución de suelo descubierto en cuatro tratamientos con su correspondiente significancia-----	62
<b>Figura No. 9</b> Evolución de cobertura verde por tratamientos y promedio por fecha de muestreo -----	63
<b>Figura No. 10</b> Evolución de cobertura verde para gramíneas invernales en cuatro tratamientos y fechas de muestreo -----	64
<b>Figura No. 11</b> Evolución de cobertura verde para gramíneas estivales y leguminosas en cuatro tratamientos-----	65
<b>Figura No. 12</b> Evolución de cobertura verde de Cyperaceae y Juncaceae, hierbas enanas y menores, y MCS-----	67
<b>Figura No. 13</b> Evolución de la relación entre especies invernales y estivales -----	68

**Figura No. 14** Contribución porcentual de raigrás, especies perenne invernales y estivales a la MS disponible -----86

## RESUMEN

El experimento se realizó en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (Facultad de Agronomía, Udelar) en Paysandú, Uruguay. Se evaluó la resiliencia del campo natural tras experimentar estrés hídrico estival y la respuesta productiva a la fertilización nitrogenada y la introducción de leguminosas. El estudio abarcó dos subperíodos: otoño – invierno (10/05/2023 – 18/07/2023) e invierno - primavera (19/07/2023 – 25/09/2023), con pastoreo rotativo (15 días de ocupación y 45 de descanso). El diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar (DBCA) dividido en cuatro bloques, cada uno con cuatro parcelas. Se evaluaron cuatro tratamientos: testigo sin intervención (CN), campo natural mejorado con leguminosas (CNM), y fertilización nitrogenada con 60 kg N/ha/año (N 60) y 120 kg N/ha/año (N 120), aplicados en otoño-invierno. Todos los tratamientos intervenidos recibieron 40 kg/ha/año de  $P_2O_5$ /ha/año en otoño. Se midieron variables como materia seca presente pre pastoreo y remanente, así como la altura de la materia seca presente pre pastoreo y remanente. A partir de estos datos se calcularon otras variables como materia seca disponible, desaparecida y producida, tasa de crecimiento diaria, composición botánica con presencia de catorce grupos botánicos, carga total, ganancia media diaria, producción de carne por hectárea y oferta de forraje. Se aplicó análisis de las medias mediante prueba de Tukey y contrastes ortogonales. Según el análisis de Tukey, considerando el total del período analizado, la producción de materia seca total fue significativamente mayor en el tratamiento con 60 kg N/ha (N 60) en comparación con los demás tratamientos. En cuanto a la tasa de crecimiento diaria, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Respecto a la producción de biomasa, el subperíodo invierno – primavera presentó valores significativamente superiores al subperíodo otoño – invierno. La ganancia media diaria no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. La producción total de carne fue mayor en los tratamientos nitrogenados y en el CNM, siendo superior en términos absolutos en los tratamientos con nitrógeno; sin embargo, no se realizó análisis estadístico para esta variable debido a la falta de repeticiones. El CNM se presenta como una alternativa viable para mejorar la productividad del campo natural.

*Palabras clave:* resiliencia, fertilización nitrogenada, ofertas de forraje, pastoreo rotativo, campo natural mejorado (CNM)

## ABSTRACT

The experiment was conducted at the Mario A. Cassinoni Experimental Station (Faculty of Agronomy, Udelar) in Paysandú, Uruguay. The resilience of natural grassland after experiencing summer water stress and its productive response to nitrogen fertilization and the introduction of legumes were evaluated. The study covered two subperiods: autumn–winter (May 10, 2023 – July 18, 2023) and winter–spring (July 19, 2023 – September 25, 2023), under a rotational grazing system (15 days of grazing and 45 days of rest). The experimental design was a Randomized Complete Block Design (RCBD), divided into four blocks, each containing four plots. Four treatments were evaluated: an untreated control (CN), improved natural grassland with legumes (CNM), and nitrogen fertilization at 60 kg N/ha/year (N 60) and 120 kg N/ha/year (N 120), applied in the autumn–winter period. All treated plots received 40 kg/ha/year of  $P_2O_5$  in autumn. Variables directly measured included pre-grazing and post-grazing dry matter, as well as the height of pre-grazing and post-grazing dry matter. Based on these data, additional variables were calculated: available, disappeared, and produced dry matter, daily growth rate, botanical composition (including fourteen plant groups), total stocking rate, average daily gain, meat production per hectare, and forage supply. Mean comparisons were carried out using Tukey's test and orthogonal contrasts. According to Tukey's test, considering the entire study period, total dry matter production was significantly higher in the treatment with 60 kg N/ha (N 60) compared to the other treatments. Regarding the daily growth rate, no significant differences were observed among treatments. Biomass production was significantly higher in the winter–spring subperiod compared to autumn–winter. Average daily gain did not differ significantly between treatments. Total meat production was higher in the nitrogen treatments and in CNM, with the nitrogen treatments showing the highest absolute values; however, no statistical analysis was performed for this variable due to lack of replication. CNM appears to be a viable alternative to improve the productivity of natural grasslands.

*Keywords:* resilience, nitrogen fertilization, forage availability, rotational grazing, improved natural grassland (CNM)

## 1.INTRODUCCIÓN

Históricamente, desde la introducción de la ganadería en Uruguay, el campo natural ha sido la base forrajera principal para el ganado, siendo este rubro la actividad productiva dominante (Carriquiry, 2011). Según la Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2023) la superficie destinada a pastoreo abarca un total de 14,1 millones de hectáreas, representando el campo natural un 80,5% de la superficie en pastoreo (11,4 millones de hectáreas), mientras que las pasturas mejoradas un 19,5% (2,7 millones de hectáreas).

El ecosistema campo natural es la principal fuente de biodiversidad, según De Oliveira et al. (2017). Este bioma alberga a 4.000 especies de plantas nativas, 300 especies de aves, 29 especies de mamíferos, 49 especies de reptiles y 35 especies de anfibios.

La vegetación del Uruguay es principalmente herbácea, resultado de la interacción entre el clima, el suelo y la utilización de la pastura. A pesar de la diversidad florística, las pasturas naturales tienen como características comunes una baja presencia de leguminosas, predominancia de gramíneas estivales sobre las invernales y, por último, los suelos donde crecen y se desarrollan al ser moderadamente ácidos y con niveles bajos de nutrientes, se limita su productividad durante períodos de baja actividad biológica (Zanoniani et al., 2011). Siguiendo este contexto, la limitada producción invernal (Boggiano et al., 2005) y la baja calidad del forraje ofrecido durante la primavera y el verano son resultado de estas características. Además, el pastoreo con una carga constante ha provocado la degradación y consecuente disminución de la productividad del ecosistema pastoril, fundamentalmente durante el invierno (Millot, 1997).

Baethgen y Terra (2010) señalan que, en Uruguay se ha observado en las últimas décadas una mayor variabilidad climática interanual, la cual se ha vuelto más intensa. Esto representa un gran desafío para la estabilidad de los sistemas productivos. En el marco de lo mencionado, es relevante conocer las respuestas de las especies, identificando aquellas que muestran mayor tolerancia a las restricciones hídricas y, además, es importante destacar que algunas especies frente a estos cambios son resilientes, es decir, tienen la capacidad de resistir y recuperarse de las perturbaciones naturales, restableciendo la capacidad de producir forraje luego del estrés (Carrasco & Juárez, 2022).

Según Carámbula (1997), integrando todos los aspectos que consideren el complejo suelo - clima - planta - animal, se deben de desarrollar técnicas que incluyan a las pasturas naturales como principal objetivo. A su vez, el manejo del pastoreo permitiría recuperar poblaciones de especies valiosas que han sido disminuidas por el sobrepastoreo. Boggiano et al. (2005) señala que, las variables de pastoreo a modificar para mejorar la productividad son, la frecuencia, la intensidad y la uniformidad de defoliación, consideradas las más importantes.

Manteniendo el objetivo de mejorar la productividad del campo natural, se pueden incorporar tecnologías externas como la fertilización fosfatada y nitrogenada, y la incorporación de especies leguminosas, buscando un aumento en la calidad y cantidad de forraje ofrecido.

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la respuesta en producción primaria y secundaria de un campo natural sometido a dos niveles de fertilización nitrogenada otoño invernal, y mejoramiento con siembra de leguminosas; y la capacidad de recuperación de la composición botánica específica y funcional posterior al período de estrés hídrico estival.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar la capacidad de recuperación (resiliencia) de la cobertura específica del campo natural tras experimentar estrés hídrico estival.

Analizar y comparar la producción de forraje del campo natural en los distintos tratamientos de intensificación productiva.

Analizar el impacto de los diferentes niveles de intervención sobre la composición botánica del campo natural.

Analizar y comparar el desempeño individual de los animales en pastoreo, en el campo natural y en las diferentes alternativas de mejoramiento.

## 2.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 LA RESILIENCIA PRODUCTIVA DEL CAMPO NATURAL POST ESTRÉS HÍDRICO ESTIVAL

Según Texeira y Altesor (2009) la estructura y el funcionamiento del pastizal natural se ven afectadas por una variedad de factores, entre ellos, la precipitación y la temperatura, los cuales varían estacionalmente y entre años.

Holling y Gunderson (2002) mencionan que la resiliencia se refiere a la capacidad de los ecosistemas para mantener su estructura y funcionamiento frente a las variaciones ambientales, y que la misma está directamente relacionada con la capacidad del ecosistema para resistir perturbaciones y recuperarse de manera eficiente. En cuanto al campo natural, la presencia de especies estivales e invernales asegura una producción continua de forraje a lo largo de todo el año.

Siguiendo este enfoque, Lavorel (1999) destaca que la resiliencia de un ecosistema depende de la diversidad de especies vegetales y formas de vida presentes. A medida que aumenta la diversidad, ya sea en términos de especies herbáceas, leñosas, estivales, invernales, entre otras, se fortalece la resiliencia frente a perturbaciones específicas. Esto puede atribuirse a la complementariedad entre las especies, que les permite explorar eficientemente el suelo en busca de recursos y aprovechar los recursos disponibles (Tilman et al., 1996).

#### 2.1.1 El clima en Uruguay

El país se encuentra en una zona de transición climática entre subtropical y templado. Esta situación conlleva a fluctuaciones significativas en el clima, tanto en temperatura como en precipitaciones, anuales, estacionales y diarias (Carámbula, 2000).

Carámbula (2000) señala que Uruguay experimenta con regularidad períodos de déficit hídrico de diversas intensidades, siendo este principalmente el factor que limita la producción de forraje y la persistencia de las especies.

Una investigación llevada a cabo por Bartaburu et al. (2013) en Uruguay determinó que la sequía puede disminuir la producción de carne entre un 20 - 40% causando consecuencias negativas sobre la sustentabilidad ambiental, económica y social.

### 2.1.2 Efecto de la disponibilidad hídrica sobre la fotosíntesis

Carrasco y Juárez (2022) mencionan en su investigación que la disponibilidad hídrica se relaciona con el proceso fotosintético a través de tres aspectos. En primer lugar, la conductancia estomática juega un papel importante; cuando la transpiración supera la absorción de agua, los estomas se cierran parcial o totalmente, reduciendo la difusión de CO<sub>2</sub> dentro de las hojas y afectando la fase de fijación de carbono de la fotosíntesis. En segundo lugar, el déficit hídrico tiene un impacto en la fase fotoquímica de la fotosíntesis; luego de restablecerse el nivel de agua en el suelo, los niveles de fotosíntesis previos al déficit no pueden alcanzarse debido a un efecto irreversible en el funcionamiento de los fotosistemas causado por la alteración de la membrana de los tilacoides. Por último, el déficit hídrico también afecta la capacidad de interceptación de la radiación, ya que hay una reducción en el índice de área foliar (IAF) debido al menor crecimiento foliar y la senescencia acelerada (Sánchez-Díaz & Aguirreolea, 2008).

### 2.1.3 Respuesta de las plantas al déficit hídrico

Las plantas cuentan con dos estrategias para enfrentar la sequía: evitación y tolerancia al déficit hídrico. La evitación busca prevenir el estrés hídrico y se manifiesta a través de tres mecanismos. El primero es el escape a la sequía, donde las plantas sobreviven al germinar después de lluvias intensas, completar rápidamente su ciclo de desarrollo y pasar la estación seca en forma de semillas sin daños por falta de agua. El segundo mecanismo es la conservación de agua, que implica cerrar estomas antes de que las células se dañen por desecación, tener cutículas gruesas e impermeables, almacenar agua y reducir la transpiración. El tercer mecanismo es el mantenimiento de la absorción de agua, logrado mediante sistemas radicales profundos y extensos que exploran grandes volúmenes de suelo, o almacenaje en algunos de sus órganos (rizomas, tubérculos, estolones, entre otros), para mantener un balance hídrico positivo (Sánchez-Díaz & Aguirreolea, 2008).

La tolerancia abarca dos mecanismos fundamentales, el primero es el mantenimiento de la turgencia, el cual implica un proceso llamado ajuste osmótico. El mismo busca mantener el potencial de presión por encima de cero, lo que permite mantener la turgencia en condiciones de sequía, y favorecer procesos celulares como la expansión y el crecimiento, la apertura estomática, y la fotosíntesis, al tiempo que retrasa el enrollamiento foliar y promueve el crecimiento de las raíces. El segundo mecanismo es la tolerancia a la desecación, que se refiere a la capacidad del protoplasma (contenido celular) para resistir y soportar una pérdida significativa de agua. Esta característica adaptativa varía entre especies y les permite enfrentar déficits

hídricos sin causar daños en la estructura celular hasta que las condiciones de sequía se reviertan (Sánchez-Díaz & Aguirreolea, 2008).

El concepto de estrés varía según las condiciones ambientales y su impacto en distintas especies. Cuando las plantas enfrentan estrés, responden desacelerando o deteniendo sus funciones básicas y reduciendo su vigor. Esta reacción o fase de alarma coincide con la activación de mecanismos de defensa. Aquellas plantas sin mecanismos adecuados sufren daños irreversibles y mueren. Luego le sigue la fase de resistencia, en la cual los cambios permiten a la planta alcanzar un estado fisiológico óptimo para las condiciones actuales, representando la máxima resistencia que puede alcanzar. Si el estrés persiste, la capacidad de resistencia se agota, la planta desacelera o detiene sus funciones, ingresando a la fase de agotamiento que culmina con la muerte de la planta. No obstante, si el estrés desaparece a tiempo, comienza la fase de regeneración, donde las funciones fisiológicas pueden recuperarse, permitiendo a la planta alcanzar un nuevo estado óptimo para las condiciones presentes (Tadeo & Gómez Cadenas, 2008).

## 2.2 EL CAMPO NATURAL Y SU RELACIÓN CON LA GANADERÍA

La base primaria de alimentación para los rodeos y majadas en la mayoría de los sistemas productivos en nuestro país es el campo natural. Este, a su vez, contribuye en cierta medida a la base nutricional en los sistemas agrícolas-ganaderos o que practican una agricultura forrajera más intensiva, lo que lo convierte en un recurso estable y resiliente debido a su diversidad y heterogeneidad de su flora. Históricamente y en la actualidad, ha desempeñado un papel fundamental en la sostenibilidad de estos sistemas y ha sido esencial para nuestras ventajas comparativas como país orientado a la exportación de productos animales (Risso, 2005), contribuyendo de manera sustancial directa e indirectamente en el producto bruto nacional.

Las pasturas naturales constituyen la riqueza fundamental de Uruguay, siendo su propósito no solo preservar el suelo como un patrimonio nacional irremplazable, sino también servir como el recurso forrajero principal para la producción pecuaria. Se ha observado una disminución en la extensión de estas pasturas, pasando del 80% al 60% entre 1990 y 2011, según DIEA (2023). En este contexto, la producción de carne se lleva a cabo en aproximadamente 10.517.836 hectáreas, representando el 64,3% del territorio, según las mismas fuentes.

Según las observaciones de Nabinger y De Faccio Carvalho (2009), el potencial de las pasturas naturales está considerablemente lejos del actual que se explota. No obstante, destacan que, con el conocimiento actual, existe la posibilidad de transformar la actividad que se desarrolla en torno a este recurso. En asociación, sugieren que se le podría incorporar la posibilidad de agregar valor al producto animal al destacar sus características nutracéuticas derivadas de una dieta basada en especies vegetales.

Uruguay se destaca como un país fundamentalmente ganadero, y las limitaciones que enfrentan sus pasturas naturales están relacionadas con las fluctuaciones en la producción de forraje. Estas variaciones son atribuibles a factores conocidos por su variabilidad, como el clima y las características del suelo, como señala Millot (1997).

La estacionalidad en la producción del campo natural uruguayo es una característica distintiva. En todos los suelos del país, la menor producción de forraje ocurre durante el invierno, de manera muy pronunciada. Este fenómeno se debe a las bajas temperaturas y al sobrepastoreo ejercido por los animales sobre las especies invernales más productivas, las cuales sufren una defoliación extenuante durante la crisis invernal, según Carámbula (1991).

Carámbula (1991) afirma que, a pesar de que los momentos críticos de carencia de forraje varían con cada tipo de suelo y ciclo de las especies; “los 100 días de invierno es la época más limitante de las producciones animales en todo el país” (p. 13). A su vez, este mismo autor relata que esta problemática se agrava debido a los elevados costos energéticos experimentados por los animales, los cuales no solo son consecuencia de condiciones climáticas desfavorables, sino también a causa de mayores demandas nutricionales.

Según Ayala et al. (1993), este período se caracteriza por ser aquel en el cual la disponibilidad de forraje se convierte en el factor limitante principal para la producción animal. En contraste, las especies de pasturas estivales no se ven afectadas por este inconveniente, ya que suelen experimentar un rebrote tardío en primavera y su crecimiento inicial coincide precisamente con períodos de exceso de forraje (Rovira, 1996).

Carámbula (2008) señala que, el invierno se destaca como una etapa en la cual los bajos rendimientos de las pasturas limitan significativamente el consumo, dando lugar a un déficit energético en los animales. Este escenario condiciona la producción

de carne en el campo natural de Uruguay, resultando en pérdidas de peso animal y, consecuentemente, restringiendo el potencial de producción de los campos.

De igual forma, Zanoniani (2009) sostiene que en un campo natural sin aplicación de nitrógeno (N) y con ofertas de forraje que difícilmente superan el 3.0%, la productividad acumulada durante el invierno alcanza los 2.56 kg MS/ha/día, satisfaciendo aproximadamente el 26% de los requerimientos de una unidad ganadera. Esta conclusión es respaldada por Boggiano et al. (2005), quienes indican que las características mencionadas previamente resultan en una baja productividad invernal, con un promedio de 4.4 kg MS/ha/día.

Millot et al. (1987) sugiere aumentar la productividad mediante una mayor tecnificación e intensificación en los métodos de producción.

El hombre gestiona el aporte de recursos desde fuera del ecosistema al introducir un factor limitante de la productividad, como el manejo del pastoreo, el aporte de nitrógeno (N) y/o fósforo (P), la siembra de semillas o el suministro de heno. Realizar pequeños aportes externos puede tener un impacto significativo en el aumento global de la producción del sistema, según señala Millot et al. (1987).

Millot et al. (1987) argumenta que, a través de prácticas de manejo, como el control del empotramiento junto con la carga animal, la relación lanar/vacuno, el tipo de pastoreo y la fertilización, el ser humano le impone ciertas características al campo natural. Este proceso conduce a que las comunidades vegetales dentro del ecosistema experimentan un continuo proceso de selección natural y adaptación. Esta interacción altera la composición florística y el potencial productivo del sistema, afectando positiva o negativamente a diversas especies y generando modificaciones en el equilibrio biológico.

Las reglas del mercado internacional, así como la creciente demanda de alimentos de una población mundial en expansión, han dado lugar a prácticas de gestión inadecuadas que han llevado a que se favorezca la supervivencia y predominancia de especies adaptadas a situaciones de sobrepastoreo o subpastoreo, según (Millot et al., 1987). Generando un deterioro notable en las pasturas naturales, caracterizado por la sustitución de especies tierno, fino y leguminosas de mayor valor forrajero, por especies ordinario y malezas. Lo que conlleva a la degradación del tapiz (Carámbula, 1991).

En relación a lo expuesto, Carámbula (1991) argumenta que este fenómeno ha sido desencadenado por un manejo pastoril abusivo e irracional, caracterizado por dotaciones excesivas y prácticas inadecuadas en las pasturas naturales de Uruguay. Como consecuencia, las pasturas actuales muestran una notoria resistencia al pisoteo y a las defoliaciones, pero presentan una reducción significativa en la cantidad total de biomasa, acompañada de cambios desfavorables en su composición botánica.

A pesar de las limitaciones, “el campo natural continuará siendo una importante fuente de origen de proteína y fibra en el país” (Risso, 2005, p. 7).

Según Carámbula (1978), el principal componente de las pasturas naturales son las gramíneas, complementando este grupo una cantidad pequeña de leguminosas y un conjunto elevado de malezas.

Siguiendo la misma línea, Millot et al. (1987) señala de igual forma, que el principal componente de las pasturas son las gramíneas, las cuales están integradas de forma minoritaria por especies invernales C3 y mayoritariamente por estivales de tipo C4. Este hecho influye en una producción más destacada durante los meses de primavera y verano, estando fuertemente condicionada por las variaciones climáticas anuales.

Según Carámbula (1978), la producción anual de forraje en pasturas naturales oscila entre 800 y 4000 kg/ha de materia seca (MS), para suelos superficiales sobre Basalto y suelos profundos sobre Fray Bentos, respectivamente. A pesar de estas variaciones, Bemhaja y Berretta (1991) indican que los rendimientos de producción de MS en Uruguay oscilan entre 2500 y 5000 kg/ha/año. A pesar de estas diferencias, presentan características comunes, como una diversidad significativa de especies, con más de 350 especies gramíneas, según Del Puerto (como se cita en Millot, 1997). Estas especies difieren en ciclos productivos, hábitos de crecimiento, fisiología y calidad, proporcionando a los sistemas ganaderos una notable estabilidad frente a diversos eventos adversos y confiriéndoles una naturaleza resiliente.

Con base en las investigaciones de Del Puerto (1969) y Carámbula (2008), se sostiene que la escasez de nutrientes, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P), en los suelos de los campos naturales incide en la predominancia de especies gramíneas C4 (estivales). Esto se debe a su eficacia superior en la utilización del agua y del N, en contraste con las especies C3. Estas características les confieren una mejor adaptación

a suelos con baja fertilidad y a períodos con escasa precipitación. En contraposición, en suelos más profundos y fértiles, se observa una producción estacional más balanceada.

Según Millot et al. (1987) las especies C4 presentan mayor eficiencia en el uso del N y del agua, pero también menor valor nutritivo a igualdad de otros factores debido a factores morfo-fisiológicos propios.

En este contexto, se destaca que actualmente las pasturas se encuentran en un límite crítico de su capacidad de soporte, lo que subraya la urgencia de implementar prácticas de manejo más sostenibles y equilibradas para preservar y mejorar la salud de estos ecosistemas pastoriles.

Berretta (2009) señala que los campos naturales comprenden campos vírgenes y campos en diferentes etapas de la sucesión secundaria, con grados de artificialización variables. Se entiende por campo virgen a aquellos campos que no han tenido disturbios y a su vez presentan especies indicadoras como por ejemplo *Geranium albicans*, *Dorstenia brasiliensis* y alta frecuencia de *Bromus auleticus* (Rosengurtt, 1979).

Según Risso (2005) “en el presente, estas pasturas naturales constituyen la base de sistemas ganaderos con protocolos de producción ecológica, para nichos de mercado diferenciados, de alto potencial económico” (p. 7).

Nabinger et al. (2011) adicionan que, las pasturas además de ser fuente de alimento para los herbívoros también cumplen otras funciones tales como, la conservación de la biodiversidad, el control de los flujos de nutrientes, el balance de gases de efecto invernadero, la calidad de las aguas y la manutención del paisaje. Aunque todas estas funciones pueden ser modificadas por el pastoreo.

Sin embargo, esta diversidad también plantea desafíos, ya que el manejo de estas pasturas es más complejo debido a que los animales realizan pastoreo libre, concentrando su acción en las especies preferidas. Esto puede contribuir a la reducción de la diversidad de especies presentes en las pasturas.

## 2.3 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

### 2.3.1 En la producción primaria

Según Bottaro y Zavala (1973), la fertilización provocará alteraciones en el equilibrio de la población de plantas, las cuales podrán manifestarse en una mayor

producción total, una mejor calidad de la pastura, un aumento en el período de pastoreo o en cambios en la composición botánica. Siguiendo esta línea, concluyen que, la fertilización puede generar incrementos significativos en la producción de forraje en diferentes tipos de campos naturales. Sin embargo, la respuesta a la fertilización variará dependiendo del nutriente o combinación de nutrientes aplicados, así como de la textura del suelo.

Según Ayala y Carámbula (1994), la fertilización nitrogenada estacional promueve incrementos importantes en la producción anual del campo natural, sobre todo en las estaciones de primavera y verano, donde se dan los valores de eficiencia de producción de forraje por unidad de fertilizante añadido más altos. La producción total no tuvo diferencias entre las dosis evaluadas (40 kg N/ha y 80 kg N/ha), por lo que no se registraron respuestas en la producción primaria a un aumento de la dosis.

Zamalvide (1998) indica que hay un aumento de la producción de un 30 por ciento a un 100 por ciento con el agregado de nitrógeno y fósforo en los años 3 y 4, dependiendo en gran medida la magnitud del aumento de la composición botánica y del suelo presente. En conjunto, un experimento realizado por Berretta (1998), con la aplicación de nitrógeno y fósforo sobre la Unidad Queguay Chico, obtuvo datos similares, obteniéndose los mejores resultados en el 3 año del mejoramiento, con un aumento respecto al testigo de 75 por ciento en dicho período. En los años anteriores, se obtuvieron valores de 27 y 54 por ciento, primer y segundo año respectivamente.

La distribución de la producción varía dependiendo de la proporción de gramíneas estivales respecto a invernales. En tapices donde predominen las estivales, la aplicación de nitrógeno diferenciaría más la conocida estacionalidad de los campos uruguayos, aumentando la producción de forraje principalmente en las estaciones de primavera y verano. En invierno, la utilización del nitrógeno disminuye, debido a las bajas temperaturas y el exceso hídrico. Si se quiere acompañar la fertilización con un aumento de carga, se debe tener en consideración una fertilización temprana en el otoño que permita diferir forraje al invierno (Ayala & Carámbula, 1994; Millot et al., 1987).

Stoddartef et al. (1975, como se cita en Berretta, 1998) indica que el agregado de N y P conjuntamente es más eficiente que la aplicación de ambos elementos por separado. Esta eficiencia aumenta cuando los tres elementos primarios (NPK) son agregados conjuntamente, constatándose incrementos muy importantes de la productividad (253 a 300 por ciento) por efectos de la interacción entre dichos nutrientes (Ayala & Carámbula, 1994).

### 2.3.2 En la composición botánica

Según Bottaro y Zavala (1973), la fertilización altera la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que puede modificar la distribución de las especies. Una mayor disponibilidad de nutrientes puede favorecer el desarrollo de aquellas especies que anteriormente, debido a la baja fertilidad del suelo, no podrían competir con éxito frente a las especies mejor adaptadas a niveles de fertilidad más bajos.

Berendse (1992, como se cita en Bemhaja & Berretta, 1997), indica que la adicción de macronutrientes tales como el nitrógeno a la pradera natural, afecta la composición, distribución y producción de forraje aéreo y radicular.

La aplicación de este nutriente conduce a un balance diferente entre especies, favoreciendo a las especies de mayor respuesta, sobre todo las invernales, que al levantarse la limitante se tornan más competitivas. Esto favorece la frecuencia de especies anuales, como *el Lolium multiflorum* Lam. (Ayala & Carámbula, 1994).

En la investigación presentada por Boggiano et al. (2005), hubo una evolución al segundo año al aumentar la frecuencia de gramíneas invernales tierno y fino, llegando la relación invernal/estival a valores cercanos a uno.

Zanoniani et al. (2011) indican que, la maximización de la relación Invernales/Estivales se logra con aplicaciones intermedias de nitrógeno (100 kg N/ha), debido a un mayor aporte de *Bromus auleticus* y *Stipa neesiana*, lo que permite una contribución de las gramíneas invernales que triplica la de las gramíneas estivales. Sin embargo, a partir de dosis muy altas de nitrógeno (180 kg N/ha), las gramíneas estivales se vuelven más competitivas, limitando la capacidad de las gramíneas invernales para responder. En este escenario de mayor competencia, la especie que empieza a dominar y formar una cobertura densa, dificultando el establecimiento de las invernales es *Paspalum notatum*. Siguiendo la misma línea de investigación, los autores observaron que, la contribución de las gramíneas invernales aumentó hasta aproximadamente 180 kg N/ha, pero disminuyó notablemente con dosis superiores.

Bemhaja y Berretta (1997) encontraron que ciertas especies se comportaron como nitrófilas bajo la fertilización nitrogenada, por ejemplo, el *Paspalum plicatum*, que, a pesar de ser de tipo productivo ordinario, bajo altos niveles de nitrógeno, aumentaba su interés productivo.

Duhalde y Silveira (2018), durante todo el período experimental llevado a cabo, observaron que los tratamientos con fertilización nitrogenada mostraron una mayor participación de gramíneas invernales anuales. Por otro lado, en el campo natural sin adición de nitrógeno, predominaron las gramíneas estivales, finas y tiernas, como también ordinarias y duras. Las autoras atribuyeron estas diferencias a las diversas respuestas de las especies a la aplicación de nitrógeno. Además, señalaron que las sucesivas aplicaciones de nitrógeno tienden a favorecer la anualización de las especies, lo que conduce a la degradación del tapiz vegetal.

En esta línea, Cardozo et al. (2008) observaron que, tres años después de la última fertilización de los tratamientos con las dosis más altas, se incrementó la proporción de especies anuales, lo que provocó una degradación de las pasturas y una desestabilización de las comunidades naturales, debido a la sustitución de especies perennes por anuales. Por su parte, Zanoniani et al. (2011) determinaron que la aplicación de 150 kg N/ha a 9% de OF constante lleva a una reducción en la biodiversidad, favoreciendo el aumento de especies anuales exóticas, como *Lolium multiflorum* y *Carduus nutans*.

Millot et al. (1987) sostienen que las gramíneas anuales pueden ser componentes permanentes de las pasturas, dependiendo del manejo. Si la productividad de estas gramíneas es inferior a la de las especies que reemplazan, su porcentaje puede considerarse un indicador de degradación. En cuanto al raigrás, esta especie puede proporcionar alta productividad y calidad durante el invierno en condiciones de alta fertilidad. No obstante, es crucial manejar adecuadamente su abundancia relativa, ya que podría reducir la presencia de especies perennes valiosas.

Siguiendo la misma línea de investigación, Rodríguez Palma et al. (2004) mencionan que, la fertilización nitrogenada en un campo natural resultó en un incremento del 40 a 50% en la frecuencia de participación de especies gramíneas invernales. Además, se registró un aumento en la contribución de especies finas.

Según Berretta et al. (2001), afirman que la aplicación de fertilizantes nitrogenados a principios de otoño estimula el crecimiento como el rebrote de especies invernales y prolonga el período vegetativo de las especies estivales. Asimismo, fertilizar a finales del invierno mantiene el estímulo sobre las especies invernales y promueve un rebrote más temprano de las especies estivales. Este manejo contribuye a reducir el período de escaso crecimiento invernal.

Berretta (1998) reporta que, en promedio, las especies invernales tienen una mayor participación en tratamientos fertilizados en comparación con los no fertilizados, lo que sugiere que la fertilización puede ser una herramienta eficaz para incrementar la presencia invernal en el tapiz vegetal. Los autores mencionan que, en un campo natural de la región de basalto, la adición de fertilizantes nitrogenados y fosfatados propicia que las especies invernales comiencen a recubrir el suelo, incrementando su frecuencia debido al aumento del nivel trófico del suelo. El incremento del nivel trófico del suelo debido a la introducción de leguminosas, fertilización y manejo favorecen el aumento de la frecuencia de especies invernales finas y tiernas. Esto resulta en una mayor producción y calidad de las pasturas. Al igual que las especies invernales, las especies finas, tiernas y tiernas - finas también tienden a aumentar su frecuencia. En efecto, la frecuencia de pastos ordinarios disminuye, y las malezas de campo sucio parecen no aumentar en los tratamientos fertilizados, presentando una escasa participación. Por otro lado, las hierbas enanas se ven favorecidas en los tratamientos con fertilización invernal. Este aumento en la calidad de forraje es respaldado por Boggiano et al. (2005) y Rodríguez Palma et al. (2004).

### 2.3.3 En la calidad del forraje

En un experimento realizado por Ayala y Carámbula (1994), sobre basalto profundo, no se registró un aumento inmediato en la calidad de forraje medida según su digestibilidad, con las aplicaciones de nutrientes (N, P, K), aunque sí se constató una tendencia favorable para los que fueron aplicados con nitrógeno, principalmente en otoño. En cuanto a la proteína cruda, la superioridad del nitrógeno frente al resto de tratamientos fue clara, promediando la materia seca 10,3 por ciento de proteína cruda, frente a 8,7 por ciento del tratamiento testigo. Estas diferencias se acrecentaron en las estaciones de otoño e invierno, momentos claves de desempeño animal.

En contraste, un experimento realizado en la Unidad de Suelo San Manuel, presentado por Boggiano et al. (2005), donde hay alta frecuencia de gramíneas invernales, la fertilización nitrogenada promovió una mejora en la calidad debido al aumento de la frecuencia de gramíneas invernales fina y tierna - fina, como *Bromus auleticus* Trin y *Stipa setigera* J. Presl, especies con mayor proporción de tejido rápidamente digestible en hoja, lo que contribuyó a mejorar la calidad del forraje ofrecido.

Resultados obtenidos por Bemhaja y Berretta (1997) y Berretta (1998) indicaron que la fertilización nitrogenada propicia un aumento en la calidad tanto por la

disminución de la fibra (FDN y FDA) como el aumento de la proteína cruda, siendo ampliamente superiores para la proteína cruda.

#### 2.3.4 Sobre el ambiente

La fertilización nitrogenada tiene un impacto en el ecosistema pastoril, propiciando cambios en el tapiz como la promoción de especies anuales (Ayala & Carámbula, 1994), que pueden alterar la resiliencia del campo natural frente a perturbaciones.

En contraste, el agregado de estos nutrientes, principalmente el P, permitiría al campo natural recuperar algo de lo que se le ha extraído durante estos siglos de pastoreo, desde la introducción de la ganadería en 1516, además de contribuir al mantenimiento de la biodiversidad vegetal y animal de las praderas naturales (Berretta et al., 1998).

#### 2.3.5 En la producción secundaria, carga animal y ganancia individual

Gomes et al. (2000) señalan que, las deficiencias nutricionales en el campo natural conducen a una disminución en los porcentajes de parición y en la ganancia de peso, lo que resulta en una reducción de la producción de carne por hectárea. Además, afirman que la fertilización del campo natural tiene efectos positivos sobre la producción secundaria.

Siguiendo la misma línea, Anfuso et al. (2016) indican que, la aplicación de fertilizantes en el campo natural suele resultar en un aumento en la producción de materia seca, el cual debe ser adecuadamente aprovechado por el ganado para reflejarse en un aumento en la producción animal. Sin embargo, si el consumo animal no se ajusta al aumento en la producción de forraje, pudiendo ser por una carga insuficiente, parte del forraje producido puede perderse debido a procesos de senescencia. Por lo tanto, es crucial que la carga animal esté en equilibrio con la producción de forraje para capitalizar los beneficios de la fertilización.

Boggiano (2000, como se cita en Anfuso et al., 2016) afirma que, incrementos en los niveles de nitrógeno provocan modificación en la arquitectura de la pastura, la cual se modifica quedando de manera más erecta, con láminas más largas y tallos más altos, junto con un aumento en la densidad de macollos, lo cual facilita la cosecha de forraje por parte de los animales y contribuye a la formación de bocados mayores.

Gomes et al. (2000), Rodríguez Palma (1998), Duhalde y Silveira (2018), Zanoniani (2009) y Zanoniani et al. (2011) encontraron que, la fertilización nitrogenada

del campo natural conduce a un incremento en la producción primaria, lo cual, al ser acompañado por un aumento en la carga animal, resulta en un aumento en la producción secundaria.

Según Zanoniani (2009), al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada hasta aproximadamente 200 kg N/ha, manteniendo una oferta de forraje del 9% PV, se logra un aumento en la carga animal, observándose un mayor incremento hasta 150 kg N/ha. De manera similar, Zanoniani et al. (2011) reportan que, una dosis de 150 kg N/ha, con la misma oferta de forraje, puede alcanzar hasta 1,4 Unidades Ganaderas (UG) por hectárea.

Rodríguez Palma et al. (2004) encontraron un aumento en la carga de entre el 60% y el 90% en los tratamientos fertilizados, mientras que Rodríguez Palma et al. (2008) observaron incrementos del 66% con una fertilización de 100 kg N/ha.

Siguiendo la misma línea, Gomes et al. (2000), durante el período primavera - verano - otoño, evaluaron tres niveles de fertilización nitrogenada (0, 100 y 200 kg N/ha) bajo carga continua y una oferta del 9%, reportando cargas promedio de 572, 752 y 854 kg Pv/ha, respectivamente.

Por otro lado, Larratea y Soutto (2013) no encontraron diferencias significativas en la carga y en las UG con la aplicación de nitrógeno en dosis de 60 y 114 kg N/ha para el período invierno - primavera. Este resultado se debe a la falta de diferencias estadísticas en el forraje presente, disponible y desaparecido.

En cuanto a la ganancia media diaria (GMD), Gallinal et al. (2016), Gomes et al. (2000), Peirano y Rodríguez (2004), Rodríguez Palma (1998) y Rodríguez Palma et al. (2008), no detectaron diferencias significativas entre tratamientos fertilizados y no fertilizados.

Gallinal et al. (2016) sostienen que las GMD se mantuvieron constantes debido a que las pasturas no mostraron diferencias en calidad y el consumo no estuvo limitado por factores no nutricionales.

Rodríguez Palma (1998) no encontró diferencias significativas en la GMD entre los tratamientos en cada período ni entre los períodos al mismo nivel de fertilización con nitrógeno. Los valores obtenidos fueron de 843,4; 839,4 y 988,9 g/d para N0, N50 y N100 respectivamente durante el período invernal, y 1054,3; 992,1; 954,6 g/d para los mismos tratamientos en el período primavera.

Además, Duhalde y Silveira (2018) indicaron que, en el período invernal no se observaron diferencias significativas en la GMD, y en algunos casos, los animales experimentaron pérdida de peso debido a la baja producción y calidad del forraje ofrecido. Sin embargo, en el período invierno-primavera, estos autores encontraron mayores GMD en los tratamientos fertilizados con nitrógeno y leguminosas en comparación con el testigo, atribuyendo la mejora a la inclusión de especies finas y tiernas en las pasturas fertilizadas.

Rodríguez Palma (1998) señala que, la mayor diferencia en la productividad animal por hectárea debido a la fertilización nitrogenada se observó durante el invierno con el tratamiento de 100 kg N/ha, mostrando un aumento del 190% respecto al tratamiento sin fertilización (N0) y del 77% en comparación con el tratamiento de 50 kg N/ha (N50). En primavera, la productividad con 100 kg N/ha superó en un 28% a la de los otros tratamientos. La productividad estimada para los distintos niveles de fertilización fue de 224,86; 279,20 y 440,55 kg/ha para N0, N50 y N100, respectivamente.

Con períodos de descanso otoño - invernales de 45 días y pastoreos con ofertas de forraje de 8 por ciento del peso vivo, se alcanzaron producciones de forraje en invierno de 850 kg MS/ha, que, utilizando cálculos teóricos, con utilizaciones de un 50 por ciento mantendrían una carga de 0,78 unidades ganaderas (1 unidad ganadera equivale a una vaca de 380 Kg de peso vivo en mantenimiento (Crempien, 1983). Al ser el invierno la estación limitante de la carga alcanzable, esto permitiría aumentar la productividad otoño-invernal en el orden del 30 por ciento, dado que en la condición actual de pastoreo sobre campo natural difícilmente logre mantener una dotación mayor a 0,6 unidades ganaderas (Boggiano et al., 2005).

En esta línea, Duhalde y Silveira (2018) con cargas de 1,7 unidades ganaderas por hectárea en invierno, obtuvo pérdidas de -160 y -70 gramos por animal día, para campo natural fertilizado con nitrógeno en dosis de 60 kg N/ha y 120 kg N/ha, respectivamente.

Para reservar forraje en pie para alimentar categorías de cría tanto ovinas como vacunas durante el invierno, el crecimiento de otoño sería suficiente para acumular más de 1.000 kg MS/ha, además del forraje disponible antes del cierre del potrero o de una reducción marcada de la dotación (Berretta et al., 1998).

## 2.4 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA

### 2.4.1 En la producción primaria y calidad

En las zonas de producción pecuaria el contenido de fósforo en el suelo oscila entre valores menores a la unidad y 6 ppm, fósforo Bray I (Milot et al., 1987). Los bajos niveles de fósforo limitan el desempeño, tanto productivo como de colonización de las leguminosas nativas e introducidas.

La fertilización fosfatada, cuando es efectuada sin acompañamiento de una fertilización nitrogenada, depende su eficiencia principalmente de la presencia de leguminosas productivas que aumenten la producción directa o indirectamente (Milot et al., 1987).

Mas (1992) indica que la fertilización fosfatada en Uruguay no es una solución a las carencias de las pasturas nativas en la mayoría de los casos, concluyendo en que la fertilización fosfatada como único mejoramiento no es una práctica recomendable. Milot et al. (1987), concluía que sólo un 10 por ciento de las pasturas naturales del país tenían un desempeño mayor en rendimiento al 50 por ciento, por lo que la fertilización fosfatada tendría una contribución menor a solucionar los problemas productivos de las praderas naturales uruguayas. Del mismo modo, Ayala y Carámbula (1994), demostraron que el agregado de P y K individualmente no tuvo significancia en la producción de forraje anual. En cambio, cuando su aplicación se acompañaba con una fertilización nitrogenada eran superiores respecto a la fertilización nitrogenada sin aplicación de P y K.

Según Milot et al. (1987) y Berretta et al. (2001), la fertilización fosfatada incrementó la calidad del forraje ofrecido por aumento en la frecuencia de leguminosas y, sobre todo, por el aumento del nivel de fosforo presente en el forraje.

En una investigación presentada por Mas et al. (1997) se evaluó el efecto de la fertilización nitrogenada sobre mejoramiento con leguminosas. En el primer año, tuvo un efecto sobre la producción del 47% entre dosis de 0 a 120 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; para dosis superiores no hubo superioridad en la producción. En la proporción de leguminosas se observó un aumento de 5% en dosis 0 a 27% en dosis 120. En el segundo año de mejoramiento, el aumento de producción fue lineal respecto a la dosis aplicada, logrando un aumento en la producción de 61% con dosis de 240 unidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

La introducción de especies leguminosas y fertilización fosfatada promueven un cambio cualitativo en la composición botánica, donde se promueven especies perennes invernales finas (Bemhaja & Berretta, 1997; Berretta et al., 2001).

El contenido de P (mg P/g MS) es siempre superior en el campo fertilizado. Los valores más altos se registran, en general, en invierno primavera y los más bajos en verano. En invierno y primavera el contenido de P es de 2.3 mg P/g MS en el fertilizado y de 1.8 mg P/g MS en el sin fertilizar. En verano estos valores son de 1.9 y 1.5 mg P/g MS, respectivamente (Berretta et al., 2001).

Según Berretta (1998), fertilizaciones anuales de 92 y 44 kg/ha de N y P respectivamente, permiten un incremento en la producción de forraje con una eficiencia de 7,5 kg MS/kg nutriente en el primer año y de 22,3 y 23,0 kg MS/kg nutriente en los dos años siguientes.

## 2.5 EFECTO DE LA INTRODUCCIÓN DE ESPECIES LEGUMINOSAS

La variabilidad de la producción de forraje de las pasturas naturales y de las mejoradas, está explicada principalmente por la inestabilidad en el régimen hídrico (Bemhaja & Berretta, 1991), y esta dependencia se acentúa sobre las especies introducidas que presentan una menor adaptación al escaso almacenamiento de agua de estos suelos, esto condiciona la persistencia de los mejoramientos (Bemhaja, 1998).

Scaglia (1995) menciona que, la producción ganadera en Uruguay se sustenta principalmente en el uso de campos naturales, la cual está caracterizada por presentar significativas oscilaciones en cantidad y calidad del forraje producido tanto dentro de un mismo año como entre años consecutivos. Dichas variaciones no permiten, en muchos momentos del año, satisfacer los requerimientos nutricionales del animal, lo que conlleva a una disminución en la productividad.

El factor principal que limita el desarrollo de las pasturas naturales del Uruguay es el nitrógeno, el cual es costoso y presenta una baja residualidad en el perfil del suelo. Por esta razón, se promueven las leguminosas naturales o se recurre a la introducción de las mismas, ya que además de contribuir a la producción de forraje, incrementa de manera indirecta la disponibilidad de nitrógeno a través de exudados de raíces, restos en descomposición y el nitrógeno fijado simbióticamente (Millot et al., 1987).

Según Carámbula (1996), los mejoramientos extensivos con siembras de especies permiten una disminución de la extensividad de los sistemas productivos a

través de mejoras nutricionales que afectan el comportamiento animal, y permiten así una herramienta sencilla y económica para elevar la productividad de cualquier establecimiento.

El agregado de leguminosas al campo natural ha demostrado ser una tecnología válida y confiable para complementar la producción de las pasturas naturales en sistemas ganaderos extensivos (Ayala & Carámbula, 1995).

Las especies leguminosas, mencionado por Ayala y Carámbula (1995), presentan requerimientos particulares de fósforo que resulta imprescindible si se quiere lograr una buena implantación. Por lo tanto, es necesario un correcto ajuste de este nutriente si se quiere lograr un mejoramiento exitoso.

Según Ayala y Carámbula (1995), el mejoramiento en la fertilidad, promueve el ingreso de especies anuales al tapiz, como es el caso del raigrás, y otras especies gramíneas nativas, particularmente las invernales.

Desde el punto de vista de la producción animal, las pasturas naturales mejoradas con *Lotus subbiflorus* Lag cv. Rincón, permiten una mejora en el proceso de producción de los animales, tanto como por el volumen como por el valor nutritivo del forraje producido (Risso & Carámbula, 1998).

#### 2.5.1 En la producción primaria

Según Bemhaja y Berretta (1997), el rendimiento del campo natural oscila entre 2500 y 5000 kg MS/ha/año, variando según los tipos de suelo y las condiciones climáticas de cada año. En invierno se registran las tasas de crecimiento más bajas, con un promedio de 3 a 6 kg MS/ha/día.

Millot et al. (1987) señala que, la introducción de leguminosas permite obtener mayores rendimientos en comparación con las pasturas fertilizadas con nitrógeno. Además, esta práctica mejora la utilización de los recursos del medio ambiente.

En este sentido, Berretta (1998) indica que, el rendimiento invernal de una pastura mejorada depende del tipo de suelo y vegetación, y puede ser superior al de las pasturas naturales sin introducción de leguminosas. Este aumento en el rendimiento podría oscilar entre un 50 y 100%.

Según estudios realizados por Carámbula (1992), los mejoramientos del campo natural con leguminosas y *Lolium multiflorum*, incluso bajo diferentes regímenes de

acumulación de forraje, muestran producciones significativamente superiores en comparación con el campo natural durante el período otoño - invernal (marzo - agosto). Este aumento en la producción se debe a una mayor tasa de crecimiento (TC) diaria a lo largo de todo el período, con un énfasis especial durante el otoño. A medida que avanzan los días cortos y fríos, se observa que las diferencias en la tasa de crecimiento entre los tratamientos mejorados y el campo natural se reducen, indicando que el mayor potencial de estas mejoras se manifiesta principalmente en estas estaciones.

Siguiendo esta línea de investigación, Bemhaja (1998) señala que, la tasa de crecimiento diario estacional fue notablemente mayor en el campo natural mejorado en comparación al campo natural. A diferencia de Carámbula (1992), Bemhaja (1998) informa que el cambio más significativo en la tasa de crecimiento ocurre en invierno, debido al aporte del trébol blanco y al incremento en la producción de las gramíneas invernales nativas.

En estudios realizados por Risso et al. (2002) sobre mejoramientos extensivos de la región del Cristalino, se observó que el rendimiento anual de forraje en los campos mejorados fue significativamente superior (3100 kg MS/ha) en comparación con los campos naturales de la región. Además, al comparar un mejoramiento con *Trifolium repens* L. y otro con *Lotus subbiflorus* cv. Rincón, la producción fue un 10% mayor en el primer mejoramiento. Estos autores atribuyen esta diferencia a la mayor producción del trébol blanco durante el invierno y el verano, sin observar diferencias en otoño y primavera.

Bemhaja (1998) indica que, en todos los casos con mejoramiento en un suelo de basalto, la producción de forraje supera la del campo natural. Los valores promedio del campo natural fueron de 4,5 ton/ha/año, mientras que el campo natural mejorado superó las 5 ton/ha/año.

Mas et al. (1997) indican que, en los años favorables, los mejoramientos mostraron una respuesta superior en términos absolutos en la producción de materia seca, en comparación con el campo natural. A su vez, Risso (1997b) señala que es poco probable que la productividad caiga por debajo de los niveles originales frente a la pérdida de especies introducidas, excepto en casos extremos de engramillamiento.

Por otro lado, Del Pino et al. (2021) reportan que no se encuentran diferencias significativas en la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) del campo natural en comparación con los tratamientos, ni para ninguna de las estaciones del año, ni para la

producción anual. Los tratamientos evaluados incluyen campo natural (CN), campo natural mejorado con *Lotus corniculatus* L. y 72 kg/ha de P (P1), y campo natural mejorado con la misma especie fertilizados con 144 kg/ha de P (P2), logrando valores de 4429, 4629 y 4446 kg/ha de MS respectivamente. Además, se observa una marcada estacionalidad en la producción de biomasa aérea, con baja producción durante el período otoño-invernal y alta en el verano para todos los tratamientos.

Los niveles de fertilización fosfatada de 40 y 80 unidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha anuales, no mostraron diferencias significativas en términos de producción y calidad de forraje. Este resultado se atribuye a la baja producción y persistencia de las leguminosas introducidas (Bemhaja, 1998). Asimismo, menciona que el trébol rojo interfirió en el establecimiento de las leguminosas perennes, desapareciendo del mejoramiento al tercer año.

#### 2.5.2 En la producción secundaria

Jaurena et al. (2005) señalan que, debido a la escasez de leguminosas en las pasturas naturales, su inclusión puede aumentar la producción animal debido al aporte de nitrógeno al sistema y su contribución a la dieta del ganado. Este hecho es corroborado por Risso (1997a), quien subraya que se trata de una tecnología de alto impacto que acelera el proceso de engorde.

Blaser et al. (1969, como se cita en Millot et al., 1987), indican que los animales pastoreando en mejoramientos con leguminosas muestran un mayor consumo de forraje debido a una mayor tasa de pasaje y una mejor eficiencia en la utilización de proteínas y energía metabólica.

Según Risso (1997a), al analizar el comportamiento de terneros Hereford y cruza destinados a su venta a los dos años y medio pastoreando exclusivamente campo natural sobre basalto y del este, observa que en ambos casos la ganancia media anual fue únicamente aceptable. Aunque los kg de carne/ha fueron superiores al promedio nacional, se evidencia un potencial limitado, acorde con la cantidad y calidad del forraje producido.

Una solución potencial para abordar la limitación anteriormente mencionada es la incorporación de leguminosas junto con la aplicación de fertilización fosfatada. Risso (1997a) señala que los datos recopilados en diversas regiones coinciden en que estos mejoramientos alcanzan una alta productividad, logrando una ganancia media diaria anual que supera los 450 gramos.

Según Carámbula (1992) el propósito de los mejoramientos extensivos es abordar las principales carencias en las necesidades nutricionales de los animales que se dan en el campo natural durante el período de marzo a agosto. Este objetivo se logra mediante la implementación de diversas técnicas de pastoreo que facilitan la obtención de distintos niveles de forraje y su suministro en épocas específicas. Es esencial considerar el potencial genético de las especies introducidas, así como las condiciones de suelo y clima. Además, el éxito total o parcial del mejoramiento en términos de producción forrajera también está determinado por el manejo aplicado a la pastura.

Scaglia (1995) informa que, en estudios realizados con animales pastoreando un mejoramiento extensivo de campo natural con *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*, se observan ganancias medias diarias anuales de aproximadamente 700 g/día. En contraste, los animales en campo natural presentan ganancias promedio de 280 g/día, con una notable pérdida de peso durante el invierno. El autor destaca que las mayores ganancias de peso en los mejoramientos se registran durante la primavera y el verano, lo cual se atribuye a una mejora en la calidad del forraje ofrecido, principalmente debido al alto aporte de las leguminosas introducidas en esa época. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Ayala y Carámbula (1995), quienes reportan ganancias diarias de 713 g/día y 700 g/día con cargas de 1,07 y 1,22 UG/ha, respectivamente.

En la misma línea, Ayala y Carámbula (1995) indican que, las mayores diferencias en la evolución del peso de los animales que pastorean mejoramientos con *Trifolium repens* cv. Zapicán y *Lotus corniculatus* cv. Ganador en comparación con el campo natural se observan durante el invierno. En este período, el campo natural muestra importantes pérdidas de peso mayores de 20 kg/animal, mientras que, sobre mejoramientos es posible lograr ganancias moderadas y/o próximas a mantenimiento.

Ayala y Carámbula (1995) sugieren que, basándose en los resultados favorables obtenidos con la utilización de mejoramientos sobre campo natural, es viable considerar diversas estrategias para el período invernal. Estas estrategias podrían incluir la obtención de altas ganancias de peso o, al menos, el mantenimiento del peso corporal sin pérdidas. La opción de mantener el peso permitiría aumentar la carga invernal y aprovechar las ventajas del crecimiento compensatorio, así como las altas producciones de forraje que se registran en primavera.

Amir y Stancov (2020, como se cita en Gómez Mazzei et al., 2023) indican que la carga soportada por el campo natural es menor en comparación con los tratamientos

de campo natural mejorado y los tratamientos con adición de 60 y 120 kg de N/ha. Los valores de carga para campo natural, campo natural mejorado, campo natural fertilizado con N 60 y campo natural fertilizado con N 120 son de 1,19, 1,39, 2,15 y 2,2 UG, respectivamente. Se destaca que el campo natural mejorado soporta de manera significativa una mayor carga que el campo natural, pero una menor carga en comparación con los tratamientos fertilizados con nitrógeno. Siguiendo la misma línea de investigación, observan en cuanto a la ganancia media diaria, que, el mejoramiento muestra una ventaja significativa en comparación con el testigo, con valores de 0,69 y 0,3 kg/día para campo natural mejorado y campo natural, respectivamente. Estas ganancias pueden atribuirse a diversos factores, como la producción de forraje, la proporción de material verde disponible ofrecido y la composición botánica. Por otro lado, el campo natural mejorado no presenta diferencia significativa en las ganancias diarias cuando se compara con los tratamientos que incluyen adición de 60 y 120 kg N/ha.

Garín et al. (1993, como se cita en Gómez Mazzei et al., 2023), realizaron un estudio en un mejoramiento de campo natural con *Lotus corniculatus* y encontraron que la ganancia media diaria de novillos Holando variaba según la oferta de forraje (OF). Cuando la oferta de forraje era de 2,5%, las ganancias diarias eran de 0,490 kg/día. Sin embargo, con una oferta de forraje mayor (5%, 7,5% y 10%), las ganancias diarias aumentaban significativamente, alcanzando un promedio de 0,730 kg/día. A su vez, la productividad por hectárea aumentó a medida que la carga se incrementaba, es decir, cuando la oferta de forraje era menor. Este incremento en la productividad se atribuye a que, en estas condiciones, la tasa de aumento en la carga superó la tasa de disminución en la ganancia de peso animal.

## 2.6 EFECTO DEL CONTROL DE LA OFERTA DE FORRAJE

Soca et al. (2013) indican que el pastoreo representa una herramienta fundamental en el manejo, mediante la cual es posible regular el flujo de captación y transformación de energía solar en producto animal. Este proceso influye significativamente tanto en la productividad del recurso como en su capacidad de resiliencia. En este contexto, la carga animal representa una de las medidas fundamentales asociadas al manejo del pastoreo, ejerciendo una influencia significativa en la disponibilidad de forraje, la intensidad de pastoreo y la regulación del flujo de energía en los ecosistemas pastoriles.

La herramienta principal para regular la intensidad de pastoreo es el control de la oferta, o el nivel de asignación de forraje, expresado como la cantidad de kilogramos de materia seca por cada 100 kilogramos de peso vivo (PV) (Soca et al., 2013).

La utilización excesiva del campo natural, debido a intensidad elevadas de pastoreo, ha provocado la pérdida de cobertura vegetal, la invasión de especies no deseadas, la erosión del suelo y un impacto ambiental. Esto muestra la importancia fundamental de ajustar adecuadamente la carga animal en función de la disponibilidad de forraje para el correcto funcionamiento del sistema, influyendo directamente en la dinámica vegetal (Nabinger et al., 2006).

Nabinger et al. (2006) mencionan que ajustar la carga animal en función de la disponibilidad de forraje es esencial para llevar a cabo una asignación adecuada de este recurso y garantizar que el animal consuma la cantidad requerida. Para lograr este objetivo, el animal debe cosechar el forraje, y por ende, este consumo se verá afectado por la estructura del disponible. De esta manera, pastizales con una altura muy baja, incluso con grandes superficies, pueden ocasionar que el animal pase toda la jornada pastoreando sin poder cosechar una cantidad suficiente que satisfaga sus necesidades, afectando el tamaño de cada bocado. A medida que aumenta la disponibilidad de forraje por área y por animal, este último comienza a no tener limitaciones en el tamaño de bocado pudiendo seleccionar su dieta y mejorando así su rendimiento individual. Este concepto se respalda en las observaciones de Millot et al. (1987), quienes señalan que, ante una disminución en la disponibilidad de forraje, el animal aumenta el tiempo de pastoreo para mantener el consumo.

Nabinger et al. (2006) menciona que, el máximo consumo por animal se alcanza cuando no existen limitaciones físicas al consumo y el animal tiene la máxima capacidad de seleccionar su dieta. Esto sucede cuando el animal tiene a su disposición aproximadamente cuatro a cinco veces más de lo que puede consumir diariamente. En otras palabras, este consumo sin restricciones se podría lograr con asignaciones de 10% a 13% de su peso vivo. Hodgson (1984) respalda estos hallazgos al presentar datos similares, indicando que el consumo se maximiza con disponibilidades de tres o cuatro veces el volumen a consumir.

En relación con este tema, Fernández et al. (2014) señalan que la intensidad de pastoreo tiene un impacto significativo en la absorción de radiación fotosintéticamente activa (PAR). Este concepto es respaldado por Boggiano et al. (2011), quienes, en un estudio que evaluó el porcentaje de PAR absorbido en relación con los días de descanso

post pastoreo en tres ofertas de forraje (OF) distintas (4%, 9% y 14%), observaron que a medida que aumentaban los días de descanso, el porcentaje de radiación absorbida por el dosel del campo natural aumentaba en todas las OF, pero este aumento se daba de manera diferencial en cada OF utilizada. En situaciones de mayor intensidad de pastoreo (4% de OF), la pastura se recuperaba más lentamente en comparación con las OF de 9% y 14%, donde estas últimas iniciaban el rebrote con un mayor porcentaje de PAR absorbido. Concluyendo que, con una menor oferta de forraje dada una mayor intensidad de pastoreo, se produce una menor captura de radiación por parte de la pastura, lo que resulta en una mayor pérdida de PAR absorbido y, en última instancia, limita la producción de forraje.

#### 2.6.1 En la producción primaria

Moojen y Maraschin (2002) indican que se establece una relación lineal entre la cantidad de kg MS/ha y la oferta de forraje, de manera que un incremento en la oferta resulta en un aumento en los kg MS/ha. Por otro lado, el aumento en la oferta de forraje conlleva a un incremento en la tasa de acumulación de MS, este comportamiento se explica mediante una regresión de tipo cuadrática, donde se observa que, una vez superado el máximo de 12% de OF, se produce una disminución en la tasa de acumulación de materia seca.

En relación a esto, Moojen y Maraschin (2002) mencionan un estudio en campos naturales de Brasil, trabajando con ofertas de forraje que variaba entre el 3% y el 12%. Sus observaciones indican que la máxima tasa de acumulación de materia seca se alcanza con una oferta del 12%. Asimismo, al trabajar con ofertas de forraje en un rango de 4% a 16%, se evidenció que los resultados óptimos se obtuvieron con ofertas de entre el 8% y el 12%. Esta observación resulta coherente, ya que la producción de forraje se interpreta como una expresión de la tasa de acumulación de MS en un período específico. Además, se puede inferir que la calidad del forraje tiende a disminuir con el aumento de la oferta de forraje.

Do Carmo et al. (2013) señalan que la producción de forraje fue afectada por la estación del año, las lluvias y la oferta de forraje. En específico, observaron que, ofertas altas de forraje son las que mantuvieron mayor altura, lo que resultó en una mayor producción de materia seca y una disminución en la tasa de caída de la producción, incluso en condiciones de déficit hídrico. Aunque las lluvias durante las estaciones de crecimiento tuvieron un fuerte impacto en la producción de MS, los investigadores comentan que el control de la oferta de forraje generó una diferencia relativa de 2,6 kg

MS/ha/día, lo que se tradujo en una diferencia anual de 950 kg MS/ha entre los tratamientos de alta y baja oferta durante el periodo de investigación.

Siguiendo este enfoque, Do Carmo et al. (2013) resaltan que la carga animal no experimentó cambios debido a la variación en la oferta de forraje, manteniéndose en 492 kg PV/ha para baja oferta y 486 kg PV/ha para alta oferta de forraje, lo cual se atribuye a una mayor producción de forraje en AO. En contraste, Moojen y Maraschin (2002), en campos ubicados en el sur de Brasil, sostienen que para aumentar la oferta de forraje es necesario reducir la carga animal por unidad de área.

Según Berretta et al. (2001), debido a la alta variabilidad en la producción de forraje a lo largo de las estaciones y los años, mantener cargas animales relativamente bajas (BO) durante períodos prolongados tiende a debilitar las plantas consumidas por los animales, dejándolas más susceptibles a condiciones climáticas adversas. Por lo tanto, este impacto afectará la productividad primaria como también la secundaria.

Boggiano et al. (2005) evaluando las respuestas del campo natural a manejos con niveles crecientes de intervención afirman que, la respuesta a la intensidad de pastoreo varía con el nivel de N agregado. En condiciones de bajas dosis de N, se observa un aumento en la producción invernal al incrementar la oferta de forraje. Esto se debe a que en un ambiente con bajos niveles de N, la reposición de las estructuras removidas es más lenta, ya que el ritmo fotosintético es menor. Por otro lado, con dosis mayores de N, la producción aumenta al disminuir la oferta de forraje, es decir, al aumentar la intensidad de pastoreo. Con niveles crecientes de N, se acelera el ritmo de crecimiento y la reposición del área foliar es más rápida, lo que resulta en un sombreado más temprano en estratos inferiores y, en consecuencia, reduce los ritmos de acumulación de forraje.

Boggiano et al. (2005) observaron que la combinación de ofertas de forraje del 8%, consideradas intermedias, junto con fertilizaciones estratégicas en otoño de alrededor de 50 kg/ha de nitrógeno, aumentaron la productividad de forraje en un 30%. Además, esta combinación generó una mejora en la calidad del forraje ofrecido, ya que se lograron relaciones de especies invernales/estivales cercanas a 1. Estos investigadores notaron rendimientos superiores a 8000 kg/ha de materia seca con dosis de nitrógeno cercanas a 150 kg/ha y una oferta de forraje del 10% del peso vivo.

Boggiano et al. (2023) afirman que, en el campo existe una frecuencia de pastos finos y tiernos invernales superior al 25%, los cuales pueden ser promovidos mediante

fertilizaciones nitrogenadas y ajuste de la carga. Siguiendo la misma línea, mencionan que con períodos de descanso otoño - invernales de 45 días y pastoreos con ofertas de forraje del 9% del peso vivo (PV), se lograron producciones de forraje del orden de 1500 kg/ha, aumentando la productividad otoño - invernal en un 40%. Asimismo, el ajuste de la carga y los períodos de descanso permiten expresar la capacidad de producción del campo natural, alcanzando los 200 kg/ha de PV producidos por año.

#### 2.6.2 Cambios en la estructura y composición botánica

Nabinger et al. (2006) comenta que, en las condiciones de ofertas de 12% y 16%, se evidenció una estructura en mosaico más pronunciada en comparación con el tratamiento de 8% de oferta, ya que, en este último, se observó un cierto grado de sobrepastoreo que resultó en una mayor frecuencia relativa de *Paspalum notatum*, especie rizomatosa con mecanismos de escape al pastoreo. En el caso de la oferta del 12%, algunas especies, principalmente leguminosas, son protegidas en las matas de las plantas cespitosas, dando lugar a la observación de un doble estrato equilibrado y a aumentos en el índice de diversidad. Con una oferta del 16% los autores destacan que la vegetación que dominó eran las matas, posiblemente debido al sombreado excesivo causado principalmente por *Andropogon* y *Aristida*. En consecuencia, la cantidad de forraje ofrecido no solo influye en la producción primaria y secundaria, sino que también repercute en la diversidad y riqueza de especies florísticas.

Boldrini et al. (1993) llevaron a cabo una investigación a lo largo de cinco años en la Depresión Central de Rio Grande do Sul, donde examinaron diferentes niveles de oferta de forraje (4, 8, 12, 16 kg MS/100 kg PV) y su impacto en la vegetación. Los resultados obtenidos indican que en pastoreos menos intensos (16% PV), las especies de porte erecto mostraron ventajas, disminuyendo la proporción en la cobertura de especies postradas como *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis*. Especies como *Andropogon lateralis*, *Aristida filifolia*, *Paspalum plicatulum* y *Desmodium incanum* se beneficiaron con ofertas intermedias. En contraste, para pastoreos más intensos (4% OF), especies como *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis*, debido a su estrategia de escape al pastoreo, aumentaron su frecuencia. Estos resultados coinciden con los hallados por Nabinger et al. (2006).

Además, Boggiano et al. (2005) resaltan que en condiciones de sin agregado de N, se observa un aumento en la producción de gramíneas invernales al incrementar la oferta de forraje en otoño - invierno, mientras que, con dosis altas de N, la producción se incrementa al reducir la OF, es decir, al aumentar la intensidad del pastoreo.

Encontrando que, es posible alcanzar contribuciones de las gramíneas invernales que superen en más de tres veces la aportación de las gramíneas estivales, impactando significativamente en la calidad del forraje disponible, siempre y cuando estas sean pastos finos y tiernos.

### 2.6.3 En la calidad del forraje

En lo que respecta a la calidad del forraje, Moojen y Maraschin (2002) evidencian que la mejor relación entre las variables de Digestibilidad In Vitro de la Materia Orgánica (DIVMO) del campo natural y las distintas ofertas de forraje se presentó a través de un modelo de regresión lineal. En este contexto, se observó una disminución lineal en la DIVMO con la reducción de la producción primaria y el consecuente aumento en la oferta de forraje. Por otro lado, el análisis de regresión lineal indicó que a medida que la oferta de forraje aumentaba, se observaba un aumento en la proporción de material muerto en el forraje disponible, especialmente desde el comienzo del otoño hasta el final del invierno.

Moojen y Maraschin (2002) mencionan que, la calidad de la materia seca, medida a través del contenido de proteína bruta (PB) y la Digestibilidad In Vitro de la Materia Orgánica (DIVMO), disminuyó con el aumento del residuo o aumento en la oferta de forraje.

### 2.6.4 En la producción secundaria

Según Do Carmo et al. (2013) la carga animal es el elemento fundamental que incide en los resultados físicos como económicos del sistema ganadero pastoril. Este impacto de la carga animal opera mediante la oferta de forraje (kgMS/100 kg PV).

Según Soca et al. (1993, como se cita en Do Carmo et al., 2013) en un experimento de tres años sobre campo natural mejorado con inclusión de leguminosas, se encontró que las ofertas de forraje de 7,5% y 10% del PV optimizaron las ganancias por animal y por unidad de superficie respectivamente. Asimismo, se destaca la importancia de modificar la oferta de forraje a lo largo del año para poder generar variaciones estacionales en las ganancias diarias de los animales, resultados que coinciden con estudios llevados a cabo en campos nativos en la región Sur de Brasil (Nabinger et al., 2000), donde se observa que la producción animal se maximiza con asignaciones de entre 11 y 13 kg MS/100 kg de PV.

Siguiendo esta línea, Nabinger et al. (2000, como se cita en Do Carmo et al., 2013), observaron que al ajustar la oferta de forraje en un rango de 4 a 12 kg MS/100 kg de PV al día, se logró mejorar la producción de forraje en un intervalo de 11 a 16 kg MS/ha/día, así como la producción secundaria de 78 a 145 kg/ha/año.

Nabinger et al. (2006) observaron que niveles adecuados de oferta de forraje (11-13,5% de materia seca por cada 100 kg de peso vivo del animal) permiten un mejor aprovechamiento de la energía fotosintéticamente activa, incrementando tanto la productividad primaria como la secundaria, con un aumento del 80% en la eficiencia de uso de la radiación solar para la producción de forraje y un 89% en términos de ganancia de peso vivo al pasar de una oferta del 4% al 12%, siendo este último el nivel óptimo para maximizar ambas productividades; en contraste, niveles más bajos limitan la fotosíntesis por sobreexplotación, mientras que ofertas excesivas (16%) generan sombreado que reduce la eficiencia. Estos autores estudiaron diversas variables relacionadas al forraje, como la tasa de acumulación de MS/ha/día y la disponibilidad de MS/ha. A su vez, se analizaron aspectos vinculados con los animales, como la GMD y la ganancia/ha. En los resultados se obtuvo que la mayoría de estas variables presentan un rendimiento óptimo en torno al 12% de oferta de forraje, favoreciendo la producción primaria y secundaria, así como también una mayor diversidad y riqueza florística. Lo que concuerda con Moojen y Maraschin (2002) que observaron que la GMD alcanzó su valor máximo de 0,540 kg con ofertas de forraje de 13,4%.

En este mismo sentido, Mott (1960, como se cita en Bavera & Bocco, 2001) menciona que a medida que se incrementa la carga animal, la ganancia de peso individual tiende a disminuir. Sin embargo, la producción de carne por hectárea aumenta hasta alcanzar un punto óptimo de carga, a partir del cual también comienza a reducirse.

## 2.7 HIPÓTESIS BIOLÓGICA

Posterior a la sequía, la recuperación del campo natural sin intervenciones será más rápida respecto los tratamientos con fertilización nitrogenada, debido a que la cobertura de especies perennes en el campo natural es mayor en comparación con la de los tratamientos nitrogenados.

Las especies con tallos enterrados (rizomas, bulbos, tubérculos) muestran una mayor capacidad de recuperación tras el período de estrés hídrico.

La producción primaria se incrementará a medida que aumenta el grado de intensificación.

El incremento del grado de intensificación favorecerá a las especies forrajeras de mayor valor, aumentando la ganancia animal individual y la producción secundaria por unidad de superficie.

En los tratamientos nitrogenados el *Lolium multiflorum* se verá favorecido observándose un cambio en la composición vegetal, lo que puede llevar a una disminución de especies perennes nativas.

### 3.MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 PARÁMETROS EXPERIMENTALES GENERALES

##### 3.1.1 Localización y período de evaluación

El experimento tuvo lugar en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), que forma parte de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, situada en el kilómetro 363 de la Ruta No. 3 General José Gervasio Artigas, en el departamento de Paysandú, Uruguay. Dentro de las instalaciones de la Estación Experimental, este estudio se desarrolló en el potrero número 18, localizado en las coordenadas geográficas aproximadas de 32° 23' 52" de latitud Sur y 58° 2' 46.31" de longitud Oeste.

En primera instancia, la evaluación se enfocó en la resiliencia del campo natural tras experimentar estrés hídrico estival, centrándose en la determinación de la cobertura de las especies que volvían a conformar el tapiz vegetal, abarcando un período desde el 17 de marzo de 2023 hasta el 7 de junio de 2023. Los primeros tres muestreos se llevaron a cabo con un intervalo de aproximadamente 15 días, mientras que el último muestreo se realizó cuando se alcanzó la máxima cobertura verde, aproximadamente 1 mes y 20 días posteriores al tercer muestreo. Posteriormente, se llevó a cabo la segunda instancia del experimento, centrada en la evaluación de la productividad primaria y secundaria, la cual se extendió por 5 meses. Este período se dividió en dos subperíodos: otoño - invierno e invierno – primavera. El primer subperíodo, correspondiente a otoño – invierno, abarcó desde el 10 de mayo de 2023, momento en que se registró el peso vivo inicial dos días después, hasta el 18 de julio de 2023. El segundo subperíodo, correspondiente a invierno – primavera, se extendió desde el 19 de julio de 2023, hasta el 25 de septiembre de 2023.

##### 3.1.2 Caracterización del sitio experimental

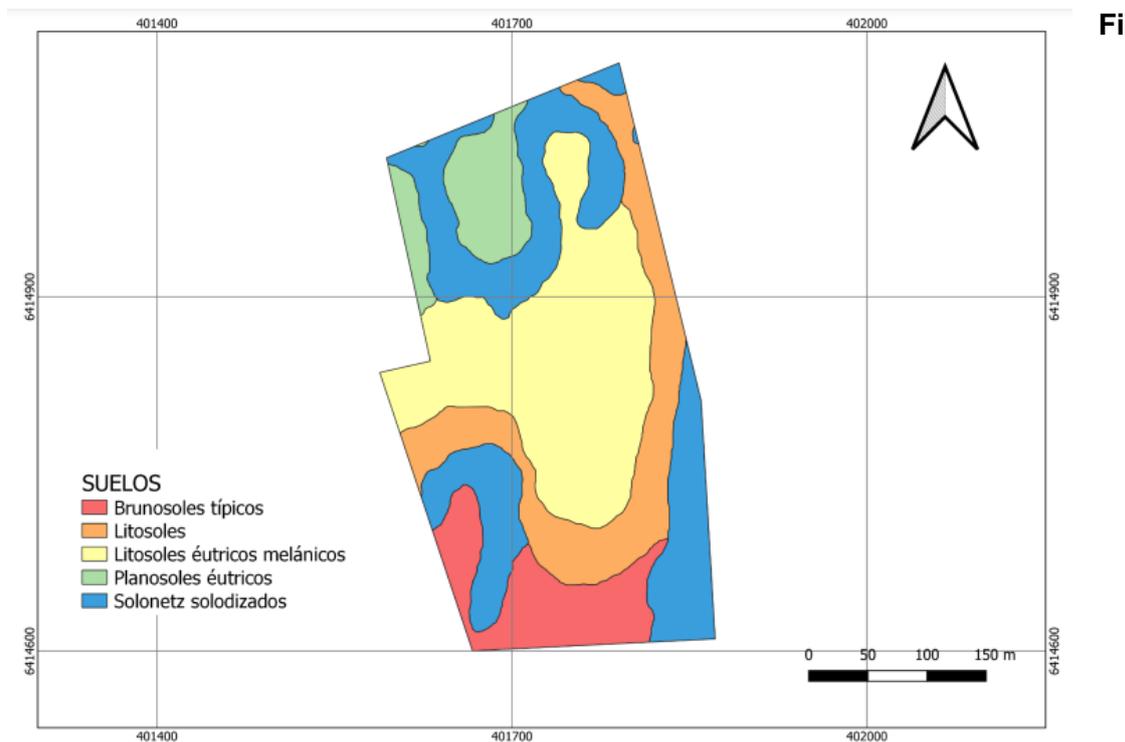
###### 3.1.2.1 Suelos

Conforme a la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, escala 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976), el área en estudio se encuentra sobre suelos pertenecientes a la Unidad San Manuel. Entre los suelos predominantes se encuentran los Brunosoles Éutricos Típicos, asociados a Brunosoles Éutricos Lúvicos y Solonetz, y como suelos secundarios se identifican los Litosoles Éutricos Melánicos y los Planosoles Éutricos Melánicos, los cuales se desarrollan sobre Lodolitas de la formación Fray Bentos (Bossi, 1969). La pendiente se caracteriza por ser moderada, con suaves

ondulaciones (Durán, 1985). En términos de productividad agrícola según el Índice de Productividad (CONEAT), estos suelos se clasifican como 11.3 y presentan un Índice de Productividad de 149 (*Descripción de suelos de Uruguay, s.f.*).

### Figura No. 1

Mapa de suelos presentes en el área experimental



Fi

Nota. Tomado de Gómez Mazzei et al. (2023).

Las áreas asignadas a cada tipo de suelo en el experimento fueron las siguientes: Brunosoles Típicos (1.17 hectáreas), Litosoles (1.3 hectáreas), Litosoles Éútricos Melánicos (1.9 hectáreas), Planosoles Éútricos (0.84 hectáreas) y Solonetz Solodizados (2.69 hectáreas). Estas áreas representan, en términos porcentuales del total, un 14.8%, 16.4%, 24%, 10,6% y 34,1%, respectivamente.

#### 3.1.2.2 Vegetación

El potrero bajo experimentación se caracteriza como campo virgen con características según lo descrito por Rosengurtt (1979), con vegetación de monte parque y una estructura distintiva compuesta por tres estratos claramente definidos.

El estrato superior se compone de especies arbóreas características de monte parque, en menor medida *Gleditsia triacanthos* L., pero principalmente *Prosopis affinis* (Spreng.) C.E.Hughes & G.P.Lewis y *Vachellia caven* (Molina) Seigler & Ebinger.

El estrato medio se caracteriza por la presencia de rebrotes pertenecientes a las especies arbóreas mencionadas anteriormente, especies arbustivas y subarbustivas como malezas de campo sucio, por ejemplo, *Baccharis coridifolia* (DC.), *Baccharis trimera* (Less.) DC., *Sida rhombifolia* L., *Sida spinosa* L. y *Solanum sisymbriifolium* Lam., y especies subarborescentes tales como *Carduus acanthoides* L., *Cirsium vulgare* (Savi.) Ten. y *Eryngium horridum* Malme.

Por último, en el estrato inferior dominan las especies gramíneas, estivales e invernales. Dentro de las estivales se encuentran *Bothriochloa laguroides* (DC.) Herter, *Coelorhachis selloana* (Hack.) A. Camus, *Paspalum dilatatum* Poir., *Paspalum notatum* Flügge, *Paspalum quadrifarium* Lam., *Setaria geniculata* (Lam.) P. Beauv, *Setaria vaginata* Spreng., y, dentro de las invernales, *Bromus auleticus*, *Lolium multiflorum*, *Piptochaetium* spp J. Presl, *Stipa setigera*, entre otras. El resto del tapiz se compone por especies de la familia *Cyperaceae* y *Juncaceae*; leguminosas nativas como *Desmodium incanum* (Sw.) DC. y *Medicago lupulina* L.; y hierbas enanas o menores, principalmente *Aspilia setosa* Griseb., *Chaptalia piloselloides* (Vahl) Baker, *Dichondra microcalyx* (Hallier f.) Fabris, *Evolvulus sericeus* Sw., *Oxalis* spp L., entre otras.

### 3.1.2.3 Antecedentes del potrero

A partir de julio de 2014, se instaló este experimento que examina diferentes niveles de intervención en un campo natural virgen, en el que el pastoreo se ajusta según la disponibilidad de forraje, y que, continúa de manera ininterrumpida hasta la fecha actual.

### 3.1.3 Descripción de los tratamientos

El experimento comprende 4 tratamientos, siendo uno de ellos un control (testigo) y los tres restantes con la adición de insumos externos. A continuación, se detallan dichos tratamientos.

El campo natural (testigo), sin intervenciones adicionales; el campo natural mejorado con incorporación de 8 kg/ha de *Trifolium pratense* L. cultivar Estanzuela 116 y 6 kg/ha de *Lotus tenuis* cultivar Matrero, junto con 40 kg P205/ha anual en otoño; el campo natural con 60 Unidades de Nitrógeno (UN) por hectárea, aplicado en forma de urea fraccionada en partes iguales entre otoño e invierno, además de 40 kg P205/ha anual en otoño; y el campo natural con 120 Unidades de Nitrógeno (UN) por hectárea, aplicado en forma de urea fraccionada en partes iguales entre otoño e invierno, complementado con 40 kg P205/ha anual en otoño. Dichas intervenciones con fósforo

y nitrógeno no se aplican desde el año 2022, y la resiembra con leguminosas no se aplica desde el año 2018.

### 3.1.4 Animales experimentales

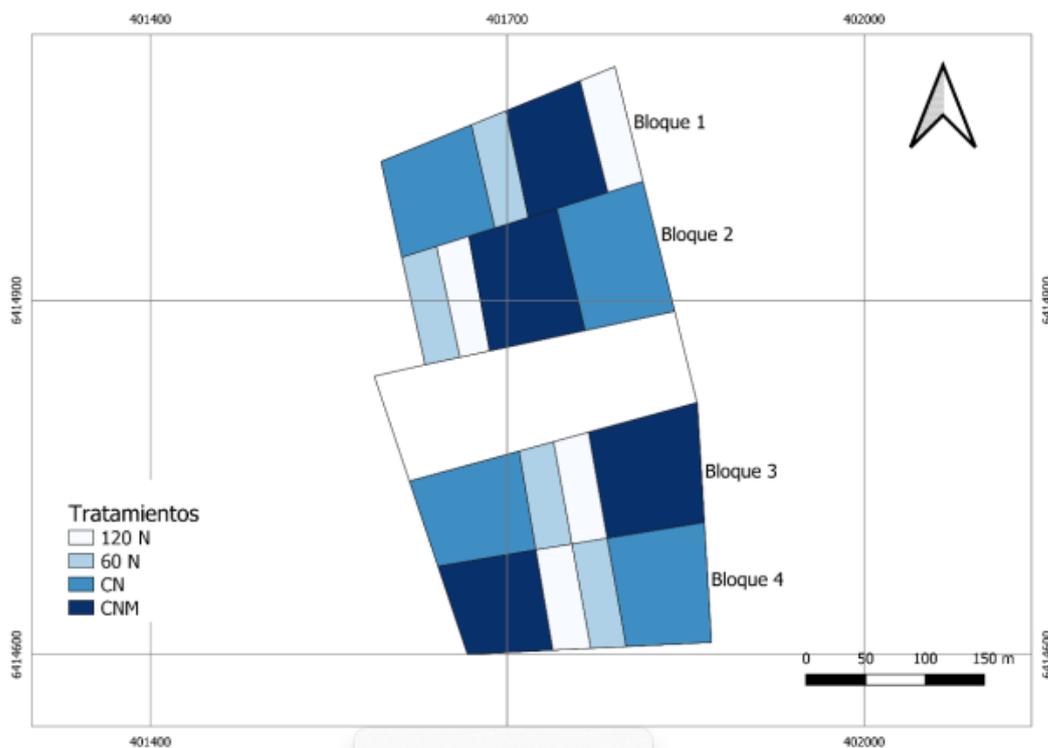
Se utilizaron vaquillonas de raza Hereford de sobreaño, presentando un peso promedio al inicio del experimento de  $278 \pm 6$  kg peso vivo (PV). Los animales fueron asignados aleatoriamente a cada tratamiento.

### 3.1.5 Diseño experimental

En el presente estudio el diseño experimental corresponde a un diseño en bloques completos al azar (DBCA), donde el área fue dividida en cuatro bloques, cada uno subdividido a su vez en cuatro parcelas. Los tratamientos fueron asignados de manera aleatoria a estas parcelas, siendo la misma, la unidad experimental. El área de las parcelas de campo natural y campo natural mejorado son de 0.7 hectáreas, mientras que las parcelas de 60 N y 120 N abarcan una extensión de 0.25 hectáreas, como se detalla en el croquis de la figura No. 2.

## Figura No. 2

*Mapa ilustrativo del diseño experimental*



*Nota.* Tomado de Gómez Mazzei et al. (2023).

### 3.1.6 Manejo experimental

El método de pastoreo utilizado es rotativo, que consiste en trasladar los animales entre distintos potreros en intervalos de tiempo fijos o variables, según la cantidad de forraje disponible y la estrategia de manejo, con el objetivo de definir claramente los períodos de ocupación y descanso (Carámbula, 1977; Millot et al., 1987). Los ciclos de pastoreo para el experimento fueron de 60 días, constituido por 15 días de ocupación y 45 días de descanso.

El pastoreo fue manejado con carga fija, asignando cuatro animales a cada parcela de CN y CNM, cada una con un área de 0.70 hectáreas, y dos animales a cada parcela de N 60 y N 120, cada una con un área de 0.25 hectáreas. Al inicio del experimento, se estableció una OF objetivo de 6 - 8 kg MS/100 kg PV para otoño – invierno y 8 - 12 kg MS/100 kg PV para primavera – verano. El experimento se llevó a cabo utilizando animales fijos, denominados "tester", y sin la presencia de animales "volantes". Como resultado, se obtuvo una OF estimada entre 3 - 4 kg MS/100 kg PV, por debajo de los valores de OF objetivo, debido a que se priorizó mantener la cantidad de animales mencionada anteriormente y así lograr mayores repeticiones.

## 3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 3.2.1 Determinación de la productividad primaria

#### 3.2.1.1 Materia seca presente

La estimación de la materia seca en el campo se realizó utilizando el método de doble muestreo, también conocido como "Método del rendimiento comparativo" desarrollado por Haydock y Shaw en 1975. Este método permite estimar la masa de forraje presente mediante cinco escalas de referencia, mediante apreciación visual, pero también de forma directa a través de cortes. Es importante resaltar que este proceso se lleva a cabo antes (kg/ha de materia seca presente pre pastoreo) y después (kg/ha de materia seca remanente) del pastoreo del ganado, y que, las escalas de referencia se determinan considerando la densidad y altura del forraje (Cayley & Bird, 1996).

Se integró el método mencionado previamente con el método Botanal, con el fin de calibrar las estimaciones visuales de materia seca presente y composición botánica, tomando en cuenta aspectos como la densidad, el análisis de frecuencia y el porcentaje de cobertura del suelo (Tothill et al., 1992).

Se llevó a cabo la recolección de datos mediante un muestreo sistemático cubriendo completamente el área de la parcela. Este proceso implicó el uso de un círculo como unidad de muestreo con un área conocida de 0,126 m<sup>2</sup>. Se recolectaron 60 muestras por parcela para los casos de CN y CNM, mientras que para los tratamientos de 60 y 120 UN se tomaron 25 muestras, ajustando la cantidad en función de las variaciones en el tamaño de las parcelas.

Se establecieron cinco escalas de referencia con una clasificación del 1 al 5 para representar diferentes niveles de disponibilidad de materia seca, donde el nivel 1 indica el menor rendimiento y el nivel 5 el mayor. El muestreo se llevó a cabo colocando el círculo en el suelo cada diez pasos, asignando visualmente a qué escala pertenecía. Se realizaron cuatro mediciones de altura por muestra para luego calcular un promedio, definiendo la altura como la distancia desde el suelo hasta la hoja verde más alta en estado vegetativo que tocaba la regla graduada.

Mediante la observación visual, se identifican las especies presentes dentro de la muestra y se adjudica su contribución a la masa de forraje según al grupo funcional adjudicado. Asimismo, se estima en porcentaje el área de suelo descubierto y de malezas de campo sucio.

Las muestras correspondientes a las escalas de referencia son cortadas al ras del suelo utilizando tijeras de esquila. Posteriormente, en el laboratorio, se determina el peso fresco de las muestras. Luego, las muestras se colocan en estufa de aire forzado a 60°C durante 72 horas para alcanzar el peso constante, lo que proporciona el peso seco. Este valor se utiliza luego para calcular el contenido de materia seca.

Finalmente, se ajustaron modelos de regresión lineal que relacionan la altura del forraje (cm), la escala y los kilogramos de MS (kg/ha de MS) proporcionados. Esto permitió obtener una ecuación con dos parámetros (a y b), los cuales fueron ingresados en la planilla Botanal. Esta planilla calcula los kilogramos de materia seca por hectárea presentes y la contribución en porcentaje de las especies y grupos presentes.

### 3.2.1.2 Materia seca disponible

La materia seca disponible (MS kg/ha) se estima sumando la materia seca presente al inicio del período de pastoreo, al producto de la tasa de crecimiento multiplicado por los días de pastoreo desde el último pastoreo. Esto refleja la cantidad total de materia seca que está disponible para el pastoreo en un área determinada en un momento específico.

### 3.2.1.3 Materia seca remanente

La materia seca remanente se estima como la MS presente al final de cada período de pastoreo o al inicio de cada período de descanso.

### 3.2.1.4 Altura de forraje presente y remanente

El criterio utilizado fue registrar las alturas desde el suelo hasta la hoja verde más alta en estado vegetativo que toca la regla graduada en centímetros. Este criterio se aplica tanto para el forraje presente como para el forraje remanente, diferenciándose únicamente en el momento de la medición, donde las alturas del remanente se miden al final del período de pastoreo. Se realizaron 60 repeticiones en las parcelas de mayor área y 30 repeticiones en las de menor área. En cada repetición, se tomaron cinco mediciones de altura, tanto de disponible como de remanente, dentro de la unidad de muestreo, y se calculó el promedio de los valores obtenidos.

### 3.2.1.5 Tasa de crecimiento diaria

La tasa de crecimiento diaria ( $\text{kg de MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ) se calcula dividiendo la materia seca acumulada en el período de descanso, calculada como la diferencia entre la materia seca presente al inicio de cada pastoreo con la materia seca remanente del período anterior en la parcela, sobre los días de descanso de la misma.

### 3.2.1.6 Materia seca producida

La materia seca producida en cada período se calcula como la suma del acumulado en el período de descanso (diferencia entre la materia seca presente al inicio de cada pastoreo y la materia seca remanente del período anterior) sumando el acumulado durante el período de pastoreo (tasa de crecimiento multiplicado por los días de pastoreo).

### 3.2.1.7 Materia seca desaparecida

La materia seca desaparecida se calcula como la diferencia entre la materia seca disponible y la materia seca remanente al final del pastoreo.

### 3.2.1.8 Porcentaje de cosecha

El porcentaje de cosecha se calcula como la cantidad de materia seca que ha desaparecido durante un período determinado en relación a la materia seca disponible del período.

### 3.2.1.9 Determinación de la composición botánica

La composición botánica fue evaluada utilizando el método Botanal (Tothill et al., 1992), el cual facilita la estimación porcentual de la contribución de especies y/o grupos funcionales previamente definidos, al forraje presente. Los grupos funcionales fueron caracterizados según hábito de vida (anual o perenne), tipo productivo (Rosengurt, 1979) y ciclo de producción (estival o invernal). En este estudio, se definieron 14 grupos funcionales que incluyen: 1- *Bromus auleticus*, 2- *Stipa setigera*, 3- *Gramínea perenne invernal tierno y tierno - ordinario*, 4- *Gramínea perenne invernal ordinario y duro*, 5- *Gramínea anual invernal*, 6- *Lolium multiflorum*, 7- *Paspalum notatum*, 8- *Paspalum dilatatum*, 9- *Gramínea perenne estival fino y tierno*, 10- *Gramínea perenne estival ordinario*, 11- *Gramínea perenne estival duro*, 12- Hierbas enanas o menores, 13- *Cyperaceae* y *Juncaceae*, 14- *Leguminosas*.

### 3.2.2 Determinación de la productividad secundaria

#### 3.2.2.1 Peso vivo

El peso vivo se estableció mediante pesadas realizadas con balanza electrónica, llevadas a cabo a intervalos de 35 días. Este intervalo de tiempo permitía que los animales pastoreen dos bloques por tratamiento. Los animales eran pesados con 12 horas de ayuno a efectos de minimizar el error causado por las fluctuaciones en el contenido del tracto digestivo debido a diferentes niveles de llenado.

#### 3.2.2.2 Carga total e instantánea

La carga total se determina ajustando el total de kilogramos de peso vivo medio (PV) a la superficie total de cada tratamiento, y se expresa en kg/ha de peso vivo (PV). Para calcular los kilogramos de peso vivo medio, se multiplica el número de animales por parcela por los kilogramos promedio inicial y final, y la superficie por tratamiento se calcula multiplicando la superficie de la parcela por cuatro.

Mientras que, la carga instantánea se determina dividiendo el total de los kilogramos de peso vivo medio por tratamiento sobre la superficie de la parcela.

#### 3.2.2.3 Ganancia media diaria

La ganancia media diaria (kg/animal/día) se calcula restando el peso final con el inicial de cada animal, dividiendo luego esta diferencia por el número de días transcurridos durante el período de tiempo considerado.

### 3.2.2.4 Ganancia por hectárea

Se calcula multiplicando la ganancia media diaria de peso por animal, por los días de pastoreo entre pesajes consecutivos y por el número total de animales pastoreando en el área. Este valor se ajusta dividiéndolo por el número de hectáreas de cada tratamiento.

### 3.2.2.5 Oferta de forraje

La oferta de forraje se calcula como los kg de materia seca ofertados cada 100 kg de peso vivo por día. Se calcula dividiendo la materia seca disponible por hectárea y por día, por el total de kg de PV/ha y se expresa como porcentaje de PV.

## 3.3 MODELO ESTADÍSTICO

### 3.3.1 Productividad primaria

#### 3.3.1.1 Producción teniendo en cuenta el efecto período

En esta sección se analiza la producción acumulada en cada período de estudio. Para este análisis, se utiliza un modelo experimental que corresponde a un diseño en bloques completos al azar, representado estadísticamente de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \xi_{ij} + P_k + (\tau P)_{ik} + \xi_{ijk}$$

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

$$j = 1, 2, 3, 4 \quad k = 1, 2$$

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 experimental (entre tratamientos)
- $P_k$ = efecto del k-ésimo período

- $(\tau P)_{ik}$  = efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y el k-ésimo período
- $\xi_{ijk}$  = error residual (dentro de unidades experimentales)

### 3.3.1.2 Producción total acumulada

El modelo utilizado para el análisis de la producción total acumulada corresponde a 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  $Y_{ij}$ .

### 3.3.1.3 Contrastes ortogonales

Se testó las diferencias entre los niveles de intensificación creciente mediante contrastes ortogonales.

C1: CN - 1/3 CNM - 1/3 60N - 1/3 120N: compara el CN con el promedio de los tratamientos mejorados y fertilizados.

C2: 0CN + CNM - 1/2 60N - 1/2 120N: compara el CNM con el promedio de los fertilizados con N.

C3: 0CN + 0CNM - 60N + 120N: compara los niveles de fertilización nitrogenada.

Cuando se presentan seis contrastes, los contrastes C1, C3 y C5 corresponden al primer período de evaluación, y los contrastes C2, C4 y C6 al segundo período de evaluación.

### 3.3.2 Productividad secundaria

El modelo estadístico utilizado para analizar la GMD corresponde a un diseño completamente al azar (DCA) con parcelas divididas en el tiempo, representado como:

$$Y_i = \beta_0 + \tau_i + \beta_1 PV_{li} + \varepsilon_i$$

Siendo:

- $Y_i$ : variable de interés.
- $\beta_0$ : media general corregida por la covariable.
- $\tau_i$ : efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.
- $\beta_1$ : coeficiente de regresión de la covarianza  $PV_{li}$ .
- $PV_{li}$ : peso vivo inicial.
- $\varepsilon_i$ : error aleatorio asociado a la observación  $Y_i$ .

### 3.3.3 Hipótesis estadística

#### Modelo producción total

$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4$      $H_a: T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4$  efecto de los tratamientos

#### Modelo tratamientos por períodos

$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4$      $H_a: T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4$  efecto de los tratamientos

$H_0: \delta_1 = \delta_2$      $H_a: \delta_1 \neq \delta_2$  efecto de los períodos

$H_0: (\tau\delta)_{ik} = 0$      $H_a: (\tau\delta)_{ik} \neq 0$  efecto de la interacción

#### Comparación por contrastes

$H_0: C_1 = 0$      $H_a: C_1 \neq 0$  Efecto de la intervención en el período otoño – invierno.

$H_0: C_2 = 0$      $H_a: C_2 \neq 0$  Efecto del mejoramiento vs la fertilización N en el período otoño – invierno.

Ho:  $C3=0$       Ha:  $C3\neq0$  Efecto del nivel de N en el período otoño – invierno.

Ho:  $C4=0$       Ha:  $C4\neq0$  Efecto de la intervención en el período otoño – invierno.

Ho:  $C5=0$       Ha:  $C5\neq0$  Efecto del mejoramiento vs la fertilización nitrogenada en el período otoño – invierno.

## 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

#### 4.1.1 Temperatura y precipitaciones

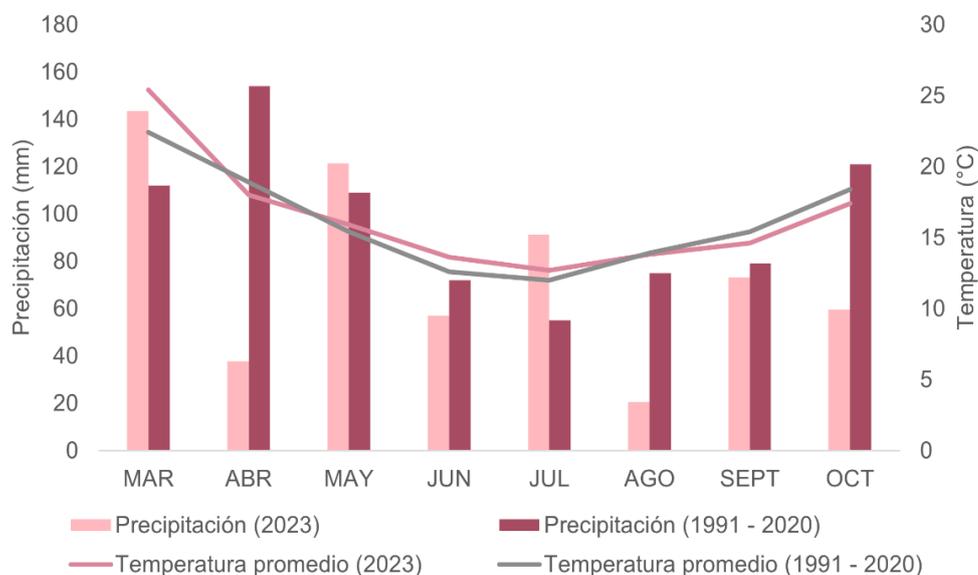
La figura No. 3 muestra cómo han evolucionado las precipitaciones acumuladas y las temperaturas promedio mensuales durante el año de estudio (2023), según los datos recopilados de la Estación Meteorológica de la EEMAC. Además, se comparan estas cifras con las precipitaciones acumuladas promedio y las temperaturas promedio para una serie de años (1991-2020) obtenidos de la Estación Meteorológica de Paysandú, según datos del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, 2023).

Se puede observar que la temperatura promedio para los meses comprendidos entre marzo y junio de 2023 fueron más altos que los promedios históricos, indicando un período más cálido de lo normal, y entre julio y septiembre estuvieron dentro del rango de los promedios históricos, con algunos meses ligeramente más cálidos y otros ligeramente más fríos. En cuanto al período del experimento, las temperaturas fueron generalmente más altas que los promedios históricos, especialmente en los primeros meses.

Durante el período del experimento, se observó una variabilidad significativa en las precipitaciones, con algunos meses mostrando niveles superiores y otros inferiores a los promedios históricos correspondientes. El comienzo del otoño se caracterizó por una notable cantidad de lluvias, seguido de meses como mayo y julio que experimentaron precipitaciones por encima de las registradas en la serie climática anterior (1991-2020). Sin embargo, los demás meses mostraron déficits, lo que podría afectar la disponibilidad de agua en el suelo y su respectiva carga (véase tabla A1 en anexo).

**Figura No. 3**

*Evolución de PP acumulada y T. media en 2023 y serie histórica para Paysandú*



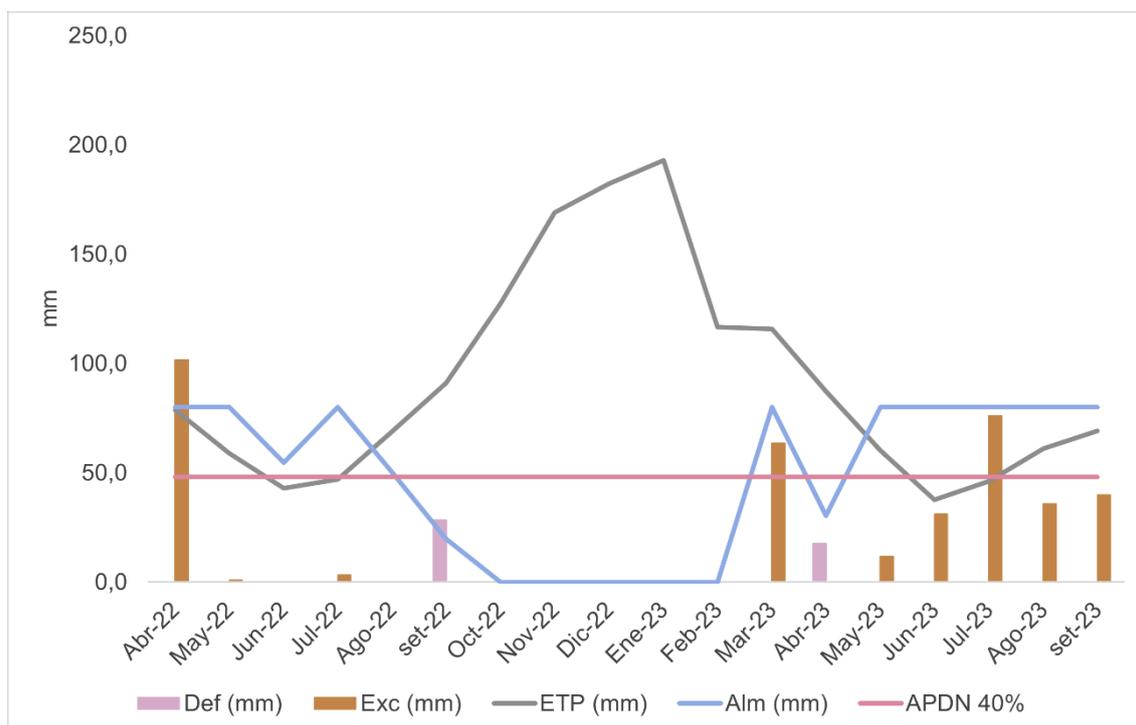
*Nota.* PP acumulada = Precipitación acumulada (mm); T. media = Temperatura media (°C). Datos de precipitación y temperatura de 2023 obtenidos de la Estación Meteorológica de la EEMAC. Promedios históricos (1991-2020) obtenidos de INUMET (2023).

#### 4.1.2 Balance hídrico

Mediante los datos de precipitaciones y evapotranspiración potencial obtenidos de las mediciones realizadas en la Estación Meteorológica de la EEMAC se realizó el balance hídrico correspondiente al período comprendido entre abril de 2022 y septiembre de 2023. A partir de este se estimó el almacenaje de agua mensual acumulado en el suelo (Alm), así como los déficit y excesos hídricos. Para la realización del balance se consideró un valor de Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN) de 80 mm, similar a lo que dice Molfino (2009), y, para el cálculo del déficit se tomó como punto de referencia el 40% del Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN), ya que, según García Petillo (2012), por debajo de este porcentaje se dificulta la absorción de agua por parte de las plantas.

**Figura No. 4**

*Relación entre almacenaje de agua en el suelo, ETP y déficit/excesos hídricos*



*Nota.* Análisis correspondiente al período experimental (marzo – septiembre 2023) y a los meses previos al inicio de la investigación (abril 2022 – febrero 2023). Almacenaje de agua mensual acumulado en el suelo = Alm; ETP = Evapotranspiración Potencial con respecto al 40% del agua potencialmente disponible neta (APDN 40%).

Según los resultados obtenidos, durante el período comprendido entre abril del 2022 y septiembre de 2023, se observó una variabilidad significativa en la disponibilidad hídrica del suelo, producto de la interacción entre las precipitaciones registradas y la Evapotranspiración Potencial (ETP).

Entre abril y octubre de 2022 se registraron alternancias entre balances hídricos negativos y positivos. En abril, mayo y julio se alcanzó el valor máximo de agua potencialmente disponible neta (80 milímetros). No obstante, en octubre el almacenaje mensual acumulado (Alm) cayó a 0 mm y no se logró reponer completamente la reserva de agua en el suelo.

Desde noviembre de 2022 hasta febrero de 2023, el almacenaje mensual acumulado en el suelo se mantuvo en 0 mm, reflejando condiciones de baja disponibilidad hídrica.

Durante el período de la investigación (marzo 2023 – septiembre 2023) se observaron excesos hídricos y una adecuada disponibilidad de agua en el suelo debido a que el almacenaje de agua mensual acumulado en el suelo se mantuvo en el valor máximo de 80 milímetros, indicando períodos de suficiencia hídrica lo cual es adecuado para la absorción de agua por las plantas; a excepción del mes de abril, en el que se registró una deficiencia hídrica de 17.59 milímetros.

Esta situación se debió a una combinación de menores precipitaciones y una alta demanda atmosférica, expresada como elevada Evapotranspiración Potencial (ETP). Como resultado, el almacenaje de agua mensual en el suelo (Alm) descendió por debajo del umbral del 40% del Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN), lo que implicó una limitante para el crecimiento vegetal (véase tabla A2 en anexo).

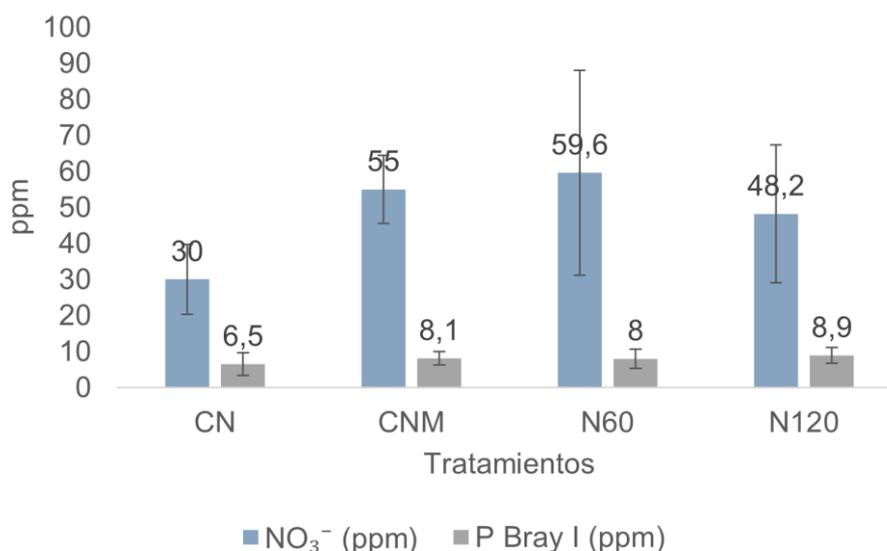
Previo al análisis de los resultados se presentan en la figura No. 5 los valores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y fósforo disponible (P Bray I) en el suelo al inicio del experimento. Para una visualización más detallada de los resultados véase tabla A3 en anexo.

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.2.1 Análisis de suelo de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y fósforo disponible (P Bray I) en el suelo al inicio del experimento

#### Figura No. 5

Contenido de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y fósforo disponible (P Bray I) en el suelo al inicio del experimento

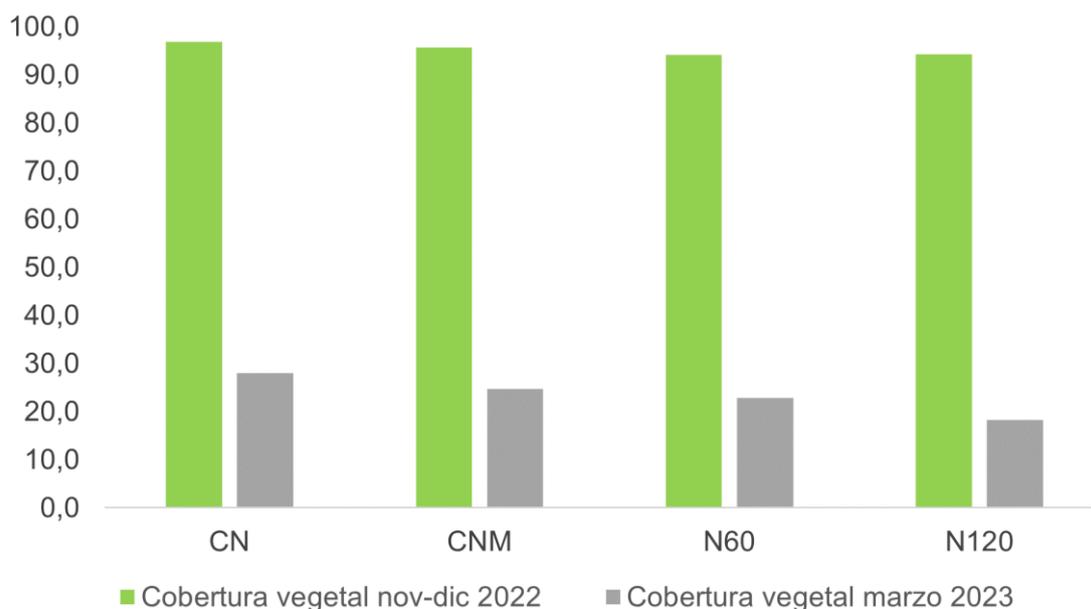


Se observa en la figura No. 5 que el contenido de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en el suelo fue más bajo en CN (30 ppm), en comparación con CNM (55 ppm), N 60 (59.6 ppm) y N 120 (48.2 ppm), lo que podría reflejar el efecto de la fertilización nitrogenada en estos últimos. Aunque CNM no recibió nitrógeno, su valor intermedio de  $\text{NO}_3^-$  puede deberse a una mayor mineralización de la materia orgánica favorecida por la fertilización fosfatada, en combinación con la actividad biológica del suelo, y al aporte de las leguminosas introducidas en años anteriores. En cuanto al fósforo disponible (P Bray I), los tres tratamientos intervenidos (CNM, N 60 y N 120) mostraron niveles más altos que CN (6.5 ppm), con valores entre 8.0 y 8.9 ppm.

#### 4.2.2 Impacto del déficit hídrico sobre la cobertura verde en dos muestreos contrastantes

##### **Figura No. 6**

*Cobertura verde en nov-dic 2022 y marzo 2023*



*Nota.* Los datos de cobertura vegetal (nov-dic 2022) fueron proporcionados por G. Machado (comunicación personal, diciembre, 2022).

Como se observa en la figura No. 6, la cobertura vegetal luego del déficit hídrico estival se encontró notoriamente muy por debajo respecto a la cobertura previa a este. Esto indica que el déficit hídrico presenta un gran impacto sobre la cobertura verde en campo natural ya sea con el agregado de insumos externos o sin el agregado de estos.

#### 4.2.3 Recuperación del tapiz vegetal post estrés hídrico estival: el papel de las especies regeneradoras.

Se analizaron las variables que caracterizan el tapiz vegetal post estrés hídrico estival, considerando el efecto tratamiento, período y su interacción, con sus respectivas significancias estadísticas. Estos resultados se presentan en la tabla No. 1, a través de la cual se muestra que, para todas las variables analizadas no hubo efecto de los tratamientos. En cuanto al efecto del período las variables que no presentaron significancia fueron *Paspalum notatum*, Gramíneas perennes estivales e invernales, Leguminosas e Hierbas enanas o menores. Por último, únicamente la variable suelo descubierto presentó efecto interacción tratamiento \* período, siendo las demás no significativas.

**Tabla No. 1**

*Caracterización del tapiz vegetal post estrés hídrico estival, considerando el efecto tratamiento, período e interacción*

VARIABLES	Efecto Tratamiento	Efecto Período	Efecto interacción Trat.*Período
Cobertura verde	ns	**	ns
Suelo descubierto	ns	**	*
<i>Paspalum notatum</i>	ns	ns	ns
<i>Stipa setigera</i>	ns	**	ns
<i>Cyperaceae y Juncaceae</i>	ns	*	ns
<i>Lolium multiflorum</i>	ns	**	ns
<i>Bromus auleticus</i>	ns	*	ns
Gramíneas perennes estivales	ns	ns	ns
Gramíneas perennes invernales	ns	ns	ns
Leguminosas	ns	ns	ns
Hierbas enanas o menores	ns	ns	ns
Malezas de campo sucio	ns	**	ns

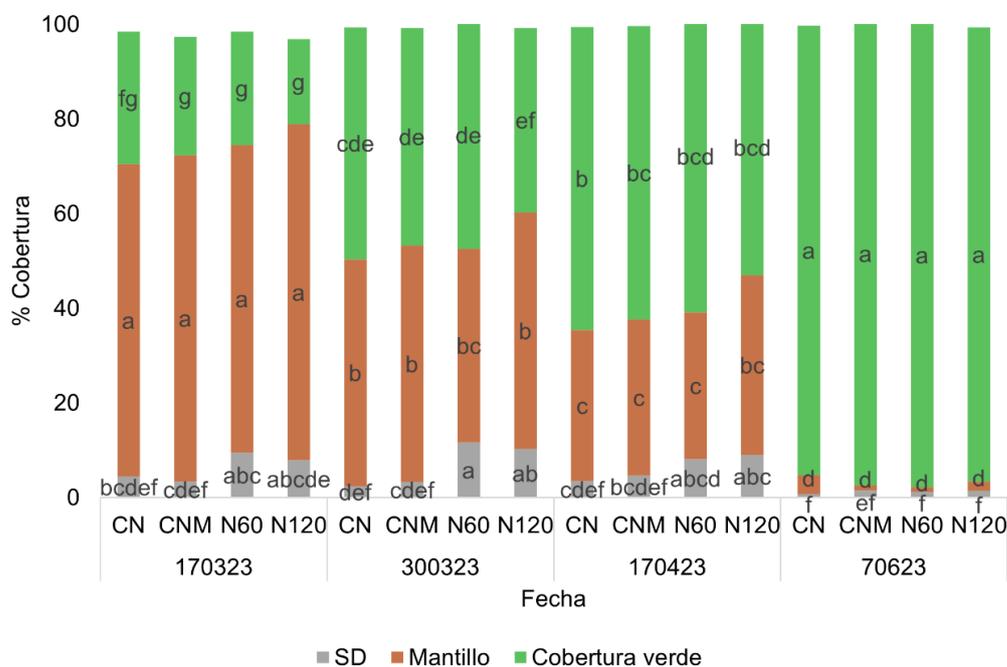
Nota. ns: no significativo; \*\* significativo al 1%; \* significativo al 5%.

A continuación, se presentan una serie de figuras que muestran la evolución del suelo descubierto y del mantillo, la cobertura verde, la composición del tapiz vegetal según el comportamiento de diferentes grupos funcionales, así como la evolución de la relación entre especies invernales y estivales en los distintos tratamientos analizados a lo largo del período experimental. Cada figura incluye un análisis detallado de las variaciones observadas, lo que permite evaluar los efectos de los tratamientos sobre la dinámica del campo natural.

4.2.3.1 Evolución de la proporción de suelo descubierto, cobertura verde y mantillo en cuatro tratamientos a lo largo del período analizado.

### Figura No. 7

*Evolución de suelo descubierto, cobertura verde y mantillo en cuatro tratamientos*



*Nota.* Evolución porcentual a lo largo del período analizado.

Como se observa en la figura No. 7, y en las tablas A4 y A5 en anexo, para suelo desnudo en el primer muestreo no se observaron diferencias significativas entre ningún tratamiento. En el segundo muestreo, los tratamientos nitrogenados no presentaron diferencias significativas entre sí, al igual que los tratamientos CNM y CN. Sin embargo, se encontraron diferencias entre los grupos de tratamientos nitrogenados y no nitrogenados, presentando los nitrogenados mayor proporción de suelo descubierto.

Esto puede explicarse por las altas precipitaciones ocurridas en marzo (véase figura No. 3), por encima del promedio histórico, las cuales provocaron un aumento en la proporción de suelo desnudo para los tratamientos nitrogenados (figura No. 8), ya que

el tapiz vegetal no era lo suficientemente denso para disminuir la fuerza del agua y controlar el arrastre del mantillo causada por la misma. En cambio, los tratamientos no nitrogenados no presentaron un aumento del suelo descubierto debido a las precipitaciones.

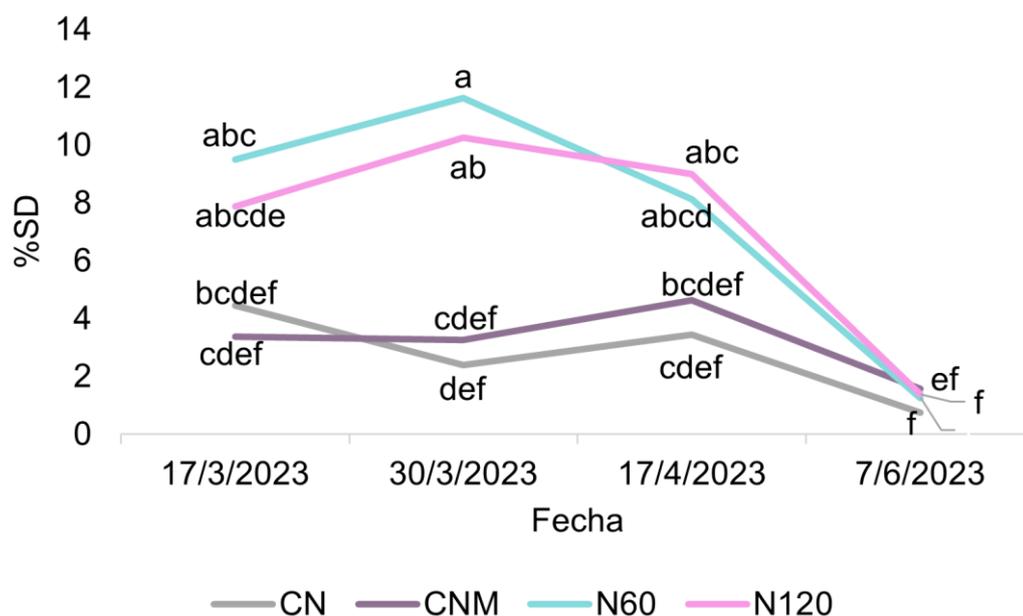
En el tercer muestreo, aunque la proporción de suelo descubierto en términos absolutos fue tres veces superior para los tratamientos nitrogenados, no se observaron diferencias significativas en comparación con los tratamientos no nitrogenados.

Por último, en el cuarto muestreo, donde el tapiz vegetal de todos los tratamientos se recuperó del déficit hídrico estival, no se registraron diferencias en la proporción de suelo descubierto entre los diferentes tratamientos.

Por otro lado, en la figura No. 8 se aprecia que los valores de suelo descubierto en CN y CNM son similares en todas las fechas de muestreo sin diferencias significativas, no así en los tratamientos nitrogenados que presentaron mayores valores de suelo descubierto en los tres primeros muestreos con relación al último.

#### Figura No. 8

*Evolución de suelo descubierto en cuatro tratamientos con su correspondiente significancia*



*Nota.* Evolución porcentual a lo largo del período analizado.

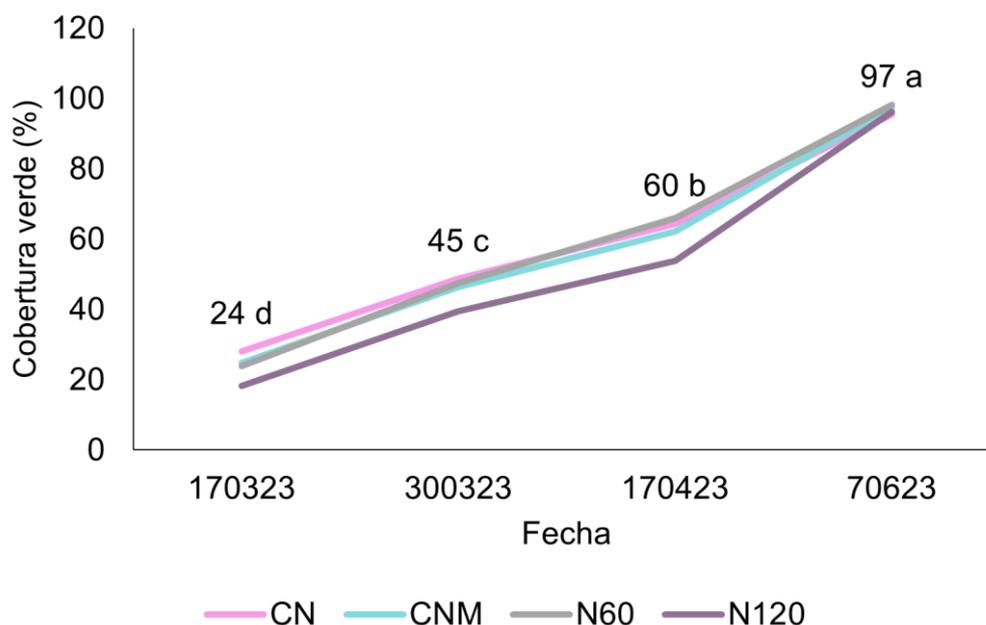
En base a esto, se puede concluir que los tratamientos nitrogenados, luego del déficit hídrico estival, muestran una mayor vulnerabilidad a los efectos erosivos de las

precipitaciones durante el proceso de recuperación de la cobertura verde. Esto se debe a la mayor proporción de suelo descubierto, lo que permite que las gotas de lluvia impacten directamente sobre el suelo incrementando su poder erosivo.

Por otro lado, la figura No. 9 ilustra la evolución de la cobertura verde a lo largo del período analizado, comparando los distintos tratamientos y el promedio por fecha de muestreo. De acuerdo con el análisis estadístico realizado (véase tabla A4 en el anexo), no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo muestreo.

### Figura No. 9

*Evolución de cobertura verde por tratamientos y promedio por fecha de muestreo*



*Nota.* Evolución de cobertura verde a lo largo del período analizado.

No obstante, al analizar las diferencias entre muestreos, se evidenció que, en el segundo muestreo, la cobertura verde de todos los tratamientos fue significativamente superior a la del primer muestreo, con excepción del tratamiento N120, cuyo comportamiento no presentó diferencias significativas en comparación con el testigo del primer muestreo.

En el muestreo 3, al compararlo con el muestreo 2, los tratamientos CN y CNM presentaron diferencias con los tratamientos CNM, N60 y N120 del muestreo 2, pero no se diferenciaron significativamente del testigo del mismo muestreo. Además, los tratamientos nitrogenados del muestreo 3 mostraron diferencias con el tratamiento N120 del muestreo 2.

Finalmente, el muestreo 4 presentó diferencias estadísticamente significativas en comparación con los demás muestreos.

En síntesis, los únicos tratamientos que mostraron diferencias consistentes entre muestreos consecutivos fueron CN y CNM. Esto podría indicar una recuperación más rápida del tapiz vegetal debido a la resiliencia de las especies componentes.

Por último, en el cuarto muestreo, todos los tratamientos lograron alcanzar el 100% de cobertura vegetal. Además, aunque los tratamientos N60 y N120 tuvieron un comportamiento similar, se observó en términos absolutos una recuperación más rápida de la cobertura verde del N 60 en comparación con el N 120.

#### 4.2.3.2 Evolución de la cobertura verde de distintos grupos funcionales y especies dentro del tapiz.

En la figura No. 10 se presenta la cobertura de gramíneas invernales, las cuales no registraron diferencias significativas entre tratamientos, pero sí entre muestreos a excepción del grupo GPI que no superó el 1% de cobertura. Las otras tres especies se comportaron de manera similar durante los muestreos aumentando su cobertura progresivamente.

#### Figura No. 10

*Evolución de cobertura verde para gramíneas invernales en cuatro tratamientos y fechas de muestreo*



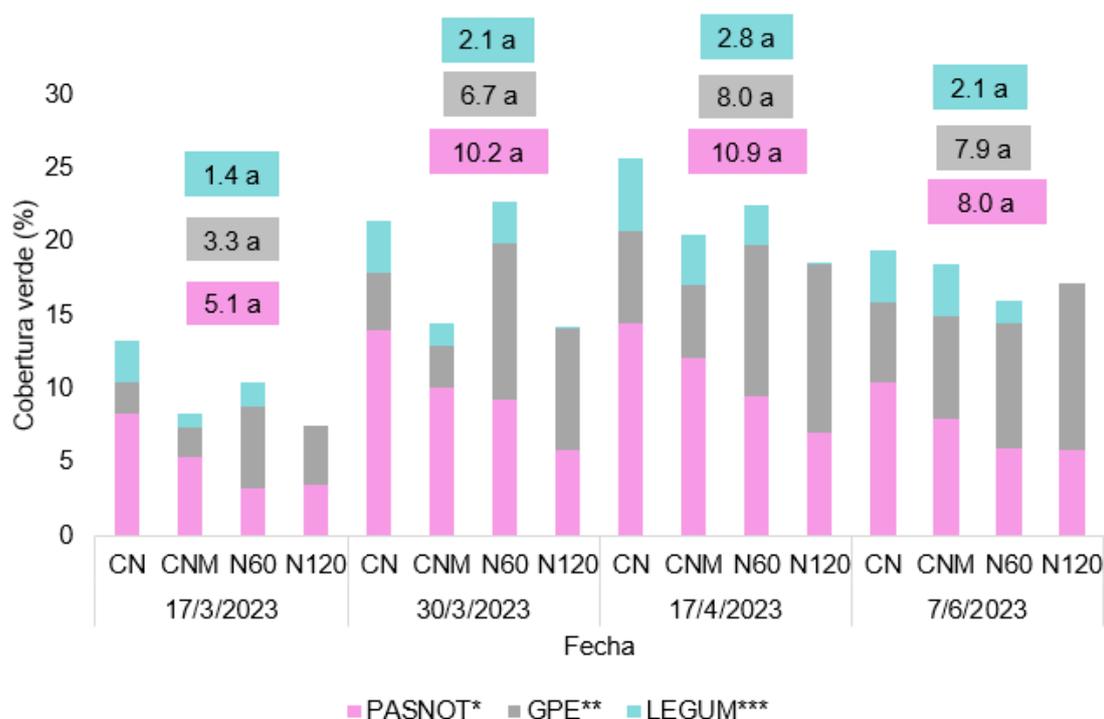
Nota. Se presentan las medias por muestreo. \**Stipa setigera*; \*\**Lolium multiflorum*; \*\*\**Bromus auleticus*; \*\*\*\**Gramíneas perenne invernal*.

Por otro lado, en el cuarto muestreo, donde se alcanzó el máximo porcentaje de cobertura verde para todos los tratamientos, se observó que el CN y CNM presentaron una proporción más alta de *Bromus auleticus* y *Stipa setigera* en comparación con los tratamientos nitrogenados, y, en estos últimos, la participación de *Lolium multiflorum* fue mayor, siendo el *Bromus auleticus* el más afectado por esta mayor presencia del raigrás en comparación con los tratamientos sin nitrógeno. Lo que concuerda con lo registrado por Millot et al. (1987) y Duhalde y Silveira (2018), donde la fertilización nitrogenada provoca una anualización del tapiz vegetal.

La evolución de la cobertura de gramíneas estivales y de leguminosas no presentó diferencias significativas entre tratamientos dentro de fechas de muestreo (figura No. 11), si bien la participación de las leguminosas parece reducirse con el agregado de nitrógeno, en tanto que las GPE aparentan aumentar en los tratamientos nitrogenados.

**Figura No. 11**

*Evolución de cobertura verde para gramíneas estivales y leguminosas en cuatro tratamientos*



Nota. Evolución de cobertura verde en cuatro fechas de muestreo. \*Paspalum notatum; \*\*Gramíneas perenne estival; \*\*\*Leguminosas.

A su vez, se observa un aumento del *Paspalum notatum* hasta el tercer muestreo, en todos los tratamientos comenzando a disminuir su cobertura verde en el cuarto muestreo. Esto puede atribuirse principalmente a la competencia con las

gramíneas invernales fina y tierna - fina, las cuales aumentan su proporción en los tratamientos nitrogenados, dado que el uso de fertilizante de dicho nutriente incrementa su disponibilidad en el suelo, favoreciendo el crecimiento de gramíneas que responden mejor a los altos niveles de nitrógeno, desplazando al *Paspalum notatum* (Belora Gaitán et al., 2017). En el campo natural y campo natural mejorado, el desplazamiento puede explicarse por un mayor crecimiento de las gramíneas invernales durante el invierno, las cuales se vieron favorecidas por el déficit hídrico que facilitó su rebrote y una mejor implantación del raigrás y otras especies invernales, disminuyendo así la capacidad competitiva de las especies estivales. A esto se suma la disminución de la temperatura y la reducción en las horas de luz, que provocan una marcada relentización en los ritmos de crecimiento de las especies estivales (*Paspalum notatum*, entre otras), tal como lo describe Rosengurt (1946). En años normales, la producción de forraje y la intensidad de crecimiento alcanzan su punto máximo entre marzo y abril, sin embargo, con la llegada del frío en mayo – junio, el crecimiento cesa y las especies pierden su lozanía, dando lugar a un reposo invernal bien definido, aunque con diferencias en su duración según la especie.

Además, los tratamientos nitrogenados presentaron una mayor proporción de gramíneas estival tierno y tierno – ordinario, que también incrementó hasta el tercer muestreo.

Millot et al. (1987, como se cita en Carrasco & Juárez 2022), señalan que, esta especie presenta rizoma estoloniforme, muy abundante, frecuente y de gran cobertura en los campos naturales del país, además, es una de las especies nativas que presenta mayor tolerancia al déficit hídrico, conservando la buena calidad de su forraje aún en estas condiciones.

En cuanto a las leguminosas, se observa que el tratamiento CN presentó en todos los muestreos la mayor proporción de ellas, mientras que la baja proporción en el tratamiento CNM podría atribuirse al efecto de la sequía. Un resultado relevante ocurrió en el tratamiento N120, donde en todo el período analizado no se registró presencia de leguminosas.

Las especies leguminosas presentan rangos menores de adaptación que las especies gramíneas, requiriendo hábitats más definidos hidrológicamente. En este análisis nos referimos específicamente a las leguminosas sembradas.

Se entiende que

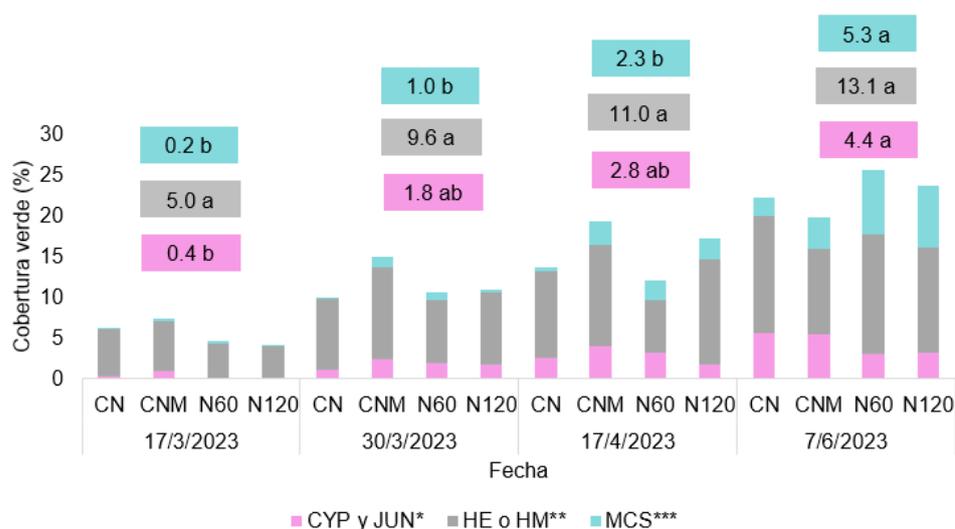
la mayor susceptibilidad de las leguminosas frente a las gramíneas estaría dada por una menor longitud de raíces por volumen de suelo y a una menor capacidad para reducir la pérdida de agua por transpiración.... El estrés hídrico que sufren las leguminosas bajo condiciones de humedad limitada se agudiza en presencia de gramíneas asociadas (Carámbula & Terra, 2000, p. 56).

No obstante, es importante destacar que, a diferencia de las leguminosas sembradas, las leguminosas nativas desarrollan diversas estructuras de resistencia, como raíces profundas y engrosadas, así como xilopodios, órganos especializados que funcionan como reservorio de agua y nutrientes. Ejemplo de especies nativas que presentan xilopodios son *Desmanthus* y *Stylosanthes*. Estas adaptaciones les confieren una mayor capacidad para tolerar ambientes sometidos a estrés hídrico (Ciotti et al., 2014).

En la figura No. 12, se aprecia que la cobertura verde de las *Cyperaceae*, *Juncaceae* e hierbas enanas o menores fue variable para los cuatro tratamientos, mostrando una tendencia al aumento con las fechas de muestreo, pero sin diferencias entre tratamientos.

### Figura No. 12

Evolución de cobertura verde de *Cyperaceae* y *Juncaceae*, hierbas enanas y menores, y MCS



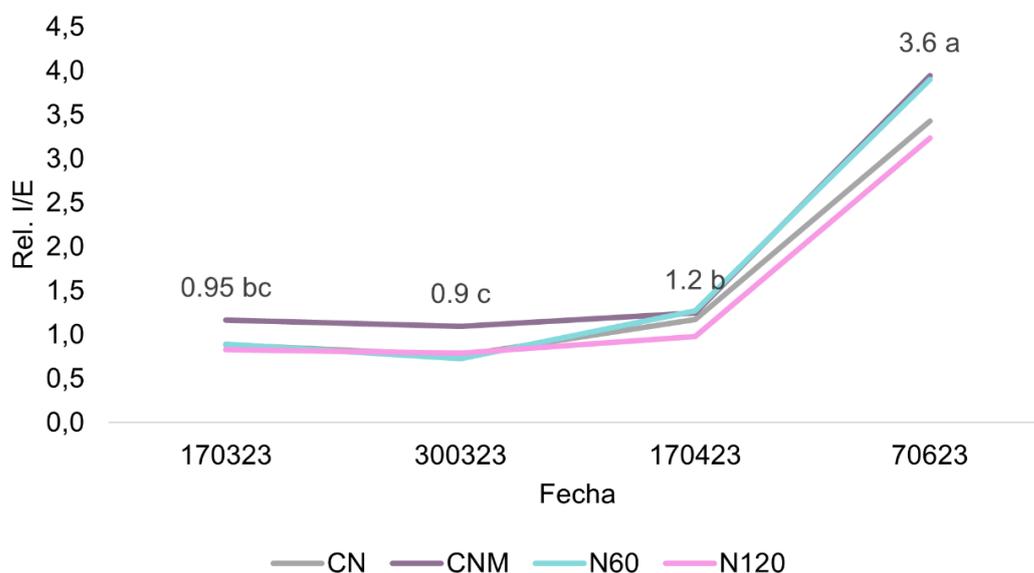
*Nota.* Evolución de cobertura verde para especies agrupadas por *Cyperaceae* y *Juncaceae*, hierbas enanas y menores, y malezas de campo sucio, en los cuatro tratamientos, a través del tiempo. \*Cyperaceae y Juncaceae; \*\*Hierbas enanas o menores; \*\*\*Malezas de campo sucio.

Por otro lado, las Malezas de Campo Sucio (MCS) aumentaron progresivamente en los cuatro tratamientos, destacándose una diferencia en el último muestreo para los tratamientos nitrogenados, donde la participación de *Carduus acanthoides* y *Cirsium vulgare* fue mayor. Esto último se debe a la mayor proporción de suelo desnudo de estos tratamientos, lo que incrementó el número de ventanas de emergencia para dichas malezas de campo sucio.

La relación invernal/estival fue mayor en CNM en los dos primeros muestreos (figura No. 13) en comparación con los demás tratamientos, los cuales se comportaron de manera similar.

**Figura No. 13**

*Evolución de la relación entre especies invernales y estivales*



*Nota.* Evolución de la relación en cobertura y promedio por fecha de muestreo a lo largo del período analizado

En el tercer muestreo se evidenció una recuperación de las especies invernales en los tratamientos N 60 y CN, alcanzando los valores del CNM. El tratamiento N120 mostró una leve recuperación, aunque permaneció en valores inferiores al resto de los tratamientos.

En el cuarto muestreo, momento en que se alcanzó la máxima cobertura del tapiz vegetal, los tratamientos CNM y N 60 mantuvieron la mayor relación invernal/estival en comparación con los tratamientos CN y N 120, que registraron valores inferiores.

Como menciona Pereira (2011), los pastos anuales invernales se favorecen por las secas estivales, debido a que no afectan su banco de semilla, sacrificando su producción de pasto en favor de la semillazón, ya que la misma es el único mecanismo de sobrevivencia. Además, se favorecen por los espacios libres que dejan las especies estivales sensibles a la sequía, las cuales son las más afectadas por los efectos del déficit hídrico. En la misma línea, las especies perennes invernales son afectadas en menor medida, ya que permanecen en reposo durante el período de máximo estrés estival, por lo tanto, en la sequía del año 1942 – 1943, como en la del año 1988 – 1989, se observó una invernalización del campo natural.

#### 4.2.4 Producción primaria

##### 4.2.4.1 Producción de forraje para el total del período

Analizando los resultados presentados en la tabla No. 2 correspondiente al total del período analizado, se observa en cuanto a la MS producida que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos N 120 y CNM con el testigo CN, sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre N 60 con el testigo CN, lo cual concuerda con lo mencionado por Zanoniani et al. (2011), quienes señalan que a menores ofertas de forraje y con el agregado de nitrógeno se promueve un rebrote más rápido, alcanzando antes el IAF y logrando así una mayor TC. Esto último indica que el campo natural fertilizado con N60 produce significativamente más MS por hectárea en comparación con el campo natural sin fertilizar.

**Tabla No. 2**

Efecto de los tratamientos sobre MS Producida y TC para el total del período analizado

Tratamiento	MS Producida (kg/ha)	TC (kg MS/ha/día)
CN	2547 b	12 a
CNM	3239 ab	15 a
N 60	4317 a	19 a
N 120	3519 ab	16 a

*Nota.* MS = Materia Seca; TC = Tasa de Crecimiento. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Como se observa en la tabla No. 2, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento N 60 respecto el testigo CN, pero no hubo significancia entre N 60, N 120 y CNM.

En relación a la TC, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, a diferencia de lo reportado por Carámbula (1992) quien sugiere que, el CNM presenta producciones considerablemente superiores a las del campo natural durante el período otoño-invernal, debido a una mayor tasa de crecimiento.

La siguiente tabla No. 3 resume el efecto en los diferentes tratamientos sobre la MS presente pre pastoreo y remanente, así como las alturas correspondientes. Estas variables permiten evaluar tanto la cantidad de forraje disponible como el remanente tras el pastoreo, ofreciendo una visión integral del impacto de la fertilización y la introducción de leguminosas en la estructura del campo natural. A través de este análisis, se destacan las diferencias significativas entre tratamientos en términos de la disponibilidad y la altura de forraje, así como las variaciones en el remanente tras la intervención.

**Tabla No. 3**

*Efecto de tratamientos sobre la MS Presente, altura presente, MS Remanente y altura remanente*

Tratamiento	MS Presente pre pastoreo (kgMS/ha)	Altura presente pre pastoreo (cm)	MS Remanente (kgMS/ha)	Altura remanente (cm)
CN	1242 b	13 b	583 a	6 a
CNM	1554 ab	14 ab	781 a	8 a
N 60	1844 a	17 a	696 a	7 a
N 120	1546 ab	17 a	756 a	9 a

*Nota.* MS Presente pre pastoreo y altura presente pre pastoreo. Para el total del período analizado. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Como se muestra en la tabla No. 3, se identifican diferencias significativas en MS Presente pre pastoreo siendo significativamente mayor N 60 frente al testigo. El CNM y N 120 presentan valores que no difieren estadísticamente de N 60 o del CN. La variable "Altura presente pre pastoreo" fue superior en los tratamientos nitrogenados respecto el testigo CN, por otra parte, el CNM no presenta diferencias con ellos. Para las variables "MS Remanente" y "Altura Remanente", no se observan diferencias significativas entre los tratamientos. En resumen, se concluye que hay variaciones significativas en la respuesta de las variables analizadas entre los distintos tratamientos con fertilización, destacando las diferencias en "MS Presente pre pastoreo" y "Altura Presente pre pastoreo".

Es esencial tener en cuenta, conforme señala Carámbula (1997), que las condiciones climáticas, tal como el déficit hídrico estival que se presentó en el experimento, pueden influir de manera diferente en la respuesta de cada componente de la pastura ante la fertilización nitrogenada. En este sentido, es posible que las lluvias en otoño post déficit hídrico estival hayan incrementado el nivel de nitrógeno disponible en el suelo, atenuando así el impacto esperado de la fertilización. Esta situación podría haber influido en los resultados obtenidos. Otro factor que incidió sobre los resultados fue el manejo del experimento, lo cual se evidencia en las alturas de remanente las cuales fueron en torno a 6 - 9 cm aproximadamente, que como indica Boggiano et al. (2011) esto permite un rebrote con una adecuada radiación fotosintéticamente activa absorbida (PAR), incidiendo directamente en la TC y, por ende, en la producción de MS. Este manejo podría haber favorecido al tratamiento testigo, explicando la similitud en la MS presente pre pastoreo en comparación con los tratamientos que recibieron insumos externos.

A continuación, se presenta la tabla No. 4 que resume el efecto de los tratamientos sobre la MS disponible, MS desaparecida y porcentaje de cosecha de materia seca.

**Tabla No. 4***Efecto de tratamientos sobre MS Disponible, MS Desaparecida y % de cosecha*

Tratamiento	MS Disponible (kgMS/ha)	MS Desaparecida (kgMS/ha)	% Cosecha
CN	1460 b	877 b	61 a
CNM	1831 ab	1050 b	56 a
N 60	2194 a	1498 a	68 a
N 120	1833 ab	1077 b	58 a

*Nota.* Para el total del período analizado. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Se observan diferencias estadísticamente significativas en la variable MS Disponible entre el tratamiento N 60 y el testigo CN. Sin embargo, no se han observado diferencias significativas entre los tratamientos CNM y N 120 en comparación con el testigo CN y N 60. Por otro lado, se encontraron diferencias significativas en la MS Desaparecida entre N 60 y los demás tratamientos.

Los resultados obtenidos sugieren que la diferencia en el tratamiento N 60 en comparación con el testigo puede explicarse por la mayor OF lograda y una posible mejora en la calidad de la dieta, lo que se refleja en un aumento en el consumo. Este resultado está respaldado por estudios previos como los de Berretta (1998) y Rodríguez Palma et al. (2004), que indican que un aumento en la fertilidad del suelo puede conducir a una mayor frecuencia de gramíneas invernales y un incremento en la presencia de especies finas. A su vez, Zamalvide (1998) constató un aumento en la calidad de la pastura debido al incremento en los niveles de N y P, así como al afinamiento de la misma, resultados que fueron corroborados por Boggiano et al. (2005).

Siguiendo la misma línea, la variable porcentaje de cosecha (% Cosecha) mostró diferencias significativas en los contrastes entre los tratamientos nitrogenados en ambos subperíodos. El tratamiento N 60 alcanzó valores porcentuales de cosecha más altos que el tratamiento N 120. Esta diferencia puede estar relacionada con la variable Altura remanente, la cual también presentó diferencias en los contrastes entre los tratamientos nitrogenados para el subperíodo invierno – primavera. En este caso, el tratamiento N 120 mostró una mayor altura remanente en comparación con el tratamiento N 60.

#### 4.2.4.2 Análisis del efecto del tratamiento, período y su interacción en la Producción Primaria.

Se analizaron las variables que caracterizan la producción primaria, considerando el efecto tratamiento, período y su interacción, con sus respectivas significancias estadísticas. Estos resultados se presentan en la tabla No. 5, donde se muestran diferencias significativas para las variables MS Presente pre pastoreo, Altura presente pre pastoreo, Altura remanente, MS Disponible y MS Desaparecida en relación al efecto tratamiento. Respecto al efecto período, se visualizan diferencias significativas para las variables MS Producida, TC, MS Presente pre pastoreo, Altura presente pre pastoreo, MS Remanente, MS Disponible y MS Desaparecida. Por último, en lo que respecta a la interacción tratamiento x período, no se encontraron significancias de ninguna de las variables analizadas para dicho efecto.

A continuación, en la Tabla No. 5 se resume la significancia del ANOVA y test de medias para los efectos de tratamiento y período, y para los seis contrastes ortogonales sobre variables de producción primaria.

**Tabla No. 5**

*Significancia del ANOVA y test de medias: efectos tratamiento y período, y seis contrastes ortogonales*

Variables	Efecto Trat.	Efecto Subperíodo	Efecto interacción Trat.*Subperíodo	Contrastes					
				1	2	3	4	5	6
MS Producida	ns	**	ns	ns	x	ns	ns	ns	*
Tasa de crecimiento	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
MS Presente pre pastoreo	**	*	ns	*	x	ns	ns	ns	*
Altura presente pre pastoreo	*	*	ns	x	ns	x	ns	ns	ns
MS Remanente	ns	x	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
Altura remanente	x	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
MS Disponible	x	**	ns	*	x	ns	ns	ns	*
MS Desaparecida	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	**
% Cosecha	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	x	*

*Nota.* Significancia sobre variables de producción primaria. ns: no significativo; x significativo al 10%; \* significativo al 5%; \*\* significativo al 1%. Contraste 1: Testigo vs Tratamientos en el subperíodo otoño - invierno; Contraste 2: Testigo vs Tratamientos en el subperíodo invierno - primavera; Contraste 3: CNM vs Nitrogenados en el subperíodo otoño - invierno; Contraste 4: CNM vs Nitrogenados en el subperíodo invierno - primavera; Contraste 5: N 60 vs N 120 en el subperíodo otoño - invierno; Contraste 6: N 60 vs N 120 en el subperíodo invierno - primavera.

Al analizar los contrastes ortogonales, se evidencian diferencias significativas en el contraste 1 para las variables MS Presente pre pastoreo, Altura presente pre pastoreo, MS Disponible y MS Desaparecida. En el contraste 2, las variables MS Producida, MS Presente pre pastoreo, MS Remanente y MS Disponible muestran significancia. A su vez, en el contraste 3, solamente la variable Altura presente pre pastoreo presentó significancia, ocurriendo lo mismo para el contraste 4, en el que solo fue significativo el % Cosecha. En el contraste 5, las variables MS Remanente y %

Cosecha presentaron significancia, y en el contraste 6 ocurrió lo mismo para las variables MS Producida, TC, MS Presente pre pastoreo, Altura Remanente, MS Disponible, MS Desaparecida y % Cosecha.

Siguiendo el análisis, el contraste 6, el cual compara los tratamientos nitrogenados en el subperíodo invierno - primavera fue el que presentó más variables con significancia respecto al resto de los contrastes y a su homónimo en otoño - invierno.

En lo que respecta a los contrastes realizados (tabla No.5), tanto en el subperíodo otoño - invierno e invierno - primavera, para la variable MS Presente pre pastoreo, los tratamientos muestran significancia respecto al testigo. En relación con la variable Altura presente pre pastoreo, se destacan diferencias significativas entre el testigo y los demás tratamientos solamente en el subperíodo otoño - invierno, así como entre el CNM y los nitrogenados. Por otro lado, en cuanto a la variable Altura remanente, se encontraron significancias entre los tratamientos nitrogenados en el subperíodo invierno – primavera, presentando una altura mayor el N 120.

Posteriormente, se analizan los resultados obtenidos para las distintas variables de producción primaria en el total del período y en los subperíodos.

#### 4.2.4.3 Producción de forraje por subperíodo

En la Tabla No. 6, se puede observar una superioridad en las variables MS Producida y TC en el subperíodo invierno - primavera con respecto al subperíodo otoño – invierno.

**Tabla No. 6**

*Efecto de los subperíodos sobre la MS Producida y TC*

Subperíodo	MS Producida (kg/ha)	TC (kg MS/ha/día)
Otoño - Invierno	1382 b	11 b
Invierno - Primavera	2024 a	20 a

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Estos resultados podrían deberse a varios factores, como condiciones climáticas más favorables dadas por un aumento en la temperatura y disponibilidad de luz solar promoviendo una mayor fotosíntesis y por ende una mayor producción de biomasa (MS);

una mayor disponibilidad de agua; y el ciclo de crecimiento estacional de las especies. En cuanto a balance hídrico, el período otoño – invierno presentó deficiencia en el mes de abril, mientras que invierno – primavera no presentó períodos de deficiencia, lo que pudo acentuar la diferencia entre subperíodos en MS producida y TC.

#### 4.2.4.3.1 Otoño – Invierno

En el siguiente conjunto de tablas, se presenta un análisis detallado de las variables clave relacionadas con la producción de forraje y su aprovechamiento durante el subperíodo otoño – invierno. Además de la MS producida y la TC, se analizan variables como la MS presente pre pastoreo, la altura de la pastura, la MS remanente, la altura remanente, la MS disponible, la MS desaparecida y el porcentaje de cosecha.

**Tabla No. 7**

*Efecto de tratamientos sobre MS Producida y TC para el subperíodo otoño – invierno*

Tratamiento	MS Producida (kg/ha)	TC (kg MS/ha/día)
CN	915 b	8 b
CNM	1342 ab	11 ab
N 60	2134 a	17 a
N 120	1138 ab	9 ab

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Como se observa en la tabla No. 7, para el período otoño - invierno, tanto para la MS producida como para la TC, los tratamientos CNM y N 120 no presentaron diferencias significativas con el tratamiento testigo, en cambio, el tratamiento N 60 sí presentó diferencias respecto el testigo.

Analizando los tratamientos nitrogenados se observa que entre ellos no hubo diferencias significativas en las diferentes dosis. Otras investigaciones, como la realizada por Ayala y Carámbula (1994) llegaron a la misma conclusión. En dicho estudio se compararon dos dosis de nitrógeno, 40 kg/ha y 80 kg/ha. Los resultados de la investigación demostraron una menor eficiencia en el uso de este nutriente a dosis más altas. En otras palabras, la aplicación de una cantidad mayor de nitrógeno no resultó en un incremento significativo en la producción de pastura natural.

**Tabla No. 8**

*Efecto tratamientos sobre MS Presente, altura presente, MS Remanente y altura remanente para otoño – invierno*

Tratamiento	MS Presente pre pastoreo (kgMS/ha)	Altura presente pre pastoreo (cm)	MS Remanente (kgMS/ha)	Altura remanente (cm)
CN	1160 b	12 a	509 a	5 b
CNM	1386 ab	13 a	773 a	8 ab
N 60	1873 a	14 a	725 a	7 b
N 120	1269 b	14 a	632 a	9 a

*Nota.* MS Presente pre pastoreo y altura presente pre pastoreo. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

No se encontraron diferencias significativas para las variables “Altura presente pre pastoreo” y “MS Remanente” durante el subperíodo otoño - invierno, sin embargo, se destacan diferencias significativas en la variable “MS Presente pre pastoreo” entre el tratamiento N 60 respecto el testigo CN y N 120, y “Altura remanente” entre N 120 respecto el testigo CN y N 60.

**Tabla No. 9**

*Efecto tratamientos sobre MS Disponible, MS Desaparecida y % de cosecha para otoño - invierno*

Tratamiento	MS Disponible (kgMS/ha)	MS Desaparecida (kgMS/ha)	% Cosecha
CN	1307 b	797 b	62 a
CNM	1606 ab	833 b	51 a
N 60	2190 a	1466 a	66 a
N 120	1429 b	796 b	55 a

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Se observan diferencias estadísticamente significativas en la variable MS Disponible entre el tratamiento N 60 respecto el testigo CN y N 120. Sin embargo, no se han observado diferencias significativas entre el tratamiento N 60 y CNM. En la variable MS Desaparecida se encontraron diferencias significativas entre N 60 y los demás tratamientos.

Por otro lado, no se han encontrado diferencias en la variable Porcentaje de Cosecha.

#### 4.2.4.3.2 Invierno – Primavera

En el siguiente conjunto de tablas, se presentan los resultados correspondientes al subperíodo invierno – primavera, donde se evaluaron las variables de producción y cosecha del forraje. En este análisis se incluyen la MS producida, la TC, la MS presente pre pastoreo y su altura, la MS remanente y su altura, así como la MS disponible, desaparecida y el porcentaje de cosecha.

**Tabla No. 10**

*Efecto de tratamientos sobre MS Producida y TC para el subperíodo invierno - primavera*

Tratamiento	MS Producida (kg/ha)	TC (kg MS/ha/día)
CN	1632 a	16 a
CNM	1898 a	19 a
N 60	2183 a	22 a
N 120	2381 a	24 a

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Analizando los resultados presentados en la tabla No. 10 correspondiente al subperíodo invierno - primavera se observa en cuanto a la MS producida y TC que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Sin embargo, es importante destacar que el tratamiento N 120 fue significativamente superior en términos absolutos al tratamiento testigo en aspectos de MS producida y TC. Esto indica que el tratamiento con una dosis de nitrógeno mayor fue más efectivo en términos de producción de MS y TC durante el período invierno - primavera en comparación con el tratamiento testigo.

Al analizar la variable MS Producida se observa una diferencia del tratamiento N 120 del 46% en comparación con el testigo. Este resultado coincide con estudios anteriores, como los de Rodríguez Palma (1998), Jaurena et al. (2015) y Berretta (1998), quienes también observaron una mejora en los tratamientos nitrogenados. Rodríguez Palma (1998) registró un incremento del 44% en la producción de forraje entre tratamientos con 100 kg N/ha en comparación con 0 kg N/ha, Jaurena et al. (2015) registraron incrementos del 76% con la aplicación de 200 kg de N/ha y Berretta (1998), con la aplicación de nitrógeno y fósforo sobre la Unidad Queguay Chico, obtuvo datos similares, obteniéndose los mejores resultados en el 3 año del mejoramiento, con un aumento respecto al testigo de 75% en dicho período. En los años anteriores, se obtuvieron valores de 27% y 54%, primer y segundo año respectivamente.

El análisis por contrastes (Tabla No. 5) muestra diferencias entre el CN y los demás tratamientos en el subperíodo invierno - primavera para la variable MS Producida. Esta diferencia podría atribuirse a la mayor participación del raigrás en el tapiz, dado que esta especie muestra una mayor producción en primavera. Para la variable TC, también se evidenciaron diferencias en los contrastes durante el subperíodo invierno – primavera para los tratamientos nitrogenados. Estos resultados reflejan una clara superioridad del mejoramiento y los fertilizados con N respecto al testigo en este subperíodo. Aunque los tratamientos nitrogenados mostraron un comportamiento similar en el subperíodo otoño - invierno, al analizar los contrastes en el subperíodo invierno – primavera, se observa una marcada diferencia en la MS Producida y en la TC. Esta diferencia podría estar relacionada con la mayor proporción de raigrás presente en el tratamiento N 120, que confiere una ventaja productiva durante la primavera.

**Tabla No. 11**

*Efecto tratamientos sobre MS Presente, altura presente, MS Remanente y altura remanente para invierno – primavera*

Tratamiento	MS Presente pre pastoreo (kgMS/ha)	Altura presente pre pastoreo (cm)	MS Remanente (kgMS/ha)	Altura remanente (cm)
CN	1325 a	14 c	657 a	7,00 b
CNM	1722 a	15 bc	788 a	6,75 b
N 60	1816 a	20 a	668 a	7,83 ab
N 120	1823 a	19 ab	880 a	8,25 a

*Nota. MS Presente pre pastoreo y altura presente pre pastoreo. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).*

Durante el subperíodo invierno - primavera para la variable “Altura presente pre pastoreo” se observaron diferencias significativas entre N 60 respecto CN y CNM, y entre N 120 respecto el testigo CN.

Por otro lado, para la variable “Altura Remante”, se encontraron diferencias significativas entre N 120 respecto el testigo CN y CNM.

**Tabla No. 12**

*Efecto de tratamientos sobre MS Disponible, MS Desaparecida y % de cosecha para invierno - primavera*

Tratamiento	MS Disponible (kgMS/ha)	MS Desaparecida (kgMS/ha)	% Cosecha
CN	1614 a	957 b	59 b
CNM	2055 a	1267 ab	61 ab
N 60	2198 a	1530 a	70 a
N 120	2238 a	1359 ab	61 ab

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para la variable “MS Disponible”.

Por otro lado, “MS Desaparecida” y “% de Cosecha”, presentaron diferencias significativas entre N 60 respecto el testigo CN.

#### 4.2.5 Composición botánica

La siguiente tabla No. 13 presenta la contribución porcentual de distintos grupos funcionales invernales y del raigrás a la MS disponible, para los distintos tratamientos durante el período analizado.

## 4.2.5.1 Análisis de la composición botánica para el total del período

**Tabla No. 13**

*Contribución porcentual de distintos grupos funcionales invernales y de raigrás en la MS disponible*

Tratamiento	%BROAUL	%STISET	%GPITTO	%RAIGRÁS
CN	12.75 a	33 a	1.51 a	24 a
CNM	21.75 a	33 a	0.06 b	32 a
N 60	14.63 a	17 b	2.78 a	47 a
N 120	12.45 a	17 b	0.21 a	59 a

*Nota.* Contribución porcentual para los distintos tratamientos en el total del período analizado. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

En la tabla No. 13 el BROAUL, no presenta diferencias entre los tratamientos, lo que llama la atención, por ser una de las gramíneas invernales cespitosas que aumentó la densidad de macollos con la fertilización nitrogenada (Boggiano et al., 2005), sin embargo, GPITTO se observa que no hay diferencias entre los tratamientos N 60, N 120 y el testigo CN, pero sí las hay entre los tratamientos N 60 y N 120 con el CNM.

Para el componente RAIGRÁS, no se registran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. En cuanto a la contribución porcentual de la STISET, se observan diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento CNM y los tratamientos nitrogenados, pero no se observan diferencias significativas entre estos dos últimos tratamientos mencionados. Además, se evidencian diferencias entre el testigo CN y los tratamientos N 60 y N 120, aunque el testigo no muestra diferencias significativas con el tratamiento CNM.

Dentro del grupo funcional de gramíneas perenne invernal, el que realiza mayor contribución a la producción de forraje es el grupo *Stipa setigera* la cual presenta un tipo productivo tierno - fino, seguido por *Bromus auleticus* el cual presenta un tipo productivo fino, con un promedio de 25% y 15% del total de los tratamientos respectivamente, mostrando una baja proporción de los demás grupos funcionales presentes en la tabla No. 13, siendo esto deseable para el caso de las especies ordinario y duro.

En cuanto a la contribución que realiza el raigrás en la MS disponible, presenta un gran aporte de hasta 41%. Este incremento se observó especialmente en los tratamientos nitrogenados, lo que indica una correlación positiva entre la presencia de *Lolium multiflorum* y el agregado de fertilizante nitrogenado.

Los valores en términos absolutos obtenidos en cuanto a la contribución porcentual del raigrás concuerdan con lo observado por Cardozo et al. (2008) y Duhalde y Silveira (2018), donde registran que los tratamientos fertilizados con N presentan mayor participación de gramíneas invernales anuales, destacando que sucesivas aplicaciones de N generan una tendencia a la anualización de las especies que conlleva a una degradación del tapiz vegetal. En este sentido Zanoniani et al. (2011) concluyen que dosis de 150 kg N/ha a 9% de OF constante, provoca una reducción en la biodiversidad con un aumento en las especies anuales exóticas, como, por ejemplo, *Lolium multiflorum*.

Por otro lado, Millot et al. (1987) mencionan que, si la productividad de una especie anual es menor a la de las especies que reemplaza, el porcentaje de estas últimas puede considerarse como un índice de degradación. Sin embargo, en el caso del raigrás, este puede ser un complemento de alta productividad y calidad durante el invierno.

En cuanto a los contrastes ortogonales presentados en la tabla No. 16, el único contraste que presentó diferencias para BROAUL fue el contraste 4 (CNM vs. Nitrogenados en el subperíodo invierno – primavera), siendo CNM el tratamiento con mayor contribución porcentual.

Para STISET se detectaron diferencias en los cuatro primeros contrastes. En los contrastes 1 y 2 (CN vs. Tratamientos), CN presentó una mayor contribución porcentual tanto en otoño – invierno como en invierno – primavera. En los contrastes 3 y 4 (CNM vs nitrogenados), fue CNM quien presentó mayor contribución, lo que podría indicar que esta especie disminuye con el grado de intensificación, pero no hay diferencias entre dosis de nitrógeno.

El grupo funcional GPITTO mostró diferencias significativas en los contrastes 3, 4, 5 y 6. En los contrastes 3 y 4, CNM presentó menor contribución que los tratamientos nitrogenados, mientras que en los contrastes 5 y 6 (N 60 vs. N 120), la mayor contribución fue registrada en N 60, lo que podría indicar una mejor respuesta de este grupo funcional a dosis moderadas de N.

En cuanto a RAIGRÁS, todos los contrastes mostraron diferencias significativas, excepto el contraste 6 (N 60 vs. N 120 en el subperíodo invierno – primavera) lo cual concuerda con su ciclo de crecimiento el cual es invernal con un pico de producción hacia invierno – primavera. En los contrastes 1 y 2, CN tuvo menor contribución que los tratamientos intervenidos. En los contrastes 3 y 4, CNM presentó menor contribución que los tratamientos nitrogenados, lo que podría indicar una alta sensibilidad de esta especie a la fertilización nitrogenada. Finalmente, en el contraste 5, se observó una mayor contribución en N 120 respecto a N 60, lo que indicaría una repuesta positiva del raigrás a dosis más altas de nitrógeno y el aumento de frecuencia a medida que aumenta el grado de intensificación.

Al analizar las diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla No. 14), se observa que PASNOT presenta diferencias significativas entre los tratamientos respecto el testigo. En el análisis por contrastes, se encontraron diferencias significativas entre el CN y los demás tratamientos.

**Tabla No. 14**

*Contribución porcentual de distintos grupos funcionales estivales en la MS disponible*

Tratamiento	%PASNOT	%PASDIL	%GPETF	%GPEO	%GPED
CN	3.88 a	1.88 a	4.91 ab	4.63 a	2.18 a
CNM	1.50 b	0.44 a	2.15 bc	0.18 b	0.63 ab
N 60	2.23 b	2.10 a	5.54 a	0.79 ab	0.00 b
N 120	1.65 b	0.13 a	0.78 c	0.32 ab	0.26 ab

*Nota.* Contribución porcentual para los distintos tratamientos en el total del período analizado. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Para PASDIL no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, y para GPETF se observa que no hay diferencias entre los tratamientos N 60 y el testigo CN; ni entre el CNM y el testigo CN; ni entre CNM y N 120, pero sí hay diferencias entre los tratamientos N 60 y N 120, y entre CNM y N 60.

Para el componente GPEO no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos CNM y los nitrogenados, ni estos últimos respecto el testigo, pero sí

presentan diferencias significativas el CNM respecto al testigo CN. Para GPED no se presentan diferencias significativas entre el CNM y N 120 respecto al testigo, pero el N 60 sí presenta diferencias respecto el testigo.

En lo que respecta a PASDIL, como se observa en la tabla No. 16, los contrastes 2, 4, 5 y 6 mostraron significancia. En el contraste 2, CN mostró una mayor contribución en comparación con los tratamientos intervenidos; en el contraste 4, CNM presentó una menor contribución respecto a los tratamientos nitrogenados. En los contrastes 5 y 6, la mayor contribución correspondió al tratamiento N 60 frente a N 120.

Para el grupo funcional GPETF, se observaron diferencias en los contrastes 1 y 5, destacándose una mayor contribución en CN para el primero y en N 60 para el segundo.

En el caso de las GPEO, los contrastes 1 y 2 mostraron diferencias, con mayor contribución en CN respecto a los demás tratamientos.

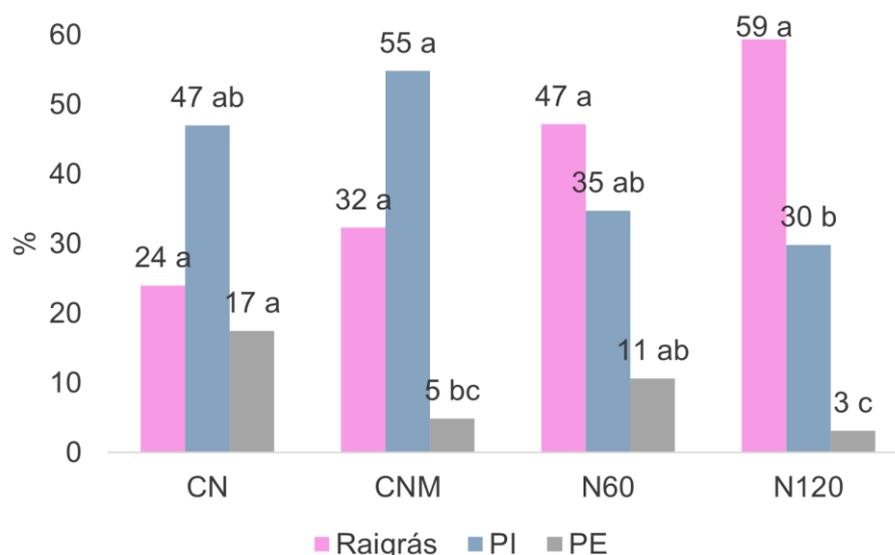
Finalmente, para el grupo GPED, los contrastes 1, 2 y 4 resultaron significativos, registrándose los mayores valores en CN en los dos primeros y en CNM en el contraste 4.

En conclusión, se observa que, dosis intermedias (N 60) de nitrógeno favorecen a especies estivales de mayor interés forrajero (*Paspalum dilatatum* y gramíneas perennes estivales tierna – fina) respecto a dosis más altas (N 120).

En la figura No. 14, se analizará la contribución porcentual de raigrás, especies perennes invernales y estivales a la MS disponible, evaluando cómo los distintos tratamientos impactan en la composición botánica y en la diversidad del tapiz vegetal a lo largo del período estudiado.

**Figura No. 14**

Contribución porcentual de raigrás, especies perenne invernales y estivales a la MS disponible



Nota. %: Contribución porcentual del raigrás.

En la figura No. 14 se observa un incremento en términos absolutos del *Lolium multiflorum* con el agregado de fertilizante nitrogenado, donde su contribución a la MS disponible puede llegar a ser de hasta un 59% en el tratamiento N 120, resultados similares a los obtenidos por Gómez Mazzei et al. (2023).

Esto afirma que el aumento de las dosis de fertilizante nitrogenado conlleva a cambios en la composición botánica y en la diversidad de especies, generando una anualización del tapiz vegetal, como señalan Millot et al. (1987) y Duhalde y Silveira (2018).

Respecto a las especies perenne estival, con el aumento de la intensificación se reduce su aporte a la MS disponible, siendo el tratamiento testigo el que presenta el mayor valor absoluto. Para las especies perenne invernal los únicos tratamientos que presentan diferencias significativas son el CNM y el N 120, observándose para el primero, en términos absolutos, la mayor contribución.

Como se observa en la figura No. 13, la presencia de *Lolium multiflorum* se ve incrementada debido al agregado de fertilizante nitrogenado diferenciándose estos tratamientos del testigo, donde su contribución a la MS disponible puede llegar a ser de hasta 59% en el tratamiento N 120. Cabe destacar que, dentro de estos, el tratamiento N 60 no presenta diferencias significativas respecto al CNM, como sí presenta el

tratamiento N 120. Por último, el tratamiento CNM tampoco presenta diferencias significativas con el CN.

A continuación, se presenta en la tabla No. 15, la contribución porcentual de especies leguminosas, *Cyperaceae* y *Juncaceae*, y hierbas enanas o menores a la MS disponible en los distintos tratamientos para el total del período analizado.

**Tabla No. 15**

*Contribución de leguminosas, Cyperaceae y Juncaceae, y hierbas enanas o menores a la MS disponible*

Tratamiento	% LEGUMINOSAS	% CYP-JUN	% HE o HM
CN	1.04 a	3.38 a	7.38 a
CNM	1.79 a	1.15 a	4.68 a
N 60	0.64 a	1.96 a	5.16 a
N 120	0.11 a	2.42 a	4.61 a

*Nota.* Contribución porcentual para los distintos tratamientos en el total del período analizado. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para ninguna de las categorías. Además, se puede observar que estas contribuyen poco a la disponibilidad de forraje.

Respecto al CNM se puede observar que, a pesar del agregado de fósforo, el porcentaje de leguminosas no presentó diferencias significativas en comparación con los tratamientos N 60, N 120 y el testigo (CN). Según Jaurena et al. (2005), esto se explica por la baja persistencia de las especies introducidas debido a su baja adaptabilidad al ambiente en comparación con las especies nativas, lo que las hace vulnerables a la competencia. De esta manera, Mas (1992) señala que, a mayor competencia y agresividad de las especies autóctonas en el tapiz natural, disminuye la posibilidad de que la implantación de las leguminosas introducidas prospere. Es importante considerar que el *Lotus tenuis* presenta un ciclo vegetativo primavero - estivo - otoñal, mientras que el *Trifolium pratense* es una especie bienal con un ciclo vegetativo otoño - invierno - primavera.

En este caso, no se pudo corroborar lo mencionado por Castro (1969), Millot et al. (1987), Royo y Mufarrege (1969) y Symonds y Salaberry (1978), quienes mencionan que la fertilización fosfatada, además de aumentar la producción de forraje, también produce un cambio en la composición botánica, provocando mejoras significativas en los niveles de leguminosas. No obstante, al analizar la variable leguminosa en términos absolutos, se observa una tendencia a que el tratamiento CNM presente una mayor contribución numérica de estas especies, como posible consecuencia del agregado de fertilizante fosfatado.

En el mismo experimento, previo al déficit hídrico, Gómez Mazzei et al. (2023) registraron contribuciones porcentuales de las especies leguminosas de 1.61, 3.81, 1.96 y 1.43 en CN, CNM, N 60 y N 120 respectivamente. Estos valores son ampliamente inferiores a los registrados en el presente experimento, siendo aún más amplia la diferencias en los tratamientos nitrogenados. Esto puede deberse a la susceptibilidad de las leguminosas a la sequía mencionadas en el ítem. 4.2.1.2.

En términos absolutos, se observa una contribución más alta de *Cyperaceae* - *Juncaceae*, y hierbas enanas o menores en el tratamiento testigo CN. Sin embargo, estas pueden verse suprimidas por otras especies de valor forrajero al agregarse insumos externos en los demás tratamientos.

En contraste con lo hallado en este estudio sobre las hierbas enanas o menores, los autores Berretta et al. (2001) y Rodríguez Palma et al. (2004) destacan que, a pesar de que las mismas se encuentran en baja frecuencia, estas aumentan su presencia en potreros bajo fertilización y principalmente en invierno.

En cuanto a las HE o HM, se observa en la tabla No. 16 diferencias en el contraste 2 (CN vs tratamientos en el subperíodo invierno – primavera), con una mayor contribución porcentual registrada en CN.

Para las especies CYP y JUN, el contraste 1 (CN vs tratamientos en el subperíodo otoño – invierno) resultó significativo, también destacándose CN con la mayor contribución.

Finalmente, para el grupo funcional LEGUMINOSAS, los contrastes 3 y 4 (CNM vs tratamientos nitrogenados) evidenciaron diferencias, con mayores contribuciones en CNM, lo que podría indicar una mejor persistencia relativa de estas especies.

Se analizaron las variables que caracterizan la composición botánica del forraje disponible considerando el efecto tratamiento, período y su interacción, con sus respectivas significancias estadísticas y contrastes ortogonales. Estos resultados se presentan en la tabla No. 16.

**Tabla No. 16**

*Significancia del ANOVA y test de medias: efectos tratamiento y período, y seis contrastes ortogonales*

Variables	Efecto Tratamiento	Efecto Subperíodo	Efecto interacción Trat.*Subp.	Contrastes					
				1	2	3	4	5	6
% <i>Bromus auleticus</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
% <i>Stipa setigera</i>	ns	ns	ns	x	x	**	x	ns	ns
% GPITTO	ns	x	ns	ns	ns	**	*	**	**
% GPIOD	ns	ns	ns	x	ns	ns	ns	ns	ns
% <i>Lolium multiflorum</i>	ns	x	ns	**	*	*	*	*	ns
% <i>Paspalum notatum</i>	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
% <i>Paspalum dilatatum</i>	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	*	**
% GPETF	**	ns	ns	x	ns	ns	ns	**	ns
% GPEO	x	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns
% GPED	x	ns	ns	**	**	ns	*	ns	ns
% HE o HM	ns	ns	ns	ns	x	ns	ns	ns	ns
% <i>Cyperaceae y Juncaceae</i>	ns	ns	ns	x	ns	ns	ns	ns	x
%Leguminosas	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
%GPI totales	ns	ns	ns	x	ns	**	**	x	ns
%GPE totales	**	ns	ns	*	*	ns	ns	x	ns

*Nota.* Significancia sobre variables de composición botánica. ns: no significativo; x significativo al 10%; \* significativo al 5%; \*\* significativo al 1%. Contraste 1: Testigo vs Tratamientos en el subperíodo otoño - invierno; Contraste 2: Testigo vs Tratamientos en el subperíodo invierno - primavera; Contraste 3: CNM vs Nitrogenados en el

subperíodo otoño - invierno; Contraste 4: CNM vs Nitrogenados en el subperíodo invierno - primavera; Contraste 5: N 60 vs N 120 en el subperíodo otoño - invierno; Contraste 6: N 60 vs N 120 en el subperíodo invierno - primavera. Variables de la composición botánica bajo estudio: % *Bromus auleticus*; % *Stipa setigera*; % GPITTO (Gramíneas perenne invernal tierno - tierno ordinario); % GPIOD (Gramíneas perenne invernal ordinario - duro); % *Lolium multiflorum*; % *Paspalum notatum*; % *Paspalum dilatatum*; % GPETF (Gramíneas perenne estival tierno - fino); % GPEO (Gramíneas perenne estival ordinario); % GPED (Gramíneas perenne estival duro); % HE o HM (Hierbas enanas o menores); % Cyperaceae y Juncaceae; % Leguminosas; % GPI totales (Gramíneas perenne invernal); % GPE totales (Gramíneas perenne estival).

Como se observa en la tabla No. 16, en cuanto al efecto tratamiento, las variables que mostraron significancia fueron % *Paspalum notatum*, % GPETF, % GPEO, % GPED y % GPE totales. Respecto al efecto período, las variables que mostraron significancia fueron % GPITTO y % *Lolium multiflorum*. Por último, para el efecto interacción tratamiento x período, ninguna variable mostró significancia.

Al analizar los contrastes, se evidencian diferencias significativas en varias variables. El contraste 1, se observaron diferencias en las siguientes variables: % *Stipa setigera*, % GPIOD, % *Lolium multiflorum*, % GPETF, % GPEO, % GPED, % Cyperaceae y Juncaceae, % GPI totales y % GPE totales. Para el contraste 2, las variables que mostraron significancia fueron % *Stipa setigera*, % *Lolium multiflorum*, % *Paspalum dilatatum*, % GPEO, % GPED, % HE o HM y % GPE totales. En el contraste 3, las variables con diferencias significativas incluyeron % *Bromus auleticus*, % *Stipa setigera*, % GPITTO, % GPIOD, % *Lolium multiflorum*, % Leguminosas y % GPI totales. En el contraste 4, las variables con significancia fueron % *Stipa setigera*, % GPITTO, % *Lolium multiflorum*, % *Paspalum dilatatum*, % GPED, % Leguminosas y % GPI totales. Para el contraste 5, las diferencias significativas se observaron en % *Stipa setigera*, % GPITTO, % *Lolium multiflorum*, % *Paspalum dilatatum*, % GPETF, % GPI totales y % GPE totales. Finalmente, en el contraste 6, las variables que mostraron significancia fueron % GPITTO, % *Paspalum dilatatum* y % Cyperaceae y Juncaceae.

#### 4.2.5.2 Análisis de la composición botánica por subperíodo

A continuación, se presenta en la tabla No. 17 la contribución porcentual de distintos grupos funcionales invernales y de raigrás a la MS disponible, considerando los diferentes tratamientos aplicados en dos subperíodos. Este análisis permite evaluar cómo varían las especies en respuesta a los cambios estacionales y las prácticas de manejo implementadas.

**Tabla No. 17**

*Contribución porcentual de distintos grupos funcionales invernales y de raigrás a la MS disponible*

Subperíodo	%BROAUL	%STISET	%GPITTO	%RAIGRÁS
Otoño - Invierno	17 a	27 a	1.38 a	36 a
Invierno - Primavera	14 a	24 a	0.91 a	45 a

*Nota.* Contribución porcentual para los distintos tratamientos, según subperíodo.

Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Como se puede observar, no existen diferencias estadísticamente significativas para ninguna especie o grupo funcional, lo cual indica que la contribución no fue modificada por el período.

En lo que respecta a la contribución porcentual del raigrás, aunque no se observan diferencias significativas en su contribución porcentual según subperíodo, se evidencia un aumento en la estación invierno - primavera. Esto es lo esperado, dado que el raigrás es una especie invernal con pico de producción hacia invierno - primavera.

La siguiente tabla No. 18 muestra la contribución porcentual de distintos grupos funcionales estivales a la MS disponible, desglosado por subperíodo. Este análisis permite observar cómo varía la participación de las especies perennes estivales en respuesta a los tratamientos aplicados y al cambio estacional.

**Tabla No. 18**

Subperíodo	%PASNOT	%PASDIL	%GPETF	%GPEO	%GPED
Otoño - Invierno	3.21 a	1.21 a	3 a	2 a	1 a
Invierno - Primavera	1.41 a	1.06 a	4 a	1 a	1 a

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Para el caso de las gramíneas perenne estival clasificadas según su grupo funcional, no se detectaron diferencias significativas.

Los resultados obtenidos son los esperados, donde se observa una disminución en la contribución porcentual de las especies perenne estival a medida que avanza el año y comienzan los meses más fríos, excepto para el grupo GPETF, lo cual puede deberse a efectos de la fertilización, ya que es probable que haya una mayor disponibilidad de este nutriente en el suelo durante este período favoreciendo a las especies tierno - fino.

A continuación, en la tabla No. 19 se presenta la contribución porcentual de las especies de leguminosas, *Cyperaceae* y *Juncaceae*, y hierbas enanas o menores a la MS disponible, en función de los distintos tratamientos aplicados y subperíodos analizados.

**Tabla No. 19**

*Contribución porcentual leguminosas, Cyperaceae y Juncaceae, y hierbas enanas o menores a la MS disponible*

Subperíodo	% LEGUMINOSAS	% CYP-JUN	% HE o HM
Otoño - Invierno	1 a	2 a	6 a
Invierno - Primavera	1 a	2 a	5 a

*Nota.* Contribución porcentual para los distintos tratamientos según subperíodo. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Como se observa en la tabla No. 19, no se evidencian diferencias significativas entre los subperíodos. A su vez, se destaca que esta variable presenta un muy bajo aporte porcentual a la MS disponible.

Para las variables *Cyperaceae* y *Juncaceae*, como también para hierbas enanas o menores, no se encontraron diferencias significativas entre subperíodos.

#### 4.2.6 Producción secundaria

##### 4.2.6.1 Análisis de la producción secundaria para el total del período

A continuación, se analizan las variables de producción secundaria en función de los tratamientos, para el total del período.

**Tabla No. 20**

*Efecto del tratamiento sobre la OF, GMD, CT y PT, para el total del período*

Tratamiento	OF (%)	GMD (kg/a/d)	CT (kg PV/ha)	PT (kgPV/ha)*
CN	3.00 b	0.70 a	473 b	141
CNM	3.78 a	0.84 a	481 b	170
N 60	3.36 ab	0.64 a	607 a	180
N 120	2.90 b	0.84 a	623 a	236

*Nota.* OF = Oferta de Forraje; GMD = Ganancia Media Diaria; CT = Carga Total; PT = Producción Total. Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ). PT (kgPV/ha)\* sin análisis estadístico por falta de repetición.

Con respecto a los datos proporcionados en la tabla No. 20, no se observan diferencias estadísticamente significativas para la variable GMD, sin embargo, en la OF se aprecian diferencias entre el tratamiento testigo y N 120 respecto al CNM, pero este último no presenta diferencias con el N 60. En cuanto a los contrastes realizados, se observan diferencias significativas para la variable GMD.

Esto concuerda con lo encontrado por Gallinal et al. (2016), Rodríguez Palma (1998) y Rodríguez Palma et al. (2008) quienes no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y no fertilizados respecto a la GMD.

Se destaca en el tratamiento testigo CN las bajas ofertas de forraje respecto a la GMD, las cuales son altas para las mismas. Esto puede explicarse dada la importante contribución porcentual del *Lolium multiflorum* y de las gramíneas invernales finas y tiernas – finas, como se presenta en la figura No. 14. Aún, a bajas ofertas de forraje, lo que implica un pastoreo más intenso por parte de los animales, los datos analizados en

la Tabla No. 20, muestran una posible compensación en la GMD explicado por la calidad de la pastura.

Para la variable CT la misma fue significativamente mayor para los tratamientos nitrogenados respecto al testigo y el CNM, sin diferenciarse los tratamientos nitrogenados entre ellos. En cuanto a los contrastes realizados para dicha variable, en el contraste 3 (Tabla No. 21) se observan diferencias significativas.

Esto concuerda con lo mencionado por Amir y Stancov (2020) quienes señalan que los tratamientos fertilizados soportan significativamente mayor carga que el campo natural mejorado y el campo natural sin mejoramiento.

Según Larratea y Soutto (2013) no se registraron diferencias sobre la carga respecto al agregado de diferentes dosis de nitrógeno (60 kg N/ha y 114 kg N/ha) para el subperíodo invierno - primavera, lo cual concuerda con los datos obtenidos en el análisis presente.

Por otra parte, se observa una superioridad promedio de 30% en el caso de los tratamientos nitrogenados respecto al testigo, lo que no coincide con lo encontrado por Gómez Mazzei et al. (2023) y Rodríguez Palma et al. (2008), quienes constatan incrementos de 66 % en la CT debido al agregado de nitrógeno. Esto puede explicarse por el efecto de la acumulación de nitrógeno en suelo causado por la sequía lo que provoca una menor diferencia entre los tratamientos nitrogenados y no nitrogenados.

Siguiendo el análisis de la variable CT, se observa que conforme aumenta la CT, se evidencia un incremento en la PT por superficie. Sin embargo, se nota una disminución en la producción individual, expresada en GMD (kg/a/d). Esto concuerda con lo señalado Mott (1960, como se cita en Bavera & Bocco, 2001), quien menciona que a medida que aumenta la carga, aumenta la producción por superficie y baja la producción individual.

A pesar de que los tratamientos nitrogenados presentan una mayor carga respecto al testigo, la capacidad de producción de forraje de los mismos permite que la OF sea igual que en el tratamiento testigo.

Aunque no se haya podido llevar a cabo un análisis estadístico de la variable PT debido a la falta de repeticiones en los datos, se puede observar en términos absolutos que los tratamientos con agregado de insumos muestran valores superiores respecto al

testigo (CN), con aumentos del 21%, 27% y 67% para el mejoramiento, la dosis de nitrógeno 60 y 120 respectivamente. Asimismo, se observa una superioridad del 38% entre el tratamiento N 120 y el CNM, mientras que entre N 60 y CNM las diferencias son poco relevantes. Si bien estos resultados no permiten establecer diferencias significativas, sugieren una posible tendencia asociada al grado de intensificación.

#### 4.2.6.2 Análisis del efecto del tratamiento, período y su interacción en la Producción Secundaria: Significancias estadísticas de las variables.

A continuación, se presentan las variables que caracterizan la producción secundaria, considerando el efecto tratamiento, período y su interacción, con sus respectivas significancias estadísticas, como se presenta en la tabla No. 21.

**Tabla No. 21**

*Resumen estadístico de significancia para los efectos analizados y tres contrastes ortogonales*

Variables	Efecto Tratamiento	Efecto Subperíodo	Efecto interacción Trat.*Subperíodo	Contrastes		
				1	2	3
%OF	*	ns	ns	ns	*	ns
GMD (kg/a/d)	**	*	ns	**	**	**
CT (kg/ha)	**	**	**	**	**	**

*Nota.* Resumen estadístico de significancia sobre variables de producción secundaria: OF, GMD y CT. ns: no significativo; x significativo al 10%; \* significativo al 5%; \*\* significativo al 1%. Contraste 1: Testigo vs Tratamientos; Contraste 2: CNM vs Nitrógeno; Contraste 3: Nitrógeno N60 vs Nitrógeno N120.

En cuanto al efecto tratamiento, se observan diferencias significativas para todas las variables analizadas. Para el efecto período solamente las variables GMD y CT presentaron significancia. Por último, para el efecto interacción tratamiento x período, la única variable que presentó significancia fue CT.

Al analizar los contrastes ortogonales, se evidencian diferencias significativas en el contraste 1 para las variables GMD y CT. En el contraste 2, todas las variables

presentaron significancia. Por último, en el contraste 3, solamente las variables GMD y CT presentaron diferencias significativas.

#### 4.2.6.3 Análisis de la producción secundaria por subperíodo

Se presentan a continuación los resultados de producción secundaria, con sus respectivas variables, según subperíodo.

**Tabla No. 22**

*Oferta de forraje y ganancia media diaria, según subperíodo*

Subperíodo	OF (%)	GMD (kg/a/d)
Otoño - Invierno	3.18 a	0.61 b
Invierno - Primavera	3.34 a	0.90 a

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ).

Al analizar la variable GMD, se evidencian diferencias significativas entre los subperíodos, donde invierno - primavera destaca con una superioridad del 48% en comparación con otoño - invierno. Esta diferencia puede estar explicada por un importante incremento en la contribución porcentual del raigrás y, en menor medida, de las PITF. Esto genera un aumento en la calidad del forraje disponible para la cosecha por parte del ganado, acompañado por la disminución de especies estivales que se encuentran en un estado de desarrollo avanzado.

Risso (1997a) registró una GMD de 0,220 y 0,317 kg/día en basalto y la región este, respectivamente, durante el otoño y valores de GMD para el invierno de -0,171 kg/día y -0,316 kg/día en las mismas regiones, ocurriendo lo contrario en el presente análisis, donde las GMD durante otoño - invierno y también invierno - primavera superaron los datos de Risso, siendo en esta última estación positivas y significativamente mayores.

Por otro lado, al analizar la variable OF se observa que no existen diferencias significativas para los subperíodos bajo estudio.

##### 4.2.6.3.1 Otoño - Invierno

Se presentan a continuación los resultados de producción secundaria, con sus respectivas variables, para el subperíodo otoño - invierno.

**Tabla No. 23***Efecto del tratamiento sobre la OF, GMD, CT y PT para el subperíodo otoño – invierno*

Tratamiento	OF (%)	GMD (kg/a/d)	CT (kgPV/ha)	PT (kgPV/ha)*
CN	2.83 a	0.55 b	435 b	56
CNM	3.70 a	0.72 a	435 b	74
N 60	3.63 a	0.51 b	552 a	72
N 120	2.55 a	0.65 ab	556 a	92

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ). PT (kg carne/ha)\* sin análisis estadístico por falta de repetición.

Como se observa en la tabla No. 23, en cuanto a la variable OF, el tratamiento testigo no presenta diferencias significativas con respecto a los tratamientos de intensificación.

Analizando la variable GMD, se puede apreciar que se logran valores más altos para el tratamiento CNM, pero este no se diferencia estadísticamente de N 120, a su vez, este último tampoco difiere de N 60 y CN.

En cuanto a la PT, no se realizó un análisis estadístico debido a la falta de repeticiones. No obstante, en términos absolutos, se observa que el tratamiento N 120 presenta los valores más altos, seguido por el CNM y N 60, que muestran producciones similares, y finalmente el testigo (CN). Si bien no es posible establecer diferencias significativas, los tratamientos con mayores GMD, como CNM y N 120, tienden a presentar mayores valores de PT durante este subperíodo. Asimismo, se puede decir que hay una tendencia general a mejoras en la PT conforme aumenta el grado de intensificación, con mejoras del 32%, 29% y 64% en los tratamientos CNM, N60 y N120, respectivamente, en comparación con el testigo (CN). Sin embargo, es importante destacar que la relación entre GMD y PT no es completamente lineal ni consistente para todos los tratamientos, lo que sugiere que otros factores, como la disponibilidad de forraje o el efecto de la fertilización nitrogenada, pueden influir en la CT que soporta el tratamiento, lo que, en conjunto con la GMD determinan la PT.

## 4.2.6.3.2 invierno - primavera

Se presentan a continuación los resultados de producción secundaria, con sus respectivas variables, para el subperíodo invierno - primavera.

**Tabla No. 24**

*Efecto del tratamiento sobre la OF, GMD, CT y PT para el subperíodo invierno - primavera*

Tratamiento	OF (%)	GMD (kg/a/d)	CT (kg PV/ha)	PT (kgPV/ha)*
CN	3.18 a	0.86 ab	512 c	86
CNM	3.85 a	0.96 a	527 c	96
N 60	3.10 a	0.76 b	661 b	108
N 120	3.25 a	1.03 a	691 a	144

*Nota.* Letras distintas representan diferencias significativas ( $p < 0.10$ ). PT (kg carne/ha)

\* sin análisis estadístico por falta de repetición.

Durante el subperíodo invierno - primavera, se puede ver que hay diferencias significativas en la GMD entre CNM respecto N 60. Sin embargo, no se observa una significancia entre el CNM con el testigo CN y N 120.

En cuanto a la OF no se registraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

En términos absolutos, para la variable PT, se observa una tendencia similar a la del subperíodo otoño - invierno, donde hay una mejora en la PT de carne a medida que aumenta el grado de intensificación, aunque en menor medida. Esta tendencia se confirma con mejoras de 11%, 26% y 67% en los tratamientos CNM, N60 y N120 respectivamente, en comparación al testigo. Además, no se observan diferencias en el valor porcentual del N 120 entre ambos subperíodos.

Es importante destacar que los tratamientos con mayores GMD en términos absolutos no necesariamente muestran una mayor producción animal total en este subperíodo, como se puede observar en el tratamiento CNM, debido a la carga que puede soportar cada tratamiento.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

Las especies *P. notatum* y *S. setigera* fueron las principales especies en recomponer el tapiz posterior al déficit hídrico estival, seguidas por *L. multiflorum*, *B. auleticus*, y otras gramíneas invernales y estivales.

Los cuatro tratamientos, a los ochenta días aproximadamente de iniciadas las mediciones, lograron la máxima cobertura verde, comprobando la alta resiliencia del campo natural tanto con el agregado de insumos externos como sin agregado.

En el campo natural, dado el efecto del déficit hídrico sobre el nitrógeno disponible en el suelo, se favoreció la participación del raigrás en el tapiz.

En los tratamientos nitrogenados se registró alta proporción de *L. multiflorum*, lo que prueba que, sucesivas aplicaciones de N en dosis de 60 y 120 kg/ha, llevan a una anualización del tapiz y por lo tanto una degradación del mismo y cambios en la composición botánica. Este manejo puede mejorar la productividad y calidad del forraje.

El experimento sugiere que, a menores dosis de nitrógeno (60 kg N/ha), el tapiz vegetal se recupera más rápidamente de las perturbaciones causadas por el déficit hídrico, lo que se evidenció al comparar con el tratamiento de 120 kg N/ha, el cual no mostró variaciones significativas en la recuperación de la cobertura verde post estrés hídrico estival entre la primer y segunda fecha de muestreo.

Las especies leguminosas son más susceptibles al déficit hídrico y a la competencia con gramíneas, especialmente en tratamientos con alta fertilización nitrogenada.

En MS disponible y MS presente pre pastoreo, el único tratamiento que fue superior al testigo fue el tratamiento N 60, siendo este a su vez, igual al CNM y N 120.

Lo mencionado anteriormente se repitió para las variables MS Producida y TC durante el subperíodo otoño - invierno. Sin embargo, en el subperíodo invierno - primavera no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en la variable MS Producida.

El tratamiento N 60 mantuvo su superioridad para la MS desaparecida y porcentaje de cosecha sobre todos los tratamientos, sugiriendo una mayor eficiencia en la cosecha de MS en este tratamiento.

En composición botánica, *L. multiflorum* contribuye significativamente a la MS disponible, alcanzando hasta un 41% en los tratamientos nitrogenados. Este incremento está correlacionado positivamente con la aplicación de fertilizante nitrogenado.

*L. multiflorum* se ve incrementado en hasta un 59% en la MS disponible, en el tratamiento N 120, siendo significativamente superior al tratamiento testigo CN y CNM.

Las especies perennes estivales muestran una menor contribución con la intensificación, siendo el tratamiento testigo el que presenta el mayor valor absoluto.

El grado de anualización del tapiz vegetal se incrementa en el subperíodo invierno - primavera, lo que coincide con el período de crecimiento del *L. multiflorum*.

En producción secundaria, el contraste campo natural vs. tratamientos, evidenció una superioridad de estos últimos para la GMD y CT.

En el contraste campo natural mejorado vs. tratamientos nitrogenados, mostró una superioridad del primero en GMD. Sin embargo, en la CT sucedió lo contrario.

La importante contribución porcentual del *L. multiflorum* y de las gramíneas invernales finas y tiernas – finas, permitieron altas ganancias medias diarias para ofertas de forraje bajas.

Para el subperíodo otoño - invierno, la GMD fue superior para el tratamiento CNM respecto al testigo y N60. El tratamiento N120 no presentó diferencias con ningún tratamiento.

Para el subperíodo invierno - primavera, la GMD para el tratamiento N60 fue inferior al CNM y N120. Sin embargo, no se diferenció del testigo, ni este último con los demás tratamientos.

A pesar de que los tratamientos nitrogenados presentan una carga superior al testigo y CNM (30% aproximadamente), la capacidad de producción de forraje de los mismos permite que la OF sea igual que en dichos tratamientos.

Los tratamientos con agregado de insumos mostraron valores superiores de producción de peso vivo (PV) respecto al testigo, con incrementos absolutos del 21% para el mejoramiento, 27% para la dosis de N 60 y 67% para la dosis de N 120. Estos resultados se expresan en términos absolutos, ya que no se realizó análisis estadístico debido a la falta de repeticiones.

## 6.CONCLUSIONES

Posterior a la sequía, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos estudiados dentro de una misma fecha de muestreo en la recuperación de la cobertura verde; y los tratamientos nitrogenados presentaron una mayor proporción de suelo descubierto respecto a los no nitrogenados.

Las principales especies que recompusieron el tapiz vegetal fueron *Paspalum notatum* y *Stipa setigera*, con un grado de importancia similar en la contribución porcentual.

Si bien se observó una diferencia estadísticamente significativa en materia seca producida entre los tratamientos N 60 y CN, no se registraron diferencias significativas en la tasa de crecimiento entre tratamientos. Esta discrepancia podría atribuirse a la alta variabilidad intra – parcelaria o al comportamiento estacional del forraje.

La intensificación productiva del campo natural, con agregado de nitrógeno o leguminosas, acompañado de fertilización fosfatada, promovió un aumento en la TC crecimiento y producción de forraje, y un cambio en la composición botánica del tapiz, favoreciendo principalmente al *Lolium multiflorum*, y con esto, la ganancia animal individual y la producción secundaria por unidad de superficie en el período analizado.

A su vez, se debe de tener en cuenta el impacto en la sostenibilidad del sistema de los diferentes métodos de intensificación del campo natural, sobretudo la fertilización nitrogenada, la cual afecta en mayor magnitud la composición botánica del forraje disponible, incrementando la presencia de gramíneas invernales anuales tales como *L. multiflorum* y reduciendo la diversidad de especies perennes estivales. Esta anualización e invernización del tapiz abre nichos para el ingreso de malezas invasoras por falta de cobertura vegetal.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- 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 del Uruguay*. MAP.  
[https://biblioteca.mvot.gub.uy/pmb/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=11](https://biblioteca.mvot.gub.uy/pmb/opac_css/doc_num.php?explnum_id=11)
- Amir, I., & Stancov, M. (2020). *Respuesta invierno-primavera en producción primaria a diferentes intervenciones sobre campo natural* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/31856>
- Anfuso, V., Caram, N., & Casalás, F. (2016). *Efecto de la fertilización y mejoramiento del campo natural sobre el comportamiento en pastoreo de novillos Holando* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/19689>
- Ayala, W., & Carámbula, M. (1994). Nitrógeno en campo natural. En A. Morón & D. F. 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 M. Carámbula, W. Ayala, G. Scaglia, & H. Saravia (Eds.), *Mejoramientos extensivos: Manejo y utilización* (pp. 26-35). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10887/1/Ad-75.pdf>
- Ayala, W., Carriquiry, E., & Carámbula, M. (1993). Caracterización y estrategias de utilización de pasturas naturales en la región este. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Campo natural: Estrategia invernal, manejo y suplementación* (pp. 1-28). INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/501/1/14445130912133845.pdf>
- Baethgen, W. E., & Terra, R. (2010). El riego en un clima cambiante. En Grupo de Desarrollo de Riego (Ed.), *Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas* (pp. 1-18). INIA.

- Bartaburu, D., Morales, H., Dieguez, F., Lizarralde, C., Quiñones, A., Pereira, M., Molina, C., Montes, E., Modernel, P., Taks, J., de Torres, M. F., Terra, R., Cruz, G., Astigarraga, L., & Picasso, V. (2013). Sensibilidad y capacidad adaptativa de agroecosistemas frente a los efectos del cambio climático. En W. Oyhantcabal, D. Sancho, & M. Galván (Eds.), *Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en el Uruguay* (pp. 103-133). FAO.
- Bavera, G. A., & Bocco, O. A. (2001). *Carga animal y producción de carne por hectárea*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/71-carga\\_animal.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/71-carga_animal.pdf)
- Belora Gaitán, F., Puig Monteverde, F., & Zerbino Sánchez, J. (2017). *Respuesta productiva de un campo natural sometido a niveles de fertilización nitrogenada y mejoramientos con leguminosas* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Bemhaja, M. (1998). Mejoramiento de campo: Manejo de leguminosas. En E. J. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización en tecnologías para basalto* (pp. 53-61). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7812/1/ST-102-53-61.pdf>
- Bemhaja, M., & Berretta, E. J. (1991). *Repuesta a la siembra de leguminosas en basalto profundo*. INIA.
- Bemhaja, M., & Berretta, E. J. (1997). Respuesta a la siembra de leguminosas en basalto profundo. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (2ª ed., pp. 103-114). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8305/1/111219220807115854-p.103-114.pdf>
- Berretta, E. (1998). Efecto del pastoreo y de la introducción de especies en la evolución de la composición botánica de pasturas naturales. En E. J. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización de tecnología para Basalto* (pp. 91-97). INIA.

- Berretta, E. (2009). Algunos aspectos sobre la biodiversidad de los campos naturales. *Revista INIA*, (20), 21-25.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/955/1/18429220710092759.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 del Uruguay* (pp. 1-37). INIA.
- Berretta, E., Risso, D., Levratto, J. C., & Zamit, W. (1998). Mejoramiento de campo natural de basalto fertilizado con nitrógeno y fósforo. En E. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización de tecnología para basalto* (pp. 63-73). INIA.
- 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 rangeland for sustainable society* (p. 645). INTA.
- Boggiano, P., Zanoniani, R., & Millot, J. (2005). Respuestas del campo natural a manejos con niveles crecientes de intervención. En R. Gómez & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (pp. 105-113). INIA.  
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2896/1/15630021107142110.pdf#page=104>
- Boggiano, P., Zanoniani, R., Noëll, S., Casalás, F., Carám, N., & García, J. (2023). Treinta años aportando a la formación y al conocimiento en campo natural y pasturas sembradas. *Cangüé*, (45), 42-60.  
<https://web.archive.org/web/20240123124531/http://www.eemac.edu.uy/images/revistas/numero45/v1/pag52-60Pasturas.pdf>
- Boldrini, I. I., Maraschin, G. E., & Riboldi, J. (1993). Dynamics of the vegetation of a natural pasture under different levels of forage-on-offer and soil types. En International Grassland Congress & New Zealand Grassland Association (Eds.), *Proceedings of the XVII International Grassland Congress* (pp. 1919-1920).
- Bossi, J. (1969). *Geología del Uruguay* (2ª ed.). Universidad de la República.

- Bottaro, C., & Zavala, F. (1973). *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.
- Carámbula, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (1978). Producción de pasturas. En Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" (Ed.), *Pasturas IV* (pp. 7-10). MAP.  
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4537/1/18-PASTURAS-IV.pdf>
- Carámbula, M. (1991). *Aspectos relevantes para la producción forrajera*. INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2921/1/111219220807114541.pdf>
- Carámbula, M. (1992). Manejo otoño-invernal de un mejoramiento extensivo. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Mejoramientos extensivos en la región este: Resultados experimentales 1991-92* (pp. 60-72). INIA.
- Carámbula, M. (1996). Mejoramientos extensivos: Fundamentos. En D. F. Risso, E. J. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Seminario técnico* (pp. 241-245). INIA.
- Carámbula, M. (1997). Actualización de información tecnológica sobre pasturas en producción extensiva. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (2ª ed., pp. 7-11). INIA.  
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2874/1/111219220807115854.pdf>
- Carámbula, M. (2000). Alternativas de manejo de pasturas post-sequía. *Revista del Plan Agropecuario*, (91), 41-45.
- Carámbula, M. (2008). Fertilización fosfatada de pasturas en la región este: Un insumo determinante del éxito en los suelos con restricciones de la Región Este. En R. Bermúdez & W. Ayala (Eds.), *Seminario de actualización técnica: Fertilización fosfatada de pasturas en la región este* (pp. 37-47). INIA.  
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7762/1/st-172-2008-p.37-47.pdf>
- Carámbula, M., & Terra, J. A. (2000). *Las sequías: Antes, durante y después*. INIA.

- Cardozo, R., Kunrath, T., Boggiano, P., Zanoniani, R., & Cadenazzi, M. (2008). Efecto residual de la fertilización nitrogenada y ofertas de forraje sobre la composición botánica de un campo natural. En W. Ayala, F. Lezama, E. Barrios, M. Bemhaja, H. Saravia, D. Formoso, & P. Boggiano (Eds.), *Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur: Grupo campos: Bioma campos: Innovando para mantener su sustentabilidad y competitividad: Memorias* (p. 183). INIA.
- Carrasco, A., & Juárez, N. (2022). *Resistencia y resiliencia a la sequía en gramíneas forrajeras perennes C3 y C4* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Correcciones bibliográficas de Trabajos Finales de Grado. <http://tesis.fagro.edu.uy/index.php/tg/catalog/download/71/44/1278?inline=1>
- Carriquiry, M. (2011). Cadena de la carne vacuna. En M. Vasallo (Ed.), *Dinámica y competencia intrasectorial en el agro: Uruguay 2000-2010* (pp. 35-51). Universidad de la República.
- Castro, E. (1969). Respuesta de la pastura natural a la fertilización. En Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" (Ed.), *Producción y conservación de forrajes* (pp. 86-93). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5923/1/UY.CIAAB.MISCELANEA.1969.n.7.pdf>
- Cayley, J. W. D., & Bird, P. R. (1996). *Techniques for measuring pastures* (2<sup>nd</sup> ed.). Pastoral and Veterinary Institute.
- Ciotti, E., Castelán, M., Hack, C., Porta, M., & González, A. (2014). Tolerancia de leguminosas herbáceas estivales a condiciones de anegamiento temporal. *Forrajes Tropicales*, 2, 278-286. [https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/28403/RIUNNE\\_FC\\_A\\_AR\\_Ciotti-Castel%C3%A1n-Hack.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/28403/RIUNNE_FC_A_AR_Ciotti-Castel%C3%A1n-Hack.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Crempien, C. (1983). *Antecedentes técnicos y metodología básica para utilizar en presupuestación en establecimientos ganaderos: Bovinos para carne y ovinos* (2<sup>a</sup> ed.). Hemisferio Sur.

Del Pino, A., Lezama, F., Pezzani, F., & Parodi, G. (2021). Persistencia de efectos a largo plazo de la fertilización fosfatada y la introducción de leguminosas en pastizales del Uruguay. *Agriscientia*, 38(1), 99-109.

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/26856/34001>

Del Puerto, O. (1969). *Hierbas del Uruguay*. Nuestra Tierra.

<http://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/9625>

De Oliveira, T. E., Freitas, D. S., Gianezini, M., Ruviaro, C. F., Zago, D., Mércio, T. Z., Dias, E. A., Lampert, V. N., & Barcellos, J. O. J. (2017). Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy*, 63, 394-400.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837716309978>

*Descripción de suelos de Uruguay del sistema CONEAT* (s.f.). Uruguay Country Information. <https://www.uruguaycountryinformation.com/suelosconeatsols-11y12y13.htm>

Do Carmo, M., Espasandin, A., Bentancor, D., Olmos, F., Cal, V., Scarlato, S., Carriquiry, M., & Soca, P. (2013). Cambios en la oferta de forraje y su efecto sobre la productividad primaria y secundaria de sistemas criadores con diversos grupos genéticos bajo pastoreo de campo natural. En P. Soca, A. Espasandin, & M. Carriquiry (Eds.), *Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de las vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural* (pp. 43-54). INIA.

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]. Colibri.

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/20913>

Durán, A. (1985). *Los suelos del Uruguay*. Hemisferio Sur.

Fernández, G., Texeira, M., & Altesor, A. (2014). The small scale spatial pattern of C3 and C4 grasses depends on shrub distribution. *Austral Ecology*, 39(5), 532-539.

- 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]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/19683>
- García Petillo, M. (2012). Conceptos básicos para el manejo y diseño de riego. En Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Ed.), *Seminario Internacional Riego en Cultivos y Pasturas* (pp. 23-32).
- Gomes, L. H., Carvalho, P. C. de F., Nabinger, C., & Maraschin, G. E. (2000). Productividade animal de um campo nativo submetido a fertilização nitrogenada. En A. de Moraes, P. C. de F. Carvalho, S. B. C. Lustosa, S. J. Alves, M. W. do Canto, A. Bona Filho, & J. C. Dittrich (Eds.), *Reunião do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul: Zona campos: Dinâmica da vegetação em ecossistemas pastoris* (pp. 123-125). Comissão Paranaense de Avaliação de Forrageiras.
- Gómez Mazzei, M., Mora, J., & Moreira, L. (2023). *Respuesta a la intensificación productiva del campo natural en el período otoño - invernal* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/43805>
- Haydock, K. P., & Shaw, N. H. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15(3), 663-670. <https://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000138.pdf>
- Hodgson, J. (1984). Sward conditions, herbage allowance and animal production: An evaluation of research results. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 44, 99-104.  
<http://www.nzsap.org/system/files/proceedings/1984/ab84025.pdf>
- Holling, C. S., & Gunderson, L. H. (2002). Resilience and adaptive cycles. En L. H. Gunderson & C. S. Holling (Eds.), *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems* (pp. 25-62). Island Press.
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (2023). *Tablas estadísticas climatológicas*.  
<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>

- Jaurena, M., Giorello, D., Antúnez, J., Díaz, S., Sosa, M., Zago, R., Silveira, M., Suarez, M., & Albornoz, A. (2015). Efectos de la fertilización NP en la producción de forraje del campo natural en condiciones de riego y secano. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de divulgación: Manejo de la fertilización de pasturas, forrajes y campo natural bajo riego suplementario* (pp. 9-15).
- Jaurena, M., Mayans, M., Punschke, K., Reyno, R., Millot, J. C., & Labandera, C. (2005). Diversidad simbiótica en leguminosas forrajeras nativas: Aportes para el mejoramiento sustentable del campo natural. En R. Gómez & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (pp. 9-14). INIA.
- Larratea, F., & Soutto, J. P. (2013). *Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la productividad invierno primavera de un campo natural del litoral* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/1758>
- Lavorel, S. (1999). Ecological diversity and resilience of Mediterranean vegetation to disturbance. *Diversity and Distributions*, 5(1-2), 3-13.
- Mas, C. (1992). Mejoramientos extensivos: Antecedentes. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Mejoramientos extensivos en la región este: Resultados experimentales 1991-92* (pp. 1-11). INIA.
- Mas, C., Bermúdez, R., & Ayala, W. (1997). Fertilización fosfatada en mejoramientos extensivos en dos suelos de la región este del país. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (pp. 83-90). INIA.
- Millot, J. C. (1997). Manejo del pastoreo y su incidencia sobre la composición botánica y productividad del Campo Natural. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (pp. 68-70). INIA.  
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2874/1/111219220807115854.pdf>
- Millot, J. C., Risso, D., & Methol, R. (1987). *Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas de ganadería extensiva*. MAP.

- Molfino, J. (2009). *Estimación del agua disponible en los grupos CONEAT: Metodología empleada*. MGAP. [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/estimacion de agua disponible en los grupos coneat metodologia empleada.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/estimacion_de_agua_disponible_en_los_grupos_coneat_metodologia_empleada.pdf)
- Moojen, E. L., & Maraschin, G. E. (2002). Potencial productivo de uma pastagem nativa do rio grande do sul submetida a níveis de oferta de forragem. *Ciência Rural*, 32(1), 127-132.
- Nabinger, C., Dall'Agnol, M., & de Faccio Carvalho, P. C. (2006). Biodiversidade e produtividade em pastagens. En C. G. Silveira Pedreira, J. C. de Moura, S. C. da Silva & V. P. de Paria (Eds.), *As pastagens e o meio ambiente: Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem* (pp. 37-86). FEALQ. <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/zootecnia/forragens/artigos/BIODIVERSIDADE%20E%20PRODUTIVIDADE%20EM%20PASTAGENS.pdf>
- Nabinger, C., & De Faccio Carvalho, P. (2009). *Ecofisiología de sistemas pastoriles: Aplicaciones para su sustentabilidad*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20naturales/150-ecofisiologia.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20naturales/150-ecofisiologia.pdf)
- Nabinger, C., De Faccio Carvalho, P., Cassiano, E., Mezzalana, J. C., Martins Brambilla, D., & Boggiano, P. (2011). Servicios ecosistémicos de las praderas naturales: ¿Es posible mejorarlos con más productividad? *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 19(3-4), 27-34.
- Nabinger, C., de Moraes, A., & Maraschin, G. E. (2000). Campos in Southern Brazil. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger, & P. C. de F. Carvalho (Ed.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 355-376). CABI. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20003019269>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario 2023*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUARIO2023WEB.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.
- Pereira, M. (2011). *Manejo y conservación de las pasturas naturales del Basalto*. Instituto Plan Agropecuario. [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/20\\_pasturas\\_de\\_basalto.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/20_pasturas_de_basalto.pdf)
- Risso, D. F. (1997a). Producción de carne sobre pasturas. En D. Vaz Martins (Ed.), *Suplementación estratégica para el engorde de ganado* (pp. 1-6). INIA.
- Risso, D. F. (1997b). Siembras en el tapiz: Consideraciones generales y estado actual de la información en la zona de suelos sobre cristalino. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (pp. 71-82). INIA.
- Risso, D. F. (2005). Prólogo. En R. Gómez & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (p. 7). INIA.
- Risso, D. F., Beretta, E. J., 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. F. Risso & F. Montossi (Eds.), *Mejoramientos de campo en la región de cristalino: Fertilización y producción de carne de calidad y persistencia productiva* (pp. 3-31). INIA.
- Risso, D. F., & Carámbula, M. (1998). *Lotus El Rincón: Producción y utilización de los mejoramientos*. INIA.
- Rodríguez Palma, R. (1998). *Fertilización nitrogenada de un pastizal de la pampa deprimida: Crecimiento y utilización del forraje bajo pastoreo de vacunos* [Trabajo final de maestría]. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Rodríguez Palma, R., Rodríguez, T., Andión, J., & Vergnes, P. (2008). Fertilización de campo natural: Respuesta en producción animal. En W. Ayala, F. Lezama, E. Barrios, M. Bemhaja, H. Saravia, D. Formoso, & P. Boggiano (Eds.), *Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur, Grupo campos: Bioma campos: Innovando para mantener su sustentabilidad y competitividad: Memorias* (p. 175). INIA.

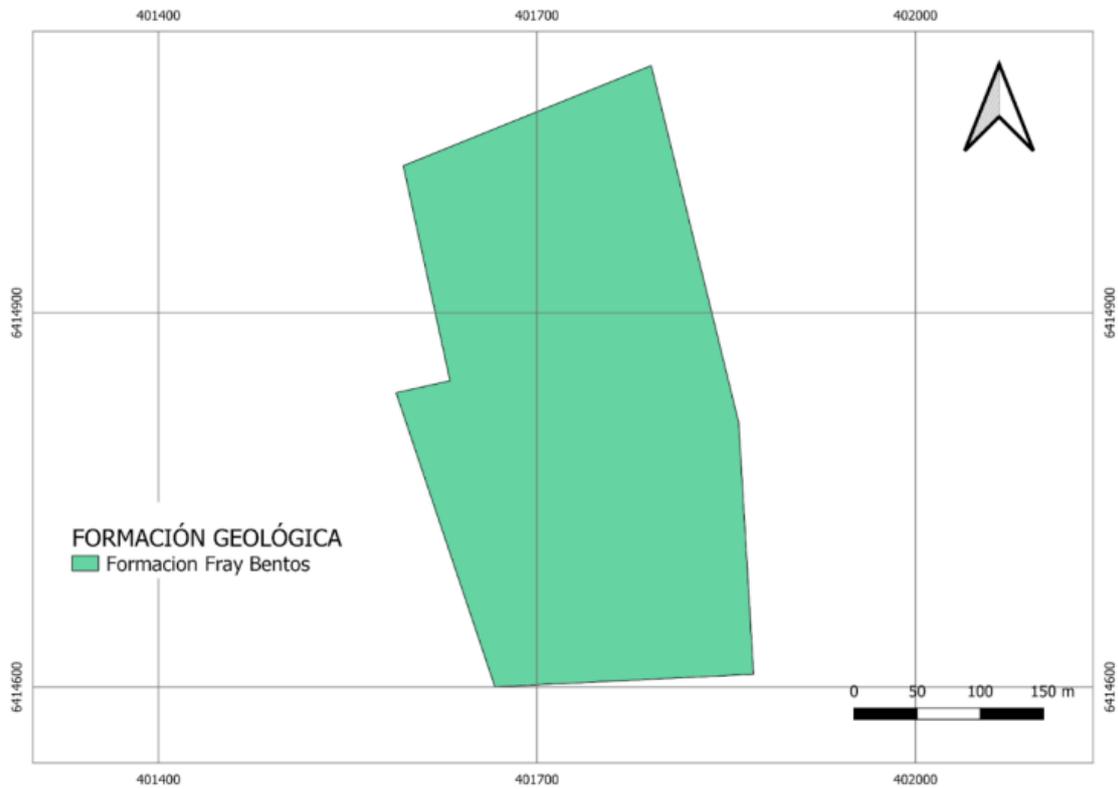
- Rodríguez Palma, R., Saldanha, S., Andión, J., & Vergnes, P. (2004). Fertilización nitrogenada de campo natural de basalto: 1. Producción de forraje. En S. Saldanha, M. Bemhaja, E. Moliterno, & F. Olmos (Eds.), *Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas: Memorias* (pp. 298-299). Universidad de la República.
- Rosengurtt, B. (1946). *Estudios sobre praderas naturales del Uruguay: 5.ª contribución*. Rosgal. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/9664>
- Rosengurtt, B. (1979). *Tablas de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay*. Universidad de la República. [https://eva.interior.udelar.edu.uy/pluginfile.php/27283/mod\\_resource/content/1/Tabla%20de%20comportamiento.pdf](https://eva.interior.udelar.edu.uy/pluginfile.php/27283/mod_resource/content/1/Tabla%20de%20comportamiento.pdf)
- Rovira, J. (1996). *Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo*. Hemisferio Sur.
- Royo, O., & Mufarrege, D. (1969). *Respuesta de la pradera natural a la incorporación de nitrógeno, fósforo y potasio*. INTA.
- Sánchez-Díaz, M., & Aguirreolea, J. (2008). Absorción de agua por la raíz y transporte por el xilema: Balance hídrico de la planta. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed., pp. 57-79). McGraw-Hill.
- Scaglia, G. (1995). Aspectos nutricionales en el uso de los mejoramientos. En M. Carámbula, W. Ayala, G. Scaglia, & H. Saravia (Eds.), *Mejoramientos extensivos: Manejo y utilización* (pp. 19-25). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10887/1/Ad-75.pdf>
- Soca, P., Espasandin, A., & Carriquiry, M. (2013). Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de las vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural. En P. Soca, A. Espasandin, & M. Carriquiry (Eds.), *Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de las vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural* (pp. 9-12). INIA.

- Symonds, R., & Salaberry, S. (1978). Región litoral-oeste. En Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" (Ed.), *Pasturas IV* (2ª ed., pp. 85-104). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4799/1/miscelanea-18.pdf>
- Tadeo, F., & Gómez Cadenas, A. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª. ed., pp. 577-578). McGraw-Hill.
- Texeira, M., & Altesor, A. (2009). Small scale spatial dynamics of vegetation in a grazed Uruguayan grassland. *Austral Ecology*, 34(4), 386-394.
- Tilman, D., Wedin, D., & Knops, J. (1996). Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, 379, 718-720.
- 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.
- Zamalvide, J. (1998). Fertilización de pasturas. En E. J. Berretta (Ed.), *Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo campos: Anales* (pp. 97-107). INIA.
- 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.
- 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>

## 8.ANEXO

Figura A1

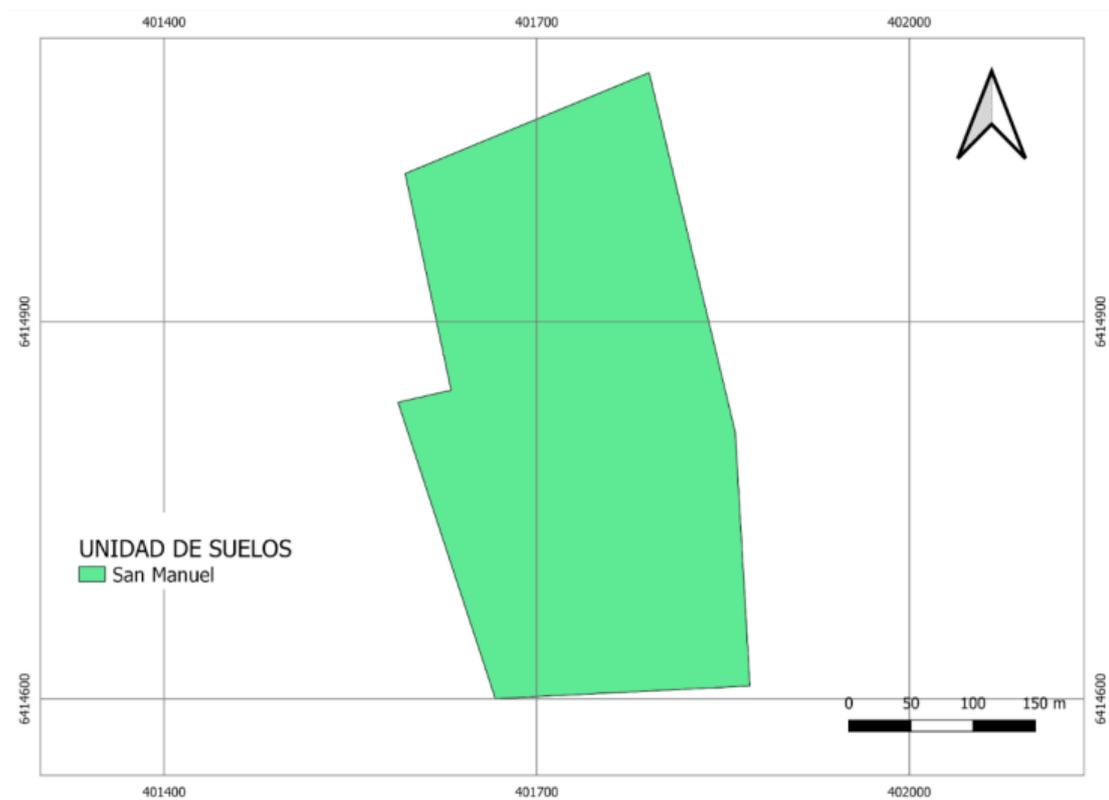
Mapa de la formación geológica presente en área experimental



Nota. Tomado de Gómez Mazzei et al. (2023).

**Figura A2**

*Mapa de la unidad de suelo presente en área experimental*



*Nota.* Tomado de Gómez Mazzei et al. (2023).

**Tabla A1**

*Caracterización climática para la serie histórica (1991-2020) y el período 2023 para la EEMAC*

	T°C promedio (2023)	T°C promedio (1991 - 2020)	PP (2023)	PP (1991 - 2020)
Marzo	25.4	22.4	143.4	112
Abril	18	18.9	37.6	154
Mayo	15	15.4	121.3	109
Junio	13.6	12.6	57	72
Julio	12.7	12	91.2	55
Agosto	13.8	13.9	20.6	75
Septiembre	14.6	15.4	73.2	79
Octubre	17.4	18.4	59.6	121

*Nota.* Tomado de la Estación Meteorológica de Paysandú, según datos del Instituto Uruguayo de Meteorología (s.f.).

**Tabla A2***Balance hídrico calculado para cada mes de evaluación*

	Lluvia (mm)	ETP (mm)	Alm (mm)	Def (mm)	Exc (mm)	APDN 40%
Marzo	143.4	115.8	80	0	63.4	48
Abril	37.6	87.19	30.41	17.59	0	48
Mayo	121.3	60.09	80	0	11.62	48
Junio	57	37.61	80	0	31.01	48
Julio	91.2	46.06	80	0	76.15	48
Agosto	20.6	60.97	80	0	35.78	48
Septiembre	73.2	69.2	80	0	39.78	48

**Tabla A3**

*Contenido de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y fósforo disponible (P Bray I) en el suelo al inicio del experimento*

	$\text{NO}_3^-$ (ppm)			
	CN	CNM	N60	N120
Media	30,0	55,0	59,6	48,2
Desvío estándar	9,7	9,5	28,5	19,2
	P Bray I (ppm)			
	CN	CNM	N60	N120
Media	6,5	8,1	8,0	8,9
Desvío estándar	3,1	1,9	2,7	2,2

**Tabla A4**

*Test tukey para cobertura verde de la interacción tratamiento x N° de muestreo*

Tratamiento	N° muestreo	Medias							
N60	4	98.13	A						
CNM	4	97.5	A						
N120	4	96.13	A						
CN	4	95.38	A						
CN	3	64.38		B					
CNM	3	32.13		B	C				
N60	3	59.38		B	C	D			
120	3	53.75		B	C	D			
CN	2	48.63			C	D	E		
N60	2	47.5				D	E		
CNM	2	46.25				D	E		
N120	2	39.38					E	F	
CN	1	28						F	G
CNM	1	24.69							G
N60	1	22.88							G
N120	1	18.25							G

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ ).

**Tabla A5**

*Test tukey para porcentaje de suelo descubierto (%SD) de la interacción tratamiento x N° de muestreo*

Tratamiento	N° muestreo	Medias							
N60	2	11.63	A						
N120	2	10.25	A	B					
N60	1	9.50	A	B	C				
N120	3	9.00	A	B	C				
N60	3	8.13	A	B	C	D			
N120	1	7.88	A	B	C	D	E		
CNM	3	4.63		B	C	D	E	F	
CN	1	4.44		B	C	D	E	F	
CN	3	3.44			C	D	E	F	
CNM	1	3.38			C	D	E	F	
CNM	2	3.25			C	D	E	F	
CN	2	2.38				D	E	F	
CNM	4	1.56					E	F	
N120	4	1.38						F	
N60	4	1.25						F	
CN	4	0.75						F	

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ ).

**Tabla A6**

*Test tukey para cobertura de mantillo de la interacción tratamiento x N° de muestreo*

Tratamiento	N° muestreo	Medias		
N120	1	70.75	A	
CNM	1	68.69	A	
CN	1	65.88	A	
N60	1	65.00	A	
CNM	2	50.00		B
N120	2	49.63		B
CN	2	48.44		B
N60	2	40.63	B	C
N120	3	38.38	B	C
CNM	3	33.25		C
CN	3	32.19		C
N60	3	31.25		C
CN	4	3.87		D
N120	4	2.37		D
N60	4	1.25		D
CNM	4	0.94		D

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ ).

#### BIBLIOGRAFÍA ANEXO

Gómez Mazzei, M., Mora, J., & Moreira, L. (2023). *Respuesta a la intensificación productiva del campo natural en el período otoño - invernal* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/43805>

Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Tablas estadísticas climatológicas*.

<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>