

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA E
INCORPORACIÓN DE LEGUMINOSAS SOBRE LA
PRODUCTIVIDAD Y COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE
UN CAMPO NATURAL**

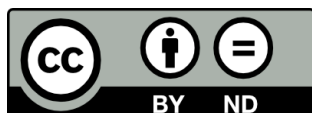
por

José Ignacio AGUIAR CALERO

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2025**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Pablo Rómulo Boggiano Otón

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Pablo Rómulo Boggiano Otón

Ing. Agr. (Mag.) Felipe Carlos Casalás Mouriño

Ing. Agr. (Dr.) María Laura Astigarraga

Fecha:

10 de octubre de 2025

Estudiante:

José Ignacio Aguiar Calero

AGRADECIMIENTOS

A Mamá, Papá, mi hermana María Victoria, mi novia Matilde, abuelos, y amigos por su apoyo continuo y verdadero.

Al docente orientador de este trabajo el Ing. Agr. Pablo Boggiano por su buena voluntad, dedicación y apoyo constante.

A la facultad de Agronomía por la formación y conocimientos brindados en estos años.

A la Estación Experimental Mario Antonio Cassinoni y todos sus funcionarios por brindarme la posibilidad de realizar este trabajo.

A mis compañeros María Noel Gutiérrez y Jerónimo Toyos, por la colaboración en la realización de este estudio.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. EFECTO DEL NITRÓGENO.....	14
2.1.1. Generalidades y nitrógeno en el suelo.....	14
2.1.2. El Nitrógeno en la planta.....	14
2.1.3. El nitrógeno sobre la producción de forraje.....	15
2.1.4. Efecto del nitrógeno sobre la composición botánica	17
2.1.5. Efecto del nitrógeno sobre la estacionalidad	17
2.2. EFECTO DEL MEJORAMIENTO EXTENSIVO.....	18
2.2.1. Efecto de la introducción de leguminosas en el campo natural	18
2.2.2. Efecto sobre la producción de forraje.....	20
2.2.3. Efecto sobre la estacionalidad de la producción	21
2.2.4. Efecto sobre la composición botánica.....	22
2.3. GÉNEROS SEMBRADOS	24
2.3.1. Género Trifolium	24
2.3.1.1. Trifolium pratense.....	25
2.3.2. Género Lotus.....	26
2.3.2.1. Lotus glaber.....	27
2.4. HIPÓTESIS BIOLÓGICA	28
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	30
3.1.1. Localización del sitio experimental.....	30
3.1.2. Suelos del sitio experimental	30
3.1.3. Periodo de evaluación	31
3.1.4. Vegetación.....	31
3.1.5. Animales.....	31
3.1.6. Antecedentes del sitio experimental.....	31
3.1.7. Meteorología.....	32

3.1.8.	Diseño del experimento	32
3.1.8.1.	Diseño experimental y tratamientos	33
3.1.8.2.	Instalación y materiales utilizados.....	33
3.1.8.3.	Control de malezas.....	33
3.2.	METODOLOGÍA.....	34
3.2.1.	Abreviaturas de variables utilizadas.....	34
3.2.2.	Manejo del experimento.....	35
3.2.3.	Evaluación de la pastura.....	36
3.2.3.1.	Determinación de la materia seca presente	36
3.2.3.2.	Determinación de la producción.....	37
3.2.3.3.	Determinación de la tasa de crecimiento	37
3.2.3.4.	Determinación de la composición botánica.....	37
3.3.	MODELO ESTADISTICO	39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1.	ANÁLISIS METEOROLÓGICO.....	41
4.1.1.	Precipitaciones y temperatura.....	41
4.1.2.	Balance hídrico.....	42
4.2.	ANÁLISIS DE LA PASTURA.....	43
4.2.1.	Análisis de la producción acumulada	43
4.2.2.	Análisis del periodo invernal	44
4.2.3.	Análisis primaveral.....	51
4.2.4.	Análisis del periodo estival.....	57
4.3.	ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN BOTÁNICA.....	60
4.3.1.	Estudio de la composición botánica de la materia seca disponible	60
4.3.1.1.	Análisis del disponible por tratamientos.....	62
4.3.1.2.	Análisis por estación.....	63
4.3.1.3.	Análisis de la interacción de tratamiento por estación.....	64
4.3.2.	Estudio de la composición botánica de la materia seca remanente	65
4.3.2.1.	Análisis por tratamiento	65
4.3.2.2.	Análisis por estación.....	66
4.4.	CONSIDERACIONES FINALES	68
5.	CONCLUSIONES	70
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	71
7.	ANEXOS.....	77

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1 Mapa de suelos del sitio experimental.....	30
Figura 2 Esbozo de los bloques y tratamientos	32
Figura 3 Temperaturas y precipitaciones medias del periodo de evaluación y la serie histórica	41
Figura 4 Evolución del almacenaje de agua, evapotranspiración real y períodos de déficit y excesos hídricos	42
Tabla 1 Efectos de los tratamientos sobre la producción acumulada para todo el periodo de evaluación.....	43
Tabla 2 Significancia de las variables en estudio, para el análisis de la varianza y contrastes ortogonales	44
Tabla 3 Respuesta invernal a los tratamientos sobre la materia seca producida y tasa de crecimiento diaria.....	45
Tabla 4 Respuesta invernal a los tratamientos en: MSDISP, ALTDISP, MSREM, ALTREM, MSDESP y %MSDESP	49
Tabla 5 Significancia de las variables en estudio, para el análisis de la varianza y contrastes ortogonales	52
Tabla 6 Respuesta primaveral a los tratamientos sobre la materia seca producida y tasa de crecimiento diaria.....	53
Tabla 7 Respuesta primaveral a los tratamientos en: MSDISP, ALTDISP, MSREM, ALTREM, MSDESP y %MSDESP	55
Tabla 8 Significancia de las variables en estudio, para el análisis de la varianza y contrastes ortogonales	57
Tabla 9 Respuesta estival a los tratamientos sobre la materia seca producida y tasa de crecimiento diaria.....	58
Tabla 10 Respuesta a los tratamientos sobre: MSDISP, ALTDISP, AP, MSREM, ALTREM, MSDESP y %MSDESP	59
Tabla 11 Respuesta a los tratamientos sobre: MSDISP%V, MSDISP%RS, MSREM%V y MSREM%RS	60
Tabla 12 Significancia de las variables en estudio para el análisis de la varianza del forraje disponible	61
Tabla 13 Respuesta en contribución de las leguminosas en la materia seca disponible según tratamientos.....	62
Tabla 14 Contribución estacional en porcentaje de los diferentes componentes botánicos en la materia seca disponible	63
Tabla 15 Contribución porcentual de hierbas en el forraje disponible para la interacción tratamiento por estación.....	64
Tabla 16 Significancia de las variables en estudio para el análisis de la varianza del forraje remanente	65
Tabla 17 Contribución porcentual de los componentes botánicos en el forraje remanente según tratamientos	66
Tabla 18 Contribución estacional en porcentaje de los diferentes componentes botánicos en la materia seca remanente	67
Tabla 19 Contribución invernal de %GPE, %HIERB y %LEG en la materia seca remanente según tratamientos	68

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el potrero 18 de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) de la facultad de Agronomía, Universidad de la República. Ubicada en la ruta nacional No. 3, General Brigadier José Gervasio Artigas, km 363, departamento de Paysandú, Uruguay (32° 20' 9'' latitud Sur y 58° longitud Oeste, 61 ms. n. m.). El periodo de evaluación fue desde el 8 de junio de 2015 al 9 de febrero de 2016, donde se determinaron 3 periodos que fueron invierno desde el 8 de junio de 2015 al 1 de octubre de 2015, primavera desde el 1 de octubre de 2015 al 18 de diciembre del 2015 y estival desde el 18 de diciembre de 2015 al 9 de febrero de 2016. El objetivo del trabajo fue estudiar la producción de materia seca y cambios en la composición botánica de un campo natural sometido bajo diferentes niveles de intervención, bajo pastoreo de terneros con una oferta forrajera que oscila entre un 8 y un 10% del peso vivo. El diseño experimental fueron bloques completos al azar, con 4 tratamientos, estos consisten en un testigo sin intervención (CN), uno mejorado a través de la incorporación con *Lotus tenuis* y *Trifolium pratense* con una fertilización de 40 kg por hectárea de P₂O₅ (CNM), y dos tratamientos con igual fertilización de fósforo, con 40 kg de P₂O₅ y diferentes dosis de nitrógeno, uno con 60 kg de nitrógeno por hectárea (60N) y otro con 120 kg de nitrógeno por hectárea (120N). Las variables estudiadas fueron: producción de materia seca (PROD), materia seca disponible (MSDISP), porcentaje de materia seca disponible verde (%MSDISPV), porcentaje de materia seca disponible restos secos (%MSDISPRS) tasa de crecimiento diaria (TC), materia seca desaparecida (MSDESP), porcentaje de forraje desaparecido (%DESP), altura del disponible (ALTDISP), la materia seca remanente (MSREM), altura del remanente (ALTREM), porcentaje de materia seca remanente verde (%MSRSV), porcentaje de materia seca restos secos (%MSREMRS). El análisis de la composición botánica estudio las siguientes variables: porcentaje de materia seca verde (%MSV), porcentaje de materia seca restos secos (%MSRS), porcentaje de gramíneas perennes invernales (%GPI), porcentaje de gramíneas perennes estivales (%GPE), porcentaje de gramíneas anuales invernales (%GAI), porcentaje de hierbas (%HIERB), porcentaje de leguminosas (%LEG) y el porcentaje de cardos (%CARD). Los resultados indican que la fertilización con nitrógeno, tanto a 60 kg como a 120 kg por hectárea, aumentó significativamente la producción de materia seca en invierno y primavera, lo que resultó en una mayor cantidad de forraje desaparecido. Además, el tratamiento mejorado con leguminosas incrementó la producción de materia seca durante el período estival en comparación con el tratamiento sin intervención. En cuanto a la composición botánica, se observó una mayor presencia de leguminosas en el tratamiento de campo natural mejorado (CNM). El estudio también

mostró la variación estacional de los componentes botánicos: en invierno, aumentaron las gramíneas perennes invernales, las hierbas y los cardos, mientras que en primavera se incrementaron las gramíneas perennes estivales y las leguminosas. Además, la primavera mostró una mayor proporción de forraje verde en comparación con el invierno.

Palabras clave: producción de materia seca, mejoramiento de campo natural, fertilización de campo natural, nitrógeno, contribución de especies nativas

ABSTRACT

This work was carried out in pasture 18 of the Mario A. Cassinoni Experimental Station (EEMAC) at the Faculty of Agronomy, University of the Republic. It is located on National Route No. 3, General Brigadier José Gervasio Artigas, km 363, Paysandú Department, Uruguay (32° 20' 9" South latitude and 58° West longitude, 61 m above sea level). The evaluation period was from June 8, 2015, to February 9, 2016, and it was divided into three periods: winter, from June 8, 2015, to October 1, 2015; spring, from October 1, 2015, to December 18, 2015; and summer, from December 18, 2015, to February 9, 2016. The objective of the study was to evaluate dry matter production and changes in the botanical composition of a natural pasture subjected to different levels of intervention, under grazing by steers with a forage offer ranging between 8% and 10% of live weight. The experimental design was a completely randomized block design with four treatments. These included a control without intervention (CN), a treatment improved by the incorporation of *Lotus tenuis* and *Trifolium pratense* with a fertilization of 40 kg per hectare of P₂O₅ (CNM), and two treatments with the same phosphorus fertilization of 40 kg P₂O₅ per hectare but different nitrogen doses: one with 60 kg nitrogen per hectare (60N) and the other with 120 kg nitrogen per hectare (120N). The studied variables included: dry matter production (PROD), available dry matter (MSDISP), percentage of available green dry matter (%MSDISPV), percentage of available dry matter remains (%MSDISPRS), daily growth rate (TC), disappeared dry matter (MSDESP), percentage of disappeared forage (%DESP), available height (ALTDISP), remaining dry matter (MSREM), remaining height (ALTREM), percentage of remaining green dry matter (%MSRSV), and percentage of remaining dry matter remains (%MSREMRS). The botanical composition analysis studied the following variables: percentage of green dry matter (%MSV), percentage of dry matter remains (%MSRS), percentage of winter perennial grasses (%GPI), percentage of summer perennial grasses (%GPE), percentage of winter annual grasses (%GAI), percentage of herbs (%HIERB), percentage of legumes (%LEG), and percentage of thistles (%CARD). The results indicate that nitrogen fertilization, both at 60 kg and 120 kg per hectare, significantly increased dry matter production in winter and spring, leading to a greater amount of disappeared forage. Additionally, the treatment improved with legumes increased dry matter production during the summer period compared to the non-intervention treatment. Regarding the botanical composition, a higher presence of legumes was observed in the improved natural pasture treatment (CNM). The study also showed the seasonal variation of the botanical components: in winter, winter perennial grasses, herbs, and thistles

increased, while in spring, summer perennial grasses and legumes increased. Furthermore, spring showed a higher proportion of green forage compared to winter.

Keywords: dry matter production, natural pasture improvement, natural pasture fertilization, nitrogen, contribution of native species

1. INTRODUCCIÓN

La investigación y el desarrollo de estrategias para optimizar el manejo de las pasturas naturales son fundamentales en Uruguay, donde la ganadería extensiva depende casi exclusivamente de estos recursos naturales. Las pasturas ocupan 14,1 millones de hectáreas de superficie destinada al pastoreo, de las cuales 11,4 millones corresponden a campo natural, representando un 80,5% del área total (Oficina de Estadística Agropecuaria [DIEA], 2023). Estas pasturas naturales están compuestas principalmente por gramíneas C4, que dominan sobre las especies C3, y se asocian con otras plantas de interés forrajero como leguminosas y graminoides, cuya presencia contribuye de manera crítica a la biodiversidad y al valor nutritivo de las pasturas (Berretta & Do Nascimento, 1991; Millot et al., 1987).

A pesar de la amplia diversidad de especies entre las distintas regiones y tipos de suelo en Uruguay, las pasturas naturales presentan características comunes, como la baja proporción de leguminosas y la marcada estacionalidad estival de las gramíneas, lo cual limita su capacidad productiva durante ciertos períodos del año (Carámbula, 1996). Las prácticas tradicionales de pastoreo, con altas cargas fijas y selección específica del ganado, han perpetuado un estado de disclimax que altera la composición florística y reduce la presencia de especies invernales de alta calidad forrajera.

En respuesta a estas limitaciones, surge la necesidad de implementar herramientas de manejo sustentable que permitan conservar y mejorar estos sistemas en el largo plazo. Este proyecto busca incrementar la producción de materia seca y favorecer la proliferación de especies invernales de alto valor forrajero mediante la introducción de leguminosas y la fertilización estratégica con fósforo y distintas dosis de nitrógeno, evaluando los efectos en diferentes estaciones del año: invierno, primavera y primavera estival. Con este enfoque, se pretende maximizar el potencial forrajero del campo natural, contribuyendo a la sustentabilidad de la ganadería extensiva y al equilibrio ecológico del ecosistema pastoril.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Este trabajo evalúa la respuesta de la pastura a distintos niveles de fertilización nitrogenada y a la incorporación de leguminosas de cobertura, específicamente *Trifolium pratense* y *Lotus tenuis*, con fertilización fosfatada en ambos casos. La investigación se lleva a cabo en un sistema de pastoreo rotativo con novillos de raza Holando, con el fin de analizar el impacto de estas prácticas en la producción de forraje y en la composición botánica de la pastura bajo diferentes condiciones de manejo.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la respuesta del campo natural en producción de materia seca, a la fertilización NP otoño invernal o mejorados con leguminosas y fosforo, frente al campo natural sin intervención.

Evaluar la respuesta del campo natural en la composición botánica, a la fertilización NP otoño invernal o mejorados con leguminosas y fosforo, comparándolos frente al campo natural sin intervención.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFECTO DEL NITRÓGENO

2.1.1. Generalidades y nitrógeno en el suelo

Los vegetales dependen de ciertos nutrientes esenciales para su crecimiento y la formación de sus tejidos, entre los cuales destaca el nitrógeno. Este nutriente es crucial para el desarrollo de las plantas, y debido a las grandes cantidades que requieren, se clasifica como un macronutriente, al igual que el fósforo y el potasio (Perdomo & Barbazán, 1999). Además, el nitrógeno tiene una influencia considerable en el rendimiento y la calidad de los productos agrícolas (Perdomo & Barbazán, 1999).

Según Morón (1996), el nitrógeno es el nutriente mineral más limitante para el crecimiento de las plantas en la mayoría de los países. Perdomo y Barbazán (1999) sostienen que existe una relación estrecha entre la materia orgánica del suelo y el nitrógeno total, dado que el 98% del nitrógeno en el suelo se encuentra en forma orgánica. Sin embargo, esta forma no está disponible para las plantas, lo que genera una relación inversa entre la cantidad total de nitrógeno y su disponibilidad para las plantas.

Morón (1996) también destaca que el contenido de nitrógeno en el horizonte superficial de los suelos varía entre el 0.1% y el 0.3% del nitrógeno total, aunque estos valores pueden cambiar dependiendo de la textura del suelo.

Por su parte el nitrógeno inorgánico en sus formas de nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), que son las que las plantas absorben, representa menos del 2% del nitrógeno total en el suelo, siendo el nitrato el compuesto al que las plantas muestran mayor afinidad (Whitehead, 2000).

2.1.2. El Nitrógeno en la planta

El nitrógeno se encuentra en las plantas tanto en forma orgánica como inorgánica, donde cumple funciones vitales. La forma inorgánica, representada como NO_3^- , es la única capaz de ser almacenada, aunque su presencia es de magnitud limitada (Perdomo & Barbazán, 1999).

En el interior de la planta, los tejidos jóvenes presentan concentraciones mayores de nitrógeno en comparación con los tejidos más viejos. Además, estas concentraciones varían entre especies, siendo las leguminosas las que presentan las mayores concentraciones, en comparación con las gramíneas. En términos generales,

la cantidad de nitrógeno, expresada como porcentaje del peso seco total de la planta, oscila entre un 1% y un 5% (Perdomo & Barbazán, 1999).

En las pasturas naturales, predominan las especies C₄, que suelen ser deficientes en proteínas. Este déficit proteico se agrava especialmente en las últimas etapas de crecimiento, cuando se observa un aumento en la proporción de tallos (Hall et al., 1998).

La fertilización nitrogenada favorece el aumento de la productividad de las pasturas, aunque este efecto está fuertemente condicionado por las condiciones ambientales. Los cambios son causados principalmente por la influencia directa sobre la morfología y fisiología de las plantas (Whitehead, 1995; Wilman & Wright, 1983, como se cita en Gutiérrez & Toyos, 2017).

Cuando el nitrógeno se convierte en una limitante, se ve afectado el proceso de macollaje, lo que reduce la productividad. No obstante, Whitehead (1995) señala que el efecto más significativo del nitrógeno sobre la producción de pastura está relacionado con el tamaño de las hojas, especialmente con su longitud.

2.1.3. El nitrógeno sobre la producción de forraje

La fertilización nitrogenada tiene efectos directos sobre la productividad de las pasturas, los cuales están explicados por cambios fisiológicos y morfológicos en las plantas. Esta respuesta está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales (Whitehead, 1995; Wilman & Wright, 1983, como se cita en Gutiérrez & Toyos, 2017).

De acuerdo con Del Pino (como se cita en Brum & De Stefani, 1998), el nitrógeno de las pasturas naturales proviene de diversas fuentes. La componente gramínea lo toma en forma de nitrógeno mineral del suelo, mientras que la componente leguminosa lo fija como nitrógeno atmosférico a través de la asociación con *Rhizobium*.

Incrementar los niveles tróficos de nitrógeno y fósforo mejora tanto la producción como la calidad de las pasturas, aunque este aumento es gradual y no tiene un efecto inmediato (Berretta et al., 1998). Las respuestas a la fertilización se observan a partir del primer año, con incrementos que continúan a medida que se sigue aplicando fertilizante (Ayala & Carámbula, 1994).

En concordancia con lo anterior, Berretta et al. (1998) realizaron experimentos en suelos de basalto fertilizados anualmente con 92 kg/ha de nitrógeno y 44 kg/ha de

fósforo. Encontraron que la producción de forraje aumentó con una eficiencia de 7.5 kg de materia seca por kg de nutriente agregado en el primer año, 22.3 kg en el segundo año y 23 kg en el tercer año.

Ayala y Carámbula (1994) señalan que los pastizales naturales, tanto de nuestros campos como de la región, están dominados por especies gramíneas. Estas especies responden positivamente al agregado de nitrógeno, ya que no pueden fijar nitrógeno atmosférico. Esta alta respuesta se refleja en el aumento de la producción primaria de la pastura, lo que convierte al nitrógeno en el principal nutriente para mejorar esta variable.

La respuesta de la pastura a la fertilización nitrogenada es lineal a bajas dosis, alcanza un pico máximo y luego disminuye conforme se incrementa la dosis aplicada (Morrison et al., como se cita en Carámbula, 2002).

Las pasturas de la región no solo presentan desbalances en la proporción de gramíneas y leguminosas, sino que también muestran una marcada estacionalidad estival. Este desbalance genera la necesidad de determinar el momento adecuado para mejorar la pastura y elegir las especies más apropiadas. En un experimento realizado por Larratea y Soutto (2013) en un campo natural del litoral, se agregaron dos dosis de nitrógeno (60 y 114 kg/ha), sin obtener respuestas significativas en invierno, pero con un aumento del 24.2% en la producción de forraje en primavera

Bottaro y Zavala (1973) estudiaron praderas pardas de la formación Fray Bentos y encontraron que las estaciones con mayor producción en ausencia de fertilización fueron verano y primavera. Sin embargo, con fertilización, las estaciones con mayor producción fueron verano y otoño. Estos resultados muestran que el efecto de los tratamientos es más notorio en las estaciones favorables para el crecimiento.

En un estudio realizado por KouKoura et al. (2005), se observó que la fertilización con nitrógeno duplicó la producción de forraje en el primer año, y en el transcurso de tres años, la producción aumentó un 20%.

Por otro lado, en suelos de basalto, Rodríguez Palma et al. (2004) reportaron respuestas significativas a la fertilización con nitrógeno, registrando un aumento relativo de la producción anual de 116% en el primer año y 106% en el segundo año, en comparación con el testigo sin fertilizar.

Estudios más recientes en el mismo sitio donde se realizó el presente trabajo, Luberriaga y Robuschi (2019) encontraron diferencias significativas en la producción de forraje tras el agregado de nitrógeno para el invierno y la primavera, donde los autores recomiendan una dosis de 60 kg/ha de nitrógeno con altas tasas de eficiencia en el uso del mismo. Por su parte Amir y Stancov (2020), coincidiendo con los anteriores autores encontraron diferencias positivas en producción de forraje para el invierno y la primavera tras el agregado de nitrógeno en relación con el testigo sin fertilizar, y también sin diferenciarse entre tratamientos.

2.1.4. Efecto del nitrógeno sobre la composición botánica

Berretta y Do Nascimento (1991) definen la composición botánica como el ordenamiento de las especies en un área determinada, siendo esta característica de las pasturas una de las más efectivas para identificar diferentes sitios ecológicos. Como medida dinámica, la composición botánica se utiliza para detectar cambios en la pastura, ya que la interrelación entre las especies depende del factor ambiental. Se expresa en términos florísticos y puede medirse de manera cuantitativa a través de la presencia, cobertura de área, densidad o peso de las diferentes especies. De este modo, la composición botánica es una herramienta útil para medir los cambios generados en el ambiente, como los cambios en la fertilidad del suelo, y permite evaluar cómo responde el tapiz vegetal a dichos cambios.

2.1.5. Efecto del nitrógeno sobre la estacionalidad

Ayala y Carámbula (1994) afirman que conocer la producción por estación, en relación con la producción anual de una pastura, es una ventaja significativa para los productores, ya que facilita la gestión del pastoreo y evita errores en su manejo. Los mismos autores destacan que la aplicación de fertilizantes puede modificar la curva de producción de la pastura, siendo el momento de la aplicación clave para cambiar la distribución de dicha producción. Este factor se convierte en una herramienta útil para los productores, pues permite optimizar la productividad en función de las condiciones del entorno.

En este sentido, Bottaro y Zavala (1973) y Díaz-Zorita (1997) coinciden en que el nitrógeno es crucial para modificar la curva de distribución anual de la producción de forraje, logrando una distribución más homogénea y contribuyendo a compensar los períodos de déficit en la producción.

Castells (1974) sostiene que las fertilizaciones con nitrógeno durante la estación invernal deben realizarse en las mejores pasturas, ya que solo de este modo

se alcanzan rendimientos rentables y eficientes. Este concepto se basa en dos características del invierno: la baja producción en esta estación y la escasa respuesta de las pasturas a la fertilización debido a las bajas temperaturas.

Berreta y Levratto (1990) y Bemhaja et al. (1998) mencionan que, mediante prácticas como la fertilización con nitrógeno, la introducción de leguminosas y la aplicación de fósforo, junto con un pastoreo adecuado, se puede aumentar la proporción de especies invernales en la pastura, favoreciendo un tapiz vegetal más adaptado a este período.

Boggiano et al. (2004) demostraron que la fertilización fraccionada con nitrógeno, aplicada desde el otoño tardío hasta la primavera temprana, mejora la contribución de las gramíneas invernales en la producción de forraje de los campos naturales.

Por otro lado, las fertilizaciones con nitrógeno al inicio del otoño o a finales del invierno pueden reducir el período de déficit invernal en la producción. Esto se debe a los rebrotes tempranos de las especies invernales, que se producen al fertilizar en otoño, y a los rebrotes estivales cuando se aplica fertilización al final del invierno. Además, la fertilización con nitrógeno a finales del invierno favorece la producción continua de especies invernales y extiende el ciclo de las especies estivales (Berretta et al., 1998).

A pesar de estos beneficios, algunos autores, como Ayala y Carámbula (1994), argumentan que el nitrógeno puede intensificar la estacionalidad de las pasturas naturales, las cuales están dominadas por especies estivales. En este caso, la respuesta al nitrógeno es generalmente mayor durante la primavera, verano y otoño, en comparación con el invierno.

Burgos de Anda (1975) también observó una mayor brecha entre estaciones (verano vs. invierno) cuando se aplicó fertilización con nitrógeno, en comparación con un testigo sin fertilizar. Sin embargo, el autor aclara que factores como el tipo de suelo y las especies presentes en la pastura pueden influir en la estacionalidad y la producción anual.

2.2. EFECTO DEL MEJORAMIENTO EXTENSIVO

2.2.1. Efecto de la introducción de leguminosas en el campo natural

El mejoramiento extensivo del campo natural mediante la introducción de leguminosas adaptadas y la fertilización fosfatada se presenta como una alternativa accesible y económica para los productores. Esta opción resulta atractiva, ya que

permite aumentar la producción forrajera en diversas zonas ganaderas del país (Risso, 1998).

Carámbula (1996) considera el mejoramiento extensivo como una etapa intermedia entre la evolución natural del campo, que ocurre a través de procesos lentos como la resiembra natural y el macollaje, y la instalación de una pastura convencional, que, aunque es de rápido establecimiento, requiere una destrucción total del tapiz original. De este modo, los mejoramientos no sustituyen la vegetación existente, sino que la transforman positivamente, aprovechando la pastura natural y sirviendo de soporte para la siembra de especies forrajeras cultivadas, que complementan la producción.

El beneficio directo de la presencia o introducción de leguminosas en el tapiz es el incremento en el rendimiento y la calidad del forraje. De manera indirecta, las leguminosas contribuyen al aumento del nitrógeno disponible para las gramíneas nativas, lo que favorece la aparición de especies de alta productividad, que son más exigentes en cuanto a este nutriente. Este proceso de transferencia del nitrógeno fijado simbióticamente por las leguminosas hacia las gramíneas ocurre a través de exudados radiculares y la descomposición de restos vegetales (Millot et al., 1987).

En cuanto a los suelos del país, estos presentan un bajo contenido de fósforo, con un máximo de 9 ppm, lo que contribuye a una ausencia parcial de leguminosas en el tapiz y afecta significativamente tanto la cantidad como la calidad de los rendimientos (Carámbula, 1996).

Por esta razón, las leguminosas se consideran una herramienta clave para introducir nitrógeno al ecosistema, promoviendo así aumentos en la producción de forraje de alta calidad (Carámbula, 1992).

Mas (1992) argumenta que la fertilización fosfatada por sí sola no resuelve los problemas de las pasturas naturales. Aunque se observan incrementos en la producción, estos no son sustanciales en términos absolutos y no resuelven problemas como el déficit invernal, la variabilidad anual ni la baja calidad de las pasturas. Por tanto, la introducción de leguminosas es complementaria a la fertilización fosfatada, ya que nuestras pasturas suelen tener una baja frecuencia de leguminosas nativas, lo que limita la respuesta productiva (Mas, 1992).

El mejoramiento de la pastura con la incorporación de leguminosas genera cambios en la fertilidad del suelo, promoviendo aumentos en el nitrógeno disponible,

producto de la descomposición de restos orgánicos. Este incremento de nitrógeno disponible induce cambios botánicos, favoreciendo un aumento de las especies C3, en respuesta al incremento de la fertilidad (Carámbula, 1992).

2.2.2. Efecto sobre la producción de forraje

La producción de forraje en los mejoramientos del campo natural está determinada por varios factores. Carámbula et al. (1998) señalan que los elementos más determinantes son el potencial genético de las especies a implantar, las condiciones ambientales (climáticas y edáficas) y, en menor medida, el manejo aplicado a la pastura.

Durante el inicio del proceso de mejoramiento, se produce un cambio en el ambiente que resulta de un aumento en la fertilidad del suelo, generado por la incorporación de fósforo y nitrógeno, junto con prácticas que controlen el pastoreo. Esto crea condiciones favorables para el aumento en la frecuencia y la producción de gramíneas invernales de alto valor productivo, lo que hace que la vegetación sea más invernal en comparación con la original antes del mejoramiento (Berreta & Levratto, 1990; Bemhaja & Berretta, como se cita en Risso, 1998).

Diversos estudios han mostrado los beneficios del mejoramiento, destacando el aumento en la producción total, especialmente en invierno. Por ejemplo, Bemhaja (1998) presenta datos de un período de tres años en los cuales se registró un aumento relativo del 113% en la tasa de crecimiento diaria de materia seca (kg/ha/día), al comparar un campo natural sobre basalto medio y profundo mejorado con *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* frente a un campo natural sin mejorar sobre basalto profundo. En este caso, el invierno fue la estación con mayor incremento, alcanzando un aumento relativo del 147%.

Por otro lado, Risso et al. (2002) muestran los resultados de un estudio realizado durante cinco años en suelos de la unidad La Carolina. En este estudio, el mejoramiento con *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* resultó en un aumento del 247% en la producción anual de materia seca (kg/ha), mientras que un mejoramiento con *Lotus subiflorus* mostró un aumento del 232%. En ambos casos, el mayor aumento se observó en la estación invernal, con un incremento de la producción de hasta un 285%.

Adicionalmente, los resultados de Millot y Zanoniani (como se cita en Boggiano, 2003), indican que, en suelos pesados del litoral, la producción anual de materia seca

en laderas varió entre 4000 y 6000 kg/ha, mientras que en zonas bajas mejoradas con especies leguminosas la producción alcanzó los 10,000 kg/ha/año

Amir y Stancov (2020) destacan incrementos en la producción de materia seca por efecto del mejoramiento tras el agregado de fertilización nitrogenada como en la incorporación de leguminosas.

2.2.3. Efecto sobre la estacionalidad de la producción

Berreta y Levratto (1990) señalan que los mejoramientos extensivos de campo natural constituyen una alternativa viable para superar las limitaciones en la calidad y cantidad de forraje durante el periodo invernal, que es cuando las pasturas enfrentan los mayores problemas. Dichos mejoramientos permiten aumentar la producción de especies invernales, aunque no trasladan el forraje producido en otras estaciones del año.

Risso y Morón (1990), en un estudio de mejoramientos realizados con *Lotus corniculatus* cv. *San Gabriel* y *Trifolium repens* cv. *Zapicán* sobre suelos del Cristalino Central, reportan que, a lo largo de un periodo de 7 años, no se observaron diferencias significativas en la oferta estacional de forraje entre los campos mejorados y los no mejorados. Sin embargo, se encontró una diferencia en la entrega invernal de forraje, que, aunque en términos porcentuales parece pequeña (un 12-14% en promedio para los campos mejorados frente a un 10-11% para el campo natural sin mejorar), es importante cuando se analizan los kg producidos. Los campos mejorados produjeron 6000 kg/ha/año de materia seca (Ms), mientras que los campos naturales sin mejorar solo produjeron 3500 kg/ha/año de Ms. En términos absolutos, la producción invernal para el campo natural sin intervención fue de 350 kg/ha de Ms, mientras que los mejoramientos produjeron 900 kg/ha de Ms, con una mayor calidad del forraje.

Los mismos autores, en su estudio sobre la producción anual promedio y la variabilidad anual de forraje durante 7 años, también compararon el campo natural sin mejorar con los campos mejorados con *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*. Los resultados mostraron que el campo natural sin mejorar produjo un promedio de 3500 kg/ha/año de Ms, mientras que el campo mejorado con *Trifolium repens* alcanzó los 5800 kg/ha/año de Ms, y el mejorado con *Lotus corniculatus* produjo 6800 kg/ha/año de Ms. Los coeficientes de variación fueron de 27.6%, 23.5% y 19.6% para cada caso, respectivamente, lo que sugiere que los campos mejorados, a largo plazo, presentan una mayor producción y menor variabilidad en comparación con el campo natural sin mejorar.

2.2.4. Efecto sobre la composición botánica

Carámbula (1992) destaca que la mayoría de las gramíneas nativas de nuestras pasturas son de crecimiento primavera-estivo-otoñal (C4), lo que les permite ser más eficientes en la conversión de nitrógeno y agua en materia seca, comparado con las especies de crecimiento otoño-invernal-primaveral (C3). Estas características hacen que las especies C4 sean más competitivas, especialmente en suelos de baja fertilidad y con riesgo de sequías.

En las pasturas naturales de diversas zonas, asociadas a tipos de suelo y a prácticas de manejo previas, predominan las especies C4, que muestran una amplia gama de tipos productivos. En contraste, las especies invernales C3, generalmente tiernas y finas, son escasas y se encuentran en baja frecuencia (Berretta, 1998).

La introducción de leguminosas, junto con fertilizaciones fosfatadas y un manejo adecuado del pastoreo, puede incrementar la frecuencia de las especies invernales finas y tiernas (Bemhaja & Berretta, 1991; Berreta & Levratto, 1990). Carámbula (1992) afirma que el aumento de nitrógeno disponible en el suelo genera cambios en las condiciones de crecimiento, favoreciendo el aumento en la frecuencia de especies C3, como respuesta al incremento de fertilidad. Las leguminosas transfieren nitrógeno fijado a las gramíneas asociadas, a través de la materia orgánica del suelo, que se descompone mediante exudados de raíces y la descomposición de restos vegetales.

Además, los mejoramientos mediante la introducción de leguminosas, fertilización fosfatada y manejo adecuado del pastoreo, mejoran la calidad de la pastura, promoviendo un balance favorable entre especies invernales y estivales (Berreta & Levratto, 1990). Estos cambios se reflejan en un aumento significativo de las especies invernales C3. Berreta y Levratto (1990) demostraron que, en suelos de basalto, la introducción de especies como *Lotus corniculatus* y *Trifolium repens*, combinada con pastoreo controlado, aumentó la proporción de especies invernales en la pastura. En el primer invierno, las especies C3 representaron el 63% de la vegetación, y en el segundo invierno, con la presencia de trébol blanco, esta cifra aumentó al 78,5%. A lo largo de los inviernos posteriores, la proporción de especies invernales llegó al 84%. Este aumento se asoció a la presencia de pastos finos, tanto de especies nativas como introducidas, como *Adesmia bicolor*, *Lolium multiflorum*, *Poa lanigera*, *Medicago polymorpha* y *Stipa setigera*.

Los resultados de estos estudios contrastan fuertemente con las pasturas naturales sin mejorar, en las cuales las especies estivales siempre superan a las invernales en términos de cobertura (Formoso & Berretta, como se cita en Berreta & Levratto, 1990).

El manejo adecuado del pastoreo también juega un papel crucial en el aumento de las especies invernales. Durante la primavera, se recomienda reducir la carga animal o retirar el ganado, para permitir que las especies invernales y las introducidas florezcan y generen semilla, asegurando su regeneración en la temporada siguiente (Berreta & Levratto, 1990; Berretta, 1998).

Risso et al. (2002) también demuestra que la introducción de leguminosas sin alterar el tapiz natural preexistente provoca cambios beneficiosos, aumentando la frecuencia de especies de mayor valor nutritivo, sin perder la diversidad. En su estudio en la región del Cristalino Central, tras cinco años de mejoramiento, los pastos finos y tiernos aumentaron del 26% al 65%, mientras que los pastos ordinarios y las hierbas menores disminuyeron del 65% al 25%. Estos cambios se deben a la mejora en las condiciones físicas y químicas del suelo, lo que eleva el nivel trófico y favorece el crecimiento de especies invernales de alto valor nutritivo, tanto nativas como naturalizadas, y disminuye la frecuencia de especies de baja calidad que compiten mejor en ambientes más pobres.

Estudios realizados en el mismo sitio experimental destacan algunas características en la composición botánica como, Luberriaga y Robuschi (2019) destacan que tanto la introducción de leguminosas como la fertilización nitrogenada generaron más producción de materia seca con desplazamiento de especies perennes productivas por la presencia gramíneas anuales como Raigras y malezas anuales como cardos, también destacan poca presencia de leguminosas implantadas en tratamiento CNM, debido a una mala implantación.

Dutra Da Silveira y Fernández (2020) señalan efectos similares a los anteriores autores ya que la historia de fertilizaciones en otoño invierno llevo a una anualizacion del campo, donde disminuyeron especies perennes estivales, pero esto no llevo a un aumento de perennes invernales, sino que se dio un aumento de anuales y un aumento de área desnuda y malezas.

Por su parte Amir y Stancov (2020) encontraron que el tratamiento con introducción de leguminosas (CNM) presento mayor producción que el testigo campo

natural para el invierno y primavera y más producción que todos los tratamientos para la primavera.

2.3. GÉNEROS SEMBRADOS

2.3.1. Género Trifolium

Es un género con cerca de 300 especies distribuidas en el mundo y sus orígenes datan de Europa, África, Asia y América, de zonas que van de templadas a frías (Izaguirre, 1995).

Trifolium pertenece como género a la tribu *Trifolieae*, subfamilia Papilionoideae (Faboideae), familia Fabaceae (Carámbula, 1996; Williams, 1987).

En Uruguay se presentan varias especies pertenecientes a este género, donde destacan *Trifolium repens* y *Trifolium pratense*, como las más cultivadas en praderas permanentes. Otras exóticas como *Trifolium subterraneum*, *Trifolium fragiferum* ssp. Bonnanii, *Trifolium campestre* Schreber, *Trifolium dubium* Sibthorp, *Trifolium resupinatum* L. y *Trifolium arvense* L., entre otras. Y por último se presentan las especies indígenas, todas consideradas forrajeras y melíferas, que son: *Trifolium polymorphum* Poir, *Trifolium polymorphum* var. *Grandiflorum* Parodi, *Trifolium argentinense* Speg., *Trifolium riograndense* Burkart, *Trifolium riograndense* var. *Pseudocalyculatum* del Puerto (Izaguirre, 1995).

Las diferentes especies que integran este género desarrollan hábitos de crecimiento y mecanismos de rebrote diferentes entre sí, por lo tanto, las respuestas a la defoliación son diferentes también (Carámbula, 1996; Williams, 1987).

El género *Trifolium* presenta una gran habilidad para introducir el nitrógeno en el ecosistema, no obstante, pueden ocurrir fallas en la nodulación por falta de una correcta simbiosis. Todas las especies de este género presentan la necesidad de rizobios específicos, especialmente cuando la siembra se realiza por primera vez, y muchos nódulos se presentan ineficientes para su huésped (Carámbula, 1996).

Izaguirre (1995) caracteriza al género como, plantas herbáceas, habito de vida anuales o perennes, glabras o pubescentes, erectas o rastreras, hojas trifoliadas con foliolos denticulados y estipulas membranáceas soldadas al peciolo, las flores se presentan en inflorescencias axilares capituliformes pedunculadas sin o con brácteas, de color amarillas, rosadas, blancas o violáceas, a veces con flores subterráneas cleistogamas. Cáliz campanulado o tubuloso 5-10 multinervado (en las indígenas siempre 10), persistente, corona marcescente, los 4 pétalos superiores unguiculados,

alargados algo soldados al tubo al tubo estaminal, el estandarte generalmente sin uña, estambres diadelfos con anteras iguales, ovario 1-4 seminado, estilo gábro recto o incurvo, fruto utrículo que encierra una vaina pequeña 1-4 seminada de cáliz persistente y a veces también corola casi indehisciente, semilla de radícula dirigida hacia la placenta, con germinación epigea y primer hoja unifoliada.

2.3.1.1. *Trifolium pratense*

El origen de *Trifolium pratense* es Euro-asiático, y se ha naturalizado en América en zonas templadas y frías con alto nivel de humedad (Izaguirre, 1995). Es una leguminosa que puede ser bianual, trianual o perenne, aunque generalmente es bianual, y rara vez sobrevive a tres veranos (Carámbula, 1977).

Esta especie presenta una estructura erecta, cespitosa y pubescente, alcanzando una altura de entre 25 y 80 cm, con una raíz pivotante que, en algunos casos, puede ramificarse (Izaguirre, 1995).

En cuanto a las hojas son digitado-trifoliadas, con peciolo largo de 8 a 25 cm que se acortan a medida que se acercan al ápice de la planta. Las estipulas son membranosas, triangulares, soldadas 2/3 partes al peciolo, de 6 mm de ancho y 2 cm de largo, quedando el ápice libre a subulado con pelos. Foliolos largamente obovados a elípticos-lanceolados de base cuneada y ápice obtuso a agudo, con una mancha en la cara adaxial en forma de v, con más pubescencia en la cara abaxial, denticulados, hasta 4 cm de largo y un ancho de 2,3 cm. Cabezuelas terminales de 20 a 40 mm de diámetro, solitarias, subsésiles y sustentadas por 2 hojas grandes sésiles, con estipulas anchas y a veces alguna menor interna (Izaguirre, 1995).

Las flores, generalmente rosadas o rosadas-lilas, son erectas y de tamaño pequeño, de 1,3 a 1,8 mm de largo, y el cáliz es tubuloso-campanulado, de color más oscuro que el de las flores, con dientes triangulares y filiformes (Izaguirre, 1995). El fruto es ovalado, con el ápice engrosado, y contiene de 2 a 3 semillas (Izaguirre, 1995).

Trifolium pratense es una especie polimorfa, con una alta variabilidad en tamaño, foliolos y flores (Izaguirre, 1995). Tiene una excelente productividad en suelos húmedos, pero también se adapta a suelos superficiales o de baja fertilidad. Es comúnmente utilizada en praderas mixtas artificiales en el sur y litoral de Uruguay. Comparada con *Trifolium repens*, presenta mayores niveles de meteorismo cuando es pastoreada directamente, posiblemente debido a la mayor succulencia y volumen de forraje producido (Izaguirre, 1995).

Desde el punto de vista agronómico, se clasifica en tres tipos según su floración: temprana, intermedia y tardía. Las variedades de floración temprana crecen rápidamente en primavera, requieren suelos fértiles y son adecuadas para praderas de corta duración. Las variedades de floración intermedia se producen un poco más tarde, tienen una buena cantidad de heno, pero su rebrote no es óptimo. Las de floración tardía florecen aproximadamente un mes después de las tempranas, tienen una excelente persistencia y se recomiendan para praderas de vida media a larga (Carámbula, 2002).

El comportamiento productivo es óptimo en suelos húmedos o con riego en verano, y se adapta bien a suelos ácidos, donde puede reemplazar a la alfalfa Carámbula (2002).

Trifolium pratense presenta dificultades para expandirse y colonizar nuevos sitios, este comportamiento se debe en parte a su baja capacidad de resiembra, lo que afecta su persistencia a largo plazo en sistemas de pastoreo intensivo, limitando su eficacia en mejoramientos de cobertura (Methol & Solari, 1994). Estas limitaciones hacen que *Trifolium pratense* sea menos adecuado para praderas que requieren una regeneración natural constante, especialmente en sistemas con una alta rotación de pastoreo o en áreas donde se busca una pradera de larga duración.

2.3.2. Género Lotus

El género *Lotus*, perteneciente a la familia Fabaceae, subfamilia Papilionoideae, y tribu Loteae (Pinto et al., como se cita en Barreto, 2001), cuenta con una distribución mundial, aunque se cree que su origen se encuentra en la región mediterránea, donde se observa su mayor diversidad de especies (Frame et al., 1998; Seaney et al., como se cita en Barreto, 2001). Este género comprende entre 100 y 176 especies, de las cuales algunas son anuales y otras perennes (Blumenthal et al., Grant, como se citan en Frame et al., 1998). Entre las especies de relevancia agronómica se incluyen *Lotus angustissimus* y *Lotus subbiflorus* (anuales), así como *Lotus corniculatus*, *Lotus glaber* (anteriormente *Lotus tenuis*), y *Lotus pedunculatus* (perennes) (MacDonald, 1946, como se cita en Bonansea, 2018).

Características distintivas de *Lotus* incluyen su crecimiento desde la corona y la peculiar estructura de sus hojas, que presentan dos estípulas en la base del peciolo y tres folíolos adicionales, simulando una disposición pentafofoliada (Zanoniani & Ducamp, 2004). Además, la primera hoja que emerge es trifoliada, lo cual permite diferenciar al género de otros como *Medicago* y *Trifolium* en etapas tempranas (Carámbula et al., 1998).

Las especies de *Lotus* presentan una gran variabilidad morfológica en cuanto al porte (erecto, decumbente o postrado), así como en la estructura de los tallos (huecos o macizos y con o sin pubescencia) (Carámbula et al., 1998). Las flores, dispuestas en umbelas de entre 1 y 12 unidades, son amarillas y pueden mostrar tonos anaranjados o rojos en las nervaduras a medida que maduran (Carámbula et al., 1998).

En cuanto a la reproducción, la fecundación es cruzada y depende de insectos, mientras que las vainas alargadas y dehiscentes liberan semillas mediante un mecanismo de torsión que facilita la dispersión natural (Carámbula et al., 1998; Zanoniani & Ducamp, 2004).

Las especies de *Lotus* se destacan por su capacidad de persistir en suelos de baja fertilidad y escasez de fósforo, condiciones en las que suelen competir con ventaja respecto a géneros como *Medicago* y *Trifolium*. Sin embargo, su producción de biomasa se incrementa notablemente con la adición de fósforo, lo que las coloca en un grupo intermedio entre las especies altamente exigentes en fertilidad, como *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, y *Medicago sativa*, y las de baja fertilidad, como *Ornithopus micranthus* y *Adesmia* spp. (Ayala Torales et al., 2000, como se cita en Zanoniani & Ducamp, 2004).

2.3.2.1. *Lotus glaber*

El *Lotus glaber*, una leguminosa perenne y diploide ($2n=2x=12$), es nativa del área mediterránea y tiene un ciclo vegetativo que se extiende desde primavera hasta otoño. Este género de hábito postrado se caracteriza por un sistema radicular pivotante menos profundo en comparación con el *Lotus corniculatus*, lo que le confiere una menor resistencia a la sequía (Kade et al., 2003; Smethan, 1981).

El forraje de *Lotus glaber* es de alta calidad y digestibilidad, y a diferencia de otras leguminosas no genera meteorismo en el ganado, lo que la convierte en una opción atractiva para la alimentación animal. Esta especie también es eficiente en suelos con baja disponibilidad de fósforo, mostrando una alta respuesta en producción de biomasa cuando se le suministra este nutriente en pequeñas cantidades, lo cual es característico del género *Lotus*, que tiene menores requerimientos de fósforo en comparación con otros géneros como *Trifolium* y *Medicago* (Ayala Torales et al., 2000; Vignolio et al., 2002).

Lotus glaber es especialmente adecuado para entornos hostiles debido a características morfofisiológicas como la producción de raíces adventicias, suberización

de las raíces, un mayor grosor en los tallos sumergidos y una capacidad eficiente de transporte de agua. Estas adaptaciones le permiten tolerar un amplio rango de pH, de 4.8 a 8, y desarrollarse en suelos con anegamiento o salinidad (Montes, Shiferaw et al., Smethan, como se cita en Frame et al., 1998).

En estudios comparativos con *Lotus corniculatus*, se observó que, bajo anegamiento, *Lotus glaber* tiene una menor relación raíz/parte aérea, y distribuye su biomasa reproductiva en un mayor número de vainas y semillas de menor peso, lo que sugiere una estrategia de adaptación diferente y efectiva en condiciones adversas (Ayala Torales et al., 2000; Vignolio et al., 2002). Además, en cinco poblaciones de *Lotus glaber*, las plantas adaptadas al anegamiento desarrollaron raíces adventicias, mientras que aquellas sin esta capacidad mostraron signos de estrés, como cierre estomático, baja absorción de agua y clorosis, conduciendo eventualmente a la abscisión foliar (Vignolio et al., 1999).

Lotus glaber se destaca como una opción para mejoramientos extensivos de pasturas en zonas de baja fertilidad y terrenos frecuentemente anegados, condiciones comunes en algunos ecosistemas que alteran la composición de las comunidades vegetales y favorecen la presencia de especies nativas en lugar de exóticas. Esta especie contribuye a mejorar la producción primaria y la fijación de nitrógeno en sistemas con baja presencia de leguminosas, siendo así una alternativa valiosa para la mejora de pasturas naturales en regiones propensas a la inundación, y por otra parte el *Lotus glaber* ofrece mayor producción invernal que *Lotus corniculatus* lo que los hacen una buena opción para los campos uruguayos (Montes & Cahuépe, 1985, como se cita en Bonansea, 2018; Vignolio et al., 1999).

2.4. HIPÓTESIS BIOLÓGICA

Se plantea que la intervención sobre el campo natural, a través de la fertilización y la incorporación de leguminosas, provocará tres cambios principales en la pastura:

- 1- Incremento en la producción de forraje: Se espera que la aplicación otoño invernal de fertilización NP o la incorporación de leguminosas más fosforo, aumenten la producción de materia seca en kg/ha, para el total del periodo y para las estaciones evaluadas (invierno, primavera y verano).

2- Modificación en la composición botánica: Se anticipa un aumento en la frecuencia de especies invernales por la inclusión de N bajo diferentes dosis de fertilizante o bajo la forma de fijación biológica.

3- La fertilización nitrogenada promoverá el incremento de las especies anuales invernales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

3.1.1. Localización del sitio experimental

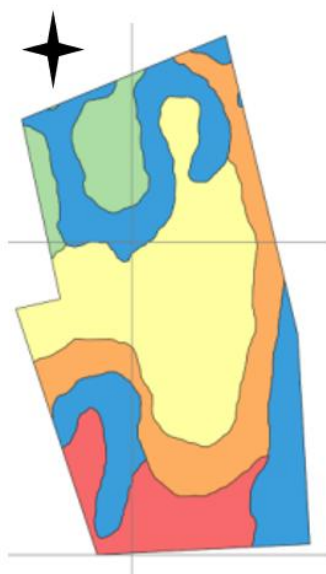
El experimento se realizó en el potrero 18 de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, ubicada en el Km 363 de la ruta nacional No. 3 General Artigas, departamento de Paysandú, Uruguay ($32^{\circ} 20' 9''$ latitud Sur y 58° longitud Oeste, 61 ms. n. m.).

3.1.2. Suelos del sitio experimental

Los suelos del sitio experimental se clasifican, según la tipología de suelos de Uruguay, como Brunosoles eútricos típicos, con asociaciones a Solonetz, pertenecientes a la unidad San Manuel (Altamirano et al., 1976). Estos suelos se desarrollaron sobre lodolitas de la formación Fray Bentos, tal como lo indica el mapa de reconocimiento de suelos de Uruguay a escala 1:1.000.000 (Bossi et al., 1975). La topografía se caracteriza por pendientes moderadas y colinas suaves (Durán, 1985).

Figura 1

Mapa de suelos del sitio experimental



Nota. Verde- Planosoles Éútricos, Rojo- Brunosoles típicos, Amarillo- Litosoles Éútricos melánicos, Naranja- Litosoles y Azul- Solonetz solodizados. Modificado de Franchi y Hernández (2025).

3.1.3. Periodo de evaluación

Se estableció un periodo de evaluación que fue desde junio de 2015 a febrero de 2016, el cual considera el periodo invernal, primaveral y estival. El periodo invernal fue desde el 8 de junio de 2015 al 30 de setiembre de 2015, el periodo primaveral fue del 1 de octubre de 2015 al 17 de diciembre de 2015, y el período estival desde el 18 de diciembre de 2015 al 9 de febrero de 2016.

3.1.4. Vegetación

La zona donde se encuentran las diferentes parcelas experimentales se describe clasificando la estructura vegetal por diferentes estratos. En el estrato alto se encuentran árboles, en el medio se encuentran especies arbustivas y subarbustivas, dominando en el estrato alto la *Acacia Caven* Molina (espinillo) y como asociada *Prosopis affinis* Spreng (ñandubay), típicas especies del monte parque, característico de las zonas cercanas al Río Uruguay, en la zona media se aprecian los rebrotes que se dan después de la tala de las mismas, junto con estos rebrotes también se ven especies arbustivas, subarbustivas y subarrocetadas, dentro de estas se destacan como malezas de campo sucio *Baccharis punctulata* DC., *Baccharis trimera*, *Baccharis coridifolia*, *Eryngium horridum* Malme y *Eupatorium buniifolium* Hook ex Arn.. Por último, aparece el estrato más bajo, en el cual dominan las gramíneas de ciclo estival como *Paspalum dilatatum* Poir., *Paspalum notatum* Fl., *Paspalum plicatulum* Michx., *Botriochola laguroides* DC., *Setaria geniculata* (Lam.) Beauv. Y entre las invernales se destacan *Stipa setigera* Presl., *Piptochaetium stipoides* Trinus Et Rupr., *Stipa megapotamica* Spreng ex Trin y *Bromus auleticus* Trinus, pero también se presentan en menor frecuencia leguminosas, dentro de las cuales se destacan *Desmodium incanum* DC., *Adesmia Bicolor* Poir. Ex DC y *Trifolium polymorphum* Poir.

3.1.5. Animales

Se utilizaron novillos de sobreaño de la raza Holando, asignados aleatoriamente a los diferentes tratamientos, previo a una estratificación por peso vivo. A todos los animales se les administró el tratamiento sanitario correspondiente, conforme a los plazos y procedimientos establecidos.

3.1.6. Antecedentes del sitio experimental

Según Zanoniani (2009), el sitio experimental tiene una historia de más de 20 años relacionada con la cría de vacunos, predominando en la mayoría del área especies como *Bromus auleticus* Trinus, *Dorstenia brasiliensis* Lamarck y *Geranium albicans* St. Hil, que lo caracterizan como campo virgen (Rosengurtt, 1979). Además, el experimento

incluye un área más pequeña, en la que, entre 2001 y 2004, se manejaron diversas cargas y fertilizaciones con fósforo y nitrógeno (Zanoniani, 2009). Esta área permaneció sin fertilizar y bajo pastoreo homogéneo hasta 2012, cuando se reanudó para evaluar diferentes dosis de fertilización con nitrógeno.

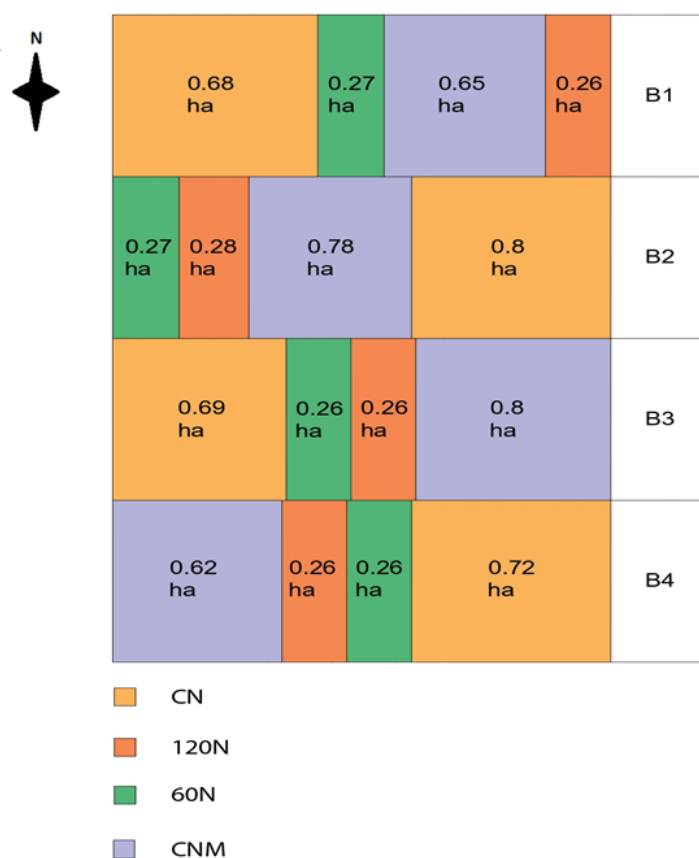
3.1.7. Meteorología

Los datos meteorológicos utilizados en este estudio provienen de la estación automática de la EEMAC (P. Boggiano, comunicación personal, s.f.) y los mismos se emplearon para realizar la caracterización climática del período durante el cual se desarrolló el trabajo experimental. Además, se utilizaron los datos de Castaño et al. (2011) para contextualizar históricamente dicha caracterización y realizar un balance hídrico según el método Thornthwaite-Mather, se utilizaron los datos de precipitaciones y evapotranspiración, considerando una capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de 86 mm, conforme a Larratea y Soutto (2013).

3.1.8. Diseño del experimento

Figura 2

Esbozo de los bloques y tratamientos



Nota. CN-campo natural, CNM-campo natural mejorado, 60N- tratamiento con 60 kg de nitrógeno, 120N- tratamiento con 120 kg de nitrógeno. B1, B2, B3 y B4 son los bloques.

3.1.8.1. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental corresponde a Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones. En cada bloque se definieron cuatro parcelas a las cuales se les asignó aleatoriamente los tratamientos y el testigo (campo natural sin intervención). Los tratamientos fueron: campo natural mejorado con *Trifolium pratense* y *Lotus tenuis* y fertilizado con 40 unidades de fósforo por hectárea, campo natural fertilizado con 60 unidades de nitrógeno y 40 unidades de fósforo por hectárea, y campo natural fertilizado con 120 unidades de nitrógeno y 40 unidades de fósforo por hectárea. El área promedio de las parcelas fueron: CN 0,72 ha, CNM 0,71 ha, 60N 0,26 ha y 120N 0,26 ha, sumando un total de 7,86 ha.

3.1.8.2. Instalación y materiales utilizados

Al momento de la instalación del experimento en setiembre de 2014 los materiales sembrados fueron *Lotus tenuis* cv. Matrero y *Trifolium pratense* cv. Estanduela 116. La siembra se realizó el 3 de septiembre de 2014 con una densidad de 8 kg/ha de cada una de las variedades, utilizando el método de siembra al voleo. Para los tratamientos CNM, 60N y 120N, se aplicó una fertilización inicial a la siembra con 100 kg de fertilizante 7-(40/40)-0 + 4 % S, lo que equivalía a 40 kg/ha de P₂O₅, las fertilizaciones fosfatadas se repiten en otoño. En cuanto a la fertilización nitrogenada, se utilizó un esquema particionado, con aplicaciones a finales del otoño y finales del invierno, utilizando urea granulada como fuente amoniacal.

Frente a la falla en la implantación de las leguminosas, se llevó a cabo una resiembra entre el 11 y el 15 de mayo de 2015, utilizando los mismos materiales y densidades que en la siembra anterior, ya que se presentaron problemas en la implantación de las especies debido a la alta densidad del tapiz y el volumen de restos secos en el momento de la siembra. Estos problemas fueron atribuidos a la época de siembra, cuando el tapiz es más agresivo y compite más con las especies a establecer. El manejo de pastoreo implementado inicialmente consideraba altas ofertas forrajeras, lo que incrementó la competencia con el tapiz.

3.1.8.3. Control de malezas

Para el control de las malezas, se aplicaron herbicidas entre el 14 y el 18 de septiembre, siendo necesario retirar los animales del experimento durante 15 días, ya que el control se realizó en todos los tratamientos. Se utilizaron 1,5 L de 2,4 DB y 350 cm³ de Flumetsulam, aplicados mediante pulverizadora. Las especies objetivo a

controlar fueron: *Cardus acanthoides*, *Cirsium vulgare*, *Eryngium horridum* y *Senecio grisebachii*.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Abreviaturas de variables utilizadas

Las abreviaturas de variables utilizadas en este trabajo están diseñadas para facilitar la lectura y simplificación de las palabras y frases que se repiten a lo largo del texto. A continuación, se presentan algunas de las abreviaturas más comunes empleadas:

- CN: Campo natural.
- CNM: Campo natural mejorado.
- 60N: Tratamiento con fertilización de 60kg de nitrógeno por hectárea.
- 120N: Tratamiento con fertilización de 120kg de nitrógeno por hectárea.
- I: Invierno.
- P: Primavera.
- V: Verano.
- PROD: Materia seca producida en kg/ha.
- MSDISP: Materia seca disponible en kg/ha.
- TC: Tasa de crecimiento diaria en kg/ha/d.
- MSDESP: Materia seca desaparecida en kg/ha.
- ALTDISP: Altura en centímetros de la materia seca disponible.
- MSDISP%V: Porcentaje de forraje verde de la materia seca disponible.
- MSDISP%RS: Porcentaje de forraje seco de la materia seca disponible.
- MSREM: Materia seca remanente en kg/ha.
- ALTREM: Altura en centímetros de la materia seca remanente.
- MSREM%V: Porcentaje de forraje verde de la materia seca remanente.

- MSREM%RS: Porcentaje de forraje seco de la materia seca remanente.
- %MSV: Porcentaje de materia seca verde.
- %MSRS: Porcentaje de materia seca restos secos.
- %GPI: Porcentaje de gramíneas perennes invernales.
- %GPE: Porcentaje de gramíneas perennes estivales.
- %GAI: Porcentaje de gramíneas anuales invernales.
- %HIERB: Porcentaje de hierbas de hoja ancha.
- %LEG: Porcentaje de leguminosas.
- %CARD: Porcentaje de cardos.
- P: Precipitaciones.
- ETP: Evapotranspiración potencial.
- ETR: Evapotranspiración real.

3.2.2. Manejo del experimento

El sistema de pastoreo utilizado en este experimento fue rotativo, consistió en ajustar la carga animal de manera variable entre los bloques, manteniendo una oferta forrajera constante según la estación del año (Mott & Lucas, 1952, como se cita en Gutiérrez & Toyos, 2017). Los bloques fueron pastoreados durante 15 días, seguidos de 45 días de descanso, completando un ciclo de 60 días. Los animales pasaron tres veces por cada bloque, representando el periodo invernal, primaveral y estival.

Para lograr la oferta de forraje objetivo de 6 kg de materia seca por 100 kg de peso vivo (6% PV) en otoño invierno y 10% de peso vivo para primavera verano, se empleó el método "put-and-take", que permite modificar la carga animal mediante el uso de animales fijos y "volantes" (Blaser et al., 1993, Mott & Lucas, 1952, como se citan en Maraschin, 1993). Este método ayudó a estandarizar las intensidades de pastoreo, lo que permitió realizar comparaciones entre los diferentes tratamientos y bloques.

3.2.3. Evaluación de la pastura

Para la determinación de los valores de la pastura, se separaron las mediciones de materia seca presente al momento del ingreso de los animales a la parcela y los remanentes al momento de su salida, producción de materia seca, la tasa de crecimiento de la pastura y la composición botánica del tapiz. Estos datos fueron utilizados para calcular la carga animal por parcela, considerando la oferta forrajera correspondiente a la estación del año en que se encontraba el experimento.

3.2.3.1. Determinación de la materia seca presente

Para determinar la materia seca presente (kg/ha) al momento de ingreso (disponible) y salida (remanente) de los animales de la parcela, se utilizó el método de doble muestreo propuesto por Haydock y Shaw en el año 1975, como señalan Cayley y Bird (1996). Este procedimiento consistió inicialmente en recorrer los tratamientos y realizar una medición visual en cada uno de los cuatro bloques. Se asignó una escala de 1 a 5, donde 1 representaba el menor volumen y altura de forraje, y 5 el mayor, considerando solo el material forrajero y excluyendo malezas no consumibles por los animales.

Una vez determinada la escala visual, se procedió a la fase destructiva, que consistió en cortar tres muestras de 50 cm x 50 cm para cada valor de la escala, tomando cinco medidas de altura por muestra. El corte se realizó con tijera, asegurando que no se retirara mantillo ni suelo, evitando así la alteración de las muestras.

Las muestras fueron luego transportadas al laboratorio, donde se pesaron frescas y, posteriormente, se secaron en una estufa con circulación de aire a 60°C hasta alcanzar peso constante. A partir de estos datos se calcularon los valores de materia seca correspondientes a cada valor de escala.

La metodología de muestreo consistió en recorrer las parcelas y sobre el cuadrado de 50 cm x 50 cm se asignó un valor de escala, se tomaron tres medidas de altura y, según correspondía, se calculó el porcentaje de forraje verde/seco o se utilizó el método botanal (Tothill et al., 1992) para determinar la composición botánica. Este último asigna un porcentaje de materia seca a cada fracción botánica. También se asignaron valores porcentuales para suelo desnudo, malezas y presencia de estiércol.

Para las parcelas pequeñas, con una superficie de entre 0,25 y 0,28 hectáreas, se tomaron 40 muestras, mientras que, para las parcelas grandes, de entre 0,65 y 0,8 hectáreas, se tomaron 60 muestras. Con los datos obtenidos de las mediciones de la

escala (kg de MS/ha) y las alturas, se ajustaron ecuaciones de regresión, seleccionándose aquellas con el mayor valor de R^2 como las de mayor precisión.

3.2.3.2. Determinación de la producción

Para calcular la producción total de materia seca (kg/ha) en el ciclo de pastoreo, se toma en cuenta el forraje producido durante los periodos de pastoreo y descanso. Primero, se estima la tasa de crecimiento diaria del forraje, que se multiplica por el número de días que los animales pastorean la parcela. Luego, se incluye el forraje producido durante el periodo de descanso, calculado a partir de la diferencia en kg de materia seca entre el ingreso y la última salida de los animales de la parcela. La suma de estas dos mediciones da como resultado la producción total de materia seca para el ciclo de pastoreo. Este enfoque permite considerar tanto la productividad en el tiempo de ocupación activa como el crecimiento durante el periodo de descanso, proporcionando una estimación completa de la producción forrajera.

3.2.3.3. Determinación de la tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento de la pastura (kg/ha/día) se determina dividiendo la materia seca acumulada en el periodo de descanso de la pastura por los días de descanso. Esta variable permite evaluar el rendimiento forrajero diario, proporcionando una medida del crecimiento de la pastura en relación al tiempo.

3.2.3.4. Determinación de la composición botánica

La determinación de la composición botánica del tapiz forrajero se realizó utilizando dos métodos complementarios. El primero fue la relación verde/seco, que proporciona información sobre el estado general del tapiz sin identificar específicamente las especies presentes, pero sirve como indicador de su calidad y densidad. El segundo método, considerado más preciso, fue el método Botanal (Tothill et al., 1992), el cual permite determinar el porcentaje o la cantidad en kg de cada especie o grupo de especies en el tapiz, proporcionando un análisis detallado de su composición.

En cuanto a la clasificación de las especies, se establecieron 15 fracciones de interés, basadas en características como el ciclo de producción, el hábito de vida, el tipo productivo y vegetativo de las plantas. Estas fracciones son:

1. *Bromus auleticus*
2. *Stipa setigera*

3. Gramíneas perennes invernales
4. *Bouteloua megapotamica*
5. *Paspalum notatum*
6. *Paspalum dilatatum*
7. Gramíneas perennes estivales
8. Hierbas enanas
9. Restos secos
10. Gramíneas anuales invernales
11. *Dichondra microcalix*
12. *Sporobolus indicus*
13. Leguminosas sembradas
14. *Coelorhachis selloana*
15. Cardos

Para simplificar el análisis y mejorar la representatividad de los grupos, algunas fracciones se combinaron. Por ejemplo, *Bromus auleticus* y *Stipa setigera* se agruparon dentro de gramíneas perennes invernales, lo que permitió comparar de manera más directa el total de gramíneas en cada tratamiento o como porcentaje de especies de interés. Este enfoque permite analizar su evolución y comportamiento dentro de cada grupo (ver anexo C).

Los restos secos se consideran como todo el material muerto del tapiz, sin importar la especie vegetal que lo componen, lo cual es relevante para evaluar la cantidad de material no útil disponible para los animales y su impacto en la calidad general del forraje.

Este enfoque detallado y diferenciado de clasificación de especies y su medición a través del método Botanal proporciona una base sólida para comprender cómo cada componente botánico contribuye a la calidad forrajera y cómo se puede gestionar de manera eficiente.

3.3. MODELO ESTADISTICO

El modelo para el análisis por estación corresponde a un diseño en bloques completos al azar (DBCA). Para una medición:

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

Siendo:

- Y = corresponde a la variable de interés.
- μ = es la media general.
- T_i = es el efecto de la i -ésimo tratamiento.
- β_j = es el efecto del j -ésimo bloque.
- ξ_{ij} = es el error experimental.

El modelo para el análisis de la composición botánica corresponde a un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con parcelas divididas en el tiempo, quedando representado por:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \xi_{ij} + \gamma_k + T\gamma_{ik} + \xi_{ijk}$$

Siendo:

- Y = corresponde a la variable de interés.
- μ = es la media general.
- T_i = es el efecto de la i -ésimo tratamiento.
- β_j = es el efecto del j -ésimo bloque.
- ξ_{ij} = es el error experimental. Error A
- γ_k = es el efecto de la k -ésima estación.
- $T\gamma_{ik}$ = es la interacción tratamiento por estación
- ξ_{ijk} = es el error experimental. Error B

Se realizó la comparación de medias utilizando Tukey con una probabilidad del 10%.

También se utilizaron contrastes ortogonales para comparar las medias de los tratamientos según los niveles de intensificación.

$$C1 = CN - 1/3 CNM - 1/3 60N - 1/3 120 N$$

$$C2 = 0 CN + CNM - 1/2 60N - 1/2 120 N$$

$$C3 = 0 CN + 0 CNM - 60 N - 120 N$$

3.3.1. Hipótesis estadística

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

Ha: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$

Ho: $C_1 = 0$ Ha: $C_1 \neq 0$

Ho: $C_2 = 0$ Ha: $C_1 \neq 0$

Ho: $C_3 = 0$ Ha: $C_1 \neq 0$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

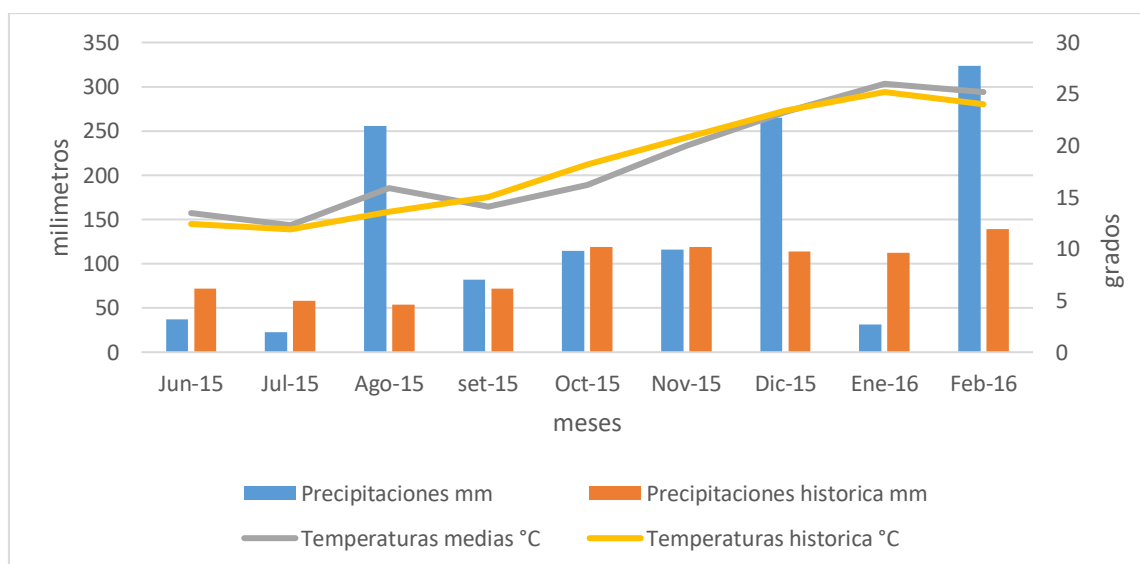
4.1. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

4.1.1. Precipitaciones y temperatura

En la siguiente figura se presenta la evolución de las variables de temperatura y precipitaciones durante el periodo de evaluación (junio de 2015 a febrero de 2016). Ambas variables se comparan con los datos históricos de la serie proporcionada por Castaño et al. (2011) para el periodo 1980-2009, lo que permite observar las variaciones climáticas durante el experimento en relación con los promedios históricos. Esto ofrece una visión detallada de las condiciones climáticas durante el ciclo del estudio y su posible influencia en los resultados obtenidos.

Figura 3

Temperaturas y precipitaciones medias del periodo de evaluación y la serie histórica



Nota. Ver anexo A.

Durante el periodo de evaluación (junio de 2015 a febrero de 2016), la temperatura media mostró un patrón interesante en comparación con los registros históricos. En invierno, la temperatura fue aproximadamente 1 grado más alta que el promedio histórico, mientras que, en la primavera, las temperaturas estuvieron por debajo de los valores históricos, resultando en un invierno más cálido y una primavera más fresca. En cuanto al verano, las temperaturas fueron superiores a las históricas, registrando aproximadamente 1 grado más en enero y febrero.

Respecto a las precipitaciones acumuladas durante el mismo periodo, se observó un aumento significativo de aproximadamente 390 mm en comparación con los datos históricos. Este incremento se debió a eventos de lluvia que superaron los

registros históricos en varios meses: en agosto, las precipitaciones fueron aproximadamente 200 mm más altas, en diciembre 150 mm, y en febrero 180 mm. Esta tendencia se mantuvo no solo para todo el periodo, sino también para cada estación individualmente, con el invierno influenciado por las lluvias de agosto, la primavera por las de diciembre y el verano por las lluvias de febrero, lo que generó una mayor humedad durante todo el ciclo evaluado en comparación con los registros históricos.

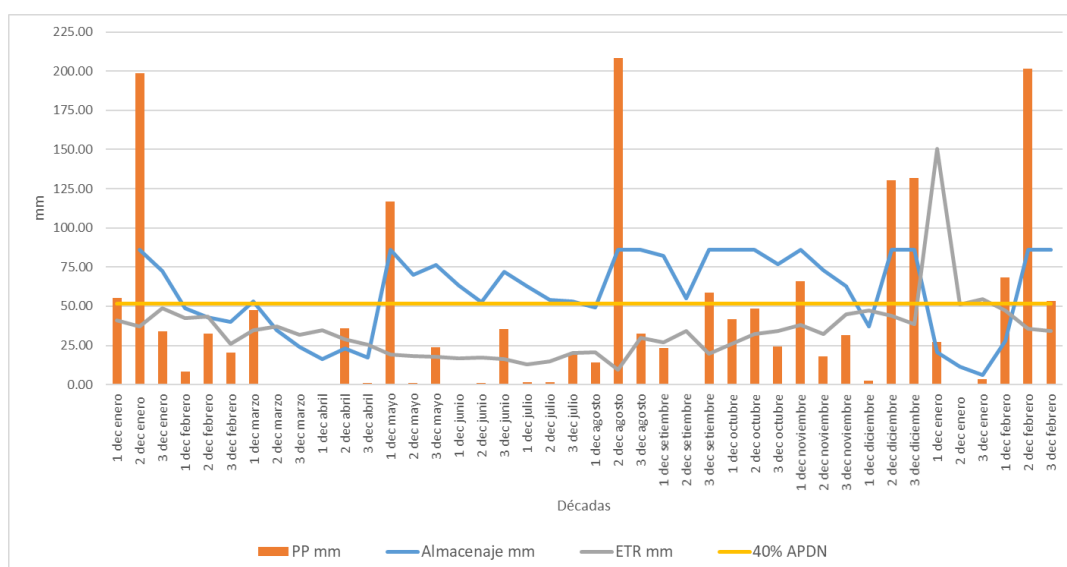
4.1.2. Balance hídrico

El balance hídrico se calculó cada 10 días durante el periodo de evaluación y los meses previos para analizar en qué condición llegaba el sitio experimental, comenzando con la segunda década de enero de 2015, cuando el perfil del suelo ya estaba lleno. Para este cálculo, se utilizaron los datos de precipitaciones y evapotranspiración potencial (ETP), considerando un valor promedio de capacidad de almacenaje de agua disponible (CAAD) de 86 mm. También se adoptó un valor de agua potencialmente disponible neta (APDN) del 40%, lo que indica que el agua disponible para las plantas comienza a ser eficaz cuando el perfil tiene al menos el 40% de su capacidad de almacenaje, y debajo de este umbral la absorción de agua se ve dificultada (García Petillo, 2012).

A partir de estos datos, se calcularon el almacenaje de agua del suelo y la evapotranspiración real (ETR). Además, se determinaron los periodos de excesos y déficits hídricos, lo cual permitió evaluar las condiciones hídricas a lo largo del ciclo de cultivo.

Figura 4

Evolución del almacenaje de agua, evapotranspiración real y periodos de déficit y excesos hídricos



Nota. Ver anexo B.

La figura No. 4 muestra el balance hídrico desde enero de 2015 hasta febrero 2016 y la flecha verde indica el comienzo del periodo de evaluación (primera década de junio), se destaca que el almacenaje de agua en el perfil se mantuvo para el periodo invernal y primaveral por encima del 60% de su capacidad, lo que permitió que las plantas accedieran al agua disponible, y se registró para el periodo estival un déficit hídrico de unos 10 días en diciembre y 40 días entre enero y febrero.

4.2. ANÁLISIS DE LA PASTURA

4.2.1. Análisis de la producción acumulada

Tabla 1

Efectos de los tratamientos sobre la producción acumulada para todo el periodo de evaluación

TRATAMIENTO	PRODUCCION ACUMULADA
CN	3503 B
CNM	3468 B
60N	5071 A
120N	4682 A

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$). Producción acumulada de materia seca en kg/ha.

Cuando se analiza la producción total acumulada se observa que los tratamientos fertilizados con nitrógeno producen significativamente más que los tratamientos CN y CNM, esto se explica por la alta respuesta de la pastura a este nutriente en invierno y primavera. A medida que se avanza en el periodo de evaluación las diferencias van disminuyendo, destacando que las respuestas máximas se dan en invierno. Resultados similares obtuvieron Luberriaga y Robuschi (2019) donde la producción total acumulada fue mayor significativamente para los tratamientos nitrogenados en relación al CN, mientras que el CNM no logro diferenciarse con ningún tratamiento, sus máximos registros de producción se dan para el periodo invierno y el invierno-primavera, siendo ambos mayores que para la primavera, este comportamiento es similar a este estudio donde las respuestas nitrogenadas se dan mayormente en el invierno para después ir bajando a medida que avanza la estación. Por su parte Dutra Da Silveira y Fernández (2020) no obtuvieron mayores respuestas acumuladas para los tratamientos fertilizados con nitrógeno, sino que el único tratamiento que logro diferenciarse por una mayor producción acumulada en relación a los demás fue el CNM. Cabe destacar también que en el presente trabajo la baja producción del CNM se debe a que la instalación del tratamiento en primavera del 2014 fue mala, por las condiciones

ambientales de esa época y la alta competencia que ejerce el tapiz con las leguminosas agregadas, por eso se tuvo que realizar una nueva instalación en el otoño del 2015.

El análisis por contrastes ortogonales presento significancia $p=0,1$ para el C1 y para el C2 ($p=0,03$), sin diferencias entre niveles de fertilización nitrogenada (C3). La respuesta a la fertilización nitrogenada en el primer año del experimento determino un aumento significativo en la producción de materia seca total.

4.2.2. Análisis del periodo invernal

En la tabla No 2 se presentan los niveles de significancia para las variables estudiadas, a través del análisis de la varianza y de contrastes ortogonales.

Tabla 2

Significancia de las variables en estudio, para el análisis de la varianza y contrastes ortogonales

VARIABLE	ANOVA	C1	C2	C3
PROD	*	NS	*	NS
MSDISP	**	+	**	NS
TC	*	NS	*	NS
MSDESP	**	*	**	NS
%MSDESP	NS	NS	*	NS
ALTDISP	+	NS	*	NS
MSDISP%V	+	NS	NS	NS
MSDISP%RS	+	NS	NS	NS
MSREM	NS	NS	NS	NS
ALTREM	NS	NS	NS	NS
MSREM%V	NS	NS	NS	NS
MSREM%RS	NS	NS	NS	NS

Nota. Caracteres representan niveles de significancia: + ($p < 0,1$); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$).

Por el análisis de la varianza se observan diferencias significativas ($p < 0,01$) para las variables MSDISP y MSDESP, diferencias significativas ($p < 0,05$) para la variable PROD y TC, y con diferencias significativas ($p < 0,1$) para ALTDISP, MSDISP%V y MSDISP%RS, para el resto de las variables el estudio no arrojo diferencias significativas.

El análisis por contrastes ortogonales muestra significancia en el C1 para el MSDISP y MSDESP. Para el C2, se observan diferencias significativas para las

variables PROD, MSDISP, TC, MSDESP, %MSDESP y ALTDISP. El C3 no arrojó diferencias significativas para ninguna de las variables en estudio.

Las variables producción de materia seca y tasa de crecimiento diaria (Tabla No. 3), se comportaron de manera similar entre tratamientos fertilizados y con diferencias significativas entre los que recibieron fertilización y los que no.

Tabla 3

Respuesta invernal a los tratamientos sobre la materia seca producida y tasa de crecimiento diaria

TRATAMIENTO	PROD	TC
CN	996 B	18 B
CNM	813 B	15 B
60N	1672 A	30 A
120N	1736 A	32 A

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$). Materia seca producida en kg/ha y tasa de crecimiento diaria en kg/ha/d.

La producción de materia seca y la tasa de crecimiento diaria invernal fueron superiores en los tratamientos fertilizados frente al CN y CNM, sin diferencias significativas entre estos, ni entre los tratamientos 60N y 120N.

El agregado de 60 kg nitrógeno representó un aumento en la producción invernal de 676 kg frente al CN, y 859 kg en relación al CNM, lo que representa una eficiencia de producción de 11,3 kg y 14,3 kg de materia seca producida por kg de nitrógeno agregado respectivamente. Por su parte el agregado de 120 kg de nitrógeno generó aumentos en la producción invernal de 740 kg en relación al CN y 923 kg en relación a el CNM, representando una eficiencia de producción de 6,2 kg y 7,7 kg de materia seca producida por kg de nitrógeno agregado respectivamente.

El aumentar la fertilización nitrogenada de 60 kg a 120 kg, no demostró diferencias significativas para la producción, pero si se observan diferencias en la eficiencia en el uso del nitrógeno, siendo esta prácticamente el doble cuando se agrega la mitad de nitrógeno.

La tasa de crecimiento diaria se comportó de la misma forma que la producción, los tratamientos CN y CNM lograron crecimientos diarios que representan el 50% a los obtenidos por los tratamientos 60N y 120N.

Los resultados en producción entre CN y CNM en relación a 60N y 120 N son aún más destacables por el efecto del año, donde el otoño anterior al invierno en estudio fue seco, lo que limitó el crecimiento de la vegetación. De esta manera se redujo el consumo del N disponible en el suelo, quedando una mayor disponibilidad para el invierno cuando el suelo volvió a tener agua disponible para el crecimiento de las plantas. Es de esperar que en el CN y el CNM los niveles de N disponible fueran altos y que las diferencias con los tratamientos fertilizados con N fuesen menores que en un otoño promedio donde el consumo de N hubiese sido más alto.

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Perdomo y Barbazán (1999), quienes subrayan que el nitrógeno es el nutriente más determinante en el rendimiento y calidad del forraje. De manera similar, Koukoura et al. (2005) refuerzan esta idea, demostrando diferencias significativas en la producción entre tratamientos con y sin nitrógeno. Además, Morón (1996) coincide con esta afirmación, señalando que en la mayoría de los países el nitrógeno es el nutriente mineral más limitante para la producción vegetal. Estos estudios coinciden en resaltar el papel clave del nitrógeno en la mejora del rendimiento de las pasturas y la producción agrícola en general.

La alta respuesta al nitrógeno en los tapices naturales puede explicarse por la predominancia de especies gramíneas, las cuales, a diferencia de las leguminosas, no tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Este fenómeno se ve reflejado en la respuesta positiva que estas especies muestran ante la fertilización nitrogenada, lo cual resulta en un aumento significativo en la producción primaria de forraje. Ayala y Carámbula (1994) afirman que, tanto en nuestros tapices como en los de la región, las gramíneas dominan, lo que favorece su alta respuesta a la fertilización nitrogenada, convirtiéndolo en el nutriente más influyente para incrementar la productividad de la pastura. Este aumento en la producción es un reflejo directo de la capacidad de las gramíneas para aprovechar mejor el nitrógeno aplicado, lo que mejora la disponibilidad y calidad del forraje.

La respuesta de la pastura a la fertilización nitrogenada sigue una tendencia descrita por Carámbula (2002), quien explica que a bajas dosis de nitrógeno la respuesta es lineal, alcanzando un pico máximo a partir del cual los incrementos adicionales de nitrógeno ya no producen un aumento significativo en la producción. Este comportamiento se refleja en los resultados obtenidos en el presente estudio, donde el aumento de la dosis de nitrógeno de 60 kg a 120 kg no resultó en aumentos significativos en la producción (PROD) ni en la tasa de crecimiento (TC). Este fenómeno es consistente con lo reportado en investigaciones previas que señalan que, una vez

alcanzado un umbral óptimo de fertilización, las dosis mayores no siempre mejoran la eficiencia productiva.

Los resultados de investigaciones previas realizadas en el mismo sitio de estudio muestran variabilidad en la respuesta de la pastura a la fertilización nitrogenada, lo que resalta la importancia de las condiciones ambientales en el desempeño de los cultivos. Por ejemplo, Gallinal et al. (2016) y Duhalde y Silveira (2018) no encontraron diferencias significativas en la producción ni en la tasa de crecimiento diaria durante los períodos evaluados en verano, otoño e invierno, respectivamente. Sin embargo, Gutiérrez y Toyos (2017) encontraron diferencias significativas al aplicar 120 kg de nitrógeno, especialmente en los períodos de invierno y primavera, lo que destaca cómo las condiciones ambientales, como la temperatura y las precipitaciones, pueden influir en los resultados de la fertilización nitrogenada. Este comportamiento sugiere que la respuesta al nitrógeno no solo depende de la dosis aplicada, sino también de factores climáticos, como las lluvias y las temperaturas, que varían entre años y estaciones.

Luberrriaga y Robuschi (2019) observaron diferencias significativas en la producción (PROD) y la tasa de crecimiento (TC) entre el tratamiento sin fertilizar (CN) y los tratamientos con nitrógeno, lo que sugiere que la fertilización nitrogenada favorece el crecimiento de la pastura. Sin embargo, el tratamiento CNM mostró resultados intermedios que no se diferenciaron significativamente de los demás tratamientos, lo que indica que, en algunas condiciones, el efecto del nitrógeno en la producción puede ser modulado por otros factores como la cantidad de materia orgánica presente o las especies dominantes en el tapiz forrajero. Esto resalta la complejidad de la respuesta a la fertilización y la necesidad de considerar múltiples variables ambientales y agronómicas para interpretar los resultados.

La fertilización nitrogenada mejora la productividad de la pastura, pero también este efecto depende en gran medida de las condiciones ambientales. Es decir, el éxito de la fertilización con nitrógeno no es solo cuestión de la cantidad aplicada, sino también de factores como las condiciones climáticas, la disponibilidad de agua y el tipo de vegetación en la parcela (Wilman & Wright, 1983, como se cita en Gutiérrez & Toyos, 2017).

El análisis de contrastes ortogonales ha mostrado diferencias significativas en la producción y la tasa de crecimiento diaria al comparar los tratamientos fertilizados con nitrógeno frente al CNM (C2). Este análisis confirma que la intensificación productiva mediante la adición de fertilizantes nitrogenados genera una mayor producción de

materia seca y una tasa de crecimiento diaria más alta en comparación con el tratamiento sin fertilización.

Los resultados obtenidos reflejan una alta respuesta de las pasturas a la fertilización nitrogenada, un efecto probablemente explicado por la alta proporción de gramíneas invernales presentes en los tapices naturales, con el *raigrás* como la especie más determinante en esta respuesta. El *raigrás* es especialmente sensible al nitrógeno debido a su capacidad para aprovechar eficientemente este nutriente, lo que genera un incremento notable en la producción forrajera.

Boggiano et al. (2005) encontraron que la fertilización con nitrógeno produjo una respuesta máxima en la producción invernal de forraje, alcanzando hasta 2000 kg/ha de materia seca con 300 kg/ha de nitrógeno y un contenido de 4% de proteína bruta en el pasto (OF de 4% de PV). Los autores atribuyen este incremento principalmente a la contribución de pastos finos y tiernos, que son más abundantes y de mejor calidad en otoño e invierno.

Rodríguez Palma et al. (2004) encontraron respuestas significativas al agregado de nitrógeno, observando un aumento de la producción anual de forraje del 116 % en el primer año y del 106 % en el segundo año en comparación con los tratamientos sin fertilizar. Este resultado respalda el impacto positivo del nitrógeno como nutriente clave para mejorar la productividad de las pasturas, especialmente en ambientes limitados en este nutriente.

Los resultados obtenidos en este estudio no coinciden con los de Duhalde y Silveira (2018), quienes no encontraron aumentos significativos en la producción ni en la tasa de crecimiento diaria durante el periodo invernal en el mismo sitio experimental. Esto resalta la importancia de las condiciones ambientales anuales, ya que el periodo invernal de este trabajo se caracterizó por condiciones hídricas favorables y temperaturas por encima de los registros históricos, lo cual benefició el crecimiento y permitió que se expresara el potencial productivo del mejoramiento de la pastura. En este sentido, Colabelli et al. (1998) destacan cómo las condiciones ambientales son determinantes para la tasa de crecimiento diaria, ya que las plantas responden de manera inmediata a los cambios en la temperatura. Esto sugiere que el comportamiento observado puede haber sido influenciado por factores climáticos excepcionales que facilitaron la respuesta de la pastura a la fertilización nitrogenada.

El comportamiento del disponible y del remanente es diferente entre tratamientos (Tabla No. 4), así como también el de la materia seca desaparecida.

Tabla 4

Respuesta invernal a los tratamientos en: MSDISP, ALTDISP, MSREM, ALTREM, MSDESP y %MSDESP

TRAT	MSDISP	ALTDISP	MSREM	ALTREM	MSDESP	%MSDESP
CN	2597 B	8,8 B	1511	6,2	855 B	33 AB
CNM	2218 B	8,5 B	1402	5,2	617 B	27 B
60N	3414 A	11,9 A	1545	6,1	1455 A	42 A
120N	3607 A	10,6 AB	1709	6,4	1482 A	41 A

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$).

La materia seca disponible se mostró mayor en los tratamientos con fertilización nitrogenada en relación a los que no recibieron fertilización. Con el agregado de 60 kg de nitrógeno la materia seca disponible aumentó 817 kg y 1196 kg en relación a los tratamientos CN y CNM respectivamente. Agregando 120 kg de nitrógeno el aumento fue de 1010 kg y 1389 kg en relación a los tratamientos CN y CNM respectivamente. La MSDISP mostró respuestas similares a la producción (Tabla No. 3), donde se señalan aumentos significativos producto de la fertilización nitrogenada.

Estos resultados son distintos a los encontrados por Larratea y Soutto (2013), quienes al aplicar dos dosis de nitrógeno similares (60 y 114 kg N/ha) no observaron respuestas significativas durante el periodo invernal, aunque sí hubo una respuesta en la producción de forraje durante la primavera. Esta diferencia puede estar relacionada con las condiciones climáticas y ambientales específicas de cada periodo de estudio, así como con las características particulares del sitio experimental y la gestión de la fertilización. El comportamiento de las pasturas frente a la fertilización nitrogenada puede variar considerablemente dependiendo de factores como las precipitaciones, la temperatura, y la composición de especies predominantes en el tapiz vegetal. En este caso, la respuesta más evidente en la primavera puede atribuirse a condiciones ambientales más favorables para el crecimiento vegetativo durante esta estación, lo que permite que el nitrógeno tenga un impacto más marcado en la producción.

En relación con la altura del disponible y la densidad de la materia seca, se observa que los tratamientos con fertilización nitrogenada, específicamente el tratamiento con 60 kg de nitrógeno (60N), presentan una diferencia significativa con respecto a los tratamientos sin fertilización (CN y CNM). El tratamiento 60N muestra una densidad de 285 kg/cm, lo que es mayor que los tratamientos CN (295 kg/cm) y CNM (261 kg/cm), con una diferencia de hasta 34 kg/cm en densidad.

El tratamiento con 120 kg de nitrógeno (120N), aunque muestra una mayor densidad con 340 kg/cm, no presenta diferencias significativas en comparación con otros tratamientos. Sin embargo, la altura del forraje en términos absolutos es menor que en el tratamiento con 60N, aunque los kilogramos de materia seca generados son más altos debido a la mayor densidad del tapiz.

Esto sugiere que el incremento de la fertilización nitrogenada, a partir de 60 kg/ha, favorece la densidad del forraje, pero no necesariamente aumenta la altura en términos absolutos. Sin embargo, en el caso del tratamiento 120N, la mayor densidad parece indicar una mayor acumulación de materia seca, aunque esto no se traduce necesariamente en un aumento de la altura del forraje. Estos resultados destacan la importancia de ajustar la dosis de nitrógeno para optimizar la densidad y la producción de materia seca sin comprometer la altura del pastizal.

En cuanto a la materia seca remanente y la altura del remanente, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que la fertilización nitrogenada no afecta de manera notable estas variables. Sin embargo, la materia seca desaparecida muestra un patrón distinto, presentando un incremento significativo en los tratamientos fertilizados en comparación con los no fertilizados.

El tratamiento 60N mostró un aumento de 600 kg de materia seca desaparecida respecto al tratamiento CN (sin fertilización) y 838 kg en relación al CNM. Estos resultados son similares a los obtenidos para el tratamiento 120N, lo que indica que, a medida que se aumenta la cantidad de forraje disponible, también aumenta la cantidad de materia seca consumida o desaparecida por los animales.

El porcentaje de materia seca desaparecida presentó diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y el CNM, pero no entre el CN y los tratamientos fertilizados. Esto sugiere que el efecto de la fertilización sobre la desaparición de materia seca es más marcado al comparar los tratamientos fertilizados con los que no reciben fertilización, especialmente en el caso del CNM. En general, estos resultados refuerzan la idea de que una mayor cantidad de forraje disponible, inducida por la fertilización, está relacionada con un mayor consumo de materia seca por parte del ganado.

El análisis de los contrastes ortogonales 1 y 2 marcan que, para la MSDISP, ALTDISP, MSDESP y %MSDESP la intensificación productiva a través de la incorporación de leguminosas y la fertilización nitrogenada provocan aumentos significativos. Por su parte el contraste 1 señala que incrementa dichas variables cuando se compara al testigo (CN) con el mejoramiento y los fertilizados. El contraste 2 marca

los incrementos obtenidos por el agregado de nitrógeno, presentando diferencias positivas para todas variables cuando se compara a los tratamientos fertilizados vs el mejorado.

En la tabla No. 4, no presentan diferencias para las variables analizadas entre el CN y CNM, lo que indicaría que la diferencia detectada en el C1 está explicada mayormente por los tratamientos fertilizados.

Las diferencias encontradas en la materia seca desaparecida (MSD) se pueden asociar con las variaciones en la cantidad de material disponible, ya que los remanentes (MSREM) no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Es decir, aunque la cantidad de forraje desaparecido fue mayor en los tratamientos fertilizados, la cantidad de forraje remanente al final del período fue similar, lo que sugiere que el principal factor que afecta la desaparición de forraje es la cantidad de material disponible para consumo.

En cuanto a la proporción de material verde y seco en la materia seca disponible (MSDISP) y en los remanentes (MSREM), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En promedio, el material verde representó el 80 % del forraje disponible, mientras que los restos secos constituyeron el 20 %. En los remanentes, la fracción verde fue del 76 % y los restos secos del 24 %.

Una característica importante es que el forraje disponible presenta un mayor porcentaje de material verde y menos restos secos en comparación con el remanente. Esto se debe a que el remanente, ubicado más cerca del suelo, acumula una mayor proporción de material muerto (restos secos). Esta distribución se relaciona con la dinámica de crecimiento y senescencia de las plantas, donde las partes más cercanas al suelo suelen ser las que mantienen mayor cantidad de material muerto, mientras que el forraje disponible se compone principalmente de material verde.

4.2.3. Análisis primaveral

El análisis de la varianza mostró diferencias significativas ($p < 0,1$) solamente para las variables PROD, MSDISP, TC y MSDESP.

Tabla 5

Significancia de las variables en estudio, para el análisis de la varianza y contrastes ortogonales

VARIABLE	ANOVA	C1	C2	C3
PROD	+	*	NS	NS
MSDISP	+	*	NS	NS
TC	+	*	NS	NS
MSDESP	+	*	NS	NS
%DESP	NS	NS	NS	NS
ALTDISP	NS	*	NS	NS
MSDISP%V	NS	NS	NS	NS
MSDISP%RS	NS	NS	NS	NS
MSREM	NS	NS	NS	NS
ALTREM	NS	NS	NS	NS
MSREM%V	NS	NS	*	NS
MSREM%RS	NS	NS	NS	NS

Nota. Caracteres representan niveles de significancia: + ($p < 0,1$); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$).

Los contrastes ortogonales en el análisis revelaron diferencias significativas para varias variables dependiendo del tipo de comparación. En el C1 (tratamientos fertilizados con nitrógeno frente a los no fertilizados), se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para las siguientes variables: producción (PROD), materia seca disponible (MSDISP), tasa de crecimiento (TC), materia seca desaparecida (MSDESP) y altura disponible (ALTDISP). Esto sugiere que la fertilización nitrogenada tuvo un impacto considerable en estas variables.

En el C2 (comparación entre tratamientos fertilizados con 60N y 120N), también se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en materia seca remanente como porcentaje de la materia seca remanente (MSREM%RS), lo que indica que la cantidad de remanente varió entre los diferentes niveles de fertilización nitrogenada.

Por otro lado, el C3 (comparación entre los niveles de nitrógeno en los tratamientos 60N y 120N) no mostró diferencias significativas para ninguna de las variables en estudio. Esto refuerza la idea de que, en términos generales, un aumento en la dosis de nitrógeno de 60 kg/ha a 120 kg/ha no resultó en cambios sustanciales en la producción, el crecimiento o la cantidad de forraje disponible.

La producción y la tasa de crecimiento primaveral de materia seca mostraron diferencias significativas entre el tratamiento sin fertilización nitrogenada (CN) y los tratamientos con fertilización nitrogenada, destacándose los tratamientos fertilizados en términos de producción y crecimiento. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre el tratamiento con nitrógeno mineral (CNM) y los tratamientos fertilizados, lo que indica que el uso de fertilización con nitrógeno mineral no proporcionó ventajas adicionales en comparación con los tratamientos de fertilización nitrogenada convencional.

Esto sugiere que la fertilización nitrogenada es efectiva para aumentar la producción de materia seca en la primavera, pero el nitrógeno mineral no parece ofrecer un beneficio adicional frente a otros tipos de fertilización nitrogenada. Estos resultados coinciden con estudios previos que indican que el nitrógeno es un factor clave para el rendimiento de la pastura, pero que el tipo y la forma de aplicación pueden no generar diferencias sustanciales en algunos contextos.

Tabla 6

Respuesta primaveral a los tratamientos sobre la materia seca producida y tasa de crecimiento diaria

TRATAMIENTO	PROD	TC
CN	973 B	16 B
CNM	1541 AB	24 AB
60N	2192 A	33 A
120N	1669 A	26 A

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$). Materia seca producida en kg/ha y tasa de crecimiento diaria en kg/ha/d.

Con el agregado de 60 kg de nitrógeno, se observó un aumento significativo en la producción de materia seca, alcanzando 1219 kg, con una eficiencia del nitrógeno de 20,3 kg de materia seca por cada kg de nitrógeno agregado. En cambio, con un agregado de 120 kg de nitrógeno, la producción aumentó en 696 kg de materia seca, pero la eficiencia se redujo considerablemente a 5,8 kg de materia seca por kg de nitrógeno.

Este patrón refleja un principio común en la fertilización nitrogenada: las dosis más bajas tienden a ser más eficientes en términos de conversión del nitrógeno en materia seca, especialmente en el caso de gramíneas anuales invernales como el

Raigrás, que son especialmente sensibles al nitrógeno, contribuyendo a una alta eficiencia en su uso.

Resultados similares fueron reportados por Berretta et al. (1998), quienes también registraron incrementos en la producción con el agregado de nitrógeno, destacando una mayor eficiencia durante los primeros años de fertilización. Para el primer año, la eficiencia fue de 7,5 kg de materia seca por kg de nitrógeno, aumentando a 22,3 y 23 en los años posteriores, lo que subraya cómo la respuesta a la fertilización nitrogenada puede variar con el tiempo y la dosis.

La tasa de crecimiento diaria (TC) por hectárea aumentó un 106% con la adición de 60 kg de nitrógeno, y un 63% con 120 kg de nitrógeno. Estos resultados reflejan un aumento notable en la producción de materia seca debido a la fertilización nitrogenada. El tratamiento CNM presentó resultados intermedios, lo cual podría explicarse por el menor aporte de nitrógeno a través de la vía simbiótica comparado con las fertilizaciones directas.

Estos hallazgos coinciden con Luberriaga y Robuschi (2019), que también observaron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y el CN, con valores intermedios para el CNM, sin diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos. Sin embargo, en comparación con Duhalde y Silveira (2018), nuestros resultados son diferentes, ya que estos autores encontraron diferencias significativas solo entre el CN y el tratamiento fertilizado con 120 kg de nitrógeno durante la primavera, con el CNM y 60N mostrando resultados intermedios sin diferencias estadísticas.

Para el periodo primavera, los aumentos en la producción y la tasa de crecimiento se deben en parte a las temperaturas más altas, las cuales favorecen la aparición de hojas y la elongación foliar, mientras que el nitrógeno potencia el macollaje. Esto crea un ciclo de mayor crecimiento y producción de materia seca. Además, la disponibilidad constante de agua en el perfil (por encima del 40%) también contribuyó a estos aumentos.

Autores como Willman y Wright (1983, como se cita en Gutiérrez & Toyos 2017), destacan que los efectos del nitrógeno están fuertemente condicionados por las condiciones ambientales, y estos efectos impactan directamente la morfología y fisiología de las plantas. Whitehead (1995) refuerza esta idea, señalando que la limitación de nitrógeno puede deprimir el proceso de macollaje, afectando la productividad de las pasturas.

El análisis de contrastes ortogonales muestra que, en el C1, tanto la producción de forraje como la tasa de crecimiento diaria fueron menores en el CN en comparación con el promedio de los tratamientos fertilizados. En una estación con condiciones favorables de temperatura para el crecimiento de la pastura, el CNM no presentó diferencias significativas con ninguno de los tratamientos fertilizados, lo que sugiere que los cambios observados en el estudio se deben mayormente al agregado de fertilización nitrogenada.

Este resultado coincide con estudios previos como los de Luberriaga y Robuschi (2019) y Duhalde y Silveira (2018), donde el CNM no se diferenció estadísticamente de los tratamientos fertilizados para el mismo periodo de evaluación. Sin embargo, difieren con los resultados de Gutiérrez y Toyos (2017), quienes encontraron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y el CNM, lo que sugiere que la respuesta al nitrógeno podría variar según las condiciones ambientales o la intervención específica en cada estudio.

Este tipo de variabilidad resalta la influencia de factores ambientales y métodos de intervención al estudiar la respuesta de las pasturas a la fertilización nitrogenada.

El análisis de la varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos para las variables MSDISP, ALTDISP, MSDESP y %MSDESP.

Tabla 7

Respuesta primaveral a los tratamientos en: MSDISP, ALTDISP, MSREM, ALTREM, MSDESP y %MSDESP

TRAT	MSDISP	ALTDISP	MSREM	ALTREM	MSDESP	%MSDESP
CN	2848 B	10,9 B	1609	6,8	671 B	27 B
CNM	2942 AB	13,4 AB	1562	7,2	1011 B	34 AB
60N	3737 A	14,6 A	1519	7,4	1705 A	46 A
120N	3378 A	14 A	1819	6,7	1203 AB	36 AB

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$).

Los resultados obtenidos muestran que la materia seca disponible (MSDISP) aumentó significativamente con la fertilización nitrogenada. El tratamiento con 60 kg/ha de nitrógeno mostró un incremento de 1253 kg/ha de materia seca disponible, lo que se traduce en 20,9 kg de materia seca disponible por kg de nitrógeno agregado. Por otro lado, el tratamiento con 120 kg/ha de nitrógeno presentó un aumento de 894 kg/ha, lo que se traduce en 7,5 kg de materia seca disponible por kg de nitrógeno agregado.

Estos incrementos en la materia seca disponible están relacionados con la altura del disponible, la cual también aumentó significativamente con la aplicación de nitrógeno, indicando que una mayor cantidad de materia seca disponible favorece el crecimiento vertical de la pastura.

En cuanto a la materia seca remanente (MSREM) y la altura del remanente, no se observaron diferencias significativas, con un valor promedio de 1627 kg/ha de MSREM y una altura promedio de 7 cm. Sin embargo, se encontró que la materia seca desaparecida fue mayor en los tratamientos fertilizados, particularmente en el tratamiento con 60 kg/ha de nitrógeno, donde la materia seca desaparecida fue 2.5 veces mayor que en el CN, con un incremento de 1034 kg/ha comparado con el CN, y 694 kg/ha más que en el CNM. Esto sugiere que la fertilización nitrogenada, al aumentar la cantidad de forraje disponible, también incrementa la desaparición de materia seca.

El análisis de los contrastes ortogonales mostró diferencias significativas en el C1 entre el CN y los tratamientos fertilizados con nitrógeno, destacando aumentos significativos en la materia seca disponible (MSDISP), la altura del disponible (ALTDISP) y la materia seca desaparecida (MSDESP). Estos resultados confirman que la fertilización nitrogenada y la intensificación productiva con la adición de leguminosas y nitrógeno generan incrementos significativos en estas variables.

En cuanto a la composición del forraje, se observó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para las características de material verde y restos secos. El promedio de material verde fue 82% y el de restos secos fue 18%, tanto en el forraje disponible como en el remanente, lo que indica que la distribución del forraje verde y seco no se vio afectada por la fertilización nitrogenada en este estudio.

4.2.4. Análisis del periodo estival

La tabla No.8 muestra los niveles de significancia para las variables estudiadas, a través del análisis de la varianza y de contrastes ortogonales.

Tabla 8

Significancia de las variables en estudio, para el análisis de la varianza y contrastes ortogonales

VARIABLE	ANOVA	C1	C2	C3
PROD	NS	+	NS	NS
MSDISP	NS	NS	NS	NS
TC	NS	NS	NS	NS
MSDESP	NS	NS	NS	NS
%MSDESP	NS	NS	NS	NS
ALTDISP	NS	+	NS	NS
MSDISP%V	NS	NS	NS	NS
MSDISP%RS	NS	NS	NS	NS
MSREM	NS	NS	NS	NS
ALTREM	NS	NS	NS	NS
MSREM%V	NS	NS	NS	NS
MSREM%RS	NS	NS	NS	NS

Nota. Caracteres representan niveles de significancia: + ($p < 0,1$); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$).

El análisis de la varianza no mostró diferencias significativas para ninguna de las variables estudiadas, lo que sugiere que no hubo efectos estadísticamente relevantes en términos generales entre los tratamientos bajo los parámetros evaluados. Sin embargo, el análisis de los contrastes ortogonales reveló valores significativos ($p < 0,1$) en el C1 para las variables PROD (producción de materia seca) y ALTDISP (altura del disponible), lo que indica que, al menos en ciertos aspectos, hubo una diferencia notable en la producción y la altura del forraje disponible cuando se compara al CN frente a los tratamientos bajo distintos niveles de intervención.

Esta falta de diferencias entre las variables puede estar explicada por las condiciones de déficit hídrico registrado en este periodo lo cual no permite ver la expresión de ninguno de los tratamientos.

Tabla 9

Respuesta estival a los tratamientos sobre la materia seca producida y tasa de crecimiento diaria

TRATAMIENTO	PROD	PROD PROM	TC
CN	1533	-	23
CNM	1115	1200	18
60N	1207		18
120N	1277		19

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$). Materia seca producida en kg/ha y tasa de crecimiento diaria en kg/ha/d. PROD PROM es promedio de la producción de materia seca en kg/ha de los tratamientos CNM, 60 N y 120 N.

La producción de materia seca no mostró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, pero el contraste C1 resalta diferencias entre CN y el promedio de los otros 3 tratamientos. Estos resultados pueden estar determinados por el efecto que este ejerciendo la fertilización NP o el mejoramiento de leguminosas y fósforo sobre las especies invernales, que pueden haber alargando su etapa vegetativa y su ciclo. Esto genera un retraso en el rebrote de las estivales, que no se produjo en el CN generando un rebrote temprano en la primavera y llegar al periodo estival con mayor crecimiento. Es de destacar que el periodo estival presentó limitantes hídricas que pudieron generar una no expresión del efecto residual de la fertilización NP.

En cuanto a la tasa de crecimiento diaria, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, lo que indica que el agregado de nitrógeno no tuvo un efecto directo sobre esta variable en el período evaluado, reforzando el efecto del clima sobre esta estación. Estos resultados son similares a los encontrados por Gallinal et al. (2016), quienes tampoco observaron diferencias significativas en la producción de materia seca y la tasa de crecimiento diaria durante el periodo de verano en su estudio.

Sin embargo, los resultados obtenidos por Luberriaga y Robuschi (2019) difieren de los anteriores. En su estudio, realizado durante los periodos invierno-primaverales, encontraron incrementos significativos tanto en la producción de materia seca como en la tasa de crecimiento diaria, lo que sugiere que los tratamientos fertilizados (con nitrógeno) fueron más efectivos en estos periodos en comparación con el CN y CNM.

Finalmente, el análisis de la varianza no reveló diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, solo se registraron diferencias significativas para el contraste 1 en la variable altura del disponible.

Tabla 10

Respuesta a los tratamientos sobre: MSDISP, ALTDISP, AP, MSREM, ALTREM, MSDESP y %MSDESP

TRAT	MSDISP	ALTDISP	AP	MSR	ALTREM	MSDESP	%MSDESP
CN	3142	12,8	-	1768	7,5	1075	33
CNM	2677	13,4	14,1	1768	7,3	679	26
60N	2726	14,1		1738	7,4	750	27
120N	3096	14,7		1938	7,9	902	29

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$). AP altura promedio de la materia seca disponible de los tratamientos CNM, 60 N y 120 N.

No se registraron diferencias significativas para ninguna de las variables, esto coincide con el cuadro anterior donde no se observaron diferencias para la producción de forraje y por ende no se esperan diferencias entre la materia seca disponible (MSDISP) ni tampoco en el forraje desaparecido (MSDESP).

En cuanto a la altura del disponible (ALTDISP), se observó una diferencia significativa para el contraste C1, que compara el CN con el promedio de los otros 3 tratamientos. Y el resultado marca que el CN tiene una altura menor de forraje que el promedio de los demás, lo cual indica que el forraje producido por el CN fue mayor en kg, pero más bajo en altura, lo que indica una mayor densidad.

También hay que señalar que el periodo estival se caracterizó por presentar una baja disponibilidad hídrica para la vegetación, lo cual deprime el efecto que podrían presentar los tratamientos y determinar la falta de diferencias registradas para este periodo.

Finalmente, el análisis de la composición del forraje disponible y remanente en términos de porcentajes de forraje verde y restos secos no presentó diferencias entre los tratamientos, pero se presentan los valores para ver cómo fue la composición de verde y seco entre los tratamientos para esta estación de estudio.

Tabla 11

Respuesta a los tratamientos sobre: MSDISP%V, MSDISP%RS, MSREM%V y MSREM%RS

TRAT	MSDISP%V	MSDISP%RS	MSREM%V	MSREM%RS
CN	83	17	92	8
CNM	94	6	88	12
60N	83	17	85	15
120N	87	13	80	20

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$).

El análisis del forraje disponible en términos de porcentaje de forraje verde mostró que el tratamiento CNM presentó un porcentaje mayor que el CN y el tratamiento 60N, lo que sugiere que la incorporación de leguminosas a las pasturas mejoradas podría estar favoreciendo una mayor proporción de forraje verde en comparación con los tratamientos sin fertilización o con fertilización a baja dosis. Por su parte, el tratamiento con 120N presentó resultados intermedios.

En cuanto al porcentaje de restos secos en el forraje disponible, el CNM mostró el menor porcentaje de restos secos, lo que indica una mayor proporción de material verde en este tratamiento. Este comportamiento puede estar relacionado con la mayor eficiencia en la captura de nutrientes y la mayor persistencia de las gramíneas y leguminosas en el CNM.

En lo que respecta al forraje remanente, el porcentaje de forraje verde fue mayor en el CN en relación al 120N, lo que sugiere que la fertilización nitrogenada podría estar ejerciendo una mayor concentración de los tejidos verdes en altura y que el forraje remanente sea más seco en estos tratamientos en relación al CN.

Estos resultados reflejan cómo el tipo de manejo y la fertilización nitrogenada afectan la composición y calidad del forraje, y cómo la introducción de leguminosas (en el CNM) puede modificar la dinámica de los forrajes en las pasturas.

4.3. ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN BOTÁNICA

4.3.1. Estudio de la composición botánica de la materia seca disponible

La siguiente tabla muestra la significancia de las variables del componente botánico estudiadas mediante el análisis de la varianza, para los tratamientos, la estación y la interacción entre tratamiento y estación, para el forraje disponible. Las especies que integran cada componente botánico se puede observar en el anexo C.

Tabla 12

Significancia de las variables en estudio para el análisis de la varianza del forraje disponible

VARIABLE	TRATAMIENTO	ESTACION	TRAT x EST
%MSV	NS	*	NS
%MSRS	NS	*	NS
%GPI	NS	**	NS
%GPE	NS	**	NS
%GAI	NS	NS	NS
%HIERB	NS	**	+
%LEG	*	*	NS
%CARD	NS	*	NS

Nota. Caracteres representan niveles de significancia: + ($p < 0,1$); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$). Variables en estudio para tratamiento, estación y la interacción entre tratamiento y estación.

El análisis de la varianza de los tratamientos mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) solo para él %LEG (porcentaje de leguminosas), lo que indica que la fertilización o la inclusión de leguminosas en los tratamientos afectaron su proporción en el forraje disponible, pero no así otras variables como el porcentaje de gramíneas o hierbas.

En cuanto a las estaciones, se observaron diferencias significativas ($p < 0,01$) para él %GPI (porcentaje de gramíneas perennes invernales), %GPE (porcentaje de gramíneas perennes estivales) y %HIERB (porcentaje de hierbas). También se dieron diferencias significativas ($p < 0,05$) para %MSV (materia seca verde), %MSRS (materia seca restos secos), %LEG y %CARD (porcentaje de cardos), mientras que el %GAI (porcentaje de gramíneas anuales invernales) no presentó diferencias significativas.

Finalmente, la interacción entre tratamiento y estación reveló diferencias significativas ($p < 0,1$) solo para él %HIERB. Esto sugiere que la combinación de ciertos tratamientos y estaciones puede influir en la proporción de hierbas, mientras que otras variables no se vieron tan influenciadas por la interacción tratamiento-estación.

Este análisis destaca cómo las estaciones, los tratamientos con fertilización y la presencia de leguminosas interactúan de manera compleja para afectar la composición botánica de las pasturas, especialmente en términos de gramíneas, hierbas y leguminosas.

4.3.1.1. Análisis del disponible por tratamientos

El análisis de la varianza del disponible para los tratamientos, fue significativamente diferente para el %LEG, los resultados se pueden observar en el siguiente cuadro.

Tabla 13

Respuesta en contribución de las leguminosas en la materia seca disponible según tratamientos

TRATAMIENTO	%LEG
CN	0,8 B
CNM	9,2 A
60N	1,2 B
120N	0,6 B

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$).

El estudio del porcentaje de leguminosas en el forraje disponible mostró diferencias significativas entre los tratamientos, destacando un mayor porcentaje en el tratamiento CNM (Campo Natural Mejorado) en comparación con los demás tratamientos. Este aumento se debe a la incorporación de especies leguminosas a través del mejoramiento de la pastura, lo que favorece la presencia de leguminosas en la mezcla de especies del forraje.

Se destaca no solo la contribución de las especies incorporadas en el mejoramiento como la causa de la mayor participación de las leguminosas en el CNM, sino también que hay un efecto del fosforo agregado sobre las leguminosas nativas del tapiz, el cual promueve su crecimiento y participación. Este efecto no se destaca en los tratamientos fertilizados con NP, que aunque brindan la misma dosis de fosforo que el CNM, el efecto que ejerce el nitrógeno sobre las gramíneas es mayor y el crecimiento de estas no permiten una mayor participación de las leguminosas en los tratamientos nitrogenados.

Estos hallazgos son consistentes con los obtenidos por Dutra Da Silveira y Fernández (2020), quienes también observaron un incremento significativo en el porcentaje de leguminosas en los tratamientos donde se implementó el mejoramiento con especies leguminosas. Los autores de dicho estudio reportaron un aumento importante en la cantidad de leguminosas, lo cual demuestra el impacto positivo de las intervenciones para aumentar la diversidad de especies en las pasturas, particularmente

de las leguminosas, que son importantes para mejorar la calidad del forraje y la fijación de nitrógeno.

Estos resultados refuerzan la idea de que el mejoramiento de las pasturas con leguminosas puede ser una estrategia eficaz para optimizar la calidad y sostenibilidad de los sistemas de pastoreo.

4.3.1.2. Análisis por estación

En cuanto al análisis de la varianza de los componentes botánicos del forraje disponible, para las estaciones invierno y primavera, se muestran diferencias significativas para todas las variables estudiadas a excepción de % GAI, dichos resultados se observan en el siguiente cuadro.

Tabla 14

Contribución estacional en porcentaje de los diferentes componentes botánicos en la materia seca disponible

EST	%MSV	%MSRS	%GPI	%GPE	%HIER	%LEG	%CARD
I	72 B	28 A	56 A	7,8 B	5,1 A	1,2 B	1 A
P	87 A	13 B	26 B	55 A	0,9 B	4,6 A	0,1 B

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$). EST corresponde a estación del año.

El análisis de la composición del forraje revela que el porcentaje de materia seca verde (MSV) fue significativamente más alto en primavera en comparación con invierno, lo cual se atribuye al rebrote de las especies estivales (como el %GPE), que aumenta el porcentaje de forraje verde disponible. Este aumento en la primavera también se asocia con una disminución de las especies perennes invernales (%GPE), que son más prominentes durante el invierno.

En cuanto al %HIERB (hierba) y %CARD (cardo), ambos fueron significativamente mayores en el invierno, lo que indica una mayor presencia de especies adaptadas a las condiciones frías de esta estación.

Por su parte el %GAI (gramíneas anuales invernales) no presentó diferencias significativas, pero de igual forma se detallan la presencia de las mismas en el disponible, para el invierno fue un 0,27% y 0,38% para la primavera.

Es importante destacar que, dado que no hubo déficit hídrico prolongado que afectara el crecimiento de las plantas durante estos periodos, las diferencias observadas se deben principalmente a los tipos de especies que dominan en cada estación: en

primavera, el rebrote de las especies estivales favorece el crecimiento, mientras que en invierno prevalecen las especies que resisten el frío. Además, las temperaturas más altas en primavera favorecen el crecimiento de estas especies estivales, lo que se traduce en un mayor porcentaje de forraje verde durante esa temporada.

4.3.1.3. Análisis de la interacción de tratamiento por estación

En cuanto al análisis de la interacción entre tratamiento y estación, mostro diferencias significativas para el %HIERB, en el siguiente cuadro se observan los resultados.

Tabla 15

Contribución porcentual de hierbas en el forraje disponible para la interacción tratamiento por estación

ESTACION	TRATAMIENTO	%HIERB
I	CN	5,5 A
I	CNM	5,5 A
I	60N	5,5 A
I	120N	3,9 AB
P	CN	0,2 D
P	CNM	0,8 CD
P	60N	0,5 CD
P	120N	2,2 BC

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$).

El análisis de la varianza para la interacción entre tratamiento y estación reveló que solo hubo diferencias significativas para el porcentaje de hierbas (%HIERB). Los mayores valores de %HIERB se observaron en invierno, en comparación con la primavera, para todos los tratamientos evaluados. Este resultado es consistente con la tendencia observada en otros estudios, donde las especies de hierbas, adaptadas a temperaturas frías, tienden a prevalecer en el invierno debido a las condiciones climáticas más frescas, lo que favorece su crecimiento durante esta estación.

Como la interacción tratamiento por estación no fue significativa se analizaron las variables por estación, encontrándose una superioridad significativa $p=0,05\%$ en el CNM 3,95% vs CN 0,53%, 60 N 0,43% y 120 N 0,0%; para la contribución de las leguminosas en el disponible de primavera y no en el de invierno.

4.3.2. Estudio de la composición botánica de la materia seca remanente

La siguiente tabla muestra la significancia de las variables del componente botánico del forraje remanente, estudiadas mediante el análisis de la varianza, para los tratamientos, la estación y la interacción entre tratamiento y estación.

Tabla 16

Significancia de las variables en estudio para el análisis de la varianza del forraje remanente

VARIABLE	TRATAMIENTO	ESTACION	TRAT X EST
%MSV	+	*	NS
%MSRS	+	*	NS
%GPI	NS	**	NS
%GPE	+	**	NS
%GAI	NS	NS	NS
%HIERB	*	**	NS
%LEG	**	NS	NS
%CARD	NS	**	NS

Nota. Caracteres representan niveles de significancia: + ($p < 0,1$); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$). Variables en estudio para tratamiento, estación y la interacción entre tratamiento y estación.

El estudio de la varianza para los tratamientos mostró diferencias significativas ($p < 0,01$) para %LEG; ($p < 0,05$) para %HIERB y ($p < 0,1$) para %MSV, %MSRS y %GPE, las variables %GPI, %GAI y %CARD no presentaron diferencias significativas.

Para las estaciones el análisis de la varianza presentó diferencias significativas ($p < 0,01$) para %GPI, %GPE, %HIERB y %CARD; diferencias ($p < 0,05$) para %MSV, %MSRS; y no siendo significativo para %GAI y %LRG.

El análisis de la varianza para la interacción tratamiento por estación no fue significativo para ninguna de las variables.

4.3.2.1. Análisis por tratamiento

La siguiente tabla muestra el análisis para las variables que fueron significativamente diferente entre tratamientos para el forraje remanente.

Tabla 17

Contribución porcentual de los componentes botánicos en el forraje remanente según tratamientos

TRAT	%MSV	%MSRS	%GPE	%HIERB	%CARD
CN	83 A	17 B	41 A	3,4 A	0,6 B
CNM	81 A	19 B	30 B	3,2 A	1,9 AB
60N	76 B	24 A	31 B	1,8 B	1,3 AB
120N	76 B	24 A	30 B	1,3 B	2,6 A

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$).

El análisis del remanente mostró diferencias significativas entre los tratamientos CN (campo natural) y CNM (campo natural mejorado) en comparación con los tratamientos fertilizados (60N y 120N) para las variables %MSV (material seco verde) y %MSRS (material seco remanente), observando que los tratamientos CN y CNM presentaron mayores porcentajes de forraje verde y menores porcentajes de material seco. Esta diferencia puede explicarse por el mayor crecimiento observado en los tratamientos fertilizados, lo que resulta en una mayor acumulación de restos secos en el remanente.

En cuanto a la proporción de especies perennes invernales (%GPE), se encontraron diferencias significativas en el tratamiento CN, donde el porcentaje fue significativamente mayor en comparación con los otros tratamientos. En cuanto a las hierbas, el porcentaje fue mayor en los tratamientos CN y CNM en relación a los tratamientos fertilizados, lo que refleja un comportamiento diferencial en la respuesta a la fertilización. Finalmente, el %CARD (porcentaje de Cardo) mostró diferencias entre los tratamientos CN y 120N, siendo este último significativamente mayor, mientras que los tratamientos CNM y 60N no presentaron diferencias significativas.

4.3.2.2. Análisis por estación

La próxima tabla muestra el análisis entre estaciones del forraje remanente, donde mostró diferencias para todas las variables estudiadas a excepción de %GAI y %LEG.

Tabla 18

Contribución estacional en porcentaje de los diferentes componentes botánicos en la materia seca remanente

EST	%MSV	%MSRS	%GPI	%GPE	%HIER	%CARD
I	71 B	29 A	53 A	8,2 B	4,3 A	3,2 A
P	86 A	14 B	24 B	58 A	0,5 B	0 B

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$).

El análisis del remanente por estaciones muestra un comportamiento estacional que coincide con lo observado en el disponible, donde hay un aumento en el porcentaje de especies perennes invernales (%GPE) y una disminución en el porcentaje de especies perennes de invierno (%GPI) al pasar del invierno a la primavera. Este fenómeno se debe a la mayor dominancia de especies perennes invernales en invierno, las cuales se adaptan mejor a las bajas temperaturas, mientras que, en primavera, las especies más estacionales o estivales empiezan a predominar, lo que resulta en una reducción del porcentaje de especies de invierno.

En cuanto a las hierbas (%HIERB) y el cardo (%CARD), se observa que ambos componentes botánicos son más representativos en el invierno que en la primavera. Esto se debe a que muchas hierbas y plantas que crecen en invierno, como algunas gramíneas y especies herbáceas resistentes al frío, disminuyen su presencia a medida que las temperaturas suben, y otras especies, como las de verano, comienzan a tomar protagonismo. Este comportamiento estacional es bien documentado en estudios sobre la dinámica de pasturas y ecosistemas de praderas, donde las especies cambian su predominancia en función de la temperatura y las condiciones de crecimiento de cada estación.

Por su parte el %GAI (gramíneas anuales invernales), no registro diferencias significativas en el forraje remanente, el valor para invierno fue de 0,11% y para primavera 0,0%.

Dado que no se detectaron diferencias significativas para la interacción tratamiento por estación se procedió al análisis por estación de los tratamientos, detectándose diferencias solo para el invierno (Tabla 19).

Tabla 19

Contribución invernal de %GPE, %HIERB y %LEG en la materia seca remanente según tratamientos

TRAT	%GPE	%HIERB	%LEG
CN	13,8 A	5,6 AB	0,05 B
CNM	4,0 B	6,2 A	7,7 A
60N	7,9 AB	3,2 AB	0,0 B
120N	7,0 AB	2,4 B	1,3 B

Nota. Medias con distinta letra dentro de cada columna representan diferencias significativas ($p < 0,1$).

Las GPE presentaron mayor contribución en el CN frente al CNM sin diferencias con los tratamientos con fertilización NP, en cuanto a la contribución de las hierbas es mayor en CNM frente al 120 N sin diferencias frente al CN y 60 N. Las leguminosas presentaron mayor contribución en el CNM frente al resto de los tratamientos, posiblemente por el aporte de las leguminosas sembradas.

4.4. CONSIDERACIONES FINALES

Este estudio permitió evaluar los efectos de diferentes niveles de intervención en el campo natural sobre la producción de materia seca y la composición botánica, comparando un campo natural sin intervención con tratamientos que incluyen el agregado de leguminosas y fertilización con fósforo, así como dosis variadas de fertilización nitrogenada.

Desde el punto de vista climático, el experimento transcurrió en condiciones hídricas favorables para el periodo de invierno y primavera, y presento limitantes hídricas para el verano. Es importante señalar que el otoño previo tuvo un marcado déficit de agua. Además, el invierno fue levemente más cálido y la primavera ligeramente más fresca en comparación con los registros históricos, lo cual influye en el crecimiento de la vegetación y la respuesta a la fertilización.

Los resultados indicaron que la producción total, la de invierno y primavera, se incrementa con la fertilización nitrogenada (60 o 120 kg de nitrógeno por hectárea), tanto la producción de materia seca como la tasa de crecimiento diaria, subrayando la relevancia del nitrógeno para estimular el desarrollo de gramíneas invernales y aumentar la biomasa disponible. Este resultado es de mayor relevancia por destacar ya que el otoño previo fue seco, con poco crecimiento vegetal y por ende con altos niveles de nitrógeno en el suelo, lo que se esperaba que provoque una reducción en las

diferencias entre tratamientos fertilizados y no fertilizados con nitrógeno. En cambio, en el período de verano, las diferencias significativas en producción de materia seca se observaron entre el campo natural sin intervención y el promedio de los otros 3 tratamientos sin diferenciarse entre ellos, efecto que podría estar provocado por las condiciones de limitantes hídricas de este periodo y una mayor participación de gramíneas perennes estivales que predominan el CN.

La primavera fue la estación con las tasas de crecimiento y producción de materia seca más altas, gracias a la combinación de mayor luminosidad, temperaturas óptimas y suficiente disponibilidad de agua. Estos factores, típicos de la estación, favorecen el crecimiento vigoroso de las pasturas.

En cuanto a la composición botánica, el tratamiento de campo natural mejorado presentó un porcentaje significativamente mayor de leguminosas en comparación con los otros tratamientos. Esto es atribuible a la incorporación de estas especies y al efecto del fósforo sobre estas y las leguminosas nativas, efecto que no se destaca en los tratamientos nitrogenados, aunque también se incorpore fósforo, por el mayor efecto que genera el nitrógeno agregado en el desarrollo de las gramíneas. Al analizar la composición estacional del disponible, se observó un predominio de gramíneas perennes invernales, hierbas y cardos en invierno. Mientras que en la primavera aumentó la presencia de gramíneas estivales perennes y leguminosas.

Se destacan los resultados obtenidos en este trabajo, por las características de los suelos donde se desarrolló, los cuales son marginales para el uso agrícola con 34% de Solonetz solodizados, aproximadamente 41% a Litosoles y solo un 25% de Brunosoles y Planosoles, que son suelos de mayor profundidad y fertilidad natural.

5. CONCLUSIONES

Finalizando el presente trabajo se desarrollan las siguientes conclusiones:

- La fertilización NP produjo un incremento significativo en la producción total y estacional de forraje, frente a los tratamientos no fertilizados.
- La fertilización NP otoño invernal generó un incremento en la producción de materia seca cuando no se dieron condiciones de estrés hídrico.
- El efecto estacional del tratamiento sobre la composición botánica de la pastura dependió de la estación del año.
- La estación del año tuvo un mayor efecto sobre la composición botánica de la pastura que el efecto de los tratamientos.
- El agregado de fertilización nitrogenada no modificó la contribución de las gramíneas anuales invernales, pero sí de las no gramíneas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echeverría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol 1. Clasificación de suelos*. MAP. https://www.researchgate.net/publication/259496271_Carta_de_Reconocimiento_de_Suelos_del_Uruguay_Tomo_I_Clasificacion_de_Suelos
- Amir, I., & Stancov, M. (2020). *Respuesta invierno-primaveral en producción primaria a diferentes intervenciones sobre campo natural* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/31856/1/AmirCufr%c3%a9lv%c3%a1n.pdf>
- Ayala, W., & Carámbula, M. (1994). Nitrógeno en campo natural. En A. Morón & D. Risso (Coords.), *Nitrógeno en pasturas* (pp. 33-42). INIA.
- Ayala Torales, A. T., Deregibus, V. A., & Moauro, P. R. (2000). Differential response of forage legumes to phosphorus application. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43(4), 473-480.
- Barreto, E. (2001). *Efectos de la densidad de siembra y la fertilización fosfatada inicial en la implantación y crecimiento inicial de Lotus pedunculatus LE 627 introducido en cobertura sobre campo natural* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Bemhaja, M. (1998). Caracterización de mejoramiento de campo bajo diferentes cargas con novillos durante tres años. En E. J. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización en tecnologías para basalto* (pp. 83-90). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2845/1/15630011107100024.pdf>
- Bemhaja, M., & Berretta, E. J. (1991). 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* (pp. 103-114). INIA.
- Bemhaja, M., Berretta, E. J., & Brito, G. (1998). Respuesta a la fertilización nitrogenada de campo natural en Basalto profundo. En E. J. Berretta (Ed.), *XIV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos: Anales* (pp. 119-122). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3000/1/111219240807103205.pdf>
- Berretta, E. J. (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 en tecnologías para Basalto* (pp. 91-97). INIA.
- Berretta, E. J., & Do Nascimento, D. (1991). *Glosario estructurado de términos sobre pasturas y producción animal español-portugués*. IICA. <https://hdl.handle.net/11324/9837>

- Berreta, E. J., & Levratto, J. C. (1990). Estudio de la dinámica de una vegetación mejorada con fertilización e introducción de leguminosas. En *II Seminario Nacional de Campo Natural* (pp. 225-232). Hemisferio Sur.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15924/1/Segundo-seminario-nacional-de-campo-natural-15-y-16-noviembre-1990-Tacuarembu-UY.pdf>
- Berretta, E. J., Risso, D. F., Levratto, J. C., & Zamit, W. S. (1998). Mejoramiento de campo natural de Basalto fertilizado con nitrógeno y fósforo. En E. J. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización en tecnologías para Basalto* (pp. 73-84). INIA.
- Boggiano, P. (2003). *Informe de consultoría: Subcomponente manejo integrado de pradera. Proyecto combinado GEF/IBRD: Manejo integrado de ecosistemas y recursos naturales en Uruguay: Componente manejo y conservación de la diversidad biológica*. MGAP.
<https://www.calameo.com/books/004233671ecd6b2fc8621>
- Boggiano, P., Zanoniani, R., Berretta, E., Cadenazzi, M., & Nöell, S. (2004). Respuesta poblacional de *Poa lanigera* Nees a la fertilización del campo natural de basalto. En S. Saldanha, M. Bemhaja, E. Moliterno, F. Olmos, & G. Uriarte (Eds.), *XX Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos: Sustentabilidad, desarrollo y conservación de los ecosistemas: Memorias* (pp. 264-265). Universidad de la República.
- Boggiano, P., Zanoniani, R., & Millot, J. C. (2005). Respuesta del campo natural a manejos crecientes de intervención. En R. Gómez Miller & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural*. (pp. 105-114). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2896/1/15630021107142110.pdf>
- Bonanseña, S. (2018). *Estudio del efecto de niveles de intervención del campo natural sobre la producción y composición botánica* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/28336>
- Bossi, J., Ferrando, L. A., Fernández, A., Elizalde, G., Morales, H., Ledesma, J., Carballo, E., Medina, E., Ford, I., & Montaña, J. (1975). *Carta geológica del Uruguay*. MAP.
- 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.
- Brum, S., & De Stefani, A. (1998). *Efecto de la fertilización N-P sobre la productividad de un campo natural de la región basáltica* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Burgos de Anda, A. (1975). *Efecto de la fertilización mineral NP en la producción de forraje de campo natural* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

- Carámbula, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (1992). Mejoramientos extensivos: Fundamentos. En C. Mas, M. Carámbula, R. Bermúdez, W. Ayala, & E. Carriquiry (Eds.), *Mejoramientos extensivos en la Región Este: Resultados experimentales 1991-92* (pp. 12-16). INIA.
- Carámbula, M. (1996). *Pasturas naturales mejoradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajeras: Vol. 1. Potenciales y alternativas para producir forraje*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M., Ayala, W., & Carriquiry, E. (1998). Algunos aspectos de manejo de mejoramientos extensivos. En E. J. Berretta (Ed.), *XIV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos: Anales* (pp. 45-48). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3000/1/111219240807103205.pdf>
- Castaña, J. P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., Aunchayna, R., & Bidegain, M. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009*. INIA.
- Castells, D. (1974). *Fertilización de campo natural* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Cayley, J. W. D., & Bird, P. R. (1996). *Techniques for measuring pastures*. Pastoral and Veterinary Institute Hamilton. <https://www.evergraze.com.au/wp-content/uploads/2013/09/Techniques-for-measuring-pastures.pdf>
- Colabelli, M., Agnusdei, M., Mazzanti, A., & Labreveux, M. (1998). *El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación*. INTA.
- Díaz-Zorita, M. (1997). Verdeos de invierno. En R. Melgar & M. Díaz-Zorita (Coords.), *La fertilización de cultivos y pasturas* (pp. 175-182). Hemisferio Sur.
- Duhalde, M., & Silveira, M. (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://hdl.handle.net/20.500.12008/20913>
- Durán, A. (1985). *Los suelos del Uruguay*. Hemisferio Sur.
- Dutra Da Silveira, J., & Fernández, G. (2020). *Efecto de la intervención de campo natural con nitrógeno y leguminosas en verano otoño sobre la producción primaria y secundaria* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/31328>
- Frame, J., Charlton, J. F. L., & Laidlaw, A. S. (1998). *Temperate forage legumes*. CABI.

- Franchi, V., & Hernández, T. (2025). *Estudio de la resiliencia productiva del campo natural bajo intervenciones de largo plazo post estrés hídrico estival*. [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/51671>
- Gallinal, J., 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://hdl.handle.net/20.500.12008/19683>
- García Petillo, M. (2012). Conceptos básicos para el manejo y diseño de riego. En Grupo de Desarrollo de Riego (Ed.), *Riego en Cultivos y Pasturas: 2do. Seminario Internacional* (pp. 23-32).
- Gutiérrez, M., & Toyos, J. (2017). *Respuesta invierno primaveral de un campo natural a niveles de fertilización nitrogenada y mejoramiento con siembra en cobertura de Lotus tenuis y Trifolium pratense* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/28546>
- Hall, W. B., McKeon, G. M., Carter, J. O., Day, K. A., Howden, S. M., Scanlan, J. C., Johnston, P. W., & Burrows, W. H. (1998). Climate change in Queensland's grazing lands: II. An assessment of the impact on animal production from native pastures. *The Rangeland Journal*, 20(2), 177-205. <https://doi.org/10.1071/RJ9980177>
- Izaguirre, P. (1995). *Especies indígenas y subespontáneas del género Trifolium L. (Leguminosae) en el Uruguay*. INIA.
- Kade, M., Pagani, E. A., & Mendoza, R. E. (2003). Phosphorus utilization efficiency in populations of narrow-leaf birdsfoot trefoil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(1-2), 271-284. <https://doi.org/10.1081/CSS-120017431>
- Koukoura, Z., Kyriazopoulos, A., & Mantzanas, K. (2005). Effects of fertilization on floristic diversity and herbage production in a grazed natural range-land. En R. Lillak, R. Viiralt, A. Linke, & V. Geherman (Eds.), *Integrating efficient grassland farming and biodiversity* (pp. 307-310). EGS. https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2005_GSE_vol10.pdf
- Larratea, F., & Soutto, J. P. (2013). *Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la productividad invierno primaveral de un campo natural del litoral* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/1758>
- Luberriaga, J., & Robuschi, M. (2019). *Respuesta a la intervención de un campo natural sobre la producción primaria y composición botánica* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29404>

- Maraschin, E. G. (1993). Experiências de avaliação de pastagens com bovinos de corte no Brasil. En J. P. Puignau (Ed.), *Metodología de evaluación de pasturas* (pp. 127-146). IICA.
- 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.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4130/1/Mejoramientos-Extensivos-en-la-Region-Este-1992.pdf>
- Methol, R., & Solari, J. (1994). *Dinámica de la implantación de leguminosas sembradas en cobertura bajo diferentes manejos de pastoreo* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Millot, J. C., Risso, D., & Methol, R. (1987). *Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas de ganadería extensiva*. MAP.
- Morón, A. (1996). El ciclo del nitrógeno en el sistema suelo-planta-animal. En A. Morón & D. F. Risso (Coords.). *Nitrógeno en pasturas* (pp. 1-12). INIA.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUAR-IO2023WEB.pdf>
- Perdomo, C., & Barbazán, M. (1999). *Nitrógeno*. Universidad de la República.
- Risso, D. F. (1998). Mejoramientos extensivos en el Uruguay. En E. J. Berretta (Ed.), *XIV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos: Anales* (pp. 23-28). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3000/1/111219240807103205.pdf>
- 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. Risso & F. Montossi (Eds.), *Mejoramientos de campo en la Región de Cristalino: Fertilización, producción de carne y persistencia productiva* (pp. 3-31). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2873/1/111219240807141215.pdf>
- Risso, D. F., & Morón, A. (1990). Evaluación de mejoramientos extensivos de pasturas naturales en suelos sobre Cristalino (1984-1990) (II). En *II Seminario Nacional de Campo Natural* (pp. 233-249). Hemisferio Sur.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15924/1/Segundo-seminario-nacional-de-campo-natural-15-y-16-noviembre-1990-Tacuarembu-UY.pdf>

- 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, & G. Uriarte (Eds.), *XX Reunión de 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. (1979). *Tablas de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay*. Universidad de la República.
- Smethan, M. L. (1981). Especies y variedades de leguminosas forrajeras. En R. H. M. Langer (Ed.), *Las pasturas y sus plantas* (pp. 97-147). Hemisferio Sur.
- 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.
https://www.researchgate.net/profile/Cam-Mcdonald/publication/303169091_BOTANAL_A_comprehensive_sampling_procedure_for_estimating_pasture_yield_and_composition_I_Field_sampling/links/5a3a12f4458515889d2bd450/BOTANAL-A-comprehensive-sampling-procedure-for-estimating-pasture-yield-and-composition-I-Field-sampling.pdf
- Vignolio, O. R., Fernández, O. N., & Maceira, N. O. (1999). Flooding tolerance in five populations of *Lotus glaber* Mill. (Syn. *Lotus tenuis* Waldst. et Kit.). *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(4), 555-560.
- Vignolio, O. R., Fernández, O. N., & Maceira, N. O. (2002). Biomass allocation to vegetative and reproductive organs in *Lotus glaber* and *L. corniculatus* (Fabaceae). *Australian Journal of Botany*, 50(1), 75-82.
- Whitehead, D. C. (1995). *Grassland nitrogen*. CABI.
- Whitehead, D. C. (2000). *Nutrient elements in grassland: Soil-plant-animal relationships*. CABI.
- Williams, W. M. (1987). White clover taxonomy and biosystematics. En M. J. Baker & W. M. Williams (Eds.), *White clover* (pp. 323-342). CABI.
- Zanoniani, R. (2009). *Efecto de la oferta de forraje y la fertilización nitrogenada sobre la productividad otoño invernal de un campo natural del litoral* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/1790>
- Zanoniani, R., & Ducamp, F. (2004). Leguminosas forrajeras del género *Lotus* en el Uruguay. *Cangüé*, (25), 5-11. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/48000>

7. ANEXOS

Anexo A

Precipitaciones y temperaturas medias del periodo evaluado y medias históricas en Paysandú entre 1980-2009

MES	Precipitaciones mm	Precipitaciones historica mm	Temperaturas medias °C	Temperaturas medias historica °C
Jun-15	37.3	72	13.5	12.4
Jul-15	22.4	58	12.3	11.9
Ago-15	255.3	54	15.9	13.6
set-15	82	72	14.1	15
Oct-15	114.6	119	16.2	18.2
Nov-15	116.1	119	20	20.8
Dic-15	264.7	114	23.3	23.4
Ene-16	31.2	112	26	25.2
Feb-16	323.3	139	25.2	24

Anexo B

Balance hídrico del periodo estudiado en Brunosol Éutrico Típico con 86 mm de capacidad

Fecha	PP mm	ETP mm	kc	ETR mm	P-ETR mm	Almacenaje mm	Var almacenaje	Déficit mm	Exceso mm	40% APDN
1 dec enero	55.34	48.33	0.85	41.0805	14.26					51.6
2 dec enero	198.62	43.73	0.85	37.1705	161.45	86	0	0	75.4	51.6
3 dec enero	33.78	57.39	0.85	48.7815	-15.00	72.2	-13.8	0.0	0.0	51.6
1 dec febrero	8.36	49.72	0.85	42.262	-33.90	48.7	-23.5	0.0	0.0	51.6
2 dec febrero	32.74	51.1	0.85	43.435	-10.70	43.0	-5.7	0.0	0.0	51.6
3 dec febrero	20.32	30.59	0.85	26.0015	-5.68	40.3	-2.7	0.0	0.0	51.6
1 dec marzo	47.73	40.82	0.85	34.697	13.03	53.3	13.0	0.0	0.0	51.6
2 dec marzo	0.00	43.79	0.85	37.2215	-37.22	34.6	-18.7	0.0	0.0	51.6
3 dec marzo	0.50	37.25	0.85	31.6625	-31.16	24.1	-10.5	0.0	0.0	51.6
1 dec abril	0.00	40.72	0.85	34.612	-34.61	16.1	-8.0	-10.6	0.0	51.6
2 dec abril	36.07	33.99	0.85	28.8915	7.18	23.3	7.2	0.0	0.0	51.6
3 dec abril	1.01	30.07	0.85	25.5595	-24.55	17.5	-5.8	-1.3	0.0	51.6
1 dec mayo	116.83	22.32	0.85	18.972	97.86	86.0	68.5	0.0	29.3	51.6
2 dec mayo	1.00	21.6	0.85	18.36	-17.36	70.3	-15.7	0.0	0.0	51.6
3 dec mayo	23.89	20.99	0.85	17.8415	6.05	76.3	6.0	0.0	0.0	51.6
1 dec junio	0.75	20.01	0.85	17.0085	-16.26	63.2	-13.1	0.0	0.0	51.6
2 dec junio	1.00	20.07	0.85	17.0595	-16.06	52.4	-10.8	0.0	0.0	51.6
3 dec junio	35.55	19.08	0.85	16.218	19.33	71.8	19.3	0.0	0.0	51.6
1 dec julio	1.50	15	0.85	12.75	-11.25	63.0	-8.8	0.0	0.0	51.6
2 dec julio	1.51	17.59	0.85	14.9515	-13.44	53.8	-9.1	0.0	0.0	51.6
3 dec julio	19.27	23.86	0.85	20.281	-1.01	53.2	-0.6	0.0	0.0	51.6
1 dec agosto	13.94	24.28	0.85	20.638	-6.70	49.2	-4.0	0.0	0.0	51.6
2 dec agosto	208.40	11.24	0.85	9.554	198.85	86.0	36.8	0.0	162.1	51.6
3 dec agosto	32.75	35.1	0.85	29.835	2.92	86.0	0.0	0.0	2.9	51.6
1 dec setiembre	23.09	31.99	0.85	27.1915	-4.10	82.0	-4.0	0.0	0.0	51.6
2 dec setiembre	0.25	40.28	0.85	34.238	-33.99	55.2	-26.8	0.0	0.0	51.6
3 dec setiembre	58.61	23.2	0.85	19.72	38.89	86.0	30.8	0.0	8.1	51.6
1 dec octubre	41.64	30.49	0.85	25.9165	15.72	86.0	0.0	0.0	15.7	51.6
2 dec octubre	48.50	37.93	0.85	32.2405	16.26	86.0	0.0	0.0	16.3	51.6
3 dec octubre	24.38	40.12	0.85	34.102	-9.72	76.8	-9.2	0.0	0.0	51.6
1 dec noviembre	66.04	44.76	0.85	38.046	27.99	86.0	9.2	0.0	18.8	51.6
2 dec noviembre	18.22	37.91	0.85	32.2235	-14.00	73.1	-12.9	0.0	0.0	51.6
3 dec noviembre	31.71	53.01	0.85	45.0585	-13.35	62.6	-10.5	0.0	0.0	51.6
1 dec diciembre	2.27	55.79	0.85	47.4215	-45.15	37.0	-25.6	0.0	0.0	51.6
2 dec diciembre	130.51	51.51	0.85	43.7835	86.73	86.0	49.0	0.0	37.7	51.6
3 dec diciembre	131.82	45.41	0.85	38.5985	93.22	86.0	0.0	0.0	93.2	51.6
1 dec enero	27.41	177.27	0.85	150.6795	-123.27	20.5	-65.5	-37.3	0.0	51.6
2 dec enero	0.25	60.21	0.85	51.1785	-50.93	11.3	-9.2	-30.4	0.0	51.6
3 dec enero	3.54	64.1	0.85	54.485	-50.95	6.3	-5.1	-39.6	0.0	51.6
1 dec febrero	68.56	55.38	0.85	47.073	21.49	27.8	21.5	0.0	0.0	51.6
2 dec febrero	201.40	42.24	0.85	35.904	165.50	86.0	58.2	0.0	107.3	51.6
3 dec febrero	53.34	40.52	0.85	34.442	18.90	86.0	0.0	0.0	18.9	51.6

Anexo C

Especies que integran los diferentes componentes botánicos estudiados

	ESPECIES	FAMILIA
	<i>Bromus auleticus</i>	GRAMINEAE
	<i>Stipa setigera</i>	GRAMINEAE
OGPI	<i>Schizachyrium microstachyum</i>	GRAMINEAE
	<i>Piptochaetium bicolor</i>	GRAMINEAE
	<i>Piptochaetium montevidense</i>	GRAMINEAE
	<i>Piptochaetium stipoides</i>	GRAMINEAE
	<i>Stipa brachichaeta</i>	GRAMINEAE
	<i>Stipa charruana</i>	GRAMINEAE
GAI	<i>Vulpia australis</i>	GRAMINEAE
	<i>Lolium multiflorum</i>	GRAMINEAE
	<i>Paspalum dilatatum</i>	GRAMINEAE
	<i>Paspalum notatum</i>	GRAMINEAE
	<i>Coelorhachis selloana</i>	GRAMINEAE
OGPE	<i>Bouteloua megapotamica</i>	GRAMINEAE
	<i>Paspalum quadrifarium</i>	GRAMINEAE
	<i>Paspalum urvillei</i>	GRAMINEAE
	<i>Sporobolus indicus</i>	GRAMINEAE
	<i>Setaria geniculata</i>	GRAMINEAE
	<i>Setaria vaginata</i>	GRAMINEAE
	<i>Eleusine tristachya</i>	GRAMINEAE
	<i>Axonopus affinis</i>	GRAMINEAE
	<i>Bothriochloa laguroides</i>	GRAMINEAE
	<i>Eragrostis lugens</i>	GRAMINEAE
H + Dm	<i>Dichondra microcalix</i>	CONVOLVULACEA
	<i>Eryngium nudicaule</i>	UMBELIFERAE
	<i>Chaptalia piloselloidea</i>	COMPOSITAE
	<i>Chaptalia exscapa</i>	COMPOSITAE
	<i>Chevreulia sarmentosa</i>	COMPOSITAE
	<i>Chevreulia acuminata</i>	COMPOSITAE
	<i>Pterocaulon sp.</i>	COMPOSITAE
	<i>Soliva pterosperma</i>	COMPOSITAE
L	<i>Lotus tenuis</i>	LEGUMINOSAE
	<i>Trifolium pratense</i>	LEGUMINOSAE
	<i>Desmodium incanum</i>	LEGUMINOSAE
C	<i>Cirsium vulgare</i>	COMPOSITAE
	<i>Cardus acanthoides</i>	COMPOSITAE