

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**FACTORES QUE AFECTAN LA DEGRADACIÓN
Y PRODUCTIVIDAD OTOÑO-INVIERNAL DE PASTURAS PERMANENTES**

por

**Lucía COLLARES DAY
Valentín FORT ZABALA
María Emilia PINTOS ELSO**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2024**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Ing. Agr. (PhD.) Walter Ayala

Tribunal:

Ing. Agr. (PhD.) Pablo Boggiano

Ing. Agr. (PhD.) Pablo Rovira

Ing. Agr. (PhD.) Walter Ayala

Fecha:

23 de julio de 2024

Estudiantes:

Lucía Collares Day

Valentín Fort Zabala

María Emilia Pintos Elso

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiéramos agradecer al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), y en especial a nuestros tutores Ing. Agr. (PhD) Walter Ayala e Ing. Agr. (PhD) Pablo Rovira por el apoyo brindado durante este trabajo de tesis.

Al equipo de laboratorio de pasturas de INIA Treinta y Tres, en especial a Néstor, Fernando y Jhon por su invaluable ayuda tanto a nivel de campo como de laboratorio.

A la Facultad de Agronomía (UdelaR), de la cual nos sentimos parte y al cuerpo docente responsable de formarnos en esta profesión.

Finalmente, un enorme agradecimiento a nuestros familiares y amigos por el apoyo incondicional durante este tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Caracterización de la región	11
2.1.1 Suelos.....	11
2.1.2 Fenómenos climáticos adversos.....	11
2.2 Productividad de las diferentes cadenas forrajeras	12
2.2.1 Praderas perennes	12
2.2.2 Praderas bienales.....	14
2.2.3 Gramíneas perennes utilizadas.....	15
2.2.4 Leguminosas perennes	17
2.2.5 Leguminosas que componen la mezcla.....	18
2.3 Persistencia de mezclas forrajeras en la región este.....	19
2.3.1 Tipos de mezcla.....	21
2.4 Performance animal sobre praderas perennes	22
2.4.1 Interacción planta-animal.....	22
2.4.2 Frecuencia de pastoreo.....	22
2.4.3 Intensidad de pastoreo	23
2.4.4 Consumo animal	23
2.4.5 Método de pastoreo.....	23
2.5 Banco de semillas del suelo.....	24
2.5.1 Definición	24
2.5.2 Clasificación	24
2.5.3 Longevidad de semillas	24
2.5.4 Factores ambientales para romper dormancia.....	24
2.6 Síntesis	25
2.7 Hipótesis	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 Condiciones experimentales generales	26
3.1.1 Ubicación del sitio experimental.....	26

3.1.2 Origen y antecedentes del sitio experimental	26
3.1.3 Condiciones climáticas previas y durante el período de estudio.....	26
3.1.4 Descripción del sitio experimental.....	26
3.1.5 Descripción de los sistemas.....	27
3.2 Variables determinadas.....	28
3.2.1 Pasturas	28
3.2.2 Banco de semillas	30
3.2.3 Análisis de suelo.....	30
3.2.4 Censo de vegetación	30
3.2.5 Animales	30
3.3 Diseño experimental	31
4. RESULTADOS	32
4.1 Caracterización climática	32
4.2. Balance hídrico	32
4.2.1. Balance hídrico mensual para una serie de diez años	32
4.3 Pasturas	33
4.3.1. Stock de forraje disponible y remanente por rotación en las distintas estaciones evaluadas	33
4.3.2 Evolución del forraje disponible y la composición de una pastura de rotación larga según edad de la misma	34
4.3.3. Comparación de una pradera de 2do año según rotación, condición y zona en las distintas estaciones	34
4.3.3.1. Comparación de las rotaciones según estación.....	34
4.3.3.2. Comparación de las condiciones según estación.....	35
4.4 Composición y evolución de las pasturas	35
4.4.1 Comparación de la pradera de 2do año en su condición agrícola o forrajera dentro de la rotación larga (RL).....	36
4.4.2 Comparación de la pradera de 2do, 3er y 4to año de la rotación larga (RL)	37
4.4.3 Comparación de la pradera de 2do, 3er y 4to año de la rotación larga (RL) teniendo en cuenta la fecha de muestreo	39
4.4.4 Comparación de la rotación corta vs rotación larga en su segundo año	41
4.5 Banco de semillas	41
4.5.1 Comparación de la condición agrícola vs forrajera en el año 2 de la rotación larga.....	42
4.5.2 Comparación de la pradera de 2do, 3er y 4to año de la rotación larga (RL) condición forrajera.....	42

4.5.3 Comparación de rotación larga vs rotación corta en el 2do año de la pradera	42
4.6 Producción animal.....	43
4.7 Análisis de suelo	45
5. DISCUSIÓN	47
5.1 Diferentes respuestas a la incidencia del clima o del manejo.....	47
5.2 Menos plantas, más malezas, menos forraje y menos carne	49
6. CONSIDERACIONES FINALES	51
7. BIBLIOGRAFÍA.....	52

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla N°.

Tabla 1. Rendimientos estacionales y totales (Kg MS/ha) promedio para la mezcla de trébol blanco, lotus y festuca	13
Tabla 2. Promedio estacional y desvío estándar para parámetros de calidad de festuca, trébol blanco y lotus	13
Tabla 3. Rendimiento promedio (MS kg/ha) de holcus, trébol rojo, achicoria y achicoria más trébol rojo	15
Tabla 4. Producción de forraje estacional y anual de Festuca INIA Fortuna sembrado en 2013, durante 2013-2017	16
Tabla 5. Rendimientos anuales y totales de seis mezclas forrajeras (MS kg/ha)	22
Tabla 6. Stock de forraje (kg/ha/estación de MS) y altura promedio (cm) para distintas pasturas	34
Tabla 7. Frecuencia de las distintas especies en las distintas fechas de muestreo	40
Tabla 8. Frecuencia de las distintas especies según edad de la pastura	40
Tabla 9. Proporción de especies de los distintos tratamientos según rotación	41
Tabla 10. Banco de semillas (n.º semillas/m ²) de trébol blanco y Lotus corniculatus según posición topográfica	42
Tabla 11. Banco de semillas del suelo (n.º semillas/m ²) para distintas rotaciones según condición de chacra	43
Tabla 12. Análisis de ocupación, pastoreos y capacidad de carga en dos rotaciones para otoño e invierno	43
Tabla 13. Performance animal durante los pastoreos para las dos estaciones y rotaciones estudiadas	44
Tabla 14. Ganancias media diarias de tres años para dos rotaciones en el período de estudio	45
Tabla 15. Estadísticos descriptivos asociados a cada variable medida sobre el suelo	45

Figura N°.

Figura 1. Distribución espacial de las rotaciones	27
Figura 2. Diseño de las rotaciones	27
Figura 3. Temperatura y precipitaciones en el período de estudio (marzo-septiembre 2022) contrastado con los promedios históricos	32
Figura 4. Balance hídrico trimestral para una pastura perenne en base festuca (2013-2022)	33
Figura 5. Composición y evolución de las pasturas en marzo (fecha 1) y septiembre (fecha 2)	36
Figura 6. Proporción de Festuca arundinacea de 2do año según condición y zona de estudio	37
Figura 7. Proporción de Trébol blanco según la edad de la pastura y posición topográfica	39
Figura 8. Proporción de Festuca arundinacea según la edad de la pastura y posición topográfica	39

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis fue evaluar dos rotaciones contrastantes en términos de duración y composición sobre la persistencia de las praderas y la performance animal lograda.

Este trabajo fue llevado a cabo en la Unidad Experimental «Palo a Pique» de INIA Treinta y Tres entre los meses de marzo y septiembre de 2022. El ensayo está conformado por dos sistemas: rotación larga (RL), y rotación corta (RC), ambas rotaciones constan con una fase agrícola y una fase forrajera. La rotación larga (RL) consta de una rotación pastura – cultivos forrajeros de seis años con dos años de verdes (avena – sorgo forrajero – raigrás – moha o sorgo forrajero) y cuatro años de una pradera de festuca (*Festuca arundinacea*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y lotus (*Lotus corniculatus*). Sobre esta alternativa se realiza la recría y engorde de 60 novillos, 24 de los cuales fueron utilizados como máximo (mínimo = 18) durante el presente trabajo experimental. La rotación corta (RC) se compone de una rotación pastura - cultivo de cuatro años; presentando dos años de cultivos forrajeros (misma secuencia que en RL) y dos años de una pradera compuesta en una mitad (3 ha) por trébol rojo (*Trifolium pratense*), *Holcus lanatus* y achicoria (*Chichorium intybus*); y en la otra mitad (3 ha) por lotus y trébol blanco. En el año del presente trabajo experimental, en RC se realizó una recría de 19 terneras de refugio y el engorde de 23 vaquillonas, realizando su seguimiento productivo cuando se pastoreaba la pradera.

Las variables analizadas fueron medidas mensualmente, siendo en pasturas: stock de forraje mensual de cada sistema, tasa de crecimiento, producción de forraje mensual y estacional, forraje desaparecido, eficiencia de cosecha, y tiempo de ocupación de las diferentes pasturas. Por otra parte, en los animales se evaluó: evolución de PV, dotación animal promedio estacional y anual, ganancia diaria de peso, eficiencia de conversión, balance forrajero y producción de PV/ha.

Palabras clave: pasturas, déficit hídrico, persistencia, mezclas, edades

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of crop-pasture rotations on the persistence of sown pastures and animal performance.

The experimental site is located at the Palo a Pique Experimental Unit of INIA Treinta y Tres in Uruguay. Two rotational treatments were included: The long rotation (LR) is a 6-year forage crop-pasture rotation, with 2 years of crops (oats - forage sorghum - ryegrass – moha) followed by 4 years of a mixed perennial pasture (tall fescue (*Festuca arundinacea*), white clover (*Trifolium repens*) and birdsfoot (*Lotus corniculatus*)). In this system, the livestock production strategy involved backgrounding and finishing 60 steers. With 24 steers used for the purpose of this experiment. The short rotation (SR) is a 4-year forage crop-pasture rotation, including the same sequence of crops as in the LR. However, the pasture phase lasts 2 years, with one half composed of *Lotus corniculatus* and *Trifolium pratense* and the other half composed of *Trifolium pratense*, *Holcus lanatus* and *Cichorium*.

The livestock production strategy in this system involved backgrounding 19 heifers and finishing 23 cows. The variables analyzed were measured monthly from March to September 2022. Pasture measurements included the forage existence, growth rate, and forage production in a monthly and seasonal basis, missing or consumed forage, harvest efficiency, and occupation time. Animal evaluations included liveweight gain, average seasonal and annual animal supply, daily weight gain, conversion efficiency, forage balance, and production of liveweight per hectare (LW/ha)

Keywords: pastures, water deficit, persistence, mixtures, ages

1. INTRODUCCIÓN

La inclusión de pasturas permanentes en el este del país, ha permitido potenciar la producción de forraje de muchos de los sistemas de recría e invernada.

Si bien existe un paquete de manejo apropiado para este tipo de pasturas, las características particulares de estos ambientes determinan efectos en la producción y persistencia. La limitada capacidad de acumulación de agua en estos suelos condiciona el potencial productivo, y muy especialmente durante el verano.

Desde el año 1995, en la Unidad Experimental de Palo a Pique en INIA Treinta y Tres se evalúan diversas alternativas productivas que incluyen la rotación de cultivos y pasturas. Estas alternativas, que se combinan con la técnica de siembra directa, tienen como objetivo intensificar el uso del suelo y superar las limitaciones que afectan a la producción ganadera en las lomadas del Este.

En todo momento, se ha tenido en cuenta la sustentabilidad en los aspectos productivos, económicos y ambientales, a fin de garantizar un manejo adecuado del suelo y de los recursos naturales.

La ocurrencia de un déficit hídrico importante en la primavera 2021 y comienzos de verano 2022, afectó la producción y condición de muchas pasturas en la plataforma agroambiental de largo plazo (INIA Uruguay, 2023), por lo que identificar los factores que afectan la persistencia de pasturas es clave para mejorar los resultados productivos.

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar el efecto del tipo de mezcla forrajera sobre la persistencia y productividad de la pastura y sobre el desempeño animal en el período otoño - invernal. También tiene como objetivos específicos: evaluar la productividad, composición botánica durante otoño-invierno de tres mezclas forrajeras de distintas edades: *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* de 2do, 3er y 4to año, *Trifolium pratense* y *Lotus corniculatus* de 2do año, y *Trifolium repens*, *Cichorium intybus* y *Holcus lanatus* de 2do año; evaluar la condición de las mismas a posteriori de una situación de déficit hídrico y asociar la productividad de las distintas pasturas y condiciones con la producción física a alcanzar.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterización de la región

La Región Este de Uruguay ocupa aproximadamente una cuarta parte del país y se caracteriza por una gran variedad en la composición de sus suelos y pasturas naturales, abarcando alrededor de 4 millones de hectáreas. Se divide en tres zonas principales: un 50 % de zonas altas, un 25 % de colinas y lomadas y el 25 % restante se compone de llanuras (Ayala et al., 2010).

Para este estudio, se tomó como base la Unidad Experimental Palo a Pique, ubicada dentro de la zona de Colinas y Lomadas y sobre la Unidad de Suelos Alférez de la carta de suelos 1:1 millón, para caracterizar esta región en términos de sus suelos y pasturas.

2.1.1 Suelos

Los suelos que pertenecen a la Unidad Alférez son limitados en cuanto a su uso ya que son poco fértiles, fuertemente ácidos, deficientes de fósforo y contienen una alta capacidad de fijación del mismo. Durante el verano, estos suelos presentan un problema de escasez de agua debido a su poca capacidad de almacenamiento, y en invierno, su mal drenaje produce exceso de humedad (Ayala et al., 2001). Estos suelos también tienen un alto riesgo de erosión y degradación (Bermúdez et al., 2003) y se clasifican como Brunosoles y Argisoles asociados a Planosoles en áreas de drenaje imperfecto (Altamirano et al., 1976).

Según United States Department of Agriculture (1999), los suelos de la región se clasifican como Clase III y IV de capacidad de uso, lo que significa que presentan limitaciones para el uso agrícola. No obstante, son suelos sembrables, mediante la utilización de métodos que reduzcan los riesgos de erosión y degradación, como el método de siembra directa (Terra et al., 2000).

2.1.2 Fenómenos climáticos adversos

El cambio climático se define como el cambio en el clima por consecuencia de las actividades humanas (Barreiro et al., 2019). El clima varía naturalmente, por lo tanto, es necesario contar con largas series observadas para estudiar y detectar los efectos de la acción humana. Barreiro et al. (2019) afirman que este evento no se trata solamente de un cambio en las condiciones medias de lluvia o temperatura en determinada región, sino que suele estar acompañado por cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos e hidroclimáticos.

Uruguay se encuentra ubicado en una región de gran variabilidad climática en todas las escalas de tiempo. Esta variabilidad, induce año a año cambios del clima muy grandes sobre el territorio, principalmente en precipitaciones (INIA Uruguay, 2019). Múltiples investigadores han dedicado décadas al estudio del fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación SUR), el cual consiste en un acoplamiento entre anomalías en la temperatura de la superficie del océano Pacífico tropical y de la atmósfera. Existen años en los que la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical está más caliente que lo «normal» y se denominan «años El Niño», y hay años en que dicha temperatura es más fría que lo «normal» y se denominan «años La Niña» (Baethgen, 2016).

El cambio climático tiene un impacto grande en el sector agropecuario y en todos los rubros productivos. Para Barreiro et al. (2019) la tendencia global permite concluir que el calentamiento y la variación de precipitaciones no es uniforme, lo cual implica que hay regiones en la que va a llover más y hay regiones en las que las tendencias de lluvia son menores. Esto se alinea con lo expresado por López Feldman (2015), quien afirma que los efectos del cambio climático no serán homogéneos ni se presentarán al mismo tiempo en todos los lugares. El autor afirma que es posible que en un inicio el calentamiento moderado del planeta beneficie a la producción de cultivos en las regiones templadas, y perjudique a las regiones semi-áridas y tropicales.

Uruguay no escapa a la variabilidad climática y a los fenómenos extremos que ocurren en todo el mundo. En los últimos 5 años, la media de las precipitaciones de Palo a Pique estuvo 13 % por debajo de la media histórica, y la temperatura del aire también sufrió variaciones respecto a la media histórica. No solo incrementó la temperatura media sino también el número de días con temperaturas mayores a 35°C grados (INIA Uruguay, 2023). Es decir, se superan los rangos de temperatura por encima de los cuales el funcionamiento de las plantas empieza a ser problemático (Jáuregui et al., 2016). El déficit hídrico condiciona a las plantas y las pone en condiciones de estrés, afectando su persistencia y productividad (INIA Uruguay, 2023).

2.2 Productividad de las diferentes cadenas forrajeras

2.2.1 Praderas perennes

Este tipo de praderas cumplen un rol importante en la producción de carne, debido a que producen forraje por cuatro o más años, lo que permite amortizar el costo de implantación, disminuyendo así el costo del kilogramo de carne producido. En general se componen de mezclas de gramíneas y leguminosas perennes, complementarias en ciclo de producción y en calidad nutricional (Carámbula, 2002-2004).

Según Formoso (2011), la mezcla más utilizada a nivel nacional es la de festuca (*Festuca arundinacea*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y lotus (*Lotus corniculatus*), la misma es indicada para rotaciones de larga duración debido a su comportamiento en el largo plazo y su gran adaptación.

Según Carámbula (2002-2004), estas mezclas probablemente no alcancen los máximos rendimientos posibles, pero sí nos otorgan una producción más estable a lo largo del año, un menor enmalezamiento y menor erosión.

Como se observa en la tabla 1, la menor entrega de forraje de estas pasturas se da en verano y la mayor se registra en primavera (Carámbula, 1978) donde las especies se encuentran en su estado reproductivo. En el segundo y tercer año se expresa la máxima producción de materia seca, siendo explicada en mayor medida por el componente leguminosa (Carámbula, 2002-2004). En el cuarto año la producción decrece como consecuencia de la desaparición de las leguminosas, disminuyendo la producción otoño-invernal.

En la tabla 2 son presentados los parámetros de calidad para festuca, trébol blanco y lotus publicados por Mieres et al. (2004).

Tabla 1

Rendimientos estacionales y totales (Kg MS/ha) promedio para la mezcla de trébol blanco, lotus y festuca

Año	Pastura	Rendimiento				Total
		Otoño	Invierno	Primavera	Verano	
1	Fe+TB+L	-	900	3300	1800	6000
	Fe+TB+L	-	450	3150	900	4500
2	Fe+TB+L	2000	1800	3800	1400	9000
	Fe+TB+L	2200	2000	4300	1500	10000
3	Fe+TB+L	1200	1000	3000	800	6000
	Fe+TB+L	1400	1120	3500	980	7000
4	Fe+TB+L	1000	800	3000	700	5500
	Fe+TB+L	700	650	3000	650	5000

Nota. Adaptado de García (2003) y Leborgne (2008).

Tabla 2

Promedio estacional y desvío estándar para parámetros de calidad de festuca, trébol blanco y lotus

		MS%	PC%	DMO%	FDN%
Festuca	O	92,9 ± 1,2	12,0 ± 1,6	65,3 ± 5,4	48,3 ± 13
	I	85,6 ± 1,8	21,9 ± 2,9	69,3 ± 9	39,3 ± 4,3
	P	92,4 ± 1,7	13,9 ± 3,5	60,4 ± 9,8	53,3 ± 4,7
	V	92,4 ± 3,3	13,5 ± 2,5	61,8 ± 2,8	59,9 ± 4,3
Trébol blanco	O	89,7 ± 5,9	21,6 ± 3,4	63,6 ± 7	43,2
	I	90,9 ± 1,8	24,7 v 4,2	65,0 ± 4,8	35,8 ± 4,1
	P	88,5 ± 2,1	23,8 ± 3,5	59,7 ± 11	35,2 ± 5,3
	V	89,0 ± 0,2	16,0 ± 1	58,4 ± 2,9	
Lotus	O	90,0 ± 1,5	16,8 ± 2,8	53,0 ± 6,4	46,1 ± 5,6
	I	88,8 ± 2,5	17,4 ± 3,7	53,6 ± 8	51,8 ± 5
	P	90,5 ± 3	20,1 ± 4	59,9 ± 6	45,1 ± 4
	V	90,6 ± 2,2	16,4 ± 3,5	57,5 ± 7,7	45,2 ± 10

Nota. Tomado de Mieres et al. (2004).

2.2.2 Praderas bienales

Este tipo de praderas ofrece una alta producción de forraje de alta calidad en el corto plazo. Además de tener una adecuada distribución estacional por la complementariedad de los ciclos de las especies que las integran, los costos de producción son menores que los verdes dado que se diluyen en dos años (Pereda Díaz & Rodríguez de Barbieri, 2021).

Según Carámbula (2002-2004), las especies más usadas en el Este son holcus (*Holcus lanatus*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*), mientras que en otras zonas también son relevantes cebadilla (*Bromus catharticus*), festulolium (*Festulolium spp.*) y achicoria (*Cichorium intybus*).

Holcus es una gramínea de comportamiento bianual, recomendado para suelos de menor potencial como componente de praderas cortas, presenta buena asociación con leguminosas y tiene buena palatabilidad en vacunos de carne. Esta gramínea presenta buena digestibilidad en estado vegetativo y a comienzos de floración (Ayala et al., 2010).

Estudios realizados por García (2003) muestran que en la primera primavera la producción de holcus presenta tasas máximas que oscilan entre 50 y 60 kg/ha/día MS. En verano, las tasas bajan abruptamente a valores de 10 kg/ha/día MS o inferiores y se mantienen durante el otoño.

Esta lenta recuperación otoñal es la principal limitante de las gramíneas bianuales en pasturas intensivas, lo cual se refleja en la producción invernal del segundo año que es inferior a la del primer invierno, rindiendo 30-50 % menos en el segundo invierno (Tabla 3).

El trébol rojo es una leguminosa de ciclo otoño-invierno-primaveral de vida corta (2-3 años). Debido a su característica de producir altos volúmenes de forraje en su primer año es que se justifica su inclusión en mezclas para praderas permanentes (Carámbula, 1977).

La achicoria es utilizada en la mayoría de los sistemas de producción como componente de pasturas mezclas con leguminosas y gramíneas, principalmente por su tolerancia a la sombra, gran persistencia en condiciones de sequía y su alta digestibilidad y calidad.

Es una especie para praderas de vida corta, asociada a avena, raigrás, y trébol rojo, siendo con ésta última las especies que mejor toleran la sombra.

En la tabla 3 se presentan las producciones estacionales de las principales especies utilizadas en praderas bienales para dos años.

Tabla 3

Rendimiento promedio (MS kg/ha) de holcus, trébol rojo, achicoria y achicoria más trébol rojo

Rendimiento						
Año	Pastura	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Total
1	Holcus	388	1982	4692	979	7978
	Trébol rojo	310	1070	4530	2630	8540
	Achicoria	2450	>3000	5000	>4000	>14450
	TR + Achicoria	2500	2450	6000	10000	20950
2	Holcus	526	1321	3525	354	5726
	Trébol rojo	1270	1480	4190	1880	8820
	Achicoria	-	-	3400	-	3400
	TR + Achicoria	1000	>1000	4800	<1000	7800

Nota. Adaptado de Díaz Lago et al. (1996) y Formoso (2011).

2.2.3 Gramíneas perennes utilizadas

Las gramíneas forrajeras ocupan un lugar muy importante en las pasturas cultivadas del Uruguay, ya sea como base de verdeos anuales y/o como componentes de praderas de corta o larga duración en asociación con leguminosas (García, 2003).

Desde el punto de vista agronómico, las especies perennes ofrecen alternativas muy interesantes para producir forraje en forma estable y eficiente, fundamentalmente en ambientes con estaciones extremas de crecimiento (Carámbula, 2000). Esto es debido al ciclo otoño-invierno-primaveral que caracteriza a las gramíneas perennes invernales.

Según Carámbula (2002-2004), las gramíneas perennes invernales tienen un rol fundamental para la producción animal en los sistemas de rotación larga, pero su persistencia está atada al manejo que se le realiza a dicha pastura. Dicho autor identifica a la festuca (*Festuca arundinacea*), el dactilis (*Dactylis glomerata*) y falaris (*Phalaris aquatica*) como las especies mayormente utilizadas en praderas mixtas, y esto se debe a su rusticidad, persistencia y su capacidad de cubrir requerimientos animales en la época más crítica que es el invierno.

2.2.3.1 Festuca arundinacea

Carámbula (2002-2004) destacó a la festuca como la especie más importante utilizada y la identificó como un componente esencial en la mayoría de las pasturas sembradas. Dentro de sus fortalezas resalta su adaptación a amplio rango de suelos, buena resistencia a la sequía, precocidad otoñal, y buena persistencia.

También se destaca su buena adaptación a siembras con leguminosas agresivas a pesar de su lento establecimiento, lo que le da cierta debilidad en su año de implantación y resulta en una baja producción del primer año (Carámbula, 2002-2004).

La festuca es una gramínea perenne de ciclo invernal, que debido a su característica de producir forraje temprano en otoño y a fines de invierno, puede ser clasificada como una pastura precoz de vida larga. Actualmente en Uruguay es una de las gramíneas más importante en las pasturas sembradas, dada su gran adaptabilidad en mezclas con leguminosas con lo que se logra elevar su valor nutritivo (Carámbula, 1977).

Una de las principales limitantes de la festuca es su lento establecimiento debido a sus plantas poco vigorosas, por lo que el manejo en el año de implantación debe ser cuidadoso para que esta no sea dominada por malezas o especies anuales de rápido crecimiento (Cowan, 1956).

Ayala et al. (2010) sostienen que esta especie se adapta bien a pastoreos continuos, aunque es recomendable para cuidar la calidad y aumentar el rendimiento realizar pastoreos rotativos. Los criterios utilizados para su manejo son alturas de entrada de 15-18 cm con una altura de salida de 5 cm. Estos mismos autores indican que, con el fin de conservar la calidad de la especie, es recomendable que el manejo en primavera sea con pastoreos más intensos y frecuentes con el fin de prevenir la floración que disminuye considerablemente la calidad. También afirman que, en el caso del manejo estival, es una medida determinante para la sobrevivencia y persistencia de la pastura, donde se recomienda dejar remanentes más altos de 7-10 cm, y en períodos de sequía retirar los animales.

2.2.3.2 Producción

Según Langer et al. (1964), la producción en el primer año en general es baja debido a su lenta implantación. Su floración es temprana lo que le da una alta producción primaveral. En otoño su producción también es buena, dependiendo de cómo fue su condición estival.

García (2003) menciona que la producción y distribución estacional de la producción está afectada por la edad de la pastura, donde a medida que esta aumenta, la producción se reduce, aunque esto se puede ver afectado por el factor clima y variar la producción (tabla 4).

Tabla 4

Producción de forraje estacional y anual de Festuca INIA Fortuna sembrado en 2013, durante 2013-2017

Período	Crecimiento MS kg/ha				
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Total Anual
2013-2014	4289	5310	3254	4347	17199
2014-2015	3384	1638	3860	2906	11752
2015-2016	806	3545	3261	3444	11066
2016-2017	4029	3515	1959	2377	11878
Promedio	3118±1592	3051±1499	3084±801	3268±841	12971±2842

Nota. Adaptado de Ayala et al. (2017).

2.2.3.3 Persistencia

Según Chapman et al. (2011), la persistencia de las pasturas no solo depende de los factores climáticos, sino que también se ve determinada por otros factores como plagas, enfermedades, interacciones multitróficas y por el manejo de las mismas.

Chapman et al. (2011) indican que para solucionar los problemas de persistencia se debe operar a nivel de planta individual y ver que podría comprometer la supervivencia de esa planta. Los mismos autores también mencionan, como concepto útil para comprender la respuesta de la planta a los cambios en el entorno, la compensación homeostática que significa que para maximizar la producción y la persistencia se necesita de cierto equilibrio de recursos, encima y debajo del suelo.

Para las pasturas, la persistencia depende en gran medida del establecimiento y la supervivencia durante la etapa vegetativa. Por lo que es de suma importancia para la supervivencia de la planta durante el verano, terminar la primavera con buena densidad de plantas ya que la tasa de muerte de macollos se hace máxima en esta época (Jáuregui et al., 2016).

Matthew y Sackville Hamilton (2011), diferenciaron 3 estaciones que determinan la supervivencia de macollos de festuca: un período de estabilidad invernal donde hay alta supervivencia de macollos y alta natalidad de los mismos, otro período pre floración donde existe el riesgo de que la tasa de mortalidad de macollos supere la tasa de aparición de los mismos y por último el periodo posfloración donde las tasas de mortalidad siguen altas, pero son acompañadas de altas tasas de aparición de macollos.

Por esta razón es que un control de la floración temprana promueve el crecimiento de los macollos vegetativos existentes ya que logran competir por nutrientes y luz (Korte et al., 1984). La forma más eficiente para el control de la floración es la decapitación de los macollos reproductivos mediante un pastoreo intenso o eventualmente realizar un corte o topping con rastrera, y de esta forma se aumenta la densidad poblacional en primavera, verano y otoño (Chapman et al., 2011; L'Huillier, 1987). Otra razón para realizar dicho manejo es evitar la acumulación de material reproductivo y material muerto que baja la calidad nutritiva, por el contrario, el control de floración resulta en una pastura con mayor cantidad de macollos vegetativos de mayor calidad (Korte & Chu, 1983; Korte et al., 1984).

2.2.4 Leguminosas perennes

Las leguminosas son componentes esenciales de los sistemas de rotación cultivo-pastura, las mismas producen forraje de alta calidad durante todo el año y fijan nitrógeno de la atmósfera recuperando la fertilidad de los suelos perdida por los cultivos (Díaz Lago et al., 1996).

Para Carámbula (1977), las leguminosas son un componente muy importante de las pasturas debido a sus propiedades. Las mismas aportan nitrógeno y presentan un alto valor nutritivo por sus proteínas y minerales, lo que las hace importantes para la producción de carne. Además, presentan propiedades que mejoran la estructura del suelo en profundidad y aportan residuos al suelo que activan la vida microbiana del mismo.

Carámbula (2002-2004) identifica como el principal factor que limita la utilización de las leguminosas a su persistencia debido al mal manejo y variedad de enfermedades

que las afectan. Asimismo, resaltó la importancia de la semillazón y resiembra natural de éstas.

2.2.5 Leguminosas que componen la mezcla

2.2.5.1 *Lotus corniculatus*

El lotus es una leguminosa perenne estival, con crecimiento a partir de corona. Su resistencia a la sequía, su alto valor nutritivo y su persistencia, hacen de ella una especie muy recomendable para ser incluida en mezclas forrajeras (Carámbula, 1977).

Esta especie es sumamente plástica, pudiendo presentar buen desarrollo tanto en suelos arenosos como en arcillosos. Un inconveniente que presenta frente a otras leguminosas perennes es su menor eficiencia para aportar nitrógeno al suelo (Carámbula, 1977).

El *Lotus corniculatus* es sensible a la intensidad y frecuencia de defoliación. Puede mantener su productividad y densidad por 2-3 años cuando crece en ambientes cálidos y húmedos. En la práctica se considera una leguminosa perenne de vida corta bajo pastoreo (Pierre & Jackobs, 1953). Una estrategia para mejorar su persistencia puede ser la resiembra natural de bancos de semilla existentes que permitan reemplazar las plantas perdidas (Blumenthal et al., 1991).

El *Lotus corniculatus* es utilizado en Uruguay en siembras puras o en mezclas con raigrás anual (*Lolium multiflorum*), festuca (*Festuca arundinacea*), dactilis (*Dactylis glomerata*) y con leguminosas como el trébol blanco (*Trifolium repens*) (Ayala, 2001).

Pastoreos muy intensos y frecuentes durante primavera y verano pueden provocar un rebrote muy lento debido a la ausencia de yemas en la corona y a la carencia de niveles adecuados de sustancias de reserva (Pierre & Jackobs, 1953). Gardner et al. (1968) como se cita en Carámbula (1977) observaron que la frecuencia de pastoreo tiene gran influencia en el comportamiento del lotus. Cuando se permitió alcanzar la altura de 24 cm antes del corte, la pastura rindió más que cuando se cortaron al llegar a 12 cm. En este sentido, Duell y Gausman (1957) constataron que los rendimientos aumentan al disminuir la frecuencia de pastoreos.

2.2.5.2 *Trifolium repens*

El trébol blanco es una leguminosa perenne de ciclo invernal. Por su alta producción de forraje de excelente calidad, su persistencia con manejos intensivos y la habilidad para competir con gramíneas perennes a la vez de cederles nitrógeno, esta especie integra mezclas en una diversidad de situaciones (Carámbula, 1977). Es una especie que se utiliza bajo pastoreo en mezcla con gramíneas ya que presenta grandes posibilidades de generar meteorismo.

El trébol blanco puede persistir como planta anual a través de la resiembra, o como perenne mediante la producción continuada de estolones (García, 1995). Este hábito, caracteriza y define a esta especie como la leguminosa perenne de mejor adaptación a las praderas de pastoreo de las zonas templadas de todo el mundo (De Muslera & Ratera García, 1984).

En Uruguay, el uso de trébol blanco se ha basado en su mayoría en el uso del cv. Zapicán. Esta variedad presenta hojas medias a grandes, con buen crecimiento

invernal, floración temprana y abundante y una persistencia productiva promedio de tres años (García, 1995).

De acuerdo con Gardner et al. (1968) como se cita en Carámbula (1977), para obtener los máximos rendimientos de trébol blanco debe ser pastoreado a una altura que no supere los 7 cm. Manejos controlados de fines de primavera que permiten la semillazón y alivio en el verano principalmente si se dan condiciones de estrés hídrico favorecen su persistencia (Ayala et al., 2010).

2.2.5.3 *Trifolium pratense*

El trébol rojo es una leguminosa de ciclo predominantemente invierno-primaveral, de vida corta (2-3 años).

Carámbula et al. (1997) mencionan que esta especie puede ser agrupada en tres grupos según la época de floración: floración temprana, floración intermedia y floración tardía.

Es una especie que produce altos volúmenes de forraje el primer año, característica que compensa su vida corta y justifica su inclusión en mezclas de praderas permanentes (Carámbula et al., 1997).

La fecha óptima de siembra es temprano en el otoño, dado que las plántulas son susceptibles al frío. Se recomienda sembrar a una densidad de hasta 9 kg por hectárea (Formoso, 2010).

Esta leguminosa es recomendada en siembras asociadas por poseer un alto grado de tolerancia a la sombra, usualmente se utiliza bajo pastoreo. Durante el invierno y el verano los niveles de reservas de raíz descienden notablemente, lo cual afecta la producción y persistencia, se debe hacer un pastoreo rotativo con descansos de 60 días para permitir la acumulación de reservas (Carámbula, 1977).

En los trabajos sobre instalación de pasturas de Formoso (2011) en La Estanzuela, se encontró que consistentemente las mezclas forrajeras que incluían al trébol rojo obtuvieron las mayores producciones, siendo estas del orden de las 16 a 19 toneladas de MS/ha, en un período de 475 días postsiembra (mayo), en siembra directa.

Ayala et al. (2010) destacan que esta especie se caracteriza por su porte erecto a semierecto, floración temprana, ciclo bianual y carencia de latencia invernal. Estos autores también explican que se adapta mejor a suelos de texturas medias y pesadas con buena profundidad. Además, indican que se recomienda en mezclas con especies de rápido crecimiento y ciclo corto, especialmente con cebadilla y achicoria.

2.3 Persistencia de mezclas forrajeras en la región este

Según Carámbula (2002-2004), una mezcla forrajera se define como una población artificial de especies con distintas características tanto morfológicas como fisiológicas.

Las pasturas sembradas en diversas regiones del mundo suelen estar compuestas por un conjunto limitado de especies forrajeras. Estas especies han sido seleccionadas principalmente por su capacidad de producción, pero no siempre por su persistencia en diferentes ambientes. Al encontrarse en entornos diversos, estas

especies deben enfrentarse a la competencia de especies autóctonas que están naturalmente adaptadas a esos ambientes específicos (Arrospide & Ceroni, 1980).

Las mezclas forrajeras generan una distribución estacional mayor y más uniforme de la producción del forraje, menor variabilidad interanual y ventajas en la alimentación de los animales desde el punto de vista de calidad y riesgo de meteorismo (Scheneiter, 2005). Esto se alinea con lo expresado por Rovira (2008), quien afirma que el objetivo básico al optar por la utilización de mezclas debe ser lograr una mayor producción de forraje y de mejor calidad que el tapiz preexistente.

Para Correa Urquiza (2003), en la formulación de mezclas debemos considerar varios factores, como a) la adaptación edáfica de la especie, b) la zona geográfica donde se va a sembrar, c) el destino del recurso, d) la duración de la pradera y momento de aprovechamiento, e) y el sistema de producción.

La encuesta realizada por Pravia et al. (2013) arroja que la elección de las especies forrajeras a implantar está determinada por la elección de especies que mejor se adaptan a la zona como criterio más importante con un 52 %. Esto se alinea con lo entendido por Correa Urquiza (2003), quien afirma que la situación de suelo destinado a la producción de forraje determina el tipo de pradera a implantar de acuerdo a las expectativas y requerimientos del productor.

No obstante, Carámbula et al. (1997) sostienen que en la elección de la pastura que se utilizará también se tiene en cuenta el objetivo de producción. Sistemas criadores, de engorde o de ciclo completo optan por distintas alternativas, en función de la persistencia que se esté buscando (pastura longeva o de corta duración). Es decir, la elaboración de mezclas forrajeras debe adaptarse a los distintos propósitos de cada sistema de producción (Langer, 1981).

Para Carámbula (2002-2004), al instalar una pastura se busca lograr una mezcla mixta bien balanceada de gramíneas y leguminosas. Las proporciones recomendadas son 60-70 % gramíneas, 20-30 % leguminosas, y 10 % de malezas.

Se entiende que las gramíneas son consideradas parte fundamental de las mezclas, por su adaptabilidad a varios tipos de suelos, persistencia, productividad sostenida, baja sensibilidad al pastoreo y corte, estabilidad en la pastura y explotación del nitrógeno simbiótico (Carámbula, 2002-2004). Por otra parte, el autor también expresa que las leguminosas son las encargadas de enriquecer la mezcla con su alto aporte nutritivo que complementa la dieta animal. Como consecuencia de la mejora en la calidad de forraje, el consumo animal aumenta.

Las especies elegidas para componer la mezcla determinan la producción anual y estacional de la pradera, en conjunto con el ambiente al cual son sometidas durante su crecimiento y desarrollo. Scheneiter (2005) señala que el efecto ambiente se ve alterado por la defoliación y el uso de insumos tales como fertilizantes y herbicidas que inciden directamente en la composición y la producción de las pasturas.

Al momento de seleccionar las especies que componen la mezcla hay que tener en cuenta varios factores: aptitud del suelo, tipo de actividad ganadera, presencia y tipo de maleza, manejo de pastoreo a implementar, entre otros (Scheneiter, 2005).

Carámbula (2007) explica que la pérdida de persistencia en las pasturas perennes suele manifestarse mediante una reducción en la presencia de las

leguminosas sembradas, mientras que las gramíneas tienden a mantenerse en poblaciones relativamente estables, aunque con rendimientos decrecientes a medida que la pastura envejece. Este autor también indica que, a medida que las leguminosas desaparecen, su espacio es gradualmente ocupado por plantas invasoras como malezas y gramíneas comunes, algunas veces de carácter anual.

Hochman y Helyar (1989) afirman que el mantenimiento del contenido de leguminosas en una pastura se trata de mantener una condición de no equilibrio, debido a que éstas rara vez son capaces de dominar un ecosistema. También sostienen que ni el suelo ni el clima pueden considerarse factores estáticos en la ecuación de persistencia, y que el cambio climático que se experimenta es suficiente para causar cambios profundos en el comportamiento de floración, y por lo tanto en la persistencia de estas especies.

Debido a la importancia de la floración y semillazón para la persistencia de las leguminosas anuales y perennes, Hochman y Helyar (1989), realizaron un ensayo de 40 años evaluando el banco de semillas y el impacto del estrés climático en la producción de semilla viable. Aunque el pool de semillas mostró gran variabilidad en los años de estudio, nunca bajó de los 30 kg/ha, el principal factor que redujo la producción de semilla en el 40 % de los casos fue la pudrición de raíz. Los autores resaltaron la implicancia del estrés durante la floración ya que recién pasadas 9 semanas posfloración, el 90 % de las semillas son viables, por lo que estreses ocurridos en este período pueden reducir considerablemente la producción de semilla viable.

En el estudio sobre la persistencia de leguminosas en pastizales de Hochman y Helyar (1989), se destaca la importancia crucial de la selección del material genético que se adapte al suelo. Señalan que existen diferencias significativas en la sensibilidad entre las variedades de leguminosas, lo que subraya la necesidad de una cuidadosa elección del material y afirman que, en condiciones de alta fertilidad y con especies adaptadas, las leguminosas pueden dominar el pastizal durante períodos de 1 a 3 años, mientras que, en suelos de baja fertilidad, la dominancia recae en las gramíneas.

2.3.1 Tipos de mezcla

Carámbula (2002-2004) describe tres tipos de mezclas forrajeras según su composición. Señala que las mezclas ultra simples están compuestas por una gramínea y una leguminosa, las mezclas simples incluyen dos gramíneas y una leguminosa o viceversa, y las mezclas complejas están formadas por varias gramíneas y leguminosas. Además, Carámbula (2002-2004) explica que las mezclas ultra simples y simples generalmente tienen un ciclo de producción definido, mientras que las mezclas complejas no presentan una estacionalidad marcada, buscando una producción estable durante todo el año.

Para Carámbula (1977), el principal propósito de construir una mezcla forrajera es obtener de cada especie su aporte máximo en materia seca, expresando en esta forma su verdadero potencial. Es por esto que las mezclas ultra simples o simples son las que presentan mayor producción por el simple hecho de que son menos especies para manejar y por lo tanto es más fácil mantener el balance deseable entre sus componentes.

En el caso de mezclas complejas, diferentes condiciones de suelo, fertilidad y pastoreo llevan indefectiblemente a la dominancia de ciertas especies en detrimento de otras (Carámbula, 1977).

De acuerdo con Castro y Escuder (1972) y Acevedo (1973), como se cita en Carámbula (1977): «Cuando las mezclas son constituidas por varias especies, sólo unas pocas contribuyen al rendimiento de la pradera y por consiguiente su producción no es mayor a la de las mezclas simples» (p.184) (tabla 5).

Tabla 5

Rendimientos anuales y totales de seis mezclas forrajeras (MS kg/ha)

	1965	1966	1967	Total
Festuca-Lotus	5789	7400	6443	19632
Falaris-T.sub	5277	8226	2697	16200
Festuca-T.blanco	8975	8845	4616	22436
Falaris-Lotus	3556	12401	6359	22316
Falaris-Festuca-Lotus-T.sub	5023	8153	6498	19674
Falaris-Festuca-T.blanco-T.sub	5859	8881	5267	20007

Nota. Adaptado de Castro y Escuder (1972) como se cita en Carámbula (1977).

2.4 Performance animal sobre praderas perennes

2.4.1 Interacción planta-animal

La condición del animal en pastoreo es muy dinámica, y esto se debe a que tanto las variaciones en requerimientos nutricionales, estado de la pastura y condiciones climáticas varían constantemente, lo que genera que el animal no pueda expresar su potencial genético para producción (Montossi et al., 1996).

La actividad del animal en pastoreo está comprendida por períodos de consumo, rumia y descanso, las cuales se alternan a lo largo del día. La duración y alternancia de estas actividades depende de la cantidad y calidad del forraje ofrecido, como también de las condiciones climáticas. Estos factores van a influir finalmente en el consumo animal, por lo tanto, en la performance de los mismos (Montossi et al., 1996).

Según Formoso (1990), un manejo incorrecto del pastoreo en términos de frecuencia, intensidad y duración puede llegar a disminuir la producción anual de la pastura y la persistencia en un 50 % a 80 % en especial si se manejan mal de mediados de primavera a mediados de otoño.

2.4.2 Frecuencia de pastoreo

Se define como el tiempo concurrido entre dos pastoreos sucesivos. Según Carámbula (2002-2004), cuánto mayor es la frecuencia de utilización, menor será el tiempo de crecimiento entre dos pastoreos sucesivos.

Si bien la frecuencia de utilización depende de cada especie o de la composición de la pastura y de la época del año en que se realice, el elemento que determinará la longitud del período de crecimiento será la velocidad de la pastura en alcanzar el volumen adecuado de forraje, lo que teóricamente sería alcanzar el índice de área foliar (IAF) óptimo (Carámbula, 2002-2004).

Resultados obtenidos en diferentes experimentos para diferentes especies y mezclas, sugieren que la frecuencia está determinada por la acumulación de forraje pre pastoreo, de esta manera se toma como criterio general de entrada 1,5 a 2 tt MS/ha para primavera, verano y otoño. La utilización de este criterio permite aumentar la producción invernal y anual y además contribuir a la persistencia de las especies (Formoso, 1990).

2.4.3 Intensidad de pastoreo

Según Rovira (2008), la intensidad de pastoreo sería la cantidad consumida en relación a la cantidad inicial de MS en la pastura. El consumo de materia seca depende de la cantidad de bocados por minuto, que conjuntamente con el tamaño de bocado (gramos de materia seca por bocado) y el tiempo de pastoreo determinan el consumo de forraje de un animal (kg de MS/día).

Para Formoso (2011), las hojas son las encargadas de interceptar la radiación, procesarla y fijarla como energía, por lo tanto, la remoción de estas resulta en un estrés para la planta, el cual es de mayor magnitud cuando mayor es la intensidad de defoliación. Como resultado de ese retiro, Formoso (2011) afirma que las plantas enseguida modifican su sistema de señales internas de modo de orientar los esfuerzos fisiológicos para recomponer el área foliar.

2.4.4 Consumo animal

Según Poppi et al. (1987), como se cita en Montossi et al. (1996), el consumo animal en pastoreo está determinado por dos grupos de factores, los no nutricionales y los nutricionales. Dentro de los primeros encontramos los factores relacionados con la habilidad del animal para cosechar el forraje, la cual está determinada por la estructura de la pastura, conducta de pastoreo (tasa de bocado, peso de bocado y tiempo de pastoreo) y selectividad. Los autores señalan que los factores nutricionales hacen referencia a la digestibilidad de la pastura, tasa de pasaje y la concentración de productos finales de la digestión ruminal. Ambos conjuntos de factores están relacionados en determinar el consumo animal a alta y baja disponibilidad de forraje.

Poppi et al. (1987) como se cita en Montossi et al. (1996) mencionan que existe una relación positiva entre disponibilidad de forraje y consumo animal, debido a la facilidad de los animales para cosechar forraje a mayor cantidad. Por lo que, a mayor disponibilidad, también se encontró una mayor performance animal.

2.4.5 Método de pastoreo

Según Langer (1981), existen dos métodos de pastoreo principales, el continuo y rotativo. El primero se caracteriza por ser de dotación fija, donde la misma se determina de acuerdo con la tasa de crecimiento de la pastura utilizada, por lo que la capacidad de carga varía con la estación del año. En cambio, el autor expresa que el pastoreo rotativo se caracteriza por períodos de pastoreo cortos, en parcelas determinadas donde se intenta que no se lleguen a consumir los nuevos rebrotes en dicho período de pastoreo. Luego se le da un período de descanso a dicha parcela hasta que alcance la disponibilidad de forraje deseada para el reingreso de animales.

Debido a que el pastoreo rotativo tiene como objetivo que los animales consuman parte del forraje ofrecido en la parcela, dejando un remanente menor a 1000

kg MS/ha incluso llegando a valores de 300 kg MS/ha, es de importancia que la pastura en este método de pastoreo sea de buena calidad, ya que en caso de pasturas de mala calidad los animales no alcanzarán la performance deseada (Langer, 1981).

2.5 Banco de semillas del suelo

2.5.1 Definición

El banco de semillas en una comunidad vegetal es la reserva de semillas maduras viables, en la planta (banco de semillas aéreo), enterradas en el suelo y las presentes en los residuos vegetales (banco de semillas del suelo), según lo propuesto por Roberts (1981).

Henderson et al. (1988) se refieren al banco de semillas en el suelo (BSS) como el conjunto de semillas que representan el potencial regenerativo de las comunidades vegetales.

Para Cook (1980), la presencia de semillas en cantidad y tipo en un área específica resulta dependiente de la historia de la vegetación de cobertura y de la edad de la flora en el suelo.

2.5.2 Clasificación

Según Thompson y Grime (1979), los bancos de semillas del suelo se pueden clasificar de acuerdo a la viabilidad de las semillas en las siguientes categorías: BSS transitorio y BSS persistente.

El BSS transitorio es aquel en el cual ninguna de las semillas persiste viable por más de un año, y el BSS persistente es aquel que contiene semillas viables por más de un año (Thompson & Grime, 1979).

Thompson y Grime (1979) a través de estudios morfofisiológicos amplían su clasificación en las siguientes categorías: Tipo I, bancos transitorios con especies estivales; Tipo II, bancos transitorios con especies de regiones continentales de zonas templadas; Tipo III, bancos persistentes en los cuales muchas de las semillas germinan después de la dispersión, y las que no lo hacen se incorporan a suelo; Tipo IV, bancos persistentes en los cuales pocas semillas germinan inmediatamente después de la dispersión.

2.5.3 Longevidad de semillas

La durabilidad de una semilla se refiere al lapso durante el cual puede mantenerse viable, y está influenciada por factores genéticos y ambientales. Estos últimos, son especialmente determinantes para cada tipo de semilla, determinando si conservará su viabilidad durante el período genéticamente establecido o si perderá su capacidad de germinación en períodos más cortos. Al respecto Suckling (1960) menciona que bajo manejos aliviados la semillazón de leguminosas resulta generalmente en un alto porcentaje de semillas duras.

2.5.4 Factores ambientales para romper dormancia

El estado de semilla dura termina cuando la cutícula se rompe o resquebraja por acción: mecánica (golpes, escarificado, etc.), microbiológica (ataque de hongos), física

(alternancia de temperaturas) o química (escarificado con abrasivos, pasaje por el tracto digestivo de animales) (Carámbula, 1977).

2.6 Síntesis

Debido a la compleja combinación de suelos, atributos de terreno y prácticas de manejo, es usual observar problemas de persistencia en las pasturas implantadas de la región Este del país. Si bien existen múltiples trabajos de investigación que ayudan a conocer las prácticas más acertadas para favorecer la longevidad de cada mezcla forrajera, los productores se enfrentan a circunstancias adversas que están fuera de su control. Los eventos climáticos adversos (heladas, granizo, sequías, inundaciones) generan no solo problemas de persistencia sino variaciones en la producción de forraje.

Las condiciones edáficas de la región Este aumentan el impacto de las inclemencias climáticas. Por tratarse de suelos poco fértiles y poco profundos, con drenajes imperfectos en muchos casos, los déficits hídricos se vuelven más acentuados y las condiciones de anegamiento más prolongadas, lo que pone a prueba la capacidad de supervivencia de las especies utilizadas. Las características físicas y químicas de estos suelos acotan la lista de materiales genéticos adaptables, en especial las leguminosas las cuales son más demandantes que las gramíneas lo que lleva a la pérdida de éstas, desfavoreciendo la continuidad y calidad de la pastura.

Conocer el comportamiento de cada mezcla forrajera frente a situaciones climáticas de estrés, así como su capacidad de resiliencia productiva, permite anticiparse y tomar las decisiones de manejo mejor adaptadas a dichos eventos climáticos posibles.

2.7 Hipótesis

1) Pasturas con diferentes edades y/o composiciones presentan diferentes respuestas a la incidencia del clima o del manejo.

2) Las especies sembradas exhiben distintos mecanismos de sobrevivencia, lo que resultará en efectos desiguales del déficit hídrico sobre las mismas.

3) Los efectos del déficit hídrico se traducen en una menor población de plantas, un mayor enmalezamiento, una menor producción forrajera y una menor producción de carne en las pasturas estudiadas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Condiciones experimentales generales

3.1.1 Ubicación del sitio experimental

El trabajo fue realizado en la Unidad Experimental «Palo a Pique» perteneciente a INIA Treinta y Tres, ubicada sobre la ruta nacional No. 19 (33°15'54.4"S 54°29'28.1"W). El período de trabajo a campo fue llevado a cabo entre los meses de marzo de 2022 y septiembre de 2022.

3.1.2 Origen y antecedentes del sitio experimental

El trabajo se realizó sobre la Plataforma Agroambiental de largo plazo que funciona en la Unidad Experimental «Palo a Pique» desde 1995 hasta la fecha, evaluando cuatro rotaciones cultivos-pasturas bajo pastoreo vacuno con siembra directa, en suelos con limitantes.

El enfoque de las rotaciones en el primer quinquenio (1995-2005) fue agrícola-forrajero, destinado a la producción de carne bajo pastoreo.

En 2005 se realizaron ajustes de diseño que dieron lugar a la subdivisión de las unidades experimentales para poder incluir cultivos de grano sobre estos suelos (Terra et al., 2009), manteniendo las mismas pasturas. Seguido a esto, se incorpora una rotación forrajera con dos cultivares de festuca y áreas de campo natural como soporte para el ganado.

Actualmente, el rediseño tiene como propósito abarcar la heterogeneidad de los sistemas productivos, centrados en cómo interactúan diferentes estrategias ganaderas con las rotaciones cultivo pasturas (Rovira et al., 2020).

3.1.3 Condiciones climáticas previas y durante el período de estudio

Para describir las condiciones anteriores y durante el estudio, se registraron los niveles de lluvia acumulada y la temperatura del aire desde marzo de 2022 hasta septiembre del mismo año. Estos datos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en la Estación Experimental del Este - Unidad Experimental "Palo a Pique" (UEPP) de INIA Treinta y Tres. Los valores mensuales se comparan con los datos promedios de una serie histórica de 27 años correspondiente al mismo período. Por otra parte, se utiliza información climática perteneciente al período previo al comienzo del muestreo para realizar la correcta caracterización de la situación precedente.

3.1.4 Descripción del sitio experimental

El experimento se compone de cuatro sistemas forrajeros-agrícolas, cada uno con su estrategia ganadera correspondiente. Cada sistema presenta un área de soporte de campo natural para su uso estratégico que corresponde a un 25-30 % del área de cada rotación.

Los cuatro sistemas contabilizan un total de 150 ha. En 3 de los 4 sistemas existe un área agrícola con producción de cultivos de grano, pero a los efectos de la presente Tesis sólo se considera para el análisis la fase ganadera de cada sistema, por lo que la

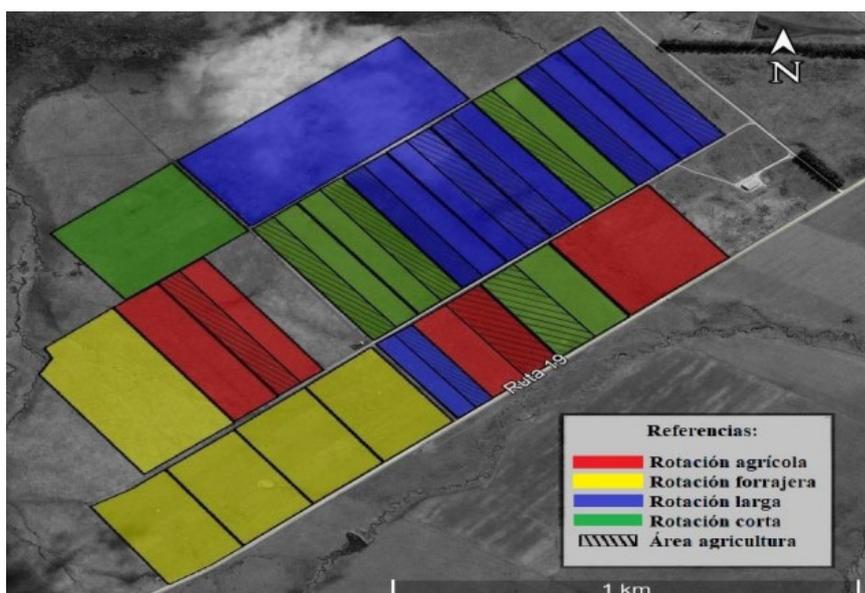
superficie total se reduce a 112 ha. Los animales en pastoreo son de raza Hereford (HE), Aberdeen Angus (AA) o cruzas HE x AA.

3.1.5 Descripción de los sistemas

De los cuatro sistemas que integran la Plataforma Agroambiental descrita, se tomarán dos para su análisis en el presente. A continuación, en las figuras 1 y 2 se presenta la distribución espacial de los sistemas, un esquema con el diseño de las rotaciones, su área de soporte y estrategia ganadera y la proporción que ocupa cada pastura en cada rotación respectivamente. En el anexo A se presentan los potreros utilizados en este estudio.

Figura 1

Distribución espacial de las rotaciones



Nota. Adaptado de Rovira et al. (2020).

Figura 2

Diseño de las rotaciones

Rotación larga (RL)					
Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
CII/CVI	C12/CV2	P1	P2	P3	P4

20 has. CN

Recría/ engorde novillos, 180 --> 500kg

Rotación corta (RC)			
Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
CII/CVI	C12/CV2	P1	P2

10 has. CN

Recría terneras, 150 -->330kg.
Engorde de vacas, 450 -->520kg

Nota. Adaptado de Rovira et al. (2020).

3.1.5.1 Rotación larga (RL)

Esta alternativa de rotación pastura - cultivos forrajeros, se compone de seis años con dos años de verdeos (avena - sorgo forrajero - raigrás - moha) y cuatro años de una pradera de festuca (*Festuca arundinacea*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y lotus

(*Lotus corniculatus*). El área total de pastoreo son 50 has (24 has de praderas, 6 has de verdeos y 20 has de campo natural).

La estrategia ganadera asignada a este sistema es de recría y engorde de novillos. Entran terneros con 180 kg/animal a la fase de recría, y se mantienen en el sistema hasta tener un novillo terminado de 500 kg/animal aproximadamente, en un período que va de 18 a 22 meses. Se intenta que el animal pase solo un verano en ese ciclo de recría-engorde.

3.1.5.2 Rotación corta (RC)

El sistema consta de una rotación pastura-cultivos de cuatro años, con dos años de cultivos forrajeros (misma secuencia que en RL) y dos años de una pradera compuesta por trébol rojo (*Trifolium pratense*) y *Holcus lanatus* y/o raigrás perenne. El área total de pastoreo son 28 has (12 has de praderas, 6 has de verdeos y 10 has de campo natural)

A este sistema se le definió una estrategia ganadera de recría de terneras y engorde de vacas. Aquellas terneras que no son utilizadas por el módulo de cría para reemplazos, entran con un peso inicial de 150 kg/animal, se recrían nuevamente durante un año hasta salir de sistema con 330-340 kg/animal. Este sistema se complementa con el engorde de vacas en invierno sobre avena/raigrás agregando 70 kg de peso por animal en cada ciclo de engorde, que dura 90-100 días.

3.2 Variables determinadas

Las variables estudiadas en este trabajo se centraron en el análisis de la persistencia y evolución de las distintas mezclas evaluadas, estimadas a partir de la producción de forraje y la composición botánica. También se evalúa la evolución de los pesos de los animales.

3.2.1 Pasturas

Mensualmente durante el período del trabajo (marzo-setiembre 2022) se recolectaron las muestras de forraje a campo para luego ser procesadas en el laboratorio cuantificando la oferta forrajera. Cada potrero fue censado aproximadamente en siete ocasiones, en función de las decisiones técnicas y operativas que se tomaban con respecto a la salida y entrada de animales al potrero. Las condiciones climáticas incidieron directamente en estas decisiones, se procuró la conservación de las praderas evitando el pisoteo en situaciones de saturación del suelo, lo que tenía como resultado el ingreso de los animales al área de campo natural.

En cada potrero se definieron tres zonas topográficas (zona alta, media y baja) que actuaron como repeticiones espaciales y en cada posición se realizaron submuestreos a los efectos de caracterizar las variables. Estas áreas de trabajo se fijaron al inicio de las actividades.

3.2.1.1 Forraje disponible y remanente

Con el objetivo de determinar el stock de pasto de cada potrero, se midió el forraje disponible previo al pastoreo y remanente post pastoreo, ambos expresados como kg/ha de MS.

Para estimar las variables previamente mencionadas, se lanzó un cuadro de 50x20 cm 5 veces por cada zona delimitada, y con el uso de la tijera eléctrica se realizaron cortes al ras del suelo. De esta forma se obtuvieron 15 muestras de forraje por potrero.

En el laboratorio, se tomó el peso verde de cada muestra y se registraron los datos. Con las 5 muestras de cada zona, se realizaron muestras compuestas y se apartaron 500 gramos aproximadamente de cada una de las mismas para luego ser secadas en estufa a 60°C por 48 h.

De esta manera se obtiene el peso seco para la estimación del porcentaje de materia seca para el cálculo de la disponibilidad de forraje (kg de MS/ha) por zona.

3.2.1.2 Altura forraje disponible y remanente

El procedimiento se realizó en conjunto con la recolección de muestras para forraje disponible previamente descrito. Antes de cortar con tijera eléctrica, se determinó la altura de forraje disponible y remanente en cada potrero con el uso de una regla. Se tomaron 4 mediciones cada vez que el cuadro era lanzado. Por cada zona se tomaron 20 medidas de altura, contabilizando un total de 60 mediciones por potrero.

Se obtuvo la altura promedio del forraje por zona, dentro de cada potrero. Este procedimiento se llevó a cabo para determinar el forraje disponible y forraje remanente.

3.2.1.3 Composición botánica

La composición botánica es el porcentaje de especies de plantas que comprenden una comunidad de plantas.

De la muestra compuesta descrita en la sección 3.2.1.1 se separaron 100 gramos de material fresco a los efectos de determinar la proporción de cada especie. Las especies que se consideraron fueron, para el caso de potreros pertenecientes a RL, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus*, “restos” referido a especies que no fueran ninguna de las mencionadas, y “restos secos”, referido a restos secos de especies que no fueran ninguna de las mencionadas. Para el caso de potreros pertenecientes a RC, las especies que se consideraron fueron *Lotus corniculatus*, *Trifolium pratense*, *Chichorium intybus*, *Holcus lanatus*, “restos” y “restos secos” siguiendo la misma lógica descrita para RL.

3.2.1.4 Forraje desaparecido

Es la masa de forraje removida por unidad de superficie, que incluye el crecimiento, pero no se tiene diferenciado las pérdidas por pisoteo y senescencia.

3.2.1.5 Porcentaje de cosecha

El porcentaje de cosecha es la cantidad de pasto desaparecido del total ofrecido, es la relación entre la materia seca desaparecida y el forraje total ofrecido.

3.2.1.6 Tiempo de ocupación de los distintos sistemas

Se refiere a los días que permanecieron los animales en cada potrero. Se registraron las fechas de entradas y salidas de los animales a los potreros. El tiempo de ocupación se expresa en días por potrero.

3.2.2 Banco de semillas

Con el objetivo de determinar el número de semillas por metro cuadrado de las leguminosas sembradas (*Trifolium repens*, *Lotus corniculatus* y *Trifolium pratense*) en cada zona de cada potrero se tomaron 10 cores de suelo de 5 cm de profundidad y de 8 cm de diámetro, totalizando 30 muestras por potrero y 180 muestras en total.

Para la determinación de la cantidad de semillas de leguminosas se eligió el método de conteo directo (Ayala, 2001). Primero, la muestra fue desmenuzada en seco y a mano, separando los restos vegetales. El material desmenuzado fue pasado por una serie de zarandas con el objetivo de descartar en primera instancia el material de mayor tamaño (zaranda >4.7 mm). Seguidamente, se descartaron las partículas menores al tamaño de una semilla (zaranda <0.5 mm).

Se utilizó un solvente orgánico de alta densidad (percloroetileno, densidad 1.6 g/cm³) con el objetivo de apartar el material orgánico del inorgánico. El material en suspensión fue recogido para identificar en la fase de conteo, las semillas presentes con ayuda de una lupa.

3.2.3 Análisis de suelo

Mediante el mismo se pretende determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo. Los resultados del análisis de suelo se obtuvieron gracias al muestreo que realiza el personal del inia en otoño previo a las re-fertilizaciones.

3.2.4 Censo de vegetación

El censo de vegetación se realizó utilizando el Point quadrat donde se determinaron las frecuencias de distintas especies (Daget & Poissonet, 1971). Se realizó en dos momentos del año, marzo y septiembre de 2022.

El Point quadrat es un aparato que consta de 5 agujas, y consiste en registrar la especie que toca cada aguja. Se realizaron 20 estaciones por zona dentro de cada potrero, los que cuantifican un total de 300 puntos por potrero y un total de 1800 mediciones por fecha evaluada.

3.2.5 Animales

3.2.5.1 Evolución del peso vivo

El peso vivo de los animales se determinó a la entrada y a la salida de cada potrero, mediante balanza electrónica en la mañana.

3.2.5.2 Oferta forrajera y dotación animal

La oferta se determinó para cada potrero, a la entrada del pastoreo. Se expresó en kg MS/ kg PV, y se calculó tomando la biomasa inicial total de cada potrero y se dividió entre los kg de peso vivo totales.

La dotación animal (UG/ha) se calculó tomando los kg de peso vivo que ingresaron al potrero, estos se dividieron entre 380 kg (peso vivo de 1 UG) y el resultado se dividió entre las hectáreas, teniendo como resultado las UG/ha.

3.2.5.3 Ganancia diaria de peso

La ganancia de peso vivo se expresó en kg/animal/día, se tomó para cada potrero en cada pastoreo. Se determinó tomando los pesos iniciales y finales promedio, al peso final promedio se le restó el inicial promedio y esta diferencia se dividió entre la cantidad de días de pastoreo.

3.2.5.4 Producción de peso vivo por hectárea

Este parámetro se determinó dividiendo los kg de peso vivo totales ganados (del rodeo en total) durante el período de pastoreo en la superficie de cada potrero (kg PV/ha).

3.2.5.5 Eficiencia de conversión

Este parámetro se calculó restando la biomasa final post pastoreo (kg MS/ha) a la biomasa inicial pre pastoreo más el crecimiento en el período (kg MS/ha). Esta diferencia representa el forraje desaparecido y se lo divide entre los kg de peso vivo ganados totales en ese periodo. El resultado de esta división es la eficiencia de conversión (kg MS/100 kg PV).

3.3 Diseño experimental

El análisis estadístico incluyó dos grandes componentes: el vegetal y el animal. Cada sistema tiene representado todas las fases de la rotación en un mismo momento pero no se tienen repeticiones espaciales, las que en una serie de años se pueden tomar estos como las repeticiones. Dado que este estudio abarca un período acotado dentro de un año la mayor parte de los análisis son en base a estadísticas descriptivas (media, desvío estándar, coeficientes de variación).

En cuanto al componente vegetal, en el diseño original del experimento se representaron las variaciones de suelo dentro del área a los efectos de tener una representación homogénea de la variabilidad existente. Los potreros en general copian la pendiente en toda su extensión, generándose tres zonas (loma alta, loma media y loma baja). Dentro de cada rotación están representados las diferentes edades de las pasturas en un mismo momento (parcelas al azar), las que se modifican en la medida que va ocurriendo las distintas fases de la rotación. Se asumió un diseño de parcelas al azar con repeticiones las que fueron definidas en función de la pendiente generando una subparcela. Se realizaron los ANOVA correspondientes, incluyendo las repeticiones en función de la pendiente, y cuando existieron diferencias significativas en el ANOVA, se realizó un test de separación de medias (MDS 5%). Esto aplicó para producción de forraje, stock, crecimiento, composición botánica y banco de semillas. Las principales comparaciones se realizaron entre pasturas de la fase ganadera vs fase agrícola, posición topográfica y edades de las pasturas. El modelo utilizado para realizar dichas comparaciones fue el siguiente.

$$y = x + \text{rot} + \text{condición} + (\text{rot} \times \text{cond}) + (\text{rot} \times \text{zona}) + e$$

Para el componente animal, se analizaron las ganancias diarias presentándose conjuntamente la media y su desvío. Se tomaron los animales como repeticiones dentro de cada sistema (tratamiento) y se contrastaron RL y RC, y se utilizó un test de separación de medias (MDS 5%) cuando el ANOVA mostró diferencias significativas al 5%.

4. RESULTADOS

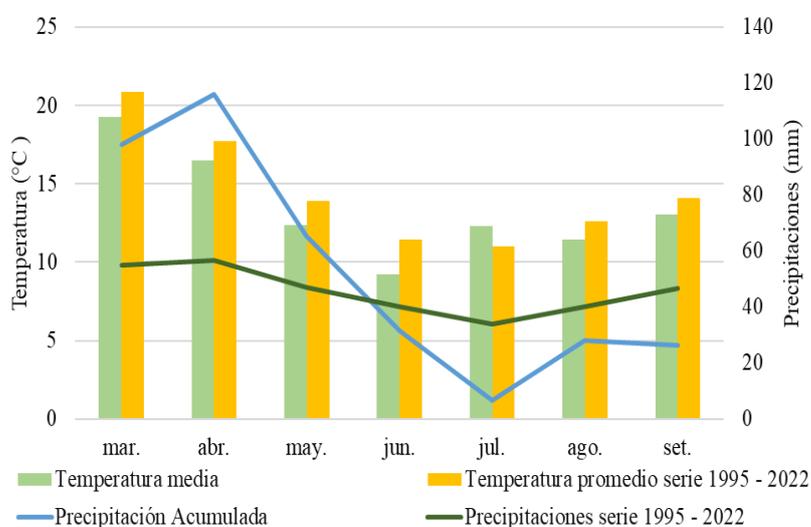
4.1 Caracterización climática

Durante el período comprendido entre marzo y septiembre del año 2022, las precipitaciones acumuladas superaron los registros promedios de la serie histórica (27 años) en los meses de marzo, abril y mayo. En promedio llovió un 58 % más en relación al mismo período de la serie histórica, con un pico de 120 mm en abril. Lo contrario sucedió en los meses de junio, julio, agosto y septiembre donde promedialmente llovió un 55 % menos. El mínimo de precipitaciones ocurrió en el mes de julio con 6 mm como se visualiza en la figura No. 3.

Por su parte, la temperatura promedio registrada para todo el período analizado fue 1°C menor al promedio de la serie 1995-2022.

Figura 3

Temperatura y precipitaciones en el período de estudio (marzo-septiembre 2022) contrastado con los promedios históricos



Nota. Se utilizaron datos de la página de Inia gras, seleccionando “clima”, “banco datos agroclimáticos”, “Estadísticas” en la estación Inia Treinta y Tres en el período marzo – setiembre 2022, para las variables precipitación acumulada, precipitación acumulada serie histórica, temperatura media, temperatura media serie histórica. Adaptado de INIA (2022).

4.2. Balance hídrico

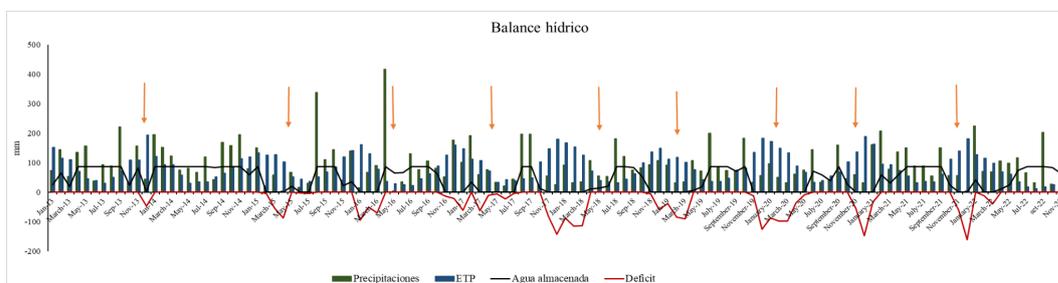
4.2.1. Balance hídrico mensual para una serie de diez años

Para caracterizar el balance hídrico, se empleó un análisis hídrico desarrollado por la Ing. Agr. Msc Fabiana Pereyra (comunicación personal, 4 de marzo, 2024), quien llevó a cabo su investigación en el mismo lugar donde se desarrolló este trabajo. En este análisis, se tuvieron en cuenta las precipitaciones registradas en el área de estudio, estimando una utilización del 70 % para calcular las precipitaciones efectivas.

Para determinar la evapotranspiración, se utilizó el método de "Penman-Monteith" multiplicado por 0.9 (coeficiente de cultivo para festuca). Además, se consideraron 51 centímetros de profundidad de raíces y 66 milímetros de capacidad de retención de agua en el suelo, según los análisis realizados en el área de estudio. Como se puede apreciar en la Figura No. 4, no se detectó déficit hídrico en el periodo de estudio.

Figura 4

Balance hídrico trimestral para una pastura perenne en base festuca (2013-2022)



Nota. Adaptado de Pereyra-Goday et al. (2022)

Para este sitio, en 9 de los 10 años presentados se registran déficits hídricos estivales. El balance hídrico negativo es una situación recurrente en verano y en primavera tardía (INIA Uruguay, 2023).

4.3 Pasturas

4.3.1. Stock de forraje disponible y remanente por rotación en las distintas estaciones evaluadas

En base a la información mensualmente colectada se presenta el stock estacional de forraje y su altura (tabla No. 6). En el anexo B se presenta la disponibilidad de forraje por rotación y estación. A nivel del forraje disponible pre - pastoreo, no se encuentran diferencias significativas entre las dos rotaciones en ninguna de las estaciones ($p > 0,05$).

Por su parte, la altura del forraje pre - pastoreo no se diferencia entre rotaciones en verano y otoño, sí se registran diferencias significativas en invierno, siendo 3,1 cm superior la altura del forraje en la rotación larga comparado con la rotación corta.

El stock de forraje post pastoreo no presenta diferencias significativas en biomasa ni en altura en otoño e invierno ($p > 0,05$). Para verano, no es posible realizar una comparación ya que no se tienen datos de la rotación larga.

Tabla 6

Stock de forraje (kg/ha/estación de MS) y altura promedio (cm) para distintas pasturas

Variable	VERANO		OTOÑO		INVIERNO	
	RL	RC	RL	RC	RL	RC
	Forraje disponible pre - pastoreo					
Stock (kg MS/ha)	3384	3345	3289	2623	2511	2436
Altura (cm)	23	23	17	18	13 b	14
	Forraje remanente post -pastoreo					
Stock (kg MS/ha)	-	2642	2247	2497	1777	2179
Altura (cm)	-	11	9	10	6	5

Nota. Letras diferentes en cada comparación dentro de cada estación indican diferencias significativas (MDS 5 %).

4.3.2 Evolución del forraje disponible y la composición de una pastura de rotación larga según edad de la misma

Se evaluó el forraje disponible (kg MS/ha) y la composición de las distintas leguminosas de una pastura de rotación larga en las tres estaciones estudiadas (verano=1, otoño=2, invierno=3).

El forraje disponible, no presentó diferencias significativas ($p>0,05$) en verano ni en invierno. En otoño presentó diferencias significativas ($p=0,04$), 1832 kg MS/ha de diferencia entre el año 2 y 4, siendo superior el año 2.

Con respecto a la composición del disponible, la festuca presenta diferencias significativas ($p=0,011$) para la estación de verano entre el año 2 y el año 4, siendo mayor su presencia en el año 2 (1934 kg MS/ha vs 53 kg MS/ha). No se tienen datos del año 3 en la estación de verano ya que al momento de la medición los animales se encontraban pastoreando dicho potrero. También presentó diferencias significativas ($p=0,02$) en otoño y ($p=0,007$) en invierno. En ambas estaciones muestra la misma tendencia que en el verano, la mayor producción se da en el año 2.

Lotus corniculatus solo presentó diferencias significativas en invierno ($p=0,02$), mostrando una producción creciente a lo largo de los años.

Se estudió la interacción entre la edad de la pastura y la zona, pero en ninguna de las estaciones relevadas las diferencias fueron estadísticamente significativas.

4.3.3. Comparación de una pradera de 2do año según rotación, condición y zona en las distintas estaciones

En este análisis se evaluó la incidencia de la rotación (larga vs corta), condición (agrícola vs forrajera), zona (zona alta, media y baja) y la interacción de la rotación y zona en las distintas estaciones (verano, otoño, invierno). Las variables analizadas fueron: producción total de leguminosas, producción total de gramíneas y producción total de especies sembradas (ver anexo C).

4.3.3.1. Comparación de las rotaciones según estación

Para verano, se encontró diferencias significativas en la producción total de gramíneas ($p=0,0005$) siendo mayor en la rotación larga que en la rotación corta (1941 kg MS/ha y 0 kg MS/ha para RL y RC respectivamente).

En otoño la presencia de gramíneas presentó diferencias significativas ($p=0,0005$) siendo 2358 kg MS/ha superior en la rotación larga en comparación con la corta. Para el total de las especies sembradas ($p=0,002$) fue 1754 kg MS/ha mayor en la rotación larga vs rotación corta.

En invierno, se encontró diferencias significativas en la presencia total de leguminosas ($p=0,001$), 81% mayor en la rotación corta que en la rotación larga (1130 kg MS/ha y 216 kg MS/ha respectivamente).

El total de gramíneas ($p<0,001$) fue mayor en la rotación larga 1614 kg MS/ha superior a la rotación corta (anexo D).

4.3.3.2. Comparación de las condiciones según estación

En verano, se encontró diferencias significativas en la producción total de leguminosas ($p=0,01$) y en la producción total de especies sembradas ($p=0,009$). El total de materia seca de leguminosas y el total de materia seca de las especies sembradas fue mayor en los potreros con historia agrícola. Siendo el total de materia seca de leguminosas 2532 kg y el total de materia seca de las especies sembradas 1589 kg MS/ha superior que en los potreros no agrícolas.

En otoño e invierno, la única variable que presentó diferencias significativas fue la producción total de leguminosas ($p=0,03$) y ($p=0,003$) respectivamente. En otoño tuvo una producción de 689 kg MS/ha y en invierno de 850 kg MS/ha más en las chacras de condición agrícola que en las chacras con historia forrajera (ver anexo E).

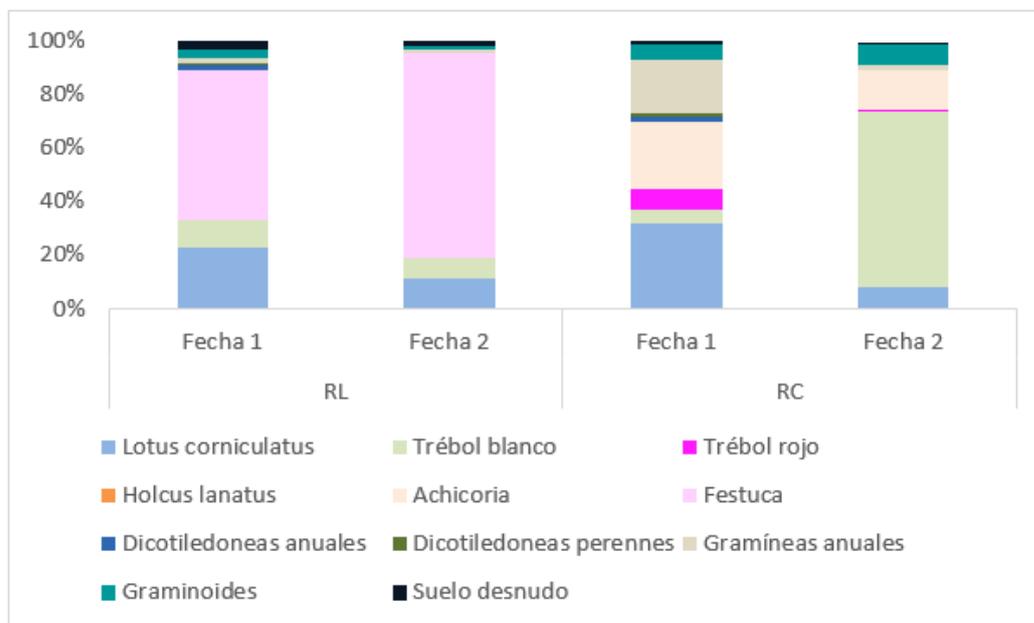
No se encontró diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las estaciones para ninguna de las variables estudiadas (producción de leguminosa, producción de gramíneas, y total de especies sembradas) según zona, rotación o la interacción entre ambas variables.

4.4 Composición y evolución de las pasturas

Se realizó el monitoreo de las diferentes pasturas dentro de las dos rotaciones evaluadas (RC y RL), a través de dos mediciones realizadas en marzo y septiembre de 2022, utilizando la técnica de punto cuadrado. La situación de partida muestra una contribución mayoritaria de las especies sembradas (>80 %) y dentro de ellas festuca con mayor predominancia (figura No. 5).

Figura 5

Composición y evolución de las pasturas en marzo (fecha 1) y septiembre (fecha 2)



4.4.1 Comparación de la pradera de 2do año en su condición agrícola o forrajera dentro de la rotación larga (RL)

El análisis realizado en marzo 2022 comparando la condición forrajera vs agrícola de la pastura de 2do año muestra resultados significativos únicamente para el componente *Trifolium repens* ($p=0,010$), encontrándose una contribución 8,4 % superior en la condición agrícola respecto a la condición forrajera.

Cuando se analizó la posición topográfica (zona alta (1), media (2) y baja (3)), se encontraron diferencias significativas en la composición de las pasturas, para las variables trébol blanco ($p<0,001$), festuca ($p=0,002$), gramíneas anuales ($p=0,04$), y suelo desnudo ($p=0,003$).

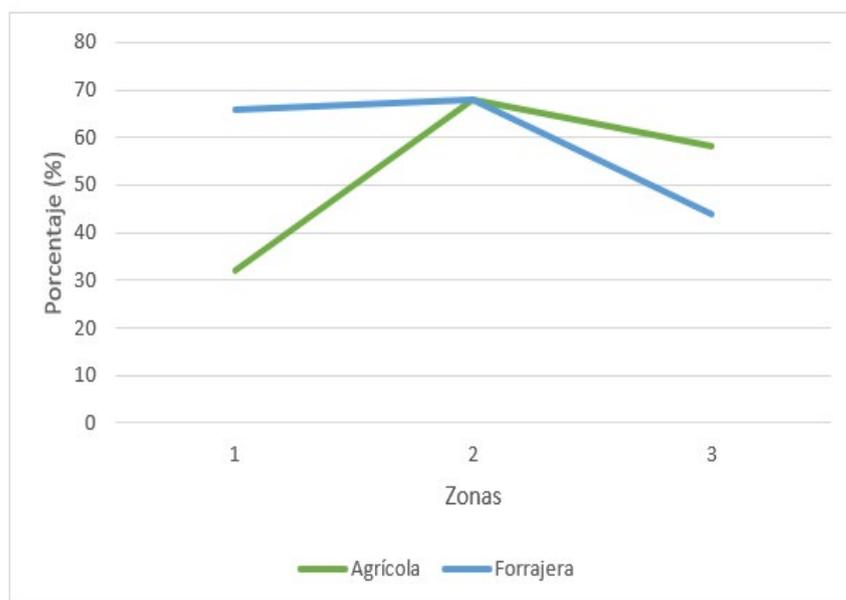
La presencia de trébol blanco fue superior en la zona baja con una frecuencia 14 % y 17 % superior en comparación con la zona 2 y 1 respectivamente. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las zonas 1 y 2.

Para *Festuca arundinacea* se detectó interacción significativa ($p=0,0059$) entre condición y zona (figura No. 6). En los potreros con historia forrajera la proporción de festuca es menor en la zona 3 (44 %) en comparación a la zona 1 (66 %) y 2 (68 %). En los potreros con historia agrícola la proporción de festuca es menor en la zona 1 (32 %) que en la zona 2 (68 %) y en la zona 3 (58 %).

Para ambas condiciones, la zona 2 presenta las medias más altas (68 % en los dos casos) (ver anexo F).

Figura 6

Proporción de *Festuca arundinacea* de 2do año según condición y zona de estudio



En cuanto al porcentaje de suelo desnudo, se encontró interacción significativa entre condición por zona ($p=0,04$). Se puede ver que la condición agrícola presenta mayor proporción de suelo desnudo en la zona 1 (17 %), no encontrándose suelo desnudo en la zona 2 ni en la zona 3. En la condición forrajera, el porcentaje de suelo desnudo en la zona 1 es menor (3 %).

Para la segunda fecha de evaluación (septiembre 2022), no se encontraron diferencias significativas como consecuencia de la condición, ni de las zonas. Tampoco se detectaron interacciones entre las mismas.

La composición porcentual de la pastura mostró un 11 % de *Lotus corniculatus*, 8 % de trébol blanco, 76,8 % festuca, una baja presencia de gramíneas anuales y graminoide (1 % en cada caso) y una proporción de suelo desnudo de 3 %.

4.4.2 Comparación de la pradera de 2do, 3er y 4to año de la rotación larga (RL)

Se comparó la composición botánica de las praderas de 2do, 3er y 4to año, detectando diferencias significativas para la proporción de *Lotus corniculatus* ($p=0,0041$), Trébol blanco ($p=0,0037$), *Festuca arundinacea* ($p<0,001$), dicotiledóneas perennes ($p=0,02$), gramíneas anuales ($p<0,001$) y gramínoideas ($p=0,0008$) (ver anexo G).

Lotus corniculatus, presenta mayor proporción en la pastura de 2do año (25 %) y 4to año (21 %), en comparación con la pastura de 3er año (11 %). Entre la pastura de 2do y 4to año no se encuentran diferencias estadísticamente significativas ($p>0,05$)

En el caso del trébol blanco, hay diferencias significativas ($p= 0,0037$) entre el año 2 y 3, el primero con un 6 % más que el segundo.

Festuca arundinacea tiene mayor presencia en el año 2, presentando un 45 % más que el año 3, y 59 % más que el año 4.

Para dicotiledóneas perennes y gramíneas, su proporción va en aumento conforme el paso de los años (3 % y 19 % respectivamente para el año 4).

La presencia de gramíneas anuales fue mayor en el año 3 (62 %) y año 4 (51 %) en comparación con el año 2 (1 %). No se encontraron diferencias significativas entre el año 3 y 4 ($p > 0,05$).

Según las zonas estudiadas, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en *Lotus corniculatus* ($p=0,0003$), trébol blanco ($p=0,0008$), *Festuca arundinacea* ($p=0,0007$) y dicotiledóneas anuales ($p=0,0047$).

Para *Lotus corniculatus*, la zona 3 presenta 18 % más que la zona 1, sin embargo, no se encuentran diferencias significativas entre la zona 2 y 3, 20 % y 27 % respectivamente.

Trébol blanco, presenta un 4 % más en la zona 3 en comparación con la zona 2, y un 6 % más en comparación con la zona 1.

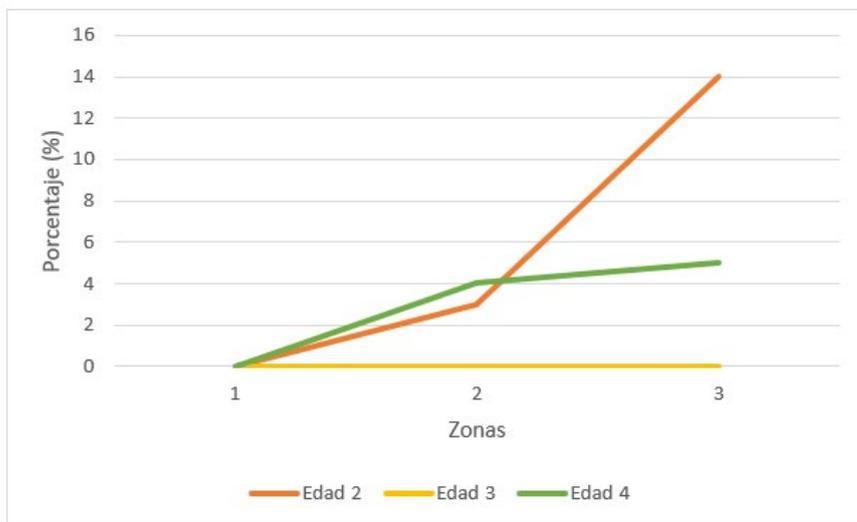
Para *Festuca arundinacea* y dicotiledóneas anuales se da la misma relación. Ambas especies presentan mayor proporción en la zona 1, con respecto a la zona 2 y 3. *Festuca* presenta un 9,6 % más en la zona 1 en comparación con la zona 2, y un 17 % más en comparación con la zona 3. Dicotiledóneas anuales presenta un 5,4 % más en la zona 1 con respecto a la zona 2 y un 5,6 % más en la zona 2 con respecto a la zona 3.

Trébol blanco y *Festuca arundinacea* presentan interacción edad por zona ($p=0,0069$) y ($p=0,0007$) respectivamente. La variable trébol blanco (figura 8) muestra un aumento progresivo de 0 % en la zona 1, a 14 % en la zona 3 para la pastura de 2do año. Para la pastura de 3er año, la proporción se mantiene en valores cercanos a cero en todas las zonas, esto indica una relativa estabilidad para las tres zonas de estudio o falta de cambios significativos en esta edad. En el 4to año, varía gradualmente desde 0,0 % en la zona 1 a 5 % en la zona 3, tendencia similar a la observada para la pastura de 2do año.

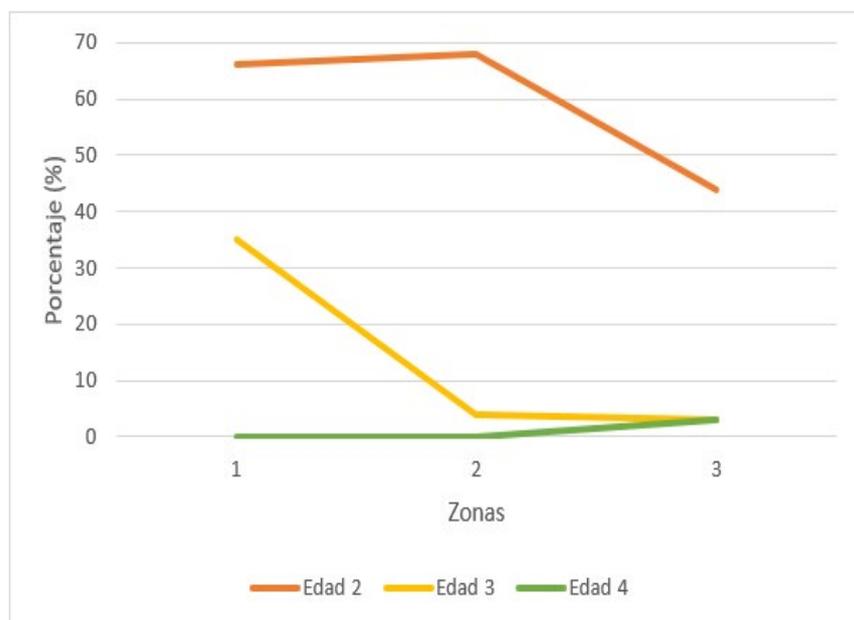
En el caso de *Festuca arundinacea* (figura 9) la mayor proporción se encuentra en la pastura de 2do año, con mayor presencia en la zona 2 (68 %). En la pastura de 3er año, se puede observar un decremento de la proporción de la especie desde la zona 1 (35 %) a la zona 3 (3 %). Sin embargo, para la pastura de 4to año es al revés, la presencia de festuca va en aumento desde la zona 1 hasta la zona 3.

Figura 7

Proporción de Trébol blanco según la edad de la pastura y posición topográfica

**Figura 8**

Proporción de Festuca arundinacea según la edad de la pastura y posición topográfica



4.4.3 Comparación de la pradera de 2do, 3er y 4to año de la rotación larga (RL) teniendo en cuenta la fecha de muestreo

Se encontraron diferencias significativas entre las fechas de muestreo para *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens*, dicotiledóneas perennes, gramíneas anuales, gramínoideas, otros y suelo desnudo (tabla 6). (ver anexo H).

La terminología 'otros' abarca diferentes especies que fueron agrupadas de manera de simplificar el análisis.

En el otoño se encontró un 7 % más de *Lotus corniculatus* respecto a primavera. Por su parte, *Trifolium repens* mostró una respuesta opuesta con una frecuencia un 10 % mayor en primavera respecto a otoño (Tabla No. 7). La misma tendencia que *Trifolium repens*, se presentó en dicotiledóneas perennes, especie que incrementó un 4 % su frecuencia en primavera, así como otros y suelo desnudo que también incrementaron su frecuencia para esta fecha en 2 % en ambos casos.

Tabla 7

Frecuencia de las distintas especies en las distintas fechas de muestreo

	Fecha 1	Fecha 2
<i>Lotus corniculatus</i>	19 a	12 b
<i>Trifolium repens</i>	3 b	13 a
Dicotiledóneas perennes	1 b	5 a
Gramíneas anuales	38 a	3 b
Graminoides	10 a	3 b
Otros	0 b	2 a
Suelo desnudo	2 b	4 a

Nota. Letras diferentes dentro de cada fecha indican diferencias significativas (MDS 5 %).

Lotus corniculatus no muestra diferencias significativas en su frecuencia en función de la edad de la pastura.

Por otra parte, *Trifolium repens* muestra un aumento significativo ($p=0,0023$) de su frecuencia en la pastura de cuarto año comparando con la pradera de 2 y 3 años (tabla No. 8).

Tabla 8

Frecuencia de las distintas especies según edad de la pastura

	Edad		
	2	3	4
<i>Lotus corniculatus</i>	19 a	13 b	15 ab
<i>Trifolium repens</i>	7 b	5 b	13 a
Dicotiledóneas perennes	1 b	0 b	9 a
Gramíneas anuales	1 c	36 a	36 a
Graminoides	3 a	4 b	13 a
Otros	0 b	4 a	0 b

Nota. Letras diferentes en cada comparación dentro de cada estación indican diferencias significativas (MDS 5 %).

Con respecto a la posición topográfica, las únicas dos variables de respuesta que presentaron diferencias estadísticamente significativas fueron *Lotus corniculatus* y dicotiledóneas anuales.

Lotus corniculatus presenta un aumento de la frecuencia a medida que desciende la elevación del terreno, siendo 13 % más frecuente en la zona 3 (22%) que en la 1 (9 %).

En caso contrario, las dicotiledóneas anuales presentan mayor frecuencia en la zona 1 (5 %) con respecto a la zona 3 (0,3 %).

Festuca arundinacea muestra una interacción significativa en su frecuencia edad*zona ($p < 0,001$). Para el año 2, 3 y 4, la presencia de festuca es mayor en la zona 1 (3%, 4% y 7% respectivamente).

4.4.4 Comparación de la rotación corta vs rotación larga en su segundo año

A través de la técnica de punto cuadrado se comparó la rotación larga vs la rotación corta en su segundo año de pradera para dos fechas contrastantes tabla No. 9 (ver anexo I).

Se puede ver que la rotación corta tanto para la fecha 1 como para la fecha 2 presentó mayor proporción de leguminosas, mientras que la proporción de gramíneas fue mayor en la rotación larga para ambas fechas.

La rotación con mayor enmalezamiento fue la corta, siendo 20% y 8% superior para marzo y septiembre respectivamente.

Tabla 9

Proporción de especies de los distintos tratamientos según rotación

Marzo					
	% Gram	% Leg	% Ach	% Mz	% SD
RL	56 a	32 b	0 b	8 b	3,4 a
RC	0 b	44 a	26 a	28 a	2 a
Septiembre					
	% Gram	% Leg	% Ach	% Mz	% SD
RL	76 a	18 b	0 a	2 b	2 a
RC	0 b	74 a	16 a	10 a	0,0 b

Nota. Letras diferentes en cada comparación indican diferencias significativas (MDS 5 %).

4.5 Banco de semillas

Se analizó el banco de semillas del suelo para las leguminosas sembradas. *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus* en RL y *Lotus corniculatus* y *Trifolium pratense* en RC.

Se compararon tres situaciones: a) dentro de la RL, condición agrícola vs condición forrajera en su segundo año; b) las edades de las pasturas (2do., 3er. y 4to

año) dentro de la RL y c) la comparación de las dos pasturas (RL y RC) en el segundo año considerando la condición agrícola y forrajera.

La variable fue número de semillas por metro cuadrado para *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus*, trébol blanco no sembrado, *Trifolium pratense*, total de especies sembradas, y total de leguminosas (sembradas y espontáneas).

4.5.1 Comparación de la condición agrícola vs forrajera en el año 2 de la rotación larga

A continuación, se presentan los resultados para dos praderas de 2do año pertenecientes a una rotación larga en base a *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*, y *Lotus corniculatus*.

Para el análisis, se tuvo en cuenta la condición de la pradera, la posición topográfica y la interacción entre estas. El análisis de varianza (anexo J) sólo mostró diferencias significativas en cuanto a número de semillas por metro cuadrado para las zonas estudiadas ($p=0,0054$). La mayor cantidad de semillas de trébol blanco se encontró en la zona 3. En cuanto al lotus la mayor cantidad de semillas se encontró en la zona 2, representando el 54 %. (Tabla No. 10). Respecto a la condición de la chacra (agrícola o forrajera) no hay diferencias significativas en la cantidad de semillas.

Tabla 10

Banco de semillas (n° semillas/ m^2) de trébol blanco y Lotus corniculatus según posición topográfica

	<i>Trifolium repens</i>	<i>Lotus corniculatus</i>
Zona 1	806 b	189 b
Zona 2	786 b	378 a
Zona 3	3203 a	129 b

Nota. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (MDS 5 %).

4.5.2 Comparación de la pradera de 2do, 3er y 4to año de la rotación larga (RL) condición forrajera

En este análisis se evaluó la edad de la pastura, la posición topográfica y la interacción entre ellas. El ANOVA (anexo K) no reveló diferencias significativas para las variables de respuesta estudiadas ($p>0,05$), esto se debe a que el coeficiente de variación es alto, trébol blanco (230 %), lotus (547 %), total de especies sembradas y total de leguminosas (sembradas y espontáneas) (218 %).

4.5.3 Comparación de rotación larga vs rotación corta en el 2do año de la pradera

Se analizó el BSS para la pradera de 2do año según condición agrícola o forrajera y se compararon los resultados. En este análisis las variables de respuesta estudiadas fueron número de semillas por metro cuadrado de trébol blanco, lotus, trébol blanco no sembrado, trébol rojo, total de especies sembrado y total de leguminosas (sembradas y espontáneas) (ver anexo L).

El trébol blanco no sembrado hace referencia a aquellas semillas que fueron encontradas en los potreros que corresponden a la rotación corta en la cual la mezcla de la pradera no contiene trébol blanco.

En la tabla No. 11 se pueden observar la comparación de la rotación larga vs rotación corta según condición de chacra.

Tabla 11

Banco de semillas del suelo (n.º semillas/m²) para distintas rotaciones según condición de chacra

	Rotación larga		Rotación corta	
	Condición agrícola	Condición forrajera	Condición agrícola	Condición forrajera
<i>Trifolium repens</i>	1194 ab	2003 a	-	-
<i>Lotus corniculatus</i>	265 a	199 ab	100 bc	80 c
<i>Trifolium repens</i> no sembrado	-	-	1771 b	3230 a
<i>Trifolium pratense</i>	-	-	279 a	13 b
Total sembrado	1459 ab	2202 a	378 bc	93 c
Total leguminosas	1459 b	2202 ab	2149 ab	3322 a

Nota. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (MDS 5 %).

4.6 Producción animal

En la tabla No. 12 se presentan los resultados de tiempo de ocupación, número de pastoreos y capacidad de carga para otoño e invierno de las rotaciones analizadas. La rotación larga comprende 12 ha, mientras que la rotación corta comprende 6 ha. Teniendo en cuenta las diferencias en superficie, la RL solamente permitió 2 pastoreos más en otoño y 3 en invierno, por lo que el tiempo de ocupación también fue mayor en la RL, 14 días más en otoño y 18 en invierno.

En cuanto a la capacidad de carga, que se calculó sumando todas las cargas instantáneas de cada pastoreo dividido por los 90 días de cada estación, la RL en otoño fue superior pero la diferencia es solamente de 4 kg PV/ha. En invierno la diferencia fue más amplia, 33 kg PV/ha.

Tabla 12

Análisis de ocupación, pastoreos y capacidad de carga en dos rotaciones para otoño e invierno

Estación	Rotación	No. pastoreos	Tiempo de ocupación (días)	Carga (kg PV/ha/estación)
Otoño	RC	4	62	362
	RL	6	76	1041
Invierno	RC	2	40	701
	RL	5	58	1488

En la Tabla No. 13 se presentan los resultados para la ganancia media diaria (Kg/animal/día), la producción de carne (Kg PV/ha), la eficiencia de conversión (Kg MS/Kg PV) y el porcentaje de utilización.

Las ganancias medias diarias representadas en kg de ganancia por animal por día fueron mayores para la RL en comparación a la RC en las dos estaciones estudiadas, siendo 0,533 y 0,785 kg PV/ha para RC en otoño y en invierno respectivamente. Y 1,000 y 1,150 kg PV/ha para RL en otoño e invierno respectivamente. Esta diferencia es esperable por las diferentes categorías de animales que pastorearon cada sistema (estrategias ganaderas asignadas a cada rotación). Cuando se comparó entre estaciones esta variable fue mayor en invierno para las dos rotaciones (1,000 y 1,150 kg PV/ha para RL y RC respectivamente).

La eficiencia de conversión (Tabla 13) para otoño fue menor en la RL en comparación con la RC (29 vs 28 kg MS/kg PV para RC y RL respectivamente) , en cambio para invierno resultó menor para la RC (20 Y 14 kg MS/kg PV para RC y RL respectivamente).

El porcentaje de utilización fue mayor en la rotación larga (46 %) en comparación a la rotación corta (42 %) en la estación de otoño, pero en la estación de invierno, fue mayor en la rotación corta (44 %) vs la rotación larga (31 %).

Tabla 13

Performance animal durante los pastoreos para las dos estaciones y rotaciones estudiadas

Estación	Rotación	GMD (kg/a/día)	Producción (kg PV/ha)	EC (kg MS/kg PV)	Utilización (%)
Otoño	RC	0,53±0,53	114±82	29	42
	RL	1,00±0,52	132±56	20	46
Invierno	RC	0,78±0,47	110±69	14	44
	RL	1,15±0,62	146±56	28	31

La tabla 14 presenta las diferencias entre las ganancias para el año de estudio en comparación con las ganancias promedio de 3 años anteriores (Pereyra-Goday et al., 2022) para las mismas rotaciones.

En la comparación con este trabajo se observa que las ganancias diarias del año 2022 para otoño e invierno fueron mayores al promedio para los 3 años anteriores. Para la RL en las dos estaciones fue más del doble la ganancia.

Tabla 14

Ganancias media diarias de tres años para dos rotaciones en el período de estudio

Estación	Rotación	2019-2021	2022
		GMD kg/a/día	GMD kg/a/día
Otoño	RC	0,52±0,42	0,53±0,53
	RL	0,46±0,55	1,00±0,52
Invierno	RC	0,38±0,12	0,78±0,47
	RL	0,45±0,21	1,15±0,62

4.7 Análisis de suelo

A continuación, se presentan los resultados del análisis de suelo para los distintos nutrientes y pH de los potreros estudiados.

Tabla 15

Estadísticos descriptivos asociados a cada variable medida sobre el suelo

Variable	Unidad	n	Media	Rango	DE	CV (%)
CO total	(%)	36	2,25	0,99 - 3,47	0,81	36%
N total	(%)	36	0,20	0,11 - 0,30	0,06	32%
RL P cítrico	($\mu\text{g P.g}^{-1}$)	36	27,49	4,9 - 68,9	21,87	80%
K	(meq.100g ⁻¹)	36	0,25	0,12 - 0,31	0,09	37%
pH	-	36	5,22	4,9 - 5,4	0,13	2%
CO total	(%)	12	2,06	1,13 - 3,00	0,80	39%
N total	(%)	12	0,16	0,06 - 0,25	0,10	47%
R C P cítrico	($\mu\text{g P.g}^{-1}$)	12	29,94	6,25 - 66,4	24,10	81%
K	(meq.100g ⁻¹)	12	0,19	0,12 - 0,25	0,10	32%
pH	-	12	4,97	4,78 - 5,2	0,10	3%

Nota. CO total: carbono orgánico total, N total= nitrógeno total, P cítrico= fósforo cítrico, K= potasio.

El contenido promedio de CO total encontrado para los suelos pertenecientes a RL fue de 2,25 %. Sabiendo que la concentración de CO en la MO del suelo es aproximadamente 58% (Nelson & Sommer, 1982) y utilizando el factor "Van Bemmelen" de 1,72 para transformar % de CO en % de MO del suelo, se tendría un contenido medio de MO del suelo equivalente a 3,87 %. Para suelos pertenecientes a RC, el contenido promedio de CO total encontrado fue de 2,06 %. Siguiendo el anterior razonamiento, se tendría un contenido medio de MO del suelo equivalente a 3,54 %.

El valor promedio de los tres macronutrientes esenciales N P K encontrados para los suelos de la RL fue equivalente a 2000 ppm de N total, 27,49 ppm de P cítrico y 0,25 meq.100g⁻¹ de K intercambiable. Mientras que para la RC fue de 1600 ppm de N total, 29,94 ppm de P cítrico y 0,19 meq.100g⁻¹ de K intercambiable.

Para conocer el contenido de N que puede estar disponible en el corto y mediano plazo para ser absorbido por las plantas, se considera solo el N inorgánico que según Perdomo y Barbazán (2015) representa el 2 % del N total del suelo en forma de NO₃ - NO₂ - y NH₄ +. Esto significa que se contaría con un contenido promedio aproximado de 40 ppm y 32 ppm de N para RL y RC respectivamente. Por otra parte, el potasio (K) es el nutriente requerido en mayor cantidad para las plantas. Su disponibilidad está influenciada por la composición inorgánica y depende del material parental del suelo (Bertsch & Thomas, 1985). Un estudio realizado por Barbazán et al. (2011), que resume los resultados de 50 experimentos de campo, establece un valor crítico de referencia de 0,34 meq.100g⁻¹ de suelo para el K intercambiable, sin considerar la textura del suelo ni el tipo de cultivo. Según este valor de referencia, los niveles actuales de potasio serían insuficientes en ambas rotaciones.

En cuanto al contenido de fósforo (P), el método de P cítrico es más eficiente que el método Bray I para extraer el P ligado al calcio (Ca), ya que el ácido cítrico previene la reprecipitación de los iones fosfato con los cationes de Ca durante la extracción (Bracco & Hernández, 2018). No obstante, los niveles críticos de suficiencia para este nutriente se expresan en términos de P Bray I, siendo entre 8 y 10 ppm para las gramíneas (Carámbula, 2002-2004). Por lo tanto, se puede afirmar que el nivel de P cítrico observado con el método ácido cumple con los requerimientos de la especie en ambas rotaciones.

Para Warrick y Nielsen (1980), existen límites de coeficiente de variación (CV) para evaluar la variabilidad de las propiedades del suelo. Un CV menor al 12 % se clasifica como de baja variabilidad, entre el 12 % y el 60 % se considera de variabilidad media, y un CV superior al 60 % se califica como de alta variabilidad. En este trabajo, la única variable con baja variabilidad fue el pH (2 y 3 % para rotación larga y corta respectivamente). Las demás variables mostraron una variabilidad media y alta, siendo en ambas situaciones el P cítrico la de mayor variabilidad (80 y 81%).

5. DISCUSIÓN

Considerando la información disponible para la región sobre la influencia del clima y del manejo en las pasturas permanentes, se procurará aportar algunos elementos generados en este trabajo para mejorar el conocimiento existente. Por ello, se pone énfasis en responder algunos puntos que aclaran las principales hipótesis del estudio.

5.1 Diferentes respuestas a la incidencia del clima o del manejo

La primera hipótesis de este trabajo (2.7.1) que indicaba que pasturas con diferentes edades y/o composiciones presentan diferentes respuestas a la incidencia del clima o del manejo fue confirmada, ya que los resultados obtenidos muestran que la producción de forraje en las praderas se vio afectada de manera distinta según la edad y la composición de las mismas.

En la comparación de las praderas de distintas edades dentro de la RL, se encontraron distintas respuestas al déficit hídrico. En este sentido la pradera de 3er año, es la que tiene mayor grado de degradación, con un porcentaje de gramíneas igual a la de 4to año, menor porcentaje de leguminosas y un 62% más de malezas gramíneas anuales que el resto. Esta pradera fue sembrada en el otoño de 2020 donde ocurrió un déficit hídrico de noviembre a junio de 2021. En su año de implantación, sufrió un déficit hídrico que duró de noviembre de 2021 a febrero de 2022. Teniendo esto en cuenta se puede inferir que fue castigada en los momentos cruciales que determinan la productividad y longevidad de la pradera, donde debemos intentar maximizar la semillazon de las leguminosas para que se renueven todos los otoños y que las gramíneas de la mezcla desarrollen un sistema radicular adecuado para poder soportar situaciones críticas.

Otro dato relevante en la comparación entre las distintas edades fue las diferencias en porcentaje de leguminosas sembradas entre la pradera de 2do y 4to año, ya que no presentaron diferencias significativas. Para encontrarle un sentido a este resultado se recurrió a analizar su año de implantación y su segundo año. Aunque también fue sembrada en un otoño seco (2019) (Ver anexo M) el déficit no fue tan severo como en la de 3er año. Todo indica que el aporte de las leguminosas en su 4to año se debe a un buen banco de semillas, debido a una semillazon importante en los dos primeros años, los cuales resaltamos son claves para obtener una pradera productiva.

En cuanto a las composiciones de las praderas, como se menciona en el punto 2.3, la correcta elección y proporción de especies en la mezcla resulta fundamental para el desempeño de la pradera. El desbalance presentado en la rotación corta (Tabla No. 9) muestra un mayor signo de degradación debido a la ausencia del componente gramínea, presentando un balance a favor de las leguminosas. En cuanto a la fertilidad del suelo los datos del análisis de suelo (tabla no. 15), muestran que los suelos estudiados no presentan grandes limitantes nutricionales para las pasturas. Por lo que la ausencia del *Holcus* la podemos atribuir a que las plantas no pudieron sobrevivir al déficit hídrico del verano 2022, el cual pudo verse afectado por medidas de manejo aplicadas en la primavera 2022 donde se enfardado dicha pradera perdiendo así la semillazón y dejando baja área foliar. Esto pudo generar la desaparición de dicha

especie ya que es recomendable contar con área foliar remanente a la entrada del periodo estival (Maranges et al., 2017).

En cuanto a la festuca, componente gramínea de la mezcla de RL, tuvo un disponible de 1879, 891 y 182 kg MS/ha en su segundo, tercer y cuarto año respectivamente (Ver anexo N). Se detectó una tendencia clara de producción en función de la edad, pero no en la distribución topográfica de la especie (Figura No. 8). La producción del segundo año permite concluir que tuvo una mejor implantación y mejor resistencia al déficit hídrico que el holcus (0 kg MS/ha vs 1879 kg MS/ha). Herken et al. (2019), que realizaron su trabajo en el mismo sitio experimental, concluyeron que la festuca presenta una capacidad de compensación en la cual aumento en la densidad de macollos repercute disminuyendo el peso de estos, otorgándole cierta plasticidad a las pasturas frente a distintos manejos y condiciones del clima. La especie presentó un comportamiento decreciente a lo largo de los cuatro años, como es esperable. Este proceso de caída en la producción se da naturalmente pero se puede haber visto acelerado por la incidencia de altas temperaturas y déficit hídrico (Figura No. 3). Como mencionó Matthew y Sackville Hamilton (2011), hay dos estaciones claves para determinar la persistencia de la especie, estos son los periodos pre y post floración donde se da una alta tasa de mortalidad de macollos y en situaciones normales esta mortalidad se ve compensada por una alta aparición de los mismos, pero se sabe que este no es el caso, y seguramente en los periodos de floración de años anteriores la mortalidad haya superado la aparición de los mismos. Herken et al. (2019) enfatizan la importancia en términos prácticos de manejar alturas de remanentes en torno a 10 cm combinado con descansos adecuados, lo cual coincide con el manejo realizado sobre las pasturas en estudio (Tabla No. 9).

En cuanto al componente leguminosa, la inclusión de lotus en RL podría haber proporcionado cierta ventaja en términos de resistencia a la sequía. El *Lotus corniculatus* mostró un comportamiento inverso a la festuca e inverso a lo que se reporta en la bibliografía. Aunque la literatura existente no respalda necesariamente un aumento en la producción de lotus con el tiempo, la presencia de esta especie podría haber contribuido a la resistencia de la pastura frente a condiciones climáticas adversas debido a su raíz pivotante y su adaptabilidad a condiciones de sequía. El lotus tiene la ventaja de la semillazón como método de persistencia.

El trébol blanco presentó un comportamiento similar al lotus, con una frecuencia mayor en la pradera de 4to año que en la de 2do y 3er año, lo cual no condice con la bibliografía. Los resultados para esta especie resaltan la importancia de la semillazón, dado que le confiere adaptabilidad y persistencia. Este aporte del banco de semillas del suelo se pudo ver en la diferencia en frecuencia de trébol blanco entre la fecha 1 y 2 de muestreo. Para esta especie el análisis de banco de semilla en el momento de inicio del estudio resultó en 10 kg/ha de semillas de trébol blanco y 1,45 kg/ha de semillas de lotus *corniculatus*. La mayor frecuencia y aporte de semillas de trébol blanco en las zonas bajas de la pradera muestra su mayor adaptación a zonas con suelo húmedo y profundo. En cambio el lotus mostró un mejor comportamiento en la zona 2 de ladera, esto asociado a su hábito de crecimiento a partir de corona la cual es susceptible a excesos hídricos de las zonas bajas. Los resultados que se obtuvieron para banco de semilla se acercan a los encontrados por Hochman y Helyar (1989) en un estudio de 40 años, los cuales encontraron que el pool de semillas no bajaba de los 30 kg/ha y su distribución se daba por 3 años. Esto da una explicación a la superioridad de la pradera de 4to año,

su año de implantación y de mayor producción no coincide con los años de mayor déficit hídrico, por lo que se dio una muy buena floración y semillazón. Este banco de semillas sigue aportando una renovación de plántulas todos los otoños siempre y cuando se den las condiciones climáticas favorables.

A modo de conclusión en cuanto al impacto del clima en praderas de distintas edades, realizando un manejo igualitario el factor clima es el principal determinante y es mayor su impacto tanto positivo como negativo en los primeros años de la pradera, el mayor grado de degradación de la pradera de 3er año en comparación con la de 4to reafirma lo antes mencionado. Y en cuanto al peso del factor clima sobre las distintas especies, las leguminosas mostraron una superioridad en cuanto a persistencia y herramientas para superar las situaciones de estrés hídrico. Esto se lo adjudica a que su persistencia no está solo determinada por la propagación vegetativa si no que tiene la alta capacidad de producir semilla viable la cual perdura en el tiempo.

5.2 Menos plantas, más malezas, menos forraje y menos carne

Al comparar las rotaciones, se puede ver que las especies sembradas ocupan la mayor parte del suelo, lo que significa que el enmalezamiento es bajo en ambas composiciones (Figura No. 5). La rotación corta presentó un enmalezamiento superior (Tabla No. 9) en ambas fechas (otoño y primavera), muy probablemente asociado a la disminución de stand de plantas que presentó el componente gramínea, dejando espacio para la implantación de especies no deseadas. Las principales malezas encontradas fueron *Digitaria sanguinalis* y *Echinochloa spp.* No se encontró presencia considerable de *Cynodon Dactylon* en las praderas, lo cual es destacable por la problemática que genera la especie en la región. La gramilla es considerada la maleza perenne más importante de Uruguay (Ríos & Giménez, 1997). Al tener un establecimiento rápido y colonizante, aparece en praderas dominadas por especies invernales, que reducen su crecimiento en el período estival, dando lugar a la implantación de gramilla que es además excelente competidora. Esta situación recurrente en los sistemas pastoriles y agrícolas del país, se ve controlada en las pasturas de la estación experimental Palo a Pique. Esto es atribuible a los descansos prolongados que se dan en verano para acumular forraje remanente que permita la longevidad de la pradera. Ambas rotaciones presentaron un porcentaje mayor de enmalezamiento en la primera fecha en comparación con la segunda, asociado al aumento de producción por las especies invernales sembradas. Un aspecto destacable en la comparación de ambas fechas, es que aumentó el porcentaje de leguminosas y bajó el porcentaje de malezas. Esto significa que una pradera que comenzó el año más enmalezada, pudo recuperar stand de plantas implantadas y estas desplazar a las malezas que compiten por espacio y nutrientes.

Cuando se integraron los resultados de la producción animal con los datos obtenidos de las mediciones sobre las pasturas, se vió que el 75% de la producción de carne, dentro del período de estudio se dió en invierno y esto pudo deberse a la coincidencia con el período de recuperación de pasturas luego del verano seco que pasaron. También en otoño fue el período donde se ingresaron categorías jóvenes a pastorear, esta categoría lleva un período de adaptación del rumen lo que resulta en ganancias diarias de peso deprimidas.

En otoño la mayor producción de carne y las mayores ganancias diarias de peso se dieron en la RL. Durante toda esta estación la RL se pastoreo con novillos a la misma carga que en RC. Esta categoría adulta no tiene las mismas exigencias de forraje de calidad que tienen las categorías jóvenes que pastorearon la RC, por lo tanto, en condiciones de pasturas con mayor volumen de gramíneas y menor porcentaje de leguminosas (como es el caso de RL) lograron igualmente superar la producción de carne y las ganancias diarias. La mayor utilización y menor eficiencia de conversión refleja la menor exigencia nutricional de la categoría.

En invierno, en cuanto a la composición de las pasturas las de RC presentaron mayor contenido de leguminosas y durante esta estación la RC se pastoreo con categorías jóvenes.

Estos dos factores permitieron que la producción de carne sea superior a la de RL, frente a estas situaciones los animales jóvenes tienen mejores performances.

Debido a que son categorías con mayor exigencia nutricional y en este caso en 40 días de pastoreo logró superar la producción por hectárea en 19 kg. En cuanto a la eficiencia de conversión refleja la eficiencia de estas categorías, siendo esta la mitad que la obtenida en la RL. Como lo expresó Vaz Martins et al. (2003) los animales jóvenes usan más eficientemente los nutrientes que los adultos.

Ahora si bien es complejo realizar una comparación pareja sobre la producción animal de las rotaciones, por el hecho de utilizarse con fines distintos (RC recría de terneros y RL terminación de novillos) se concluye que la RC es la que más se aleja del potencial y de su objetivo. Todos los resultados como lo son análisis de suelo, porcentajes de utilización y demás datos de los pastoreos aseveran un manejo correcto, lo cual no se ve reflejado en los resultados para este caso. La falla de dicha rotación se atribuye a la elección del componente gramínea para esta rotación. Una rotación de pasturas bianuales destinadas a la recría debería apuntar a pasturas de alto potencial productivo, con precocidad, ciclos largos y producción lo más estable posible a lo largo del año. Esta renovación de la pastura cada dos años presenta un mayor costo para los productores por lo que debe verse justificado con una producción superior a la de una rotación larga, lo que se traduce en un kg de MS más barato, bajando así el costo del kg de carne producido. Una pastura de estas características, combinada con una actividad como la recría, de muy alta eficiencia transformando kg de pasto en kg de carne es una muy buena opción. Por lo que debemos resaltar nuevamente la importancia de la elección de las especies que la componen.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Dentro de los factores de degradación de pasturas se encontró que el clima explica en mayor medida la degradación de las pasturas.

Se destaca la importancia de las condiciones climáticas y el manejo en el año de implantación.

Se destaca la importancia de un buen banco de semillas y una adecuada semillazón en los primeros años para la productividad a largo plazo.

El buen manejo estival de las pasturas permite una rápida recuperación luego de un verano complicado.

Las producciones de forraje más bajas ocurrieron en invierno y las más altas en verano, influenciadas por el manejo estratégico de las praderas y la acumulación de materia seca remanente en verano.

La ausencia notable de *Cynodon Dactylon*, una maleza problemática en la región, sugiere que los descansos prolongados en verano para acumular forraje remanente son efectivos.

La correcta elección y proporción de especies en la mezcla es fundamental para el desempeño de la pradera. Un desbalance, especialmente la falta del componente gramínea en la rotación corta (RC), resultó en una mala performance, en línea con lo expresado por Carámbula (1991).

El comportamiento del *Lotus corniculatus* y el *Trifolium repens* resalta y apoya la importancia de la elección de especies según el ambiente, con el objetivo de maximizar su potencial.

En invierno, la RC, pastoreada por categorías jóvenes, mostró una mayor producción de carne y mejor eficiencia de conversión que la RL.

Considerando la condición de la RC, la mayor producción de carne durante el invierno resalta la buena combinación de recria en rotaciones cortas. El CN juega un rol estratégico ya que permite optimizar el manejo de las praderas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, A., Da Silva, H., Duran, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol. 1. Clasificación de suelos del Uruguay*. MAP.
https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/carta_de_reconocimiento_de_suelos_Tomo_I.pdf
- Arrospide, C. G., & Ceroni, C. E. (1980). *Estudio sobre el rejuvenecimiento de praderas sembradas* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Ayala, W. (2001). *Defoliation management of birdsfoot trefoil (Lotus corniculatus L.)* [Disertación doctoral]. Institute of Natural Resources.
- Ayala, W., Bemhaja, M., Cotro, B., Docanto, J., García, J., Olmos, F., Real, D., Rebuffo, M., Reyno, R., & Rossi, C. (2010). *Forrajeras: Catálogo de cultivares 2010*. INIA.
<http://www.inia.org.uy/productos/cvforrajeras/catalogo2010.pdf>
- Ayala, W., Bermúdez, R., Carámbula, M., Risso, D., & Terra, J. (2001). *Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de lomadas del este*. En D. F. Risso & E. J. Berreta (Eds.), *Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos de Uruguay* (pp. 69-108). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5299/1/bd-76-p.69-108.pdf>
- Ayala, W., Serrón, N., & Pereyra, F. (2017). Rol de gramíneas perennes: Rol de la festuca en los sistemas ganaderos del este del país: a. Productividad e indicadores para el manejo de festuca. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Unidad Experimental Palo a Pique: Día de campo: Rol de la genética en los sistemas ganaderos* (pp. 19-22).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7426/1/DC-UEPP-octubre-2017-1.pdf>
- Baethgen, W. E. (2016). Ciclos de El Niño-La Niña y posible implicancia para 2016/17. *Revista INIA*, (44), 56-57.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5582/1/Rev.INIA-2016-No44-p.56-57.pdf>
- Barbazán, M., Bautés, C., Beux, L., Bordoli, M., Cano, J. C., Ernst, O., García, A., García, F., & Quincke, A. (2011). Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: Rendimiento según análisis de suelos. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(2), 93-99. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v15n2/v15n2a11.pdf>
- Barreiro, M., Arizmendi, F., & Trinchín, R. (2019). *Variabilidad y cambio climático en Uruguay: Material de capacitación dirigido a Técnicos de Instituciones Nacionales*. MVOTMA; Universidad de la República.
https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2020-08/Variabilidad%20y%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20Uruguay.%20Material%20de%20capacitaci%C3%B3n%20dirigido%20a%20T%C3%A9cnicos%20de%20Instituciones%20Nacionales_0.pdf

- Bermúdez, R., Ayala, W., Ferrés, S., & Queheille, P. (2003). Opciones forrajeras para la región este. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Seminario de Actualización Técnica: Producción de carne vacuna y ovina de calidad* (pp. 1-10).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/335/1/14445020908145851.pdf;ad317#page=6>
- Bertsch, P. M., & Thomas, G. W. (1985). Potassium status of temperature region Soils. En R. D. Munson (Ed.), *Potassium in agriculture* (pp. 131-162). ASA; CSSA; SSSA.
- Blumenthal, M., Hamilton, B., Hamilton, L., Harris, C., James, G., Jones, D., Kelman, W., Launder, T., & Wilson, G. (1991). Establishment, persistence, productivity and herbage quality of *Lotus pedunculatus* in eastern Australia. *Lotus Newsletter*, 22, 28-33.
- Bracco, G., & Hernández, S. (2018). *Relaciones entre diferentes métodos de estimación de fósforo lábil en suelos de la cuenca del río Santa Lucía y su implicancia en las recomendaciones de fertilización* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/20700/1/BraccoBraccianoGast%c3%b3nAndr%c3%a9s.pdf>
- Carámbula, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (1978). Producción de pasturas. En Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" (Ed.), *Pasturas IV* (pp. 7-10). MAP.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4799/1/miscelanea-18.pdf>
- Carámbula, M. (1991). *Aspectos relevantes para la producción forrajera*. INIA.
<http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807114541.pdf>
- Carámbula, M. (2000). *Cultivares forrajeros: El primer insumo de una pastura*. INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2770/1/111219240807160828.pdf>
- Carámbula, M. (2002-2004). *Pasturas y forrajes*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2007). *Verdeos de verano*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M., Vaz Martins, D., & Indarte, E. (Eds.). (1997). *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (2ª ed.). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807115854.pdf>
- Chapman, D. F., Edwards, G. R., & Nie, Z. N. (2011). Plant responses to climate and relationships with pasture persistence. En C. F. Mercer (Ed.), *Pasture Persistence Symposium* (pp. 99-107). NZGA.
- Cook, R. (1980). The biology of seeds in the soil. En O. T. Solbrig (Ed.), *Demography and evolution in plant populations: Botanical monographs* (pp. 107-129). Blackwell.

- Correa Urquiza, A. (2003). *Mezclas forrajeras*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/18-mezclas_forrajeras.pdf
- Cowan, J. R. (1956). Tall fescue. *Advances in Agronomy*, 8, 283-320. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211308606926>
- Daget, P., & Poissonet, J. (1971). Une méthode d'analyse phytologique des prairies, criteres d'application. *Annales Agronomiques*, 22(1), 5-41. https://agritrop.cirad.fr/537178/1/document_537178.pdf
- De Muslera, E., & Ratera García, C. (1984). *Praderas y forrajes: Producción y aprovechamiento*. Mundi-Prensa.
- Díaz Lago, J. E., García, J. A., & Rebuffo, M. (1996). *Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2977/1/111219240807135036.pdf>
- Duell, R. W., & Gausman, H. W. (1957). The effect of differential cutting on the yield, persistence, protein and mineral content of birdsfoot trefoil. *Agronomy Journal*, 49(6), 318-319. <https://doi.org/10.2134/agronj1957.00021962004900060011x>
- Formoso, F. (1990). Manejo de especies y mezclas. *Revista del Plan Agropecuario*, (51), 33-34. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13713/1/Plan-Agropecuario-51-1990.pdf>
- Formoso, F. (2010). *Producción de semillas de especies forrajeras*. INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429120711084007.pdf>
- Formoso, F. (2011). *Manejo de mezclas forrajeras y leguminosas puras: Producción y calidad de forraje: Efectos del estrés ambiental e interferencia de gramilla (Cynodon dactylon, (L) PERS.)*. INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429120411183504.pdf>
- García, J. A. (1995). *Varietades de trébol blanco*. INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807125648.pdf>
- García, J. A. (2003). *Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2878/1/15630191107142500.pdf>
- Henderson, C. B., Petersen, K. E., & Redak, R. A. (1988). Spatial and temporal patterns in the seed bank and vegetation of a desert grassland community. *Journal of Ecology*, 76(3), 717-728. <https://doi.org/10.2307/2260569>
- Herken, G., Olano, I., & Ruete, R. (2019). *Sobrevivencia estival y dinámica poblacional de cultivares de Festuca arundinacea con inclusión del hongo endófito AR584* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

- Hochman, Z., & Helyar, K. R. (1989). Climatic and edaphic constraints to the persistence of legumes in pastures. En G. C. Marten, A. G. Matches, R. F. Barnes, R. W. Brougham, R. J. Clements, & G. W. Sheath (Eds.), *Persistence of forage legumes* (pp. 177-198). ASA; CSSA; SSSA.
<https://doi.org/10.2134/1989.persistenceofforagelegumes.c13>
- INIA Uruguay. (2019). *Jornada de cambio climático y sector agropecuario-Marcelo Barreiro* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=3CcanGWZCBI>
- INIA Uruguay. (2023). *Intensificación sostenible de la ganadería y la agricultura: ¿Qué aporta la base forrajera?* [Video]. Youtube.
https://www.youtube.com/watch?v=EICMetc_LE0
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2022). *Banco datos agroclimático*.
<http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Jáuregui, J. M., Michelini, D. F., Agnusdei, M. G., Baudracco, J., Sevilla G. H., Chilibroste, P., & Lattanzi, F. A. (2016). Persistence of tall fescue in a subtropical environment: Tiller survival over summer in response to flowering control and nitrogen supply. *Grass and Forage Science*, 72(3), 454-466.
<https://doi.org/10.1111/gfs.12252>
- Korte, C. J., & Chu, A. C. P. (1983). Some effects of drought on perennial ryegrass swards. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 44, 211-216.
<https://www.nzgajournal.org.nz/index.php/ProNZGA/article/view/1625>
- Korte, C. J., Watkin, B. R., & Harris, W. (1984). Effects of the timing and intensity of spring grazing on reproductive development, tillering, and herbage production of perennial ryegrass dominant pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 27(2), 135-149. <https://doi.org/10.1080/00288233.1984.10430413>
- Langer, R. H. M. (1981). *Las pasturas y sus plantas*. Hemisferio Sur.
- Langer, R. H. M., Ryle, S. M., & Jewiss, O. R. (1964). The changing plant and tiller populations of timothy and meadow fescue sward: I. Plant survival and the pattern of tillering. *Journal of Applied Ecology*, 1(1), 197-208.
<https://doi.org/10.2307/2401599>
- Leborgne, R. (2008). *Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros*. Hemisferio Sur.
- L'Huillier, P. J. (1987). Tiller appearance and death of *Lolium perenne* in mixed swards grazed by dairy cattle at two stocking rates. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 30(1), 15-22.
- López Feldman, A. J. (2015). *Cambio climático y actividades agropecuarias en América Latina*. CEPAL.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/b981efad-125c-4c9f-b386-ed9fd1f8abfe/content>
- Maranges, F., Rossi, C., & Lattanzi, F. (2017). *Holcus Lanatus "INIA virtus"*. *Revista INIA*, (48), 22-24. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6578/1/revista-INIA-48-marzo-2017.p.22-24-Maranges-et-al.pdf>

- Matthew, C., & Sackville Hamilton, N. R. (2011). Analysing persistence of grass swards in terms of tiller birth and death. En C. F. Mercer (Ed.), *Pasture Persistence Symposium* (Vol. 15, pp. 63-68). NZGA.
<https://doi.org/10.33584/rps.15.2011.3225>
- Mieres, J., Assandri, L., & Cúneo, M. (2004). Tablas de valor nutritivo de alimentos. En J. M. Mieres (Ed.), *Guía para la alimentación de rumiantes* (13-66). INIA.
<http://www.inia.uy/publicaciones/documentos%20compartidos/111219240807141556.pdf>
- Montossi, F., Risso, D. F., & Pigurina, G. (1996). Consideraciones sobre utilización de pasturas. En D. F. Risso, E. J. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas* (pp. 93-105). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
- Nelson, D. W., & Sommer, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. En L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis, part 2: Chemical and microbiological properties* (pp. 539-579). ASA; SSSA.
- Perdomo, C., & Barbazán, M. (2015). *Nitrógeno*. Universidad de la República.
- Pereda Díaz, F., & Rodríguez de Barbieri, V. (2021). *Productividad física y económica de distintas estrategias ganaderas sobre rotaciones de pasturas y cultivos en la región este* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/34977/1/PeredaD%C3%ADazValentina.pdf>
- Pereyra-Goday, F., Rovira, P., Ayala, W., & Rivero, M. J. (2022). Management and productivity of key integrated crop–livestock systems in Uruguay: The Palo a Pique long-term experiment's third phase. *Agronomy*, 12(12), Artículo e3023.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12123023>
- Pierre, J. J., & Jackobs, J. A. (1953). The effect of cutting treatments on birdsfoot trefoil. *Agronomy Journal*, 45(10), 463-468.
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1953.00021962004500100002x>
- Pravia, M. I., Montossi, F., Andregnette, B., Invernizzi, G., Ayala, W., Cuadro, R., & Porcile, V. (2013). Resultados y análisis de la encuesta tecnológica realizada a los productores del Griprocar II. En F. Montossi (Ed.), *Invernada de precisión: Pasturas, calidad de carne, genética, gestión empresarial e impacto ambiental (GRIPROCAR II)* (pp. 7-30). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429280114125310.pdf>
- Ríos, A., & Giménez, A. (1997). Maleza perenne más importante en Uruguay: Situación de la gramilla (*Cynodon dactylon* L. (Pers.)). En E. Restaino & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería intensiva* (pp. 17-30). INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807114211.pdf>
- Roberts, H. A. (1981). Seed banks in soils. En T. H. Coaker (Ed.), *Advances in Applied Biology* (pp. 1-55). Academic Press.

- Rovira, J. (2008). *Manejo nutricional de los rodeos de cría en pastoreo*. Hemisferio Sur.
- Rovira, P., Ayala, W., Terra, J. A., García Préchac, F., Harris, P., Lee, M. R. F., & Jordana Rivero, M. (2020). The “Palo a Pique” long-term research platform: First 25 years of a crop- livestock experiment in Uruguay. *Agronomy*, 10, Artículo e441. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030441>
- Scheneiter, O. (2005). *Mezclas de especies forrajeras perennes templadas*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/33-mezclas_forrajeras_perennes_templadas.pdf
- Suckling, F. E. T. (1960). Productivity of pasture species on Hill Country. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 3(3), 579-591.
- Terra, J. A., Pravia, M., Salvo, L., Carbone, A. M., & García Préchac, F. (2009). Desde la viabilidad de la siembra directa en suelos marginales hasta la oportunidad del manejo sitio específico de los mismos. En E. Hoffman, A. Ribeiro, O. Ernst, & F. O. García (Eds.), *Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano* (pp. 91-110). Universidad de la República.
- Terra, J. A., Scaglia, G., & García Préchac, F. (2000). *MOHA: Características del cultivo y comportamiento en rotaciones forrajeras con siembra directa*. INIA.
- Thompson, K., & Grime, J. P. (1979). Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology*, 67(3), 893-921. <https://doi.org/10.2307/2259220>
- United States Department of Agriculture. (1999). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys* (2nd ed.). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Soil%20Taxonomy.pdf>
- Vaz Martins, D., Mescia, M., Brit, A., Cibils, R., & Aunchain, M. (2003). Efecto de la presión de pastoreo sobre ganancia en peso y eficiencia de utilización del forraje de novillos de distinta edad. En D. Vaz Martins (Ed.), *Avances sobre engorde de novillos en forma intensiva* (pp. 9-17). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8148/1/111219240807141415.pdf>
- Warrick, A. W., & Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. En D. Hillel (Ed.), *Applications of soil physics* (pp. 319-344). Academic Press.

8. ANEXOS

Anexo A

Área experimental



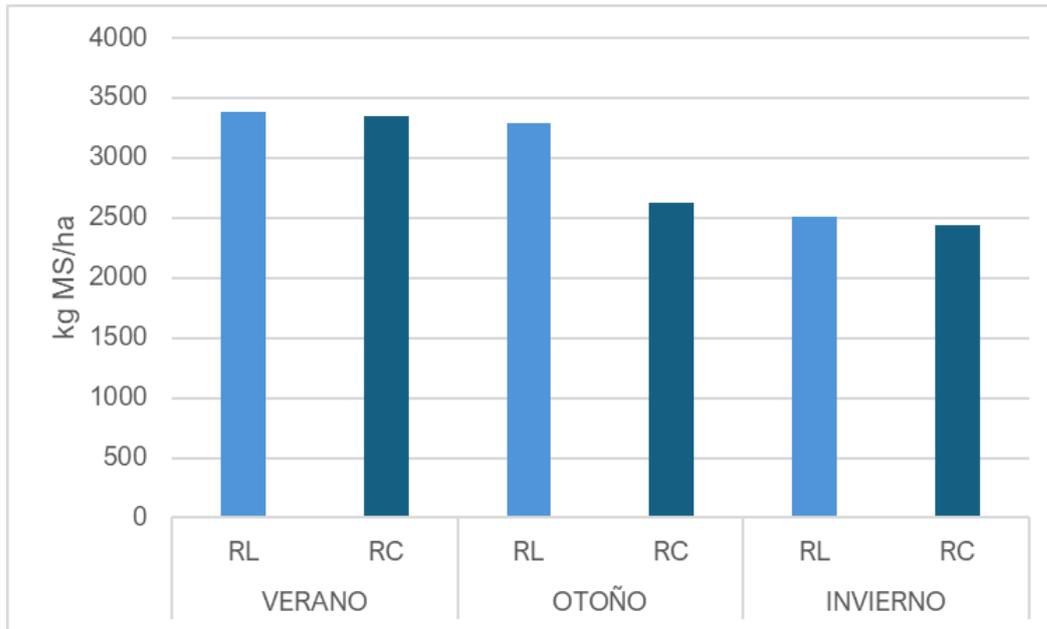
Nota. Tomado de Google (2024).

Referencias bibliográficas

Google. (2024). [INIA Palo a Pique, Treinta y Tres, Uruguay, mapa]. Recuperado el 2 de junio de 2024 de https://www.google.com/maps/place/INIA+Palo+a+Pique/@-33.2565775,-54.4840346,1231m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x950bc38a9ab9c6c7:0x50b31757c25fa909!8m2!3d-33.2564878!4d-54.4827042!16s%2Fg%2F11g_sdlz9?entry=ttu

Anexo B

Disponibilidad de forraje (kg MS/ha) por rotación y por estación



ANEXO C*Análisis de varianza para la edad de la pastura de rotación larga*

	VERANO		OTOÑO		INVIERNO	
	p- valor	CV (%)	p- valor	CV (%)	p- valor	CV (%)
Disponible	0,099	23	0,04	23	0,01	21
Trébol blanco	0,28	156	0,08	166	0,2	122
Lotus corniculatus	0,09	70	0,22	130	0,02	61
Festuca arundinacea	0,011	36	0,02	63	0,007	35

ANEXO D

Análisis de varianza para comparación de las rotaciones (RL vs RC)

	VERANO		OTOÑO		INVIERNO	
	p- valor	CV (%)	p- valor	CV (%)	p- valor	CV (%)
Producción total de leguminosas	0,47	62	0,3	91	0,001	92
Producción total de gramíneas	0,0005	36	0,0005	43	<0,001	38
Producción total de especies sembradas	0,10	21	0,002	28	0.2	35

ANEXO E*Análisis de varianza para la condición (agrícola vs forrajera)*

	VERANO		OTOÑO		INVIERNO	
	p- valor	CV (%)	p- valor	CV (%)	p- valor	CV (%)
Producción total de leguminosas	0,01	62	0,03	91	0,002	92
Producción total de gramíneas	0,8	36	0,4	43	0,09	38
Producción total de especies sembradas	0,009	21	0,7	28	0,33	35

ANEXO F*Análisis de varianza para punto cuadrado realizado en marzo*

	FECHA 1			CV (%)
	Condición	Zona	Condición*Zona	
Lotus	0,2	0,6	0,02	122
Trébol blanco	0,01	<0,001	0,7	179
Festuca	0,2	0,02	0,006	60
Dic. Anuales	0,8	0,01	0,9	524
Gramíneas anuales	0,4	0,04	0,1	463
Suelo desnudo	0,1	0,003	0,004	414

ANEXO G*Análisis de varianza para las edades de la pastura de rotación larga*

	Edad	Zona	Edad*Zona	CV (%)
Lotus	0,004	0,0003	0,69	125
Trébol blanco	0,004	0,0008	0,007	316
Festuca	<0,001	0,0007	0,0007	97
Dic. Anuales	0,4	0,005	0,9	449
Dic. Perennes	0,02	0,3	0,7	430
Gramíneas anuales	<0,001	0,6	0,07	80
Graminoide	0,0008	0,8	0,4	230

ANEXO H*Análisis de varianza para la fecha de muestreo*

	p- valor	CV (%)
Lotus corniculatus	0,0042	140
Trébol blanco	<0,001	230
Festuca arundinacea	<0,001	75
Dicotiledoneas perennes	0,002	346
Gramíneas anuales	<0,001	130
Graminoide	0,001	289
Otros	0,0004	482
Suelo desnudo	0,01	320

ANEXO I

Análisis de varianza para la comparación de las rotaciones en su segundo año

	Fecha 1		Fecha 2	
	p- valor	CV (%)	p- valor	CV (%)
Total de leguminosas	0,0020	77	<0,001	49
Total de gramíneas	<0,001	87	<0,001	43
Achicoria	<0,001	160	<0,001	206
Malezas	<0,001	151	<0,001	226
Suelo desnudo	0,3	430	0,002	380

ANEXO J

Análisis para la comparación de las condiciones en el año 2 de la rotación larga

	Potrero	Zona	Potrero*zona	CV (%)
Trébol blanco	0,3	0,04	0,8	211
<i>Lotus corniculatus</i>	0,2	0,003	0,3	99
Total de especies sembradas	0,4	0,06	0,8	184
Total de leguminosas	0,4	0,06	0,8	184

ANEXO K*Análisis de varianza para la comparación de edades en la rotación larga*

	Edad	Zona	Edad*zona	CV (%)
Trébol blanco	0,06	0,2	0,3	230
Lotus corniculatus	0,3	0,4	0,4	547
Total sembrado	0,08	0,5	0,4	218
Total leguminosas	0,08	0,5	0,4	218

ANEXO L

Análisis de varianza para la comparación de las rotaciones en su segundo año

	Rotación	Zona	Potrero	Rotación*Zona	CV (%)
Trébol blanco	0,0003	0,03	0,4	0,04	295
Lotus corniculatus	0,0006	0,2	0,5	0,002	136
Trébol blanco no sembrado	<0,0001	0,1	0,01	0,1	148
Trébol rojo	0,0001	0,5	<0,0001	0,5	278
Total sembrado	0,0004	0,06	0,4	0,04	229
Total leguminosas	0,1	0,05	0,2	0,1	133

ANEXO M

Déficit hídrico presente en cada año de implantación de las pasturas en estudio

Fecha	Déficit hídrico (mm)
Otoño 2019	-91
Otoño 2020	-143
Otoño 2021	0
Otoño 2022	0

ANEXO N*Forraje disponible (kg MS/ha) según especie*

	Forraje disponible (kg MS/ha)		
	2do año	3er año	4to año
<i>Festuca arundinacea</i>	1879	891	182
<i>Lotus corniculatus</i>	436	144,8	41
<i>Trifolium repens</i>	64,3	0	41