

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

PRODUCCIÓN ESTIVO - OTOÑAL DE UN CAMPO NATURAL DEL NORESTE  
SOMETIDO A NIVELES CRECIENTES DE SOMBRA

por

María Florencia GARCÍA RODRÍGUEZ  
Facundo SORRENTI BRAGA

Trabajo Final de Grado  
presentado como uno de los  
requisitos para obtener el título  
de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2022

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

-----  
Ing. Agr. (MSc.) E. David Silveira

Tribunal: -----

Ing. Agr. (MSc.) E. David Silveira

-----  
Ing. Agr. (Dr.) Pablo Boggiano

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

Fecha: 5 de diciembre de 2022

Autores:

-----  
María Florencia García Rodríguez

-----  
Facundo Sorrenti Braga

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestras familias por apoyarnos y acompañarnos siempre.

A nuestros amigos por su compañía y los lindos momentos compartidos.

A la Facultad de Agronomía por las personas que nos permitió conocer, las experiencias vividas y por todo lo aprendido.

Especialmente gracias a nuestro tutor, Ing. Agr. David Silveira, por su colaboración y buena disposición siempre para poder realizar este trabajo.

Al personal de biblioteca por su amabilidad y ayuda en todo el proceso.

A todos, muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
TABLA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 <u>Objetivo general</u> .....	2
1.1.2 <u>Objetivos específicos</u> .....	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1 CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO NATURAL .....	3
2.1.1 <u>Caracterización del campo natural en la región noreste</u> .....	4
2.2 SISTEMAS AGROFORESTALES .....	7
2.3 SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	8
2.3.1 <u>Caracterización ambiental de los sistemas silvopastoriles</u> ...	10
2.3.1.1 Disponibilidad lumínica .....	11
2.3.1.2 Disponibilidad de agua .....	12
2.3.1.3 Temperatura .....	13
2.3.1.4 Velocidad del viento.....	13
2.3.1.5 Evaporación y humedad relativa.....	13
2.3.1.6 Disponibilidad de nutrientes.....	14
2.4 LOS EFECTOS DE LA SOMBRA.....	14
2.4.1 <u>Efectos de la sombra sobre las plantas</u> .....	14
2.4.2 <u>Efectos de la sombra sobre las plantas forrajeras</u> .....	16
2.4.3 <u>Efecto de la sombra sobre las pasturas</u> .....	16
2.4.4 <u>Efectos sobre la producción de forraje en sistemas silvopastoriles</u> .....	17
2.4.5 <u>Efectos de la sombra sobre los animales</u> .....	20
2.5 HIPÓTESIS BIOLÓGICA .....	22
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	23
3.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES .....	23

3.1.1	<u>Localización del sitio experimental</u> .....	23
3.1.2	<u>Período de evaluación</u> .....	23
3.1.3	<u>Descripción del sitio experimental</u> .....	23
3.1.4	<u>Caracterización climática</u> .....	24
3.1.5	<u>Antecedentes del potrero</u> .....	25
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	26
3.3	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	28
3.3.1	<u>Manejo del pastoreo</u> .....	28
3.3.2	<u>Sensores de temperatura y humedad relativa</u> .....	28
3.3.3	<u>Medición de radiación fotosintéticamente activa</u> .....	29
3.3.4	<u>Determinaciones de materia seca presente</u> .....	30
3.3.4.1	Altura disponible .....	30
3.3.4.2	Materia seca disponible .....	31
3.3.4.3	Altura y materia seca remanentes .....	32
3.3.4.4	Crecimiento y tasa de crecimiento diaria .....	32
3.3.4.5	MS desaparecida y porcentaje de cosecha .....	32
3.3.5	<u>Determinaciones en cobertura del suelo</u> .....	32
3.3.6	<u>Determinaciones en composición botánica</u> .....	32
3.4	HIPÓTESIS ESTADÍSTICA .....	33
3.5	MODELO ESTADÍSTICO .....	33
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	33
3.6.1	<u>Tipo de análisis</u> .....	33
3.6.1.1	Análisis de cobertura del suelo.....	33
3.6.1.2	Análisis de composición botánica.....	34
3.6.2	<u>Paquete estadístico</u> .....	34
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	35
4.1	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA .....	35
4.1.1	<u>Temperatura</u> .....	35
4.1.2	<u>Precipitaciones</u> .....	36
4.1.3	<u>Balance hídrico</u> .....	37
4.2	RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA.....	39

4.3 DETERMINACIONES EN EL FORRAJE .....	41
4.3.1 <u>Primer muestreo</u> .....	41
4.3.2 <u>Segundo muestreo</u> .....	45
4.3.3 <u>Tercer muestreo</u> .....	47
4.3.4 <u>Cuarto muestreo</u> .....	49
4.3.5 <u>Producción estival</u> .....	52
4.3.6 <u>Producción otoñal</u> .....	53
4.3.7 <u>Producción total del período</u> .....	54
4.4 DETERMINACIONES EN COBERTURA DEL SUELO.....	54
4.4.1 <u>Cobertura del suelo en los disponibles</u> .....	54
4.4.1.1 Primer muestreo .....	54
4.4.1.2 Segundo muestreo .....	56
4.4.1.3 Tercer muestreo .....	57
4.4.1.4 Cuarto muestreo .....	58
4.4.2 <u>Cobertura del suelo en los remanentes</u> .....	60
4.4.2.1 Primer muestreo .....	60
4.4.2.2 Segundo muestreo .....	61
4.4.2.3 Tercer muestreo .....	62
4.4.2.4 Cuarto muestreo .....	63
4.5 DETERMINACIONES EN COMPOSICIÓN BOTÁNICA.....	64
4.5.1 <u>Primer muestreo</u> .....	64
4.5.2 <u>Segundo muestreo</u> .....	65
4.5.3 <u>Tercer muestreo</u> .....	67
4.5.4 <u>Cuarto muestreo</u> .....	69
5. <u>CONSIDERACIONES FINALES</u> .....	72
6. <u>CONCLUSIONES</u> .....	73
7. <u>RESUMEN</u> .....	74
8. <u>SUMMARY</u> .....	75
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	76
10. <u>ANEXOS</u> .....	90

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Tasas de crecimiento diaria (kg MS/ha/día) en suelos sobre el material geológico Yaguarí. ....	5
2. Producción total y estacional de forraje (kg/ha) en suelos del noreste. Evaluaciones con cortes a 3-4 cm. ....	5
3. Antecedentes del potrero previo a la instalación del ensayo. ....	26
4. Efecto de los porcentajes de intercepción de la luz sobre el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) para el primer muestreo. ....	42
5. Efecto de los distintos tratamientos sobre la altura del disponible (AltD), materia seca disponible (MSD), altura del remanente (AltR), materia seca remanente (MSR), materia seca desaparecida (MSDes) y porcentaje de cosecha (%C) para el primer muestreo.....	43
6. Efecto de los porcentajes de intercepción de la luz sobre el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) para el segundo muestreo.....	45
7. Efecto de los distintos tratamientos sobre la altura del disponible (AltD), materia seca disponible (MSD), altura del remanente (AltR), materia seca remanente (MSR), materia seca desaparecida (MSDes) y porcentaje de cosecha (%C) para el segundo muestreo.....	46
8. Efecto de los porcentajes de intercepción de la luz sobre el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) para el tercer muestreo. ....	47
9. Efecto de los distintos tratamientos sobre la altura del disponible (AltD), materia seca disponible (MSD), altura del remanente (AltR), materia seca remanente (MSR), materia seca desaparecida (MSDes) y porcentaje de cosecha (%C) para el tercer muestreo. ....	48
10. Variables sin diferencias significativas para el tercer muestreo con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE). ....	49
11. Efecto de los porcentajes de intercepción de la luz sobre el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) para el cuarto muestreo.....	50
12. Efecto de los distintos tratamientos sobre la altura del disponible (AltD), materia seca disponible (MSD), altura del remanente (AltR), materia seca remanente (MSR), materia seca desaparecida (MSDes) y porcentaje de cosecha (%C) para el cuarto muestreo.....	51

13. Variables sin diferencias significativas para el cuarto muestreo con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME $\frac{1}{2}$ ) y error experimental (EE). .....	51
14. Efecto de los distintos tratamientos sobre la producción estival. ....	52
15. Efecto de los distintos tratamientos sobre la producción otoñal.....	53
16. Efecto de los distintos tratamientos sobre la producción total del período considerado. ....	54
17. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca disponible del primer muestreo.....	55
18. Variables de cobertura del suelo para la materia seca disponible en el segundo muestreo sin diferencias significativas con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME $\frac{1}{2}$ ) y error experimental (EE). ....	56
19. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca disponible del tercer muestreo.....	57
20. Variables de cobertura del suelo para la materia seca disponible en el tercer muestreo sin diferencias significativas con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME $\frac{1}{2}$ ) y error experimental (EE).....	58
21. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca disponible del cuarto muestreo. ....	59
22. Variables de cobertura del suelo para la materia seca disponible en el cuarto muestreo sin diferencias significativas con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME $\frac{1}{2}$ ) y error experimental (EE).....	59
23. Variables de cobertura del suelo para la materia seca remanente en el primer pastoreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME $\frac{1}{2}$ ) y error experimental (EE). ....	60
24. Variables de cobertura del suelo para la materia seca remanente en el segundo muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME $\frac{1}{2}$ ) y error experimental (EE). ....	61

25. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca remanente del tercer muestreo.....	62
26. Variable de cobertura del suelo para la materia seca remanente en el tercer muestreo sin diferencias significativas, con su media, coeficiente de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).....	63
27. Variables de cobertura del suelo para la materia seca remanente en el cuarto muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE). ....	64
28. Variables de composición botánica para el primer muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).....	65
29. Contribución porcentual en el forraje disponible de gramíneas perennes invernales (GPI), gramíneas perennes estivales (GPE) y hierbas menores (HM) según tratamiento en el segundo muestreo.....	66
30. Variable de composición botánica para el segundo muestreo sin diferencias significativas, con su media, coeficiente de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).....	67
31. Contribución porcentual en el forraje disponible de gramíneas perennes invernales (GPI), gramíneas perennes estivales (GPE), monocotiledóneas no gramíneas (Cyp + Lil + Jun) y hierbas menores (HM) según tratamiento en el tercer muestreo.....	68
32. Variables de composición botánica para el tercer muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).....	69
33. Contribución porcentual en la materia seca disponible de gramíneas perennes invernales (GPI), gramíneas perennes estivales (GPE), gramíneas anuales invernales (GAI), monocotiledóneas no gramíneas (Cyp + Lil + Jun) y hierbas menores (HM) según tratamiento en el cuarto muestreo. ....	69
34. Variables de composición botánica para el cuarto muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).....	71

Figura No.	Página
1. Localización del sitio experimental.....	23
2. Croquis de la distribución de las unidades experimentales.....	276
3. Imagen del ensayo.....	27
4. Forraje remanente. ....	28
5. Medición de altura disponible con regla.....	30
6. Corte de forraje disponible con tijera de aro. ....	31
7. Evolución de la temperatura media, media máxima y media mínima mensual entre setiembre 2020 y julio 2021 y la media para los mismos meses en el período 1981-2010.....	35
8. Amplitud térmica desde octubre 2020 hasta junio 2021 para todas las parcelas del bloque II y para la parcela de 80% del bloque III.....	36
9. Precipitaciones mensuales del período de evaluación y del promedio histórico 1961 - 1990.....	37
10. Evolución del almacenaje de agua en el suelo (Alm.), la evapotranspiración real (ETR) con respecto al 40% del agua potencialmente disponible neta (40% APDN).....	38
11. RFA según cada tratamiento dentro del bloque II para la estación estival..	39
12. RFA según cada tratamiento dentro del bloque II para la estación otoñal..	41

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las riquezas que tiene Uruguay es la gran extensión de campo natural, ya que es el principal recurso forrajero dentro de los sistemas ganaderos del país y por lo tanto es una de nuestras ventajas comparativas como país exportador de productos pecuarios. En los sistemas productivos basados en campo natural se produce con un bajo nivel de insumos agregados e intervención del ambiente, lo que genera una producción ambientalmente aceptada por nuevos mercados más exigentes, representando a su vez una ventaja competitiva. El campo natural está constituido por una compleja asociación de especies gramíneas, herbáceas y subarborescentes, y a su vez muchas de estas especies presentan ecotipos adaptados según las condiciones climáticas, edáficas y de manejo de cada región del país, generando una amplia biodiversidad presente en estos ecosistemas (Jaurena et al., 2013). Algunos de los servicios ecosistémicos que brinda el campo natural son: protección del suelo contra la erosión al mantenerlo cubierto, provisión de hábitats para la fauna autóctona, gran capacidad de secuestrar carbono además de tener un valor social y turístico importante en nuestra cultura.

Por otro lado, a partir de la segunda Ley forestal (15.939/87) la producción forestal ha tomado mayor importancia en el Uruguay. En la actualidad la demanda de madera se encuentra en aumento por la instalación de la tercera planta de celulosa en el país, siendo atractivo para los productores realizar contratos con dichas empresas extranjeras e instalando en sus predios plantaciones forestales comerciales obteniendo rentas fijas. En este contexto surgen como alternativas los sistemas silvopastoriles en donde coexisten en la misma superficie los árboles, la pastura y los animales buscando de forma intencional lograr una integración equilibrada entre los componentes, sin sustituir completamente la vegetación residente como en el caso de las plantaciones forestales comerciales. En estos sistemas el productor es quien decide el diseño y la densidad de plantación para buscar maximizar la cantidad de radiación solar que intercepta la pastura.

Los sistemas silvopastoriles realizan un uso más eficiente de los recursos naturales, fijan mayor cantidad de carbono e incrementan el reciclaje de nutrientes. A su vez, son conocidos los efectos benéficos de la sombra y el abrigo de los árboles sobre los animales y sobre su desempeño productivo. Por otro lado, brindan ventajas en el ámbito social y económico al diversificar el sistema, obtener ingresos en diferentes horizontes temporales y permitir el crecimiento de la forestación en armonía con la ganadería resultando en el afincamiento de los productores en el medio rural. Un sistema silvopastoril será sostenible en la medida que exista un equilibrio entre los componentes que lo

conforman debido a que estos competirán por los mismos recursos; radiación, agua y nutrientes. Dentro de los mencionados la radiación es el recurso más limitante en la productividad del sistema (Maurig y Bernardis, 2017). Sin embargo, es escasa la información publicada acerca de los efectos de la disminución de la radiación sobre las pasturas naturales de nuestro país y la mayoría de la información encontrada se basa en los mismos sobre pasturas sembradas. Considerando lo antes establecido, se cree pertinente el estudio del efecto del sombreado sobre la producción y composición botánica del campo natural.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar la producción estivo - otoñal de un campo natural del noreste del país sometido a niveles crecientes de sombra.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar la producción de forraje en el período estivo - otoñal de un campo natural bajo cuatro niveles de sombra artificial y a pleno sol.
- Determinar la intercepción luminosa de la vegetación frente a niveles crecientes de sombra artificial.
- Evaluar la cobertura del suelo y la composición botánica a través de grupos funcionales bajo cuatro niveles de sombra artificial y a pleno sol.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO NATURAL

La importancia del campo natural se debe a su extensión de 11,7 millones de hectáreas, que representan el 81,7% de la superficie de pastoreo total (MGAP. DIEA, 2020), como por ser la base forrajera sobre la cual se sustenta la producción pecuaria nacional (Boggiano, 2003).

Los campos naturales del Uruguay pertenecen al Bioma Pampa o Campos, siendo una de las eco-regiones de pastizales más importantes del mundo. La extensa diversidad genética de especies vegetales y animales genera una estabilidad productiva importante (Jaurena et al., 2013).

Las pasturas naturales cumplen diversas e importantes funciones, como proteger al suelo por efecto de la erosión mediante su cobertura natural, preservar la limpieza de los cursos de agua, reducir el escurrimiento superficial de la lluvia, contribuir al secuestro de carbono absorbiendo metano, reduciendo las emisiones de óxido nitroso y contribuyendo a atenuar el efecto invernadero (Boggiano, 2003).

A su vez son fuente de recursos fitogenéticos dada la heterogeneidad de ambientes debido a las variadas condiciones de paisajes, suelos, clima y manejo, existen una amplia variabilidad de especies y ecotipos (Boggiano, 2003). En este sentido en Uruguay existen aproximadamente 400 especies de gramíneas y más de 100 especies de leguminosas, muchas de las cuales cuentan con ecotipos adaptados a las diversas condiciones climáticas, edáficas y de manejo de cada región del país (Jaurena et al., 2013). También el campo natural es sitio de residencia de la fauna nativa y presenta un importante valor social y cultural por ser donde se mantiene la idiosincrasia rural (Boggiano, 2003).

De acuerdo con Pereira (2011), “el campo natural presenta deficiencias de calidad en verano, en tanto en invierno, los mayores problemas estarían dados por la energía, debido a la cantidad limitante de forraje”. Además, según Boggiano (2003), el principal problema de la producción ganadera a campo natural es la marcada estacionalidad forrajera, con una severa crisis invernal. El campo natural presenta limitado su potencial debido al manejo, principalmente por efecto del sobrepastoreo, lo cual impacta en la conservación de este (Jaurena et al., 2013).

Las pasturas naturales poseen atributos de sustentabilidad tales como productividad, que refiere a que un sistema es sustentable cuando el mismo es suficientemente productivo, estabilidad o tendencia de la productividad en el tiempo y eficiencia en términos del cociente entre los productos y los insumos

requeridos en el sistema. A su vez, al considerar la performance del sistema en el largo plazo ante variables extremas, las pasturas naturales poseen atributos de confiabilidad, resiliencia, al tener la capacidad de recuperarse luego de una perturbación, y adaptabilidad, ya que pueden ser flexibles y adaptarse ante cambios en el largo plazo (Picasso, 2014).

### 2.1.1 Caracterización del campo natural en la región noreste

Los suelos de la región noreste del país se caracterizan por ser heterogéneos en cuanto a su profundidad, textura, permeabilidad y fertilidad. Esto es debido a que se desarrollaron sobre distintos materiales generadores, lo que genera variaciones en la productividad de forraje entre los diferentes suelos. Como característica común, dichos suelos poseen una buena capacidad de almacenaje de agua, lo que les ha permitido desarrollar una vegetación con tendencia estival (Carámbula, 1988).

Según Olmos et al. (2014), los campos asociados a los suelos de esta región se diferencian en la distribución estacional de la producción de forraje, pudiendo alcanzar en verano 300 kg MS/ha en los suelos arcillosos a 1.300 kg MS/ha en los arenosos, dependiendo del balance hídrico estival. Mientras los suelos arenosos presentan un único pico productivo desde la primavera tardía hasta el verano, los suelos arcillosos tienen un doble pico de producción en otoño y primavera.

Los suelos arenosos de la región (Luvisoles y Acrisoles) presentan una mayor proporción de especies de crecimiento estival que los suelos más pesados Brunosoles. A su vez, la presencia de especies rastreras, tanto estoloníferas como rizomatosas, en los suelos arenosos es el doble que en los Brunosoles (Olmos et al., 2005).

Esto coincide con que en los suelos más pesados la producción de forraje es de distribución primaveral - otoñal y la proporción de gramíneas invernales es mayor, explicado por la relación positiva entre la presencia de pastos invernales y el contenido de arcilla del suelo, la CIC y el contenido de materia orgánica (May et al., 1990), mientras que la producción de especies estivales se ve perjudicada por el estrés hídrico en dicha estación (cuadros No. 1 y 2). En cambio, en los suelos con texturas más livianas la distribución estacional de la producción de forraje se parece más a la de los suelos arenosos donde se concentra mayoritariamente la producción en verano y hay una marcada crisis forrajera en invierno (Boggiano, 2003).

Cuadro No. 1. Tasas de crecimiento diaria (kg MS/ha/día) en suelos sobre el material geológico Yaguarí.

Material Geológico	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Yaguarí	17,0 ± 10,8	9,5 ± 1,2	19,4 ± 5,7	13,8 ± 9,7

\*Promedio ± Desvío estándar

**Fuente:** adaptado de De Souza, citado por Carámbula (1991).

Cuadro No. 2. Producción total y estacional de forraje (kg/ha) en suelos del noreste. Evaluaciones con cortes a 3-4 cm.

	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Total
Fraile Muerto	1008	648	1476	468	3600
Yaguarí pesado	600	400	1050	450	2500
Yaguarí arenoso	630	180	840	1300	3000

**Fuente:** adaptado de Carámbula et al., citados por Boggiano (2003).

De acuerdo con Rosengurtt (1943), “los campos de Palleros están constituidos por un tapiz bajo, con plantas subarborescentes, herbáceas y pajizas, diseminadas en él que se destacan por su mayor altura”. El tapiz en esta región se caracteriza por presentar una trama cerrada, con una altura homogénea de 5 cm aproximadamente, compuesto por gramíneas estoloníferas y cespitosas, hierbas perennes arrosetadas o rizomatosas y hierbas bulbosas, principalmente enanas y anuales.

En los campos naturales de los suelos Brunosoles del Noreste dominan las gramíneas estivales y el 70% de las especies presentes están representadas por *Andropogon ternatus*, *Axonopus affinis*, *Botriochloa laguroides*, *Panicum milioides*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Schizachyrium microstachyum* y *Sporobolus indicus* (Olmos, citado por Boggiano, 2003). En cuanto a las especies invernales las más características son *Brisa subaristata*, *Piptochaetium montevidense*, *Piptochaetium stipoides*, *Stipa charruana* y *Stipa setigera*, las cuales son más frecuentes en las laderas de los suelos más pesados (Boggiano, 2003).

Gallinal et al. (1938) afirman que en toda la zona de Palleros predominan las gramíneas, existiendo en las zonas más húmedas representantes de otras familias. En el estrato alto las especies más características son *Panicum prionitis* y *Paspalum quadrifarium*, mientras que en el tapiz dominan *Axonopus affinis* y *Paspalum notatum*.

Rosengurtt (1943) coincide con que las gramíneas estoloníferas como *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis* son las que predominan en la región de Palleros, ambas con gran poder vegetativo, se presentan muy densamente y cubren una extensa zona de Cerro Largo. Dichas especies junto con *Stenotaphrum secundatum*, la cual aparece en laderas bajas y suelos uliginosos, tienen una gran aptitud conservadora del suelo debido a las redes de estolones que cubren el mismo. En cuanto a las especies asociadas son más de 100 y enriquecen la flora haciendo variar la composición del forraje.

En condiciones de pastoreo continuo Boggiano (2003) señala que la proporción de leguminosas es baja, sin embargo, con manejos controlados del pastoreo se hacen presentes con más frecuencia *Adesmia bicolor*, *A. incana*, *Desmodium incanum*, *Stylosanthes montevidensis* y *Trifolium polimorphum*. A su vez, estos manejos permiten la expresión y aumento de gramíneas finas como *Bromus auleticus*, *Paspalum dilatatum* y *Paspalum plicatulum*. Sin embargo, a través de un manejo que promueva el subpastoreo estos campos fácilmente se pueden endurecer, ocupando espacio pastos duros como *Andropogon lateralis*, *Erianthus angustifolius* y *Paspalum quadrifarium*.

En relación con los efectos climáticos sobre la productividad de las pasturas en la región noreste es necesario señalar que en general las temperaturas son más altas que en el sur del país y los niveles de precipitaciones anuales son mayores (Olmos, 1997).

Las curvas de crecimiento estacional de pasturas naturales para la región se caracterizan por presentar un marcado descenso en el crecimiento en invierno en todos los suelos. Esto se debe a que cuando hay un contenido importante de agua en el suelo el crecimiento de las plantas depende de la temperatura media del período y este es el caso del invierno donde el suelo en general está húmedo pero la temperatura media es muy baja, las heladas son frecuentes, las especies invernales son poco frecuentes y por lo tanto la producción de forraje es muy baja. Mientras que en el período estival hay mayores probabilidades de ocurrencia de déficit hídrico y las curvas de crecimiento son variables según el tipo de suelo, a igualdad de precipitaciones (Olmos, 1997).

Para el período estival la variabilidad en los volúmenes de lluvias mensuales determina directamente la productividad forrajera de las pasturas naturales en la región noreste (Olmos, 1997). Evaluaciones realizadas por Olmos et al. (2005) demostraron que existe una tendencia a una mayor tasa de crecimiento cuando la relación lluvia/evaporación se aproxima a 1.

Se reporta a la región centro Norte-Noreste como de alto potencial de desarrollo de sistemas forestales y silvopastoriles (Boggiano, 2003). Sin embargo, también se considera que la sustitución exclusiva de los campos

naturales por montes forestales es una amenaza para la región por la pérdida definitiva de especies de campo natural y un cambio abrupto en la flora, fauna y fisonomía del paisaje y suelo (Boggiano, 2003).

## 2.2 SISTEMAS AGROFORESTALES

Un sistema agroforestal se define como el uso de la tierra en que árboles y arbustos leñosos perennes son deliberadamente combinados en la misma unidad de manejo de suelo con plantas herbáceas (cultivos o pasturas) y/o animales, ya sea en forma de arreglos espaciales o en secuencias en el tiempo. En estos sistemas existen interacciones ecológicas y económicas entre las plantas leñosas y los otros componentes (Lundgren, citado por Arévalo, 1994).

Según Ammour (2012), un sistema agroforestal cumple con tres condiciones básicas; en primer lugar, deben existir al menos dos especies que interactúan biológicamente; en segundo lugar, al menos uno de los componentes debe ser una leñosa perenne y por último, al menos dos de los componentes deben manejarse para satisfacer los objetivos del administrador de la tierra.

Es deseable que todo sistema agroforestal posea tres atributos; productividad, sostenibilidad y adoptabilidad. El primer atributo refiere a que estos sistemas tienen como objetivo mantener o aumentar la producción de bienes, mercancías y servicios, así como también la productividad de la tierra. Por sostenibilidad se entiende conservar el potencial de producción de los recursos naturales ya que ellos son la base de la producción actual y futura. El último atributo hace referencia a que los sistemas agroforestales sean aceptados por el agricultor, incluso con las limitaciones socioeconómicas y biofísicas impuestas por el medio (Nair, 1993, Jiménez et al., 2001).

De acuerdo con Jiménez et al. (2001), las funciones productivas de la agroforestería son la obtención de productos forestales como madera, leña y papel, productos alimenticios para humanos y animales y otros productos como aceites esenciales, resinas y taninos. Dentro de las funciones de servicios ecológicos y de protección se destaca la conservación del agua, del suelo y su fertilidad, mejoramiento del microclima para plantas, animales y el hombre a través de modificaciones en la incidencia de la radiación solar, la temperatura, humedad del aire y del suelo y la velocidad del viento, así como también regulación térmica e hidrológica, fijación de carbono y nitrógeno, provisión de oxígeno, conservación de biodiversidad, entre otros. Sin embargo, también pueden tener efectos negativos sobre los cultivos y el ambiente, como generar sombra excesiva, competir con los cultivos por radiación, nutrientes o agua, hospedar plagas o pueden tener efectos alelopáticos. La agroforestería puede

jugar un papel importante para mantener la fertilidad del suelo, contribuir a controlar la erosión y combatir la desertificación.

Una de las ventajas biofísicas de los sistemas agroforestales con respecto al monocultivo es una mejor utilización del espacio vertical y un mayor aprovechamiento de la radiación solar entre los diferentes estratos vegetales. En este sentido el microclima es más moderado, evitando temperaturas extremas y a su vez hay una mayor protección contra la erosión eólica e hídrica. Otra ventaja importante de los sistemas es que contribuyen a mantener la estructura y fertilidad del suelo mediante aportes de materia orgánica y mayor actividad biológica. Los sistemas agroforestales pueden tener un rol importante en el ciclo global del carbono mediante la acumulación de carbono en la biomasa tanto en raíces vivas y muertas como en la biomasa aérea. Por otro lado, existen ventajas socioeconómicas ya que los productores pueden reducir gastos al abastecerse de madera, leña y alimentos. A su vez, se alcanza una mayor estabilidad productiva asumiendo menores riesgos y reduciendo los requerimientos potenciales y gastos en insumos. Por último, es importante el avance progresivo hacia prácticas conservacionistas de los recursos naturales (Jiménez et al., 2001).

Nair (1989) clasifica a los sistemas agroforestales según la naturaleza de los componentes de la siguiente manera:

- Sistemas agrosilvícolas: integrados por el componente arbóreo y cultivos tanto anuales como perennes.
- Sistemas agrosilvopastoriles: consisten en la alternancia de árboles, cultivos y pasturas para la producción ganadera.
- Sistemas silvopastoriles: se basan en la integración de árboles y pasturas como sustento para la producción ganadera.

## 2.3 SISTEMAS SILVOPASTORILES

Mahecha (2002) define al silvopastoreo como “un tipo de agroforestería, considerada como una opción de producción pecuaria en donde las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral”. Agrega que los sistemas silvopastoriles son una alternativa de producción sostenible que permite reducir el impacto ambiental de los sistemas tradicionales de producción.

En este sentido, Sancho et al. (2021) elaboraron la siguiente definición de sistemas silvopastoriles: “Integración intencional (pre pensada) y estable en el tiempo de árboles, ganado y pasturas que interactúan a largo plazo, en integración armónica que propende a la sinergia de sus componentes, con el

objetivo de maximizar la producción del sistema en forma sostenible. La fortaleza de esa sinergia se maximizará si la interacción entre sus componentes se desarrolla por un lapso que comprenda al componente de mayor plazo. Esto permitirá desarrollar un sistema sostenible y con beneficios ambientales”.

Carranza y Ledesma (2009) por su parte definen a los sistemas silvopastoriles como sistemas de uso de la tierra donde coexisten en una misma unidad productiva la ganadería y la forestación, aprovechando las interacciones positivas y minimizando las negativas entre los componentes del sistema. A su vez agregan que la presencia de más de un estrato de vegetación hace más complejo el manejo de estos sistemas ya que hay que conocer y manejar múltiples interacciones dinámicas.

El sistema silvopastoril consta del uso de un área común para más de una producción, es decir, una combinación de árboles, maderables o frutales, con animales en la misma área, con el objetivo de aumentar la eficiencia de uso de los recursos naturales y mantener el equilibrio del ecosistema. El carácter ecológico de esta asociación es uno de los principios que rigen este sistema productivo (Ferreira et al., 2011). En los sistemas silvopastoriles coexisten en una misma área pasturas, animales y árboles, donde todas las partes presentan la misma importancia, brindando ventajas económicas, sociales y ambientales (Araújo et al., 2010).

El silvopastoreo induce a un manejo integrado del recurso animal, forestal y pastoril, en búsqueda de la sustentabilidad individual de cada recurso y del sistema en su conjunto. En este sentido, la integración y un manejo adecuado de rubros productivos, junto con el conocimiento de las interrelaciones entre ellos permiten producir y potenciar la protección del ambiente (Polla, 2000).

El ecosistema silvopastoril permanece en un estado dinámico y responde a variaciones de factores extrínsecos como el clima y el método de pastoreo que se aplica. En un sistema silvopastoril hay tres componentes individuales y básicos que el hombre puede manejar: los árboles, las pasturas y los animales. Cada uno de estos componentes requiere un manejo específico (García et al., 2001). Las interacciones entre los componentes son dinámicas y complejas y dentro de estas la restricción luminosa es uno de los factores más limitantes en la productividad del sistema (Maurig y Bernardis, 2017).

El silvopastoreo permite diversificar la producción y obtener ingresos escalonados en el tiempo mientras la unidad productiva se va capitalizando a través del recurso forestal (Polla, 2000). Además, Gallo (2006) señala que los sistemas silvopastoriles además de tener el potencial de contrarrestar los impactos ambientales negativos característicos de los sistemas tradicionales constituyen un mecanismo para diversificar las empresas pecuarias, generar

nuevos productos e ingresos adicionales, reducir la dependencia de insumos externos e intensificar el uso del recurso suelo sin perjudicar su potencial productivo a largo plazo.

Los sistemas silvopastoriles son una alternativa de producción bovina para enfrentar y mitigar los efectos del cambio climático dado que favorecen procesos naturales como el reciclaje de nutrientes, la fertilidad de los suelos, el secuestro de carbono y la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a esto, dichos sistemas contribuyen a conservar los recursos naturales, recuperar suelos degradados, mejorar la productividad animal, a la vez que disminuyen la presión de deforestación para ampliar la frontera agrícola ganadera (Buitrago et al., 2018).

Por su parte, Rivera et al. (2021) consideran que la integración presente en los sistemas silvopastoriles podría generar un equilibrio de productos, buena producción de pasto, de carne y de madera atendiendo los servicios ecosistémicos, la situación financiera de los productores y empresas y teniendo impactos positivos en el ámbito social al generar más fuentes de trabajo.

Según Sancho et al. (2021), los productores consideran a los sistemas silvopastoriles como sistemas más neutros y con ventajas desde el punto de vista ambiental por la mitigación y adaptación al cambio climático y por su menor huella de carbono frente a una producción ganadera tradicional.

La superficie disponible para pastoreo y la producción de las pasturas bajo el monte quedan determinadas por el marco de plantación definido. En este sentido, se deben establecer diseños de plantación que permitan el desarrollo de los árboles, las pasturas y los animales en forma combinada (Sancho et al., 2021).

Como conclusión, el éxito de un sistema silvopastoril dependerá del equilibrio entre los componentes que lo conforman ya que, en ausencia de este, la competencia por recursos puede afectar la sostenibilidad del sistema (Maurig y Bernardis, 2017, García et al., 2001).

### 2.3.1 Caracterización ambiental de los sistemas silvopastoriles

La incorporación del componente forestal modifica las condiciones ambientales bajo dosel y en áreas adyacentes, ya que se reporta una disminución de los valores extremos en las variables meteorológicas, generando un microclima menos acentuado y variable respecto a zonas sin árboles (Munka, 2017).

El aumento de la cobertura arbórea bajo diferentes arreglos espaciales genera beneficios ambientales en la recuperación de las características y la capacidad productiva de los ecosistemas originales. A su vez, el microclima

generado reduce los efectos deletéreos del clima sobre el componente animal y el rendimiento de forraje (Gutiérrez y Fierro, 2006).

Munka (2017) afirma que “el ambiente microclimático está fuertemente relacionado con las características de la cubierta forestal, el arreglo y densidad de plantación, la composición, arquitectura y carácter del dosel (perenne o caducifolio), la densidad de follaje y la altura de árboles”.

El crecimiento de los pastos debajo de las copas de los árboles puede estar limitado por cambios en la calidad de la luz, por competencia de los árboles por agua, entre otros factores (Carvalho et al., 2002). Debido a lo anterior se presenta a continuación una caracterización ambiental de sistemas con presencia de árboles.

#### 2.3.1.1 Disponibilidad lumínica

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) o “PAR” es la radiación que utilizan las plantas para llevar a cabo la fotosíntesis y la producción de carbohidratos. Además, es la radiación que comprende las longitudes de onda del espectro visible. Las plantas incrementan la producción de materia seca cuando la intercepción de la radiación es máxima, y esto no ocurre bajo los árboles ya que estos generan sombreado debido al volumen irregular de las copas y ramas (Raffo, 2014).

La RFA es lo que principalmente absorben los árboles, provocando cambios importantes en la cantidad y calidad de la luz que llega al sotobosque, generando diferencias en la actividad fotosintética de las plantas debajo de los árboles (Wilson y Ludlow, 1991). Gómez Sanz (2004) coincide con que el flujo entrante de la radiación solar es modificado por la presencia de árboles, lo que provoca cambios en la cantidad y calidad de la luz que llega debajo de los mismos. Debido a esto, el microclima es menos luminoso y la distribución de la luz no es uniforme. Por su parte, afirman que los árboles generan cambios en la radiación fotosintéticamente activa incidente, relación rojo/rojo lejano y en el rendimiento de materia seca (Oliveira et al., 2014).

Los árboles interceptan radiación solar y esto incide significativamente en el balance neto de energía que se genera bajo los mismos, a la vez que se reduce la cantidad, también se reduce la calidad de la radiación de onda corta recibida en la superficie bajo dosel. De esta manera, el dosel modifica la proporción de la radiación solar incidente de onda corta que es reflejada, transmitida o absorbida (Munka, 2017).

Por su parte Raffo (2014) afirma que la calidad de la luz sufre cambios al momento de atravesar el follaje de los árboles. Parte de la radiación es absorbida por las hojas para la fotosíntesis y otros procesos y otra parte es

reflejada generando la luz dispersa o difusa, la cual es una luz con menor intensidad.

Silveira et al. (2022) demostraron que la cobertura verde de la comunidad de sotobosque presenta una respuesta logarítmica creciente ante aumentos de la RFA transmitida, desde ambientes con más interferencia lumínica hacia ambientes a pleno sol.

En la mayoría de las situaciones, la tasa de crecimiento de las pasturas es menor cuando crecen bajo la copa de los árboles que a pleno sol, sin embargo, no todas las forrajeras responden de la misma manera ante disminuciones en la incidencia lumínica (Pezo e Ibrahim, 1998). Cada especie vegetal responde en forma distinta al sombreado en cada estación del año, por eso es importante la detección de las especies gramíneas que tengan la mayor eficiencia en el uso de la radiación solar para producir forraje. Estas especies que mejor se adapten a condiciones de luminosidad limitada permitirán la diversificación e intensificación de los sistemas ganaderos (Córdoba y Hernández, 2003).

A su vez, el sombreado genera cambios morfológicos y fenológicos en las especies forrajeras como mecanismos de adaptación ante la disminución del potencial fotosintético de las plantas, sin embargo, estas adaptaciones no son suficientes y la actividad fotosintética total disminuye bajo condiciones de sombra (Pezo e Ibrahim, 1998).

#### 2.3.1.2 Disponibilidad de agua

Debido a que en los sistemas silvopastoriles los árboles y las pasturas comparten el mismo espacio, la temperatura del estrato herbáceo disminuye, provocando una menor tasa de transpiración y menor evaporación, modificándose el balance hídrico del sistema (Wilson y Ludlow, 1991). Los mismos autores comentan que al reducirse la tasa de evaporación bajo el dosel de árboles y aumentando la disponibilidad de agua en el suelo frente a una situación a pleno sol, los períodos de sequía podrían tener menor severidad bajo el dosel de árboles.

Las raíces de los árboles promueven la formación de agregados, rompen las capas endurecidas del suelo y de esta forma mejoran la estructura de este. Cuando las raíces mueren quedan canales que mejoran la circulación del aire y la infiltración de agua dentro del perfil (Gallo, 2006).

Por otro lado, la presencia de los árboles disminuye la erosión eólica y/o hídrica, promoviendo la estabilidad del suelo y reduciendo la insolación directa logrando conservar el agua del suelo (Gil et al., 2005).

Ríos et al. (2008) aseguran que la cobertura arbórea disminuye la escorrentía superficial y con esto el potencial de erosión hídrica. A su vez,

colabora con una mayor infiltración del agua en el suelo logrando incrementos significativos en el balance hídrico por mayor disponibilidad de agua y recarga hídrica. Por lo tanto, según Ríos et al. (2008) “los sistemas silvopastoriles brindan beneficios hidrológicos al contribuir en la infiltración y disminuir la escorrentía superficial, contribuyendo a la recarga y sustento de acuíferos”.

#### 2.3.1.3 Temperatura

El microclima bajo cubiertas vegetales se caracteriza por presentar menores amplitudes térmicas, esto significa que las temperaturas máximas son menores y las mínimas mayores respecto a registros térmicos en áreas sin árboles. En un ensayo realizado sobre montes de *Eucalyptus* sp de 6 y 7 años con diferentes arreglos y densidades de plantación los valores de temperatura máxima debajo de los árboles fueron de 3°C menos y los de temperatura mínima de 0,7°C por encima de lo observado fuera del monte (Munka, 2017).

Fedrico et al. (2017) concuerdan con que la amplitud térmica bajo los árboles es menor y encontraron bajo un monte de *Pinus spp.* de alta densidad disminuciones de 2-3°C en el verano, mientras que en los meses más fríos las temperaturas nocturnas fueron mayores. Wong y Wilson (1980), reportan que las temperaturas medias diarias máximas y mínimas del aire debajo de los árboles se reducen entre 1-1,8°C.

Por su parte, las temperaturas del suelo disminuyen con aumento de la sombra en un promedio de 3°C a 5 cm de profundidad y 2°C a 13 cm de profundidad (Wong y Wilson, 1980). Wilson y Ludlow (1991) aseguran que la reducción de las temperaturas del suelo bajo los árboles proporciona un entorno más favorable para la descomposición y el reciclaje de nutrientes.

#### 2.3.1.4 Velocidad del viento

Las superficies con árboles tienen una circulación del aire modificada caracterizada por una menor velocidad del viento y una disminución de los intercambios turbulentos de masa y energía. Esta disminución depende principalmente de la estructura, densidad, permeabilidad y altura de la superficie con árboles (Munka, 2017).

Por ejemplo, Gutiérrez y Fierro (2006) demostraron que la tasa de evaporación del suelo y la de la cobertura vegetal disminuyen hasta un 20% al reducirse la velocidad del viento por efecto de las barreras vivas y de esta forma se mitigan los efectos del estrés por sequía.

#### 2.3.1.5 Evaporación y humedad relativa

El microclima bajo los árboles es típicamente más húmedo, este aumento de la humedad relativa se relaciona con un ambiente con menores temperaturas máximas y con menor renovación de aire, baja turbulencia y

mayor resistencia aerodinámica a la disipación del vapor de agua (Munka, 2017).

Debajo de los árboles la humedad relativa mínima media aumenta en 1,2 - 2,2% en comparación a tratamientos sin interferencia de la luz solar (Wong y Wilson, 1980).

Wong y Wilson (1980) expresan que los potenciales hídricos de las hojas de plantas bajo sombra son mayores que en hojas de plantas a pleno sol.

#### 2.3.1.6 Disponibilidad de nutrientes

En los sistemas silvopastoriles, los árboles a través de su profundo sistema radicular y su aporte de hojarasca pueden mejorar el ciclo de los nutrientes no disponibles a las raíces superficiales de los pastos, mantener la fertilidad del suelo y aumentar el aporte de materia orgánica (Gil et al., 2005).

Una porción importante de la biomasa producida, especialmente hojas y ramas de los árboles, permanece en el sistema sin ser exportada y contribuye a mantener una adecuada reserva de materia orgánica en el suelo. Cuando las raíces mueren, realizan un aporte directo de materia orgánica y nutrientes al suelo (Gallo, 2006).

Los árboles en los sistemas agroforestales reciclan los nutrientes y previenen la pérdida de estos por lixiviación, de esta manera se reduce la contaminación de aguas freáticas por nitratos u otras sustancias que son dañinas para el ambiente y la salud humana (Gutiérrez y Fierro, 2006).

## 2.4 LOS EFECTOS DE LA SOMBRA

### 2.4.1 Efectos de la sombra sobre las plantas

Se denomina fotosíntesis al proceso fisiológico donde organismos vivos autótrofos o fotosintéticos absorben y asimilan energía lumínica, precisamente radiación fotosintéticamente activa, transformándola en biomasa. En el caso de los vegetales el tipo de fotosíntesis que realizan se denomina oxigénica ya que forma oxígeno como subproducto, el cual es liberado a la atmósfera (De las Rivas, 2008). Este proceso se lleva a cabo, en plantas superiores, en los tejidos fotosintéticos presentes en su mayor parte en las hojas, las cuales son los órganos especializados de la fotosíntesis. Para aprovechar al máximo la luz solar las plantas exponen la mayor cantidad posible de tejido a los fotones incidentes, y a su vez las hojas en general son planas para orientarse hacia los rayos solares y absorber de modo óptimo la luz (De las Rivas, 2008).

Según Azcón-Bieto et al. (2008), la luz a la cual están expuestas las plantas afecta el crecimiento y su desarrollo determinando su morfología foliar y su fisiología, esta función se denomina fotomorfogénesis. Las plantas se logran

adaptar a la condición de luz a la que están expuestas, de esta forma existen las plantas de sol (heliófilas) y las de sombra (esciófilas).

Las plantas que crecen en condiciones de sombra poseen hojas grandes, con poca densidad de estomas y delgadas porque presentan menos capas de células del mesófilo en empalizada, las células son más cortas y tienen un menor peso por unidad de área foliar. En cambio, las hojas al sol son más pequeñas con gran densidad de estomas de pequeño tamaño y la epidermis, el mesófilo esponjoso y los sistemas vasculares están más desarrollados (Azcón-Bieto et al., 2008). A su vez, la orientación de la hoja de plantas adaptadas a condiciones de sol es vertical mientras que en plantas adaptadas a la sombra la orientación de las hojas es más horizontal. En plantas adaptadas a la sombra la partición de carbohidratos en hojas es alta, mientras que es baja en raíces, en tanto que las plantas al sol particionan más para las raíces y menos para las hojas (Azcón-Bieto et al., 2008).

Según Wilson y Ludlow (1991) la mayoría de las especies de gramíneas y leguminosas se adaptan morfológicamente para compensar el aumento de sombreado y en general dicha adaptación consiste en maximizar la materia seca de las hojas en busca de la absorción de la luz. Tales adaptaciones consisten en plantas más altas y con una mayor producción de hojas, esto puede reducir demasiado las reservas en raíces y el número de yemas luego de una defoliación, debilitando la capacidad de rebrote de estas plantas. En cambio, especies postradas con reservas de rizomas o estolones y con área foliar que se escapa del pastoreo pueden tener más éxito (Wilson y Ludlow, 1991).

La condición de baja luminosidad genera una reducción en la tasa fotosintética y en la emisión de nuevas hojas y también provoca un aumento en la proporción de tallos y hojas viejas en las plantas (Córdoba y Hernández, 2003).

De acuerdo con Silveira et al. (2016), el desarrollo radicular depende del suministro de carbohidratos desde la parte aérea de la planta. Las plantas a la sombra priorizan más la parte aérea en busca de la luz, en detrimento de un menor desarrollo radicular por lo tanto la planta tendrá una menor habilidad competitiva.

Montserrat (1961) afirma que existe una importante reducción de las reservas en tallo y raíces en plantas sombreadas, así como una reducción de toda la masa radicular, provocando una menor resistencia de las plantas sombreadas a la defoliación.

Por efecto del sombreado se reduce la cantidad de biomasa de gramíneas, sin embargo, el área foliar y la eficiencia fotosintética aumentan, provocando que la calidad del forraje sea mayor en condiciones de sombra

intermedia. A su vez, la sombra del árbol reduce la temperatura foliar en las gramíneas, ocasionando menor transpiración y aumentando la eficiencia de uso de agua de las gramíneas (Gil et al., 2005).

#### 2.4.2 Efectos de la sombra sobre las plantas forrajeras

Según Silveira et al. (2022) con incrementos en los niveles de RFA las especies con metabolismo  $C_4$  aumentan su cobertura mientras que las  $C_3$  logran la mayor cobertura con niveles intermedios de intercepción de luz. Dichos autores aseguran lo siguiente: “el índice  $C_4/C_3$  aumentó al incrementar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), indicando una mayor especialización y dependencia de metabolismos  $C_4$  a situaciones con mayor nivel de radiación solar”. Concluyen que las especies  $C_4$  son las más afectadas ante altos niveles de intercepción luminosa.

A su vez, Pillar et al. (2002), coinciden en que las especies  $C_4$  presentan una reducción en su cobertura ante incrementos en la intercepción de la radiación, mientras que las especies  $C_3$  al ser más tolerantes a un nivel intermedio de sombra, se benefician al colonizar espacios donde las  $C_4$  se suprimieron, a niveles más altos de sombra todas las especies disminuyen su cobertura.

Silveira et al. (2018) concuerdan que el ambiente lumínico condiciona la relación  $C_4/C_3$ , siendo menor a medida que aumenta el sombreado, esto se debe a los mayores requerimientos de ATP de las especies  $C_4$  para metabolizar una molécula de  $CO_2$ .

#### 2.4.3 Efecto de la sombra sobre las pasturas

En un estudio realizado por Obispo et al. (2013) encontraron que el efecto de la sombra provocó una reducción del 30% en la producción de biomasa, pero esta fue de mejor calidad en situaciones de sombreado. Este aumento de calidad se debe a aumentos en los niveles de proteína cruda, disminución de las estructuras fibrosas como fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), provocándose mejoras en la digestibilidad de la materia seca lo que resultó en mayores ganancias de peso en los animales. Las diferencias obtenidas en los niveles de proteína cruda son de hasta 5% de aumento en pasturas bajo distintos niveles de sombreado frente a pasturas sin exposición de sombra.

Por su parte, Carvalho et al. (2002) coinciden en que la producción de materia seca de gramíneas disminuye por efecto de la sombra respecto a la obtenida a pleno sol y que existe una mayor digestibilidad en la parte aérea de las gramíneas sombreadas. Macedo et al. (2017) se ajustan a lo planteado con anterioridad al expresar que bajo sombra el forraje aumenta el valor nutritivo mediante aumentos en proteína cruda y digestibilidad de la materia seca.

Carvalho et al. (2002) encontraron concentraciones mayores de nitrógeno en las hojas de los pastos sombreados que en las hojas de las plantas sin exposición a la sombra, sin embargo, puede deberse a un efecto de concentración debido a una menor producción de materia seca.

El efecto de la sombra retrasa el inicio de la floración en gramíneas y esto podría estar vinculado con el crecimiento vegetativo más prolongado de las plantas en condiciones de sombra (Carvalho et al., 2002).

Carranza y Ledesma (2009) coinciden en que las características más importantes relacionadas a la calidad del forraje que se modifican por efecto de la sombra son la mayor proporción de nitrógeno total y proteína bruta y un ciclo productivo más largo debido a la cobertura arbórea que atenúa los factores climáticos.

Los cambios en las variables ambientales en sistemas con árboles junto con los diferentes requerimientos de luz en cantidad y calidad y de nutrientes de cada especie, genera cambios en la cobertura y composición botánica (Silveira et al., 2022). Por su parte, Pillar et al. (2002) aseguran que la composición de especies del estrato herbáceo bajo monte de *Eucalyptus* sp. se asocia con el grado de sombreado.

Cuanto mayor es la interferencia del dosel arbóreo, la vegetación desarrollada bajo el dosel presenta menor número de familias, géneros y especies, por lo tanto, la riqueza y diversidad de especies se ven disminuidas. En cambio, la menor expresión de dominancia, también denominada equidad, es mayor en ambientes más sombreados, determinando comunidades herbáceas con una composición de especies más proporcionada y sin dominancias (Silveira et al., 2018).

En un experimento realizado por Casal y Jankovic (2015) se demostró una mayor cobertura de especies invernales en tratamientos con sombra y menor en el tratamiento testigo a pleno sol. Mientras que, de forma inversa, las especies estivales presentaron mayor cobertura en el testigo y menor en los expuestos a sombra. Lo anterior sugiere manejos de la pastura diferentes dado los momentos de máxima acumulación de forraje, ocurriendo en el caso de las especies invernales en primavera en los tratamientos con sombra y de esta forma coincidiendo con momentos claves para la producción ganadera como la época de servicio y recuperación post parto (Casal y Jankovic, 2015).

#### 2.4.4 Efectos sobre la producción de forraje en sistemas silvopastoriles

Un factor clave para lograr sistemas silvopastoriles sostenibles es la cantidad de luz disponible para el crecimiento del componente herbáceo (García et al., 2001). Por su parte, Carranza y Ledesma (2009) aseguran que la

competencia por luz es el principal factor que determina la producción de forrajeras en sistemas silvopastoriles.

El grado de sombreadamiento, las especies involucradas y sus respuestas a la variación de radiación junto con otros factores ambientales son las variables que determinan el efecto neto sobre la producción forrajera (Carranza y Ledesma, 2009). Además, sugieren que el sombreadamiento afecta la calidad del forraje, su reproducción y por ende la composición del pastizal.

Las características biofísicas de las especies arbóreas como el índice de área foliar y la arquitectura del dosel, principalmente la forma de la copa, influyen en la intercepción de la radiación solar, lo cual afectará el balance energético de la planta y por lo tanto su actividad fotosintética y transpiratoria (Castaño et al., 2013).

En sistemas silvopastoriles una reducción de la radiación solar que llega al estrato herbáceo puede influir en la producción y calidad de la biomasa, la absorción de agua y la distribución de las raíces, factores que también se relacionan con las condiciones edáficas. Algunos estudios señalan que, en condiciones de campo, las intensidades de sombreado pueden reducir, aumentar o interferir en la producción del estrato herbáceo (Peri et al., 2005).

Al incorporar especies forestales cabe destacar que la cantidad de RFA que llega al suelo dependerá del tipo de dosel que esta atraviesa, de la densidad de plantación, su altura y edad (Peri, Chen et al., citados por Silveira et al., 2019).

El forraje presenta mayor tasa de crecimiento y desarrollo cuando el espacio entre las hileras de *Eucalyptus* sp. es mayor, provocando mayor acumulación de pared celular. Mayor espaciamiento entre los árboles proporciona mayores tasas de radiación solar y un alto rendimiento de la masa de forraje. Mientras que los arreglos más densos tienen tasas de acumulación de proteína cruda mayores (Oliveira et al., 2014).

Macedo et al. (2017) encontraron que sombrear hasta un 30% no perjudica el rendimiento de forraje y puede mejorar aspectos productivos de los pastos. Esto coincide con que, en regiones templadas principalmente, se toma como límite para la producción de forraje un 70% de intercepción de radiación (Mead, Mc. Elwee y Knowles, Knowles et al., Fernández et al., citados por Carranza y Ledesma, 2009).

Muchos estudios coinciden en que existen efectos benéficos del sombreadamiento moderado, con 40-50% de luz solar, sobre la producción de forraje, especialmente en ambientes con limitantes en la disponibilidad de agua (Barro, 2011).

En un trabajo realizado en Rio Grande do Sul por Barro (2011), se determinó el desempeño productivo y algunas características morfofisiológicas de tres gramíneas (*Paspalum regnellii*, *P. dilatatum* y *P. notatum*) y una leguminosa (*Arachis pintoii*) bajo dos niveles de sombra artificial (50% y 80%) y a pleno sol, durante dos años. Los cuatro genotipos presentaron mayor rendimiento con 50% de sombra en relación con los tratamientos a pleno sol y con 80% de sombra. Los niveles de sombra promovieron un aumento en las gramíneas del índice de área foliar, del área específica foliar y del índice de nutrición nitrogenada, en comparación con pleno sol. La eficiencia de uso de la radiación se incrementó al aumentar el nivel de sombra para los cuatro genotipos. La única especie que no presentó una reducción en la producción de biomasa aérea bajo sombreado intenso en comparación con pleno sol fue *P. regnellii*. Sin embargo, todos los genotipos presentaron buen desempeño bajo niveles de sombra moderados, pero se destacan *P. regnellii* y *P. dilatatum* por su mayor rendimiento de materia seca y *P. notatum* y *A. pintoii* por su mayor contenido de nitrógeno. Por lo tanto, la autora cree que son genotipos prometedores para su uso en sistemas silvopastoriles de la región.

En este mismo trabajo se destaca la fuerte influencia de las condiciones meteorológicas predominantes en cada ciclo de evaluación sobre el comportamiento productivo de los genotipos bajo sombra, en especial la temperatura y la humedad. Los efectos positivos del sombreado sobre la producción de forraje de *P. dilatatum* y *P. notatum* están relacionados a la condición hídrica del período de evaluación. Estos genotipos presentaron mayores rendimientos bajo sombra moderada (50%) cuando la disponibilidad hídrica estaba limitando el crecimiento a pleno sol. Mientras que *P. regnellii* presentó un elevado grado de adaptación a la sombra independientemente de la disponibilidad hídrica (Barro, 2011).

Debido a la estructura estratificada de la vegetación que poseen los sistemas silvopastoriles sobre formaciones nativas, se genera una alta heterogeneidad espacial que produce un cambio en la composición de la pastura (Carranza y Ledesma, 2005).

El sombreado afecta la calidad, producción y composición florística de la pastura. En sistemas silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina se observó una reducción en la participación de pastos menos palatables y con menor valor forrajero y un aumento de especies valiosas como *Axonopus ssp* (Lacorte y Esquivel, 2009).

En este sentido, en un estudio donde se evaluaba el efecto del árbol en la composición botánica de pasturas naturales se concluyó que la abundancia de especies invernales se incrementa en sistemas silvopastoriles con especies nativas (Picasso et al., 2003).

Según Barro (2011), lograr un sotobosque silvopastoril productivo depende del uso de genotipos forrajeros adaptados al medio, con buen comportamiento agronómico y persistencia bajo sombra y pastoreo.

#### 2.4.5 Efectos de la sombra sobre los animales

En los sistemas de producción de carne pastoriles, especialmente aquellos cuyo principal soporte forrajero es el campo natural, se presentan dos restricciones: la primera se trata de una reducción en la cantidad y/o calidad del forraje disponible y la segunda en la ocurrencia de condiciones ambientales potencialmente generadoras de estrés térmico (Simeone et al., 2013). Esta combinación de restricciones puede provocar limitaciones en el consumo de nutrientes e incremento en los requerimientos de mantenimiento, afectando así el balance energético y el nivel de producción animal. Debido a todo lo anterior, queda demostrado que la producción ganadera y la forestal son complementarias, dentro de determinadas condiciones de plantación y características arbóreas, ya que la sombra contribuye a minimizar los efectos negativos del estrés térmico mejorando la performance animal mientras que el pastoreo contribuye a mantener controlado el crecimiento forrajero reduciendo el riesgo de incendios (Simeone et al., 2013).

Los factores ambientales que generan un aumento de la carga calórica animal resultando en estrés calórico son: alta radiación solar y temperatura por encima de la zona de confort térmico para el ganado, junto con alta humedad relativa (Herrera, 2020). Como respuesta a este estrés calórico los animales poseen mecanismos reguladores como lo es el aumento de la frecuencia respiratoria. Estos tienen un alto gasto energético, en detrimento de la producción. Como consecuencia, para lograr reducir la carga calórica, los animales disminuyen el consumo de alimentos y aumentan la ingesta de agua para mantener el balance hídrico. Cuando estos mecanismos no son suficientes para mantener el equilibrio térmico, se afecta la performance productiva y reproductiva, hasta pudiendo provocar la muerte del animal. La práctica de mayor importancia para mitigar las pérdidas por exceso de calor es la sombra (Herrera, 2020).

Gallo (2006) afirma que en una situación de estrés calórico los animales bajo sombra continúan rumiando debido a que la misma colabora a regular la temperatura del ambiente y proteger al animal del calentamiento excesivo por insolación directa, y esto no ocurre a pleno sol. En este mismo sentido, Peri et al. (2016) coinciden que una mejora en el confort térmico permite que los animales asignen un mayor porcentaje de tiempo a actividades de pastoreo y rumia, determinando mejoras en la salud y bienestar animal.

Los sistemas silvopastoriles se presentan como una alternativa para brindar a los animales sombra natural y así combatir el estrés calórico (Polla,

2000). La atenuación de la temperatura por la cobertura arbórea de los sistemas silvopastoriles es una fortaleza ya que permite aumentar las horas dedicadas al pastoreo y reducir el gasto energético de mantenimiento (Carranza y Ledesma, 2009).

Por su parte, Pereira (2011) coincide que la falta de sombra en los animales determina un menor consumo de alimentos, disminución de las ganancias diarias y aumento en el consumo de agua. Agrega que los efectos sobre la performance reproductiva se basan en una disminución de la actividad sexual junto con celos más cortos, actividad sexual más concentrada y peor calidad del semen.

En cuanto al estrés térmico invernal, existen temperaturas bajas en invierno consideradas críticas, por debajo de las cuales los animales comienzan a sufrir estrés térmico utilizando energía consumida o movilizándolo reservas para mantener la temperatura corporal. Este efecto se incrementa en la medida que aumenta la velocidad del viento (Simeone, 2013).

Los efectos del frío sobre los animales, en especial en temporales con mucha agua y viento, se pueden resumir en un mayor gasto de energía y en una reducción del consumo, siendo mayores los efectos cuando la disponibilidad forrajera es baja (Pereira, 2011).

Está demostrado mediante evidencias científicas que el aporte permanente de abrigo y sombra en invierno y verano, respectivamente, podría mejorar la performance animal (Simeone, 2013).

A través de una evaluación realizada por Beretta et al. (2013) se confirmó la siguiente hipótesis planteada: “los animales retirados de la pastura a un área restringida con acceso a sombra durante el periodo de mayor radiación solar modifican su comportamiento ingestivo logrando mantener el consumo diario de forraje, y mejorando su performance a través de una reducción del costo energético para mantenimiento”. La mejora en la ganancia de peso del experimento fue del orden de 14% explicada por el efecto combinado de acceso a sombra en momentos donde las condiciones atmosféricas generan estrés térmico en los animales y por un menor gasto de actividad debido a la restricción del pastoreo en las horas de más calor, reduciendo de esta manera la carga calórica metabólica y por ende disminuyendo el gasto energético para mantenimiento.

Herrera (2020) señala lo siguiente: “El estrés calórico presenta una relevancia creciente en la medida que afecta la performance productiva y reproductiva de los animales a nivel predial, así como el bienestar animal, aspecto cada vez más importante para los mercados compradores y una preocupación en aumento para los consumidores”.

Existe un interés creciente del efecto del clima y particularmente de la sombra en la producción animal, esto según Rovira y Velazco (2007), se puede relacionar a los efectos del cambio climático ya que los veranos tienden a ser más calurosos y extensos y al desarrollo de la forestación en los sistemas agropecuarios. Cada vez tiene mayor trascendencia en el negocio ganadero de exportación a mercados de alto valor, los aspectos de bienestar animal. Uno de los principios básicos del bienestar animal es que el mismo esté libre de estrés térmico (Rovira y Velazco, 2007).

El bienestar animal se considera un tema conformado por múltiples factores y se puede definir como el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere (OMSA, s.f.). Según la OMSA (s.f.) las cinco libertades son:

- libres de hambre, sed y desnutrición
- libres de miedos y angustias
- libres de incomodidades físicas y térmicas
- libres de dolor, lesiones y enfermedades
- libres para expresar las pautas propias de comportamiento

## 2.5 HIPÓTESIS BIOLÓGICA

La introducción de niveles crecientes de sombra en un campo natural del noreste durante el período estivo - otoñal reducirá la producción de materia seca, aumentará la relación  $C_3/C_4$  y tendrá efectos en la cobertura del suelo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

##### 3.1.1 Localización del sitio experimental

El presente trabajo se desarrolló en la Estación Experimental Prof. Ing. Agr. Bernardo Rosengurt (E.E.B.R) de la Facultad de Agronomía - Universidad de la República. Dicho establecimiento se encuentra en el km 408 de la ruta nacional N°26, Gral. Leandro Gómez, en el departamento de Cerro Largo (figura No. 1). El potrero donde se realizó el ensayo fue el B 2, correspondiente al padrón 21 (latitud 32° 37' 58" S y longitud 54°44' 40" O).

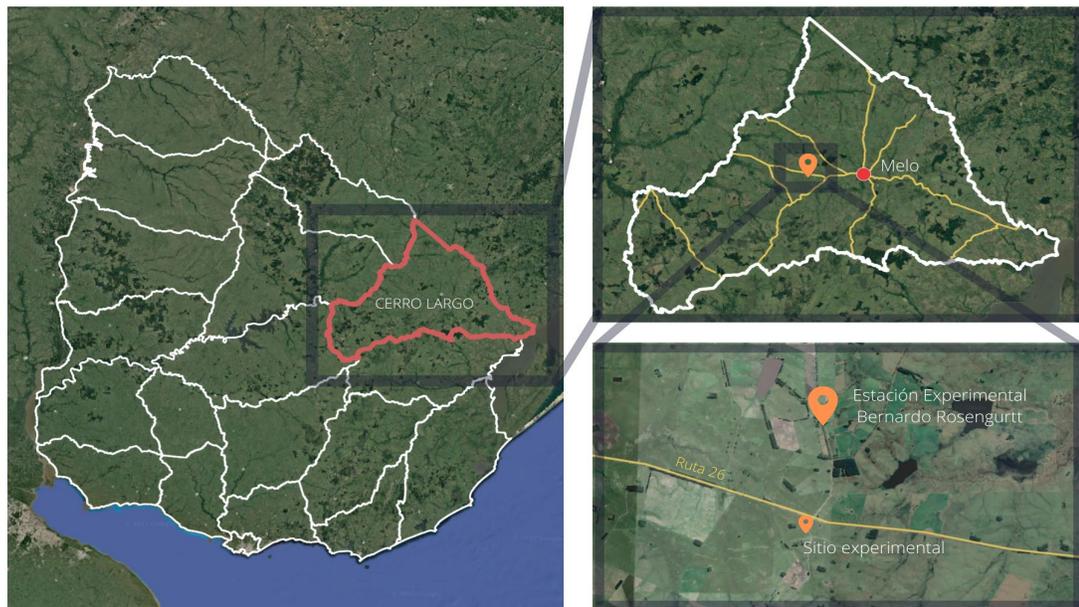


Figura No. 1. Localización del sitio experimental

##### 3.1.2 Período de evaluación

El período experimental transcurrió desde el 23 de noviembre del 2020 hasta el 21 de julio del 2021, evaluando la producción de biomasa forrajera estivo-otoñal a niveles crecientes de sombra artificial sobre vegetación de campo natural.

##### 3.1.3 Descripción del sitio experimental

El área experimental presenta un relieve constituido por colinas sedimentarias no rocosas, según la carta geológica del Uruguay a escala

1:500.000, el sitio experimental se ubicó sobre la formación geológica Yaguarí (MIE. DNMG, 1985). Dicha formación se caracteriza por presentar sedimentos de areniscas de granulometría fina de colores rojizos y representa la mayor superficie de afloramiento dentro del subgrupo Gondwana (Bossi et al., 2011).

Las unidades de suelo correspondientes al sitio experimental son Los Mimbres y Palleros, según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (MAP. DSF, 1976). Los suelos dominantes de la unidad Los Mimbres son Brunosoles Éútricos Lúvicos y Típicos, de textura franca, mientras que los suelos asociados pueden ser Vertisoles Háplicos o Brunosoles Subéútricos Lúvicos. En la unidad Palleros los suelos dominantes son Brunosoles Éútricos Típicos y Vertisoles Háplicos (MAP. DSF, 1976).

Con respecto a la descripción de grupos de suelos CONEAT, el área experimental se encuentra ubicada sobre el grupo 13.32. Este grupo se conforma por dos asociaciones de suelo, la relacionada al área en estudio está formada por sedimentos finos de la formación Yaguarí, la unidad de suelos correspondiente según la carta a escala 1:1.000.000 es Palleros y los suelos dominantes son Brunosoles Éútricos Típicos. Se trata de suelos profundos, negros, arcillosos, bien drenados y con fertilidad muy alta. La vegetación típica de este grupo CONEAT es de pradera invernal, el uso actual es ganadero y el índice de productividad es 149 (MGAP. DGRN, 2020).

#### 3.1.4 Caracterización climática

Según el mapa mundial de clasificación climática de Köppen - Geiger, el clima en Uruguay y la región es de tipo Cfa, se trata de un clima templado cálido (subtropical húmedo) (Kottek et al., 2006).

A nivel país la temperatura media durante el trimestre diciembre, enero y febrero es de  $23,4 \text{ °C} \pm 0,7 \text{ °C}$ , la temperatura máxima media es de  $29,2 \text{ °C} \pm 0,9 \text{ °C}$  y la temperatura mínima media es de  $17,6 \pm 0,7 \text{ °C}$ . En cuanto a la región noreste, donde se ubicó el área experimental, la temperatura media para el trimestre es de  $24,3 \pm 0,8 \text{ °C}$  (INUMET, s.f.b).

Durante marzo, abril y mayo la temperatura media para Uruguay es de  $18,3 \pm 0,6 \text{ °C}$ , la temperatura máxima media es de  $23,4 \pm 0,8 \text{ °C}$  y la temperatura mínima media de  $13,2 \text{ °C} \pm 0,7 \text{ °C}$ . Para la región norte, la temperatura media del período es de  $18,9 \pm 0,6 \text{ °C}$  (INUMET, s.f.a).

Acerca de las precipitaciones a nivel país es muy importante considerar la amplia variabilidad espacial y temporal que presentan las mismas, especialmente en el verano. El valor medio de precipitación acumulada en el trimestre diciembre, enero y febrero, es de  $346 \pm 130 \text{ mm}$ . En la región norte las precipitaciones son mayores que en la región sur, con un valor promedio de 389 mm en el mismo trimestre (INUMET, s.f.b). Mientras que el promedio nacional

de precipitaciones para marzo, abril y mayo es de 365,1 mm, en tanto en la región norte el valor de precipitación promedio es altamente superior siendo igual a 405,3 mm (INUMET, s.f.a).

Sobre las olas de calor INUMET (s.f.b) señala que las mismas se caracterizan por las temperaturas extremas y la persistencia en días de las mismas. En promedio para Uruguay durante diciembre, enero y febrero se registran 12 olas de calor y 3 olas de calor extremo, en cambio en la estación meteorológica de Melo 8 olas de calor y 1 ola de calor extremo durante los mismos meses.

Es importante destacar en otoño las heladas tempranas, la cantidad de días con heladas en el otoño en la estación meteorológica de Melo en un periodo normal (1981 al 2010), es la segunda más alta del país con 35 días, destacándose mayo como el mes con más heladas del período considerado (INUMET, s.f.a).

### 3.1.5 Antecedentes del potrero

El área experimental tenía como objetivo la producción ganadera, específicamente la cría vacuna. El manejo del pastoreo era rotativo durante el invierno, mientras que en la primavera y el verano se realizaba pastoreo continuo, teniendo como objetivo priorizar la selección animal de forraje disponible. No existió ninguna fertilización ni se realizó algún mejoramiento extensivo en el potrero.

A partir de febrero del año 2018, el manejo del área experimental se basó en pastoreos rotativos con ovinos, teniendo como referencia para el ingreso de los animales la altura del forraje disponible (15 – 18 cm). Los períodos de pastoreo consistieron en una semana de ocupación y entre 45 – 55 días de descanso entre pastoreos. Este manejo ocurrió hasta marzo del año 2019, fecha en la cual comenzó el experimento luego de la instalación de las mallas agrícolas.

En el cuadro No. 3 se presenta la producción de forraje según estación, su distribución estacional y la tasa de crecimiento diaria, previo a la instalación del ensayo.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Silveira et al. 2022. Com. personal.

Cuadro No. 3. Producción total (Kg. M.S. ha<sup>-1</sup>), distribución estacional (%) y tasa de crecimiento diario (kg.M.S.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>) de campo natural sobre Yaguarí.

	Otoño 2018	Invierno 2018	Primavera 2018	Verano 2019	Total
Producción (kg.ha <sup>-1</sup> )	1575	685	2325	1694	6278
Distribución estacional (%)	25	11	37	27	100
TCd (kg/ha/d)	17,1	7,4	25,5	18,8	-

Ref. : Tasa de crecimiento diaria (TCd).

### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El trabajo consistió en la evaluación de cuatro niveles de intercepción de la radiación solar y un testigo a pleno sol con un régimen de pastoreo con ovinos y homogenización por cortes sobre la productividad estivo otoñal del campo natural. De esta manera quedaron delimitados cuatro tratamientos referidos al nivel de intercepción de la radiación, estos fueron: 35%, 50%, 65% y 80% de intercepción de la radiación y un tratamiento testigo sin ninguna interferencia en la radiación solar también denominado campo natural a pleno sol (anexo No. 1).

Se trataba de sombra artificial generada a partir de malla sombra dispuesta en orientación Norte – Sur. Debido a que el terreno en el cual se encontraba el ensayo tiene pendiente, el material experimental se consideró heterogéneo, por lo tanto, el diseño experimental propuesto fue en bloques completos al azar (DBCA), con cuatro repeticiones. De esta forma cada repetición es un bloque en función de la posición topográfica. Los cinco tratamientos se encontraban distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque. Por lo cual, se formaron veinte unidades experimentales, correspondientes cada una a una parcela. La superficie de cada parcela era de 32 m<sup>2</sup> (10 m de largo y 3,2 m de ancho), correspondiendo al área mínima fitosociológica (Cadenazzi, 1992). La superficie total del ensayo fue de 640 m<sup>2</sup>. A continuación se presenta un croquis de la distribución de las unidades experimentales (figura No. 2) y una imagen del ensayo (figura No. 3).

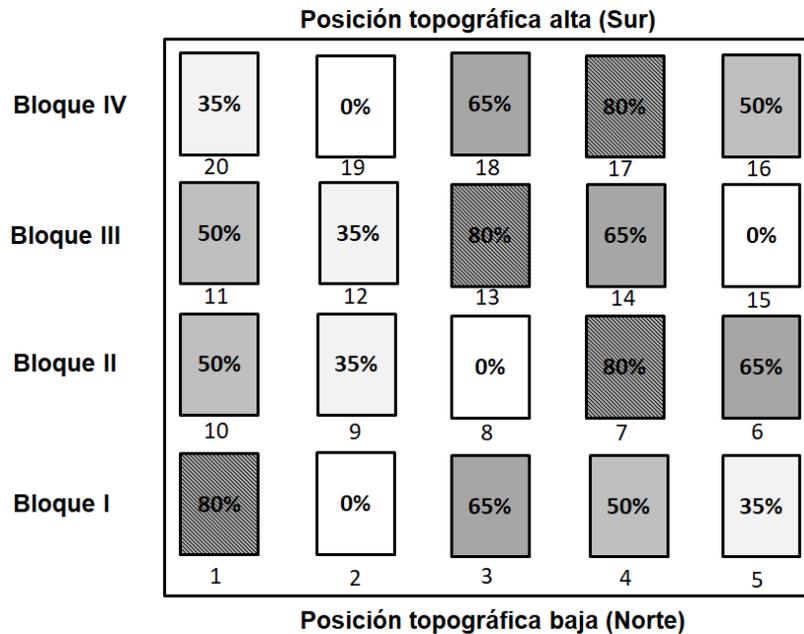


Figura No. 2. Croquis de la distribución de las unidades experimentales.



Figura No. 3. Imagen del ensayo.

Los tratamientos consistieron, como fuera mencionado en párrafos anteriores, en un testigo campo natural a pleno sol (0%), 35, 50, 65 y 80% de intercepción de la radiación solar, mediante malla sombra. Estas mallas presentan un conjunto de monofilamentos de polietileno de alta densidad (PEAD), que están protegidos por pigmentos los cuales absorben o reflejan la luz con aditivos UV. Estos monofilamentos se encuentran en porcentajes que determinan el grado de sombra que generan o desde otro punto de vista el paso de luz que permiten hacia las plantas.

### 3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 3.3.1 Manejo del pastoreo



Figura No. 4. El manejo del área experimental se realizó a través del pastoreo con ovinos y mediante simulación de este a través de cortes. El primer pastoreo dentro del período experimental ocurrió desde el 23 de noviembre al 1ero de diciembre del 2020 y se realizó con ovinos y posteriormente se homogenizó con corte por maquina segadora autopropulsada, dejando una altura remanente de 6 cm. Los siguientes tres muestreos se realizaron sin pastoreo a través de cortes los cuales ocurrieron el 9 de febrero, 19 de abril y 19 de julio del 2021 (figura No. 4). En los tres cortes se utilizó la segadora autopropulsada marca Honda (5,5 Hp Engine, 21" Cut, MTD LLC P.O. 361131, Cleveland, Ohio 41136, EE. UU.) buscando obtener un remanente lo más homogéneo posible. Forraje remanente.

#### 3.3.2 Sensores de temperatura y humedad relativa

El sitio experimental contaba con sensores Onset ® (Hobo Data Loggers, Hobo Pro V2 6 Ext T/RH) que relevan la temperatura y humedad relativa cada 15 minutos (anexo No. 2). En cada parcela del bloque II se encontraba un sensor, a su vez había un sexto sensor dispuesto en la parcela número 13, perteneciente al tratamiento con 80% de intercepción dentro del bloque III, siendo la única repetición fuera del bloque II. Las variables para analizar fueron: temperatura promedio diaria, temperatura mínima diaria, temperatura máxima diaria, humedad relativa promedio diaria, humedad relativa

mínima diaria y humedad relativa máxima diaria desde el período primaveral anterior al inicio del período experimental hasta el fin de este. Es necesario aclarar que se consideran los datos de la estación anterior con el fin de poder visualizar la ocurrencia de algún acontecimiento que pueda interferir en el período experimental y ayude a explicar los resultados obtenidos.

### 3.3.3 Medición de radiación fotosintéticamente activa

Las determinaciones de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) se realizaron previo y posteriormente a los pastoreos o cortes en los cuatro bloques y a través de los cinco tratamientos del diseño experimental. Se utilizó un ceptómetro de barras integradoras del flujo de fotones, acoplado a un sensor fijo, ambos de la marca Decagon (AccuPAR® modelo LP 80, Decagon Devices, Inc. Pullman, Washington 99163, USA).

Para poder realizar las mediciones de RFA era condición necesaria que el cielo estuviese despejado, con ausencia de nubosidad. El momento del día para realizar esta actividad correctamente era entre las 10:00 a.m y las 14:00 p.m, sin embargo, en general se midió entre las 11:00 a.m y las 12:30 p.m.

En primer lugar, era necesario calibrar el ceptómetro al momento de llegar al sitio experimental. Se comenzaba a medir la RFA en el tratamiento testigo del bloque I, se realizaban dos lecturas de la RFA a 1,10 m sobre la superficie del suelo y diez lecturas al ras del suelo por debajo del dosel de la pastura<sup>2</sup>. La diferencia se producía en los tratamientos con mallas donde se realizaban primero diez lecturas por debajo del dosel de la pastura, y posteriormente cinco lecturas a una altura de 1,10 m sobre la superficie del suelo (por debajo de las mallas sombra). De la misma forma se completaba el procedimiento en el resto de las parcelas del experimento.

Los datos de RFA obtenidos en el pastoreo de febrero se consideraron representantes de los datos de la estación estival y los del pastoreo de abril los correspondientes a la estación otoñal. Con estos datos, se estimó la radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAa) la cual se define como la diferencia entre la radiación fotosintéticamente activa a pleno sol (RFA PS) y la radiación fotosintéticamente activa transmitida (RFA<sub>t</sub>) bajo el dosel de la pastura (RFA BDP) en el caso del tratamiento testigo y como la diferencia entre la radiación fotosintéticamente activa bajo la malla sombra (RFA BMS) y la RFA BDP en los tratamientos con intercepción de la radiación. A su vez, mediante una adaptación de lo expresado por Comeau (2000) y Barro (2011) se pudo calcular la proporción de la radiación incidente que es absorbida por la pastura y se denominó como eficiencia de uso de la radiación en porcentaje (% EUR).

---

<sup>2</sup> Silveira, D. 2021. Com. personal.

Para el tratamiento testigo:

$$\% \text{ EUR} = \left[ \frac{(\text{RFA PS} - \text{RFA BDP})}{\text{RFA PS}} \right] * 100$$

Para los tratamientos con interceptación de radiación:

$$\% \text{ EUR} = \left[ \frac{(\text{RFA BMS} - \text{RFA BDP})}{\text{RFA BMS}} \right] * 100$$

### 3.3.4 Determinaciones de materia seca presente

Las determinaciones de materia seca presente se realizaron en los cuatro bloques y en los cinco tratamientos del diseño experimental. Las mismas fueron llevadas a cabo cada vez que la pastura presentó las condiciones óptimas para su pastoreo, lo cual se determinaba a través de la condición de la pastura del campo natural a pleno sol, siendo la altura de entrada entre 12 a 18 cm según la estación del año.

#### 3.3.4.1 Altura disponible

Según el método descrito por King et al. (1986), se procedió a realizar 30 lecturas de altura utilizando una regla milimetrada (figura No. 5). El procedimiento realizado para tomar las 30 lecturas consistió en recorrer toda la parcela en zig zag con el objetivo de que las lecturas fueran representativas de toda la superficie de la parcela. Para determinar la altura disponible (AltD) se consideró la altura y la densidad de la pastura mediante el método de estimación por obstrucción visual (VOR) que es una estimación de densidad y altura combinada (Uresk y Mergen, 2012).



Figura No. 5. Medición de altura disponible con regla.

#### 3.3.4.2 Materia seca disponible

La determinación de la acumulación de materia seca se realizó según Campbell (1966) partiendo de la materia seca presente antes y posterior al pastoreo, determinadas por 30 registros de la altura de la pastura (King et al., 1986) por parcela. Adicionalmente se cortaron tres cuadros de 0,5 x 0,2 m al ras del suelo por parcela, a los cuales se les determinó la altura promedio (5 lecturas por cuadro), y se ajustó una función de regresión relacionando la altura de la pastura y los kg de MS. ha<sup>-1</sup> (King et al., 1986). Los marcos de hierro se dispusieron en sectores representativos de cada parcela. Se seleccionó una zona con mayor disponibilidad, otro con una cantidad media de forraje y el tercero en una zona con menor forraje disponible.

Luego se realizó la determinación de cobertura de suelo y la composición botánica (Brown, 1954). Posteriormente se cortó el forraje presente dentro de dichos marcos al ras del suelo (por encima de la altura del mantillo) utilizando una tijera de aro (figura No. 6).



Figura No. 6. Corte de materia seca disponible con tijera de aro.

El forraje cortado fue embolsado, etiquetado y se le extrajo el aire. El mismo fue llevado al laboratorio donde se le realizó la determinación del peso en fresco. Luego se dispuso la muestra del forraje en una estufa de circulación forzada de aire a 60°C por 48 horas, determinándose de esta manera su peso seco (anexo No. 3).

#### 3.3.4.3 Altura y materia seca remanentes

Los criterios y procedimientos para determinar la altura remanente (AltR) y la MS remanente (MSR) fueron los mismos que los mencionados para la MS disponible (MSD).

Luego de realizar las mediciones de altura de la pastura, hacer los cortes de forraje a nivel del suelo, pesar las muestras en fresco y secarlas para obtener los pesos secos, se pueden ajustar modelos de regresión lineal simple entre altura de la pastura y masa de forraje seco (King et al., 1986). Como fuera mencionado con este fundamento se ajustaron modelos de regresión lineal simple relacionando la altura de la pastura con su materia seca para definir tanto el disponible como el remanente en kg de MS.ha<sup>-1</sup>.

#### 3.3.4.4 Crecimiento y tasa de crecimiento diaria

El crecimiento de la pastura queda definido por la diferencia entre MSD y MSR del pastoreo anterior (Campbell, 1966). La relación entre el crecimiento de la pastura y el número de días comprendido entre dos pastoreos sucesivos determina la tasa de crecimiento diaria (TCd) de la pastura.

#### 3.3.4.5 MS desaparecida y porcentaje de cosecha

Para determinar la materia seca desaparecida (MSDes) se calculó la diferencia entre la MSD y MSR de un mismo pastoreo. Utilizando la MSDes se estimó el porcentaje de desaparecido o porcentaje de cosecha (%C), al dividir la MSDes sobre la MSD y multiplicando por 100.

#### 3.3.5 Determinaciones en cobertura del suelo

Previo a la realización del corte de forraje presente en los marcos, anteriormente explicada, se procedió a describir la cobertura del suelo tanto para la materia seca disponible como para la remanente. Los componentes utilizados para la estimación visual de la cobertura del suelo en porcentaje fueron: cobertura verde (Cob V), restos secos (RS), heces más mantillo (H + M) y suelo descubierto (SD) (Silveira et al., 2018).

#### 3.3.6 Determinaciones en composición botánica

Se determinó la composición botánica de la pastura en la materia seca disponible determinando la cobertura (Brown, 1954) de los siguientes grupos funcionales de plantas: gramíneas perennes invernales (GPI), gramíneas perennes estivales (GPE), gramíneas anuales invernales (GAI), leguminosas (LEG), monocotiledóneas no gramíneas (Cyp + Lil + Jun), malezas de campo sucio (MCS) y hierbas menores (HM).

### 3.4 HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Hipótesis nula ( $H_0$ ):  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5$

Hipótesis alterna ( $H_a$ ): Existe al menos una diferencia en el efecto de los tratamientos

$\tau_i$  es el efecto relativo del  $i$ -ésimo tratamiento

### 3.5 MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico correspondiente al diseño en bloques completos al azar es el siguiente:  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$

Donde:

- $Y_{ij}$  es la variable aleatoria observable
- $\mu$  es el parámetro media general
- $\tau_i$  es el efecto relativo del  $i$ -ésimo tratamiento ( $i = 0\%, 35\%, 50\%, 65\%$  y  $80\%$ ).
- $\beta_j$  es el efecto relativo del  $j$ -ésimo bloque ( $j = 1, 2, 3$  y  $4$ ).
- $\varepsilon_{ij}$  es la variable aleatoria no observable

Se consideran los siguientes supuestos acerca del modelo estadístico:

- Es correcto
- Es aditivo
- $\varepsilon_{ij}$  son variables aleatorias independientes
- $\varepsilon_{ij} \sim N(0; \sigma^2_\varepsilon) \quad \forall i, j$
- No hay interacción Bloque x Tratamiento

### 3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 3.6.1 Tipo de análisis

Para elaborar el análisis de crecimiento de forraje, TCd así como la AltD, MSD, AltR, MSR, MSDes y %C se procedió a realizar un análisis de varianza (ANAVA) entre tratamientos para cada variable mencionada en cada muestreo. A su vez, se realizó un ANAVA comparando la producción de forraje y la TCd para la estación estival, otoñal y para todo el período experimental. En los casos que se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos se procedió a comparar los mismos mediante la prueba de comparación múltiple denominada LSD de Fisher, con un nivel de significancia igual a 5%.

##### 3.6.1.1 Análisis de cobertura del suelo

Se realizó un ANAVA buscando diferencias entre los tratamientos en cuanto a la Cob V, RS y H + M para cada pastoreo, tanto en el forraje

disponible como en el remanente. Se decidió no incorporar en el análisis las determinaciones de SD debido a que en ciertas ocasiones dicho componente presentaba una media igual a cero en todos los tratamientos y en otras situaciones el valor de coeficiente de variación (CV) era muy elevado, significando que la media puede no ser representativa del conjunto de datos.

#### 3.6.1.2 Análisis de composición botánica

Se procedió a analizar la composición botánica de la MSD mediante un ANAVA de los siguientes grupos funcionales: GPI, GPE, GAI, Cyp + Lil + Jun y HM para cada fecha de muestreo. Tanto el componente LEG, como MCS, presentaban una media para todos los tratamientos muy cercana a cero o igual a cero, y/o valores de CV muy elevados, por lo tanto, no se incorporaron en el análisis.

#### 3.6.2 Paquete estadístico

Para el análisis se utilizó el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2013).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

#### 4.1.1 Temperatura

Utilizando los registros de temperatura media, media máxima y media mínima mensual para el período setiembre 2020 hasta julio 2021, junto con los datos de temperatura media mensual de la serie histórica 1981 – 2010 <sup>3</sup> todos pertenecientes a la estación meteorológica de Melo, se elaboró la figura No. 7.

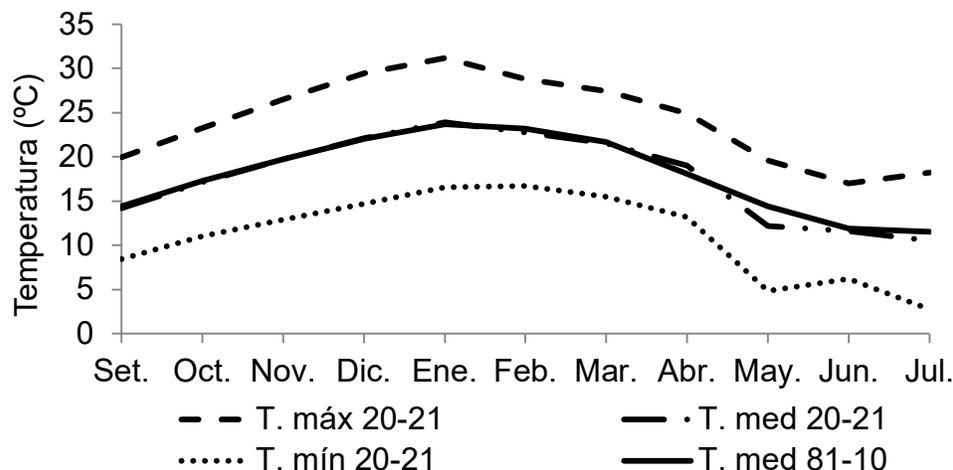


Figura No. 7. Evolución de la temperatura media, media máxima y media mínima mensual entre setiembre 2020 y julio 2021 y la media para los mismos meses en el período 1981-2010.

Se observó que la evolución de la temperatura media mensual de la serie histórica y la del período de evaluación fue muy similar desde setiembre 2020 hasta marzo 2021. Sin embargo, en el mes de abril la temperatura media fue 0,9°C superior a la media histórica mientras que en los meses de mayo y julio las diferencias fueron de 2,2°C y 1°C respectivamente por debajo de la serie histórica.

Cabe destacar que durante el mes de mayo particularmente la temperatura mínima presentó un notorio descenso que también se manifestó en la temperatura media y máxima del mes (anexo No. 4).

<sup>3</sup> INUMET. 2022. Com. personal.

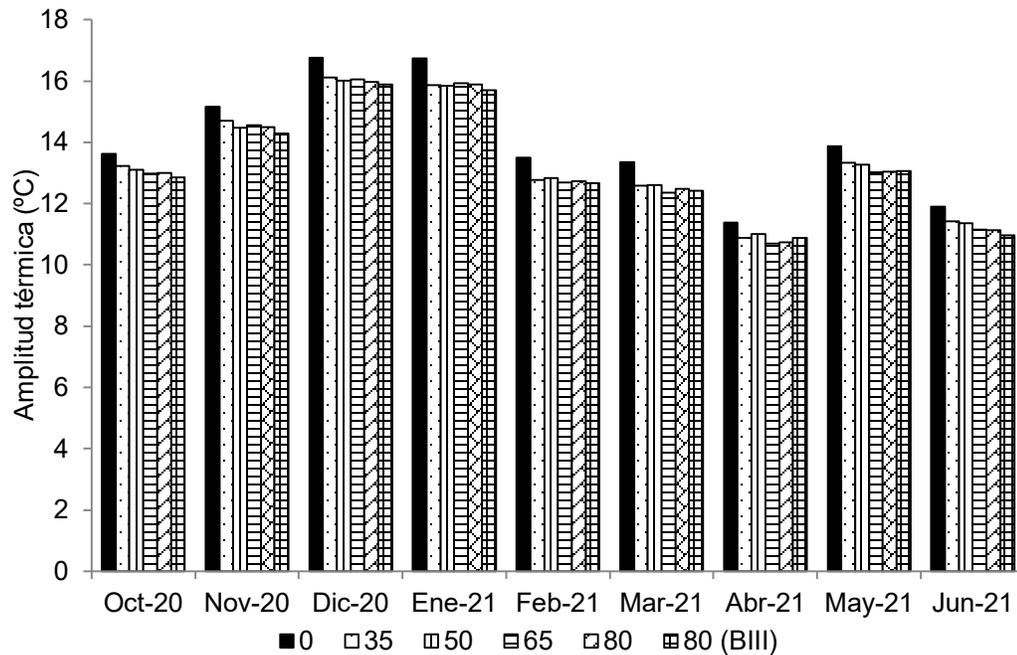


Figura No. 8. Amplitud térmica desde octubre 2020 hasta junio 2021 para todas las parcelas del bloque II y para la parcela de 80% del bloque III.

Para el cálculo de la amplitud térmica se utilizaron los registros de temperatura media máxima y media mínima de cada mes para cada parcela (anexo No. 5 y 6).

La temperatura media máxima fue durante todo el período superior en campo natural a pleno sol, mientras que la media mínima fue siempre inferior en el mismo tratamiento. Esto provocó que la amplitud térmica (figura No. 8) sea siempre mayor para el caso de campo natural a pleno sol.

Por otra parte, la amplitud térmica fue menor durante la mayoría del período evaluado en el tratamiento de 80% de intercepción. Esto se explica principalmente porque las parcelas de ese tratamiento presentaron temperaturas medias mínimas mayores (anexo No. 6).

Esto coincide con lo sugerido por varios autores que expresan que la amplitud térmica bajo los árboles es menor respecto a áreas sin árboles (Wong y Wilson, 1980, Carranza y Ledesma, 2009, Fedrigo et al., 2017, Munka, 2017).

#### 4.1.2 Precipitaciones

A partir de las precipitaciones mensuales registradas en la estación meteorológica de Melo desde setiembre 2020 a julio 2021 <sup>4</sup> y el promedio de

<sup>4</sup> INUMET. 2022. Com. personal.

precipitaciones mensuales de la serie histórica presente en la sección “climatología 1961 – 1990” para la estación meteorológica de Melo (INUMET, s.f.c), se presenta la figura No. 9.

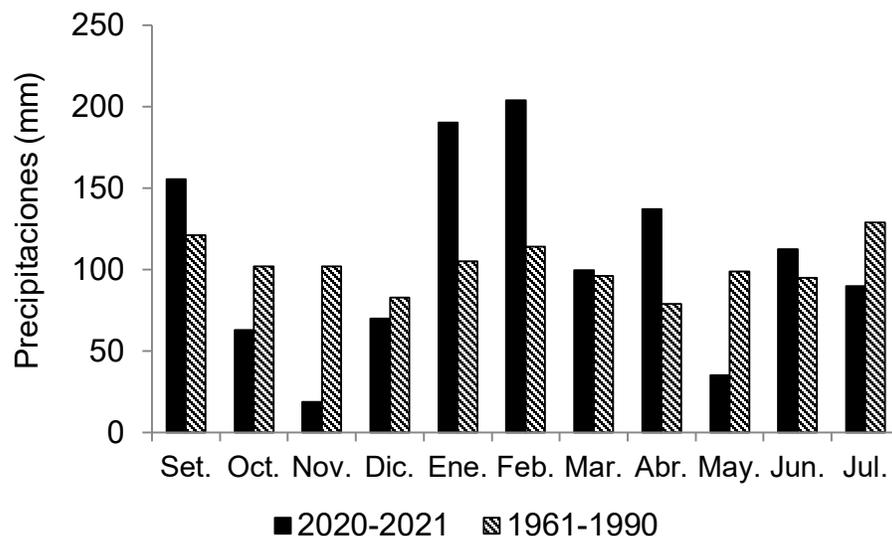


Figura No. 9. Precipitaciones mensuales del período de evaluación y del promedio histórico 1961 - 1990.

Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2020 las precipitaciones fueron 38%, 81% y 16% menores respectivamente que el promedio histórico. Sin embargo, durante los meses de enero, febrero y abril del 2021 las precipitaciones fueron 81%, 79% y 74% superiores a las del promedio histórico. Mientras que en el mes de mayo se registraron precipitaciones medias menores al promedio histórico en un 64%.

#### 4.1.3 Balance hídrico

Con el fin de conocer los períodos de excesos y déficit hídricos se elaboró un balance hídrico meteorológico utilizando la metodología de Thornthwaite y Mather (1955). Se utilizaron los datos de precipitación y evapotranspiración potencial obtenidos para la estación meteorológica de Melo<sup>5</sup>. Cabe destacar que el agua potencialmente disponible neta (APDN) para los suelos de grupo CONEAT 13.32 es de 154 mm (Molfino, 2009). Como no se contaba con el dato de almacenaje inicial, se elaboraron dos balances en simultáneo, uno partiendo de almacenaje inicial máximo (igual a la capacidad de almacenaje de agua disponible) y otro del mínimo (igual a 0). En el mes de setiembre del 2020 los almacenajes de ambos balances coincidieron, el balance se hizo independiente del almacenaje y comenzó el balance real (anexo No. 7).

<sup>5</sup> INUMET. 2022. Com. personal.

Desde octubre 2020 hasta enero 2021 se registró un déficit hídrico del orden de 381,4 mm. Esto se explica por las bajas precipitaciones ocurridas en los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2020, las cuales estuvieron por debajo del promedio histórico 1961 - 1990. En el mes de enero las precipitaciones fueron superiores a la serie histórica, sin embargo, al ser la evapotranspiración potencial elevada, las deficiencias de este mes fueron menores, pero siguieron existiendo.

En la figura No. 10 se presenta la evolución del almacenaje de agua en el suelo (Alm.) y la evolución de la evapotranspiración real (ETR) para el período considerado. Se señala como punto de referencia el 40% del APDN ya que se considera que por debajo de este valor se dificulta la absorción de agua para las plantas (García Petillo, citado por Duhalde y Silveira, 2018).

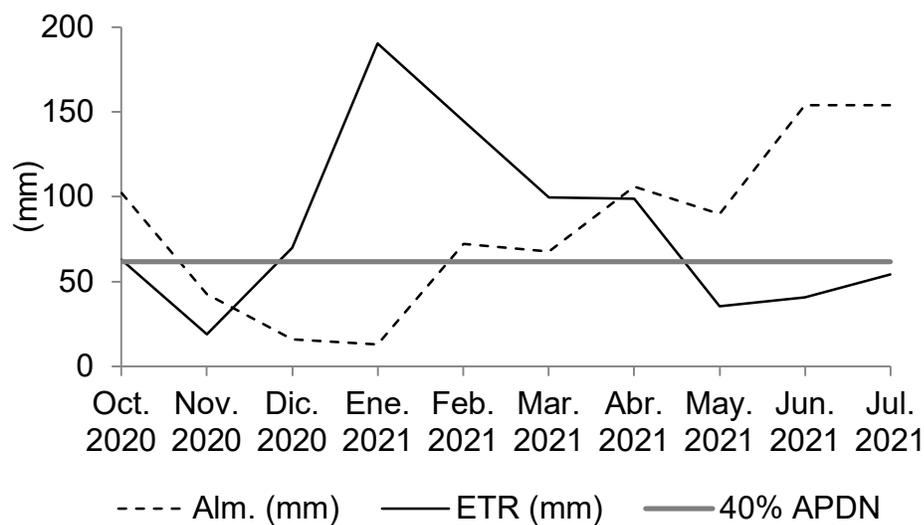


Figura No. 10. Evolución del almacenaje de agua en el suelo (Alm.), la evapotranspiración real (ETR) con respecto al 40% del agua potencialmente disponible neta (40% APDN).

Debido a que el Alm. en el mes de setiembre estaba colmado, las deficiencias durante la primera quincena de octubre no representaron un problema en la absorción de agua para las plantas. Sin embargo, a partir de mediados de octubre y hasta febrero el Alm. estuvo por debajo del 40% del APDN, lo que dificulta la absorción de agua para las plantas. Desde febrero en adelante, el Alm. fue en aumento manteniéndose por encima del 40% del APDN (figura No. 10).

La variación de almacenaje desde octubre 2020 hasta mayo 2021 es de signo negativo, esto indica que durante todo este período hubo utilización de agua del suelo para el proceso de evapotranspiración (anexo No. 7).

## 4.2 RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA

Con los datos obtenidos de las mediciones de radiación fotosintéticamente activa (RFA) se presentan a continuación las figuras No. 11 y No. 12 que resumen la radiación fotosintéticamente activa a pleno sol (RFA PS), la evolución de la radiación fotosintéticamente activa bajo malla sombra (RFA BMS) y la evolución de la radiación fotosintéticamente activa bajo el dosel de la pastura (RFA BDP), para la estación estival como para la otoñal respectivamente. Para presentar los datos se seleccionó como ejemplo las mediciones realizadas en el bloque II. Las efectuadas en los restantes bloques se presentan en anexos (anexos No. 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

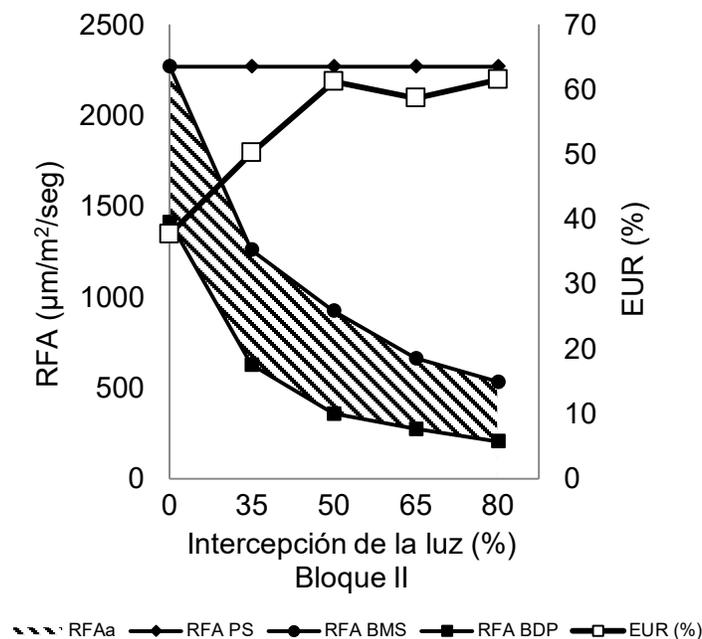


Figura No. 11. RFA ( $\mu\text{m}./\text{m}^2/\text{seg}$ ) y EUR (%) según tratamiento dentro del bloque II para la estación estival.

Como se puede observar en la figura No. 11 en la medida que aumenta el porcentaje de intercepción las unidades de radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAa) disminuyen como es de esperar. Sin embargo, el porcentaje de RFAa presenta una tendencia en aumento. Esto significa que cuando aumenta la intercepción de la luz la RFAa en relación con la radiación que tienen disponible es mayor. Esto se puede explicar por lo planteado por múltiples autores que afirman que las plantas tienen la capacidad de adaptarse a la condición de luz a la cual están expuestas, de esta forma las plantas en condiciones de sombra presentan mayor altura, las hojas son más grandes y delgadas por una menor capa de células en empalizada y la distribución de

hojas en el perfil de la pastura se modifica, orientando las hojas de forma más horizontal (Wilson y Ludlow, 1991, Azcón-Bieto et al., 2008). A su vez, las plantas desarrolladas bajo sombra presentan mayor número de pigmentos en las antenas de los fotosistemas con el objetivo de hacer un uso más eficiente de la escasa radiación luminosa (Azcón-Bieto et al., 2008). También cambia la partición de carbohidratos, siendo mayor en las hojas que en las raíces y de esta forma priorizan la parte aérea en busca de la luz en detrimento de la radicular (Azcón-Bieto et al., 2008, Silveira et al., 2016). Mediante estas adaptaciones, las plantas aumentan la EUR en condiciones de menor disponibilidad de la luz (Gil et al., 2005).

En la estación estival los rayos solares inciden de forma más vertical sobre la superficie terrestre y la capacidad de recibir radiación solar directa aumenta. Mientras que en el invierno los rayos solares inciden con el menor ángulo respecto a la Tierra y el horario de insolación es menor<sup>6</sup>. Rojas (2015) coincide en la marcada diferencia estacional de la radiación incidente sobre la superficie terrestre, ocurriendo los valores más altos en el verano y en invierno se dan los mínimos y estos son más variables. Según Peri et al. (2007) la radiación incidente durante el verano es 6 veces mayor que en el invierno y el doble que en la primavera. Por todo lo anterior, para cualquiera de las variantes de RFA, se esperan menores valores para todos los tratamientos en la estación otoñal respecto a los presentados para la estación estival, esto se puede observar en la figura No. 12.

---

<sup>6</sup> Silveira, D. 2020. Com. personal.

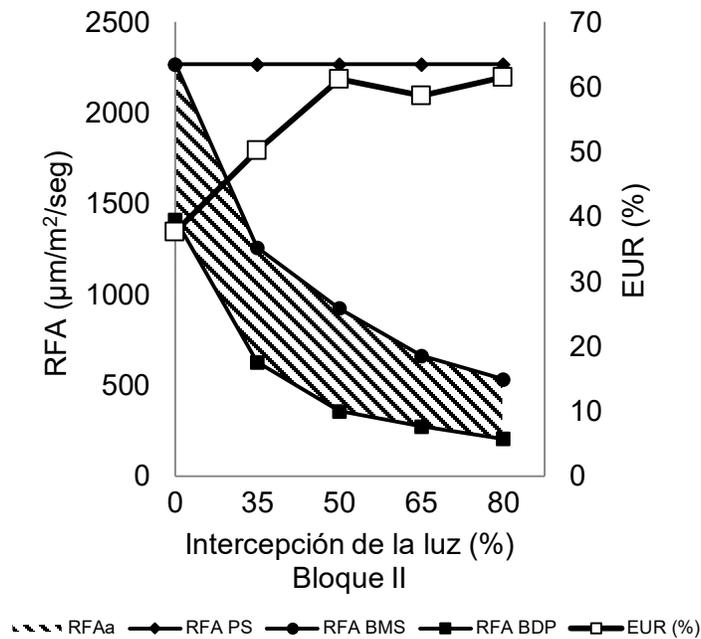


Figura No. 12. RFA ( $\mu\text{m}/\text{m}^2/\text{seg}$ ) y EUR (%) según tratamiento dentro del bloque II para la estación otoñal.

Nuevamente se puede evidenciar como en la medida que aumenta el porcentaje de intercepción de la radiación, disminuye la RFAa en  $\mu\text{m}/\text{m}^2/\text{seg}$  pero aumenta el porcentaje de EUR (figura No. 12).

Los resultados obtenidos, en ambos momentos de medición, coinciden con lo reportado por Barro (2011) acerca de la mayor EUR en la medida que el nivel de sombra aumenta.

#### 4.3 DETERMINACIONES EN EL FORRAJE

##### 4.3.1 Primer muestreo

El primer análisis se basó en el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) desde el 16 de setiembre hasta el 23 de noviembre del 2020, fecha en la cual se realizó el primer pastoreo correspondiente a este trabajo experimental. Por lo tanto, se considera que dicho crecimiento durante estos 68 días ocurrió dentro del período primaveral. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para el crecimiento de forraje, así como para la TCd (cuadro No. 4).

Cuadro No. 4. Efecto de los porcentajes de intercepción de la luz sobre el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) para el primer muestreo.

Trat.	Crecimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCd (kg.ha <sup>-1</sup> .día <sup>-1</sup> )
80	4852 A	71,4 A
65	4498 A	66,2 A
50	4202 AB	61,8 AB
35	3684 B	54,2 B
0	2090 C	30,7 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

A medida que el porcentaje de intercepción aumentó, existió un significativo incremento en el crecimiento de forraje y en las TCd. El tratamiento con 50% de intercepción presentó el doble en crecimiento, así como también en la TCd en comparación con el testigo, mientras que el tratamiento de 80% de intercepción obtuvo valores 132% superiores al campo natural a pleno sol.

El ranking de medias propuesto por la prueba de comparación múltiple LSD de Fisher con un nivel de significancia igual a 5%, no difiere para ambas variables evaluadas. Por otro lado, los tratamientos con 50% de intercepción en adelante no presentaron diferencias significativas entre sí, mientras que el mismo tratamiento tampoco presentó diferencias al compararlo con el de 35%. El campo natural a pleno sol fue diferente estadísticamente a la totalidad de tratamientos para crecimiento y TCd en el primer pastoreo.

Como se pudo observar en la figura No. 10 durante parte de este período de crecimiento el almacenaje de agua estuvo por debajo del 40% del APDN, por lo tanto, se puede suponer una dificultad en la absorción de agua por parte de las plantas. El crecimiento de forraje durante la primavera quedó enmarcado en un período de déficit hídrico.

Boggiano y Zanoniani (2014) señalan que en la primavera se dan los mayores picos de producción de forraje debido a múltiples factores entre ellos la mayor radiación incidente y la estructura más erecta de la pastura por alargamiento de entrenudos, permitiendo mayor intercepción de luz lo que provoca una mayor tasa fotosintética por unidad de superficie. A su vez, la distribución estacional de la producción de forraje en los campos naturales de los suelos más pesados en los brunosoles del Noreste es primavero otoñal (Boggiano, 2003).

Por otro lado, el microclima bajo sombra es más húmedo, existe mayor humedad relativa y la amplitud térmica es menor según Munka (2017). Además, Wong y Wilson (1980) expresan que los potenciales hídricos de las hojas de plantas bajo sombra son mayores que en hojas de plantas a pleno sol. A su

vez, la sombra en los sistemas agroforestales es capaz de reducir la demanda de evaporación del suelo, reducir la temperatura foliar en las gramíneas, esto ocasiona una menor transpiración de las pasturas, por lo tanto, las mismas quedan más protegidas ante una vulnerabilidad en los recursos hídricos y aumentan la eficiencia en el uso del agua (Gil et al., 2005, Lin, 2010).

En consideración de lo anterior, se podría explicar que los tratamientos con intercepción de radiación consiguieron aprovechar las adecuadas condiciones de crecimiento que se dan en primavera y el déficit hídrico se vio atenuado por las condiciones de sombra que redujeron la demanda por parte de las plantas, resultando en un mayor crecimiento en dichos tratamientos.

Los resultados obtenidos son coincidentes con Barro (2011) acerca de los efectos benéficos del sombreado sobre la producción de forraje cuando se trata de ambientes con limitantes en la disponibilidad de agua, sin embargo, la autora plantea que se debe tratar de una sombra moderada con 40-50% de luz solar.

En el cuadro No. 5 se presentan los resultados de las variables analizadas pertenecientes al primer pastoreo del período experimental. Para todas estas variables se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Cuadro No. 5. Efecto de los distintos tratamientos sobre la altura del disponible (AltD), materia seca disponible (MSD), altura del remanente (AltR), materia seca remanente (MSR), materia seca desaparecida (MSDes) y porcentaje de cosecha (%C) para el primer muestreo.

Trat.	AltD (cm)	MSD (kg.ha <sup>-1</sup> )	AltR (cm)	MSR (kg.ha <sup>-1</sup> )	MSDes (kg.ha <sup>-1</sup> )	C (%)
80	28,4 A	6506 A	7,2 B	1366 B	5140 A	78 A
65	26,5 AB	6092 AB	7,6 A	1442 A	4650 AB	75 AB
50	24,3 BC	5612 BC	7,3 AB	1394 AB	4218 BC	75 AB
35	21,7 C	5104 C	6,8 C	1306 C	3798 C	74 B
0	12,6 D	3112 D	6,0 D	1148 D	1964 D	63 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

En el tratamiento campo natural se registraron los menores valores para todas las variables en estudio.

La AltD es más del doble en el tratamiento 80% respecto a la del tratamiento testigo y esto se puede relacionar con que la MSD sea también más del doble. De esta forma, el ranking de medias es el mismo para AltD que para MSD. Las diferencias mínimas significativas (DMS) son de 3,11 cm para AltD y de 829 kg/ha para MSD.

Los resultados obtenidos coinciden con varios autores que señalan que la altura de las plantas va en aumento en la medida que la irradiancia es menor (Arboleda, 2011). El incremento en altura que experimentan las plantas bajo sombra es una respuesta morfogenética que corresponde a un mayor alargamiento celular que ocurre como consecuencia de una escasa luminosidad lo que constituye un mecanismo importante de adaptación (Rego y Possamai, 2006). Esto también se puede explicar por lo que expresó Wilson (1996) acerca de que la mayor retención de humedad en el suelo puede aumentar el crecimiento de las gramíneas gracias a un menor déficit hídrico.

Se puede observar como las variables AltR y MSR presentan el mismo ranking de medias. Sin embargo, las DMS son menores que en las variables medidas sobre el disponible, para AltR es 0,26 cm y para MSR la DMS es igual a 50 kg/ha.

El bajo valor de MSR en el tratamiento testigo podría estar vinculado a que es el tratamiento que tiene el menor valor de MSD. Sin embargo, el tratamiento de 80% de intercepción de la radiación presentó menor MSR que el tratamiento de 65% e igual que el de 50% de intercepción. Esto podría deberse a que al aumentar la intercepción de la radiación, puede haber sustitución de especies estoloníferas por cespitosas o las estoloníferas levantar los puntos de crecimiento terminales, haciéndose más erectos los estolones como en el caso de *Axonopus affinis*, o estirando las vainas y láminas tornándose las macollas más erectas, como en *Paspalum notatum*, en busca de una mejor competencia por la luz<sup>7</sup>. Al disponer el área fotosintética en diferentes alturas en el perfil vertical de la pastura se maximiza la captura de radiación (Taiz y Zeiger, 2006). Una segunda razón podría ser que en condiciones de sombra se reduce la población de macollos (Colabelli et al., 1998, Paciullo et al., 2012). Por lo tanto, en el tratamiento con máxima sombra la presencia de unidades de producción de forraje (macollos) puede ser menor. Por estos motivos, ante una misma altura de corte, la MSR presente en el tratamiento de 80% es menor que en el tratamiento con 65%.

La MSDes se explica tanto por la MSD como por la MSR. En este caso para ambas variables se registraron diferencias significativas. Sin embargo, el ranking de medias para MSDes es el mismo que para MSD y esto se podría deber a que la DMS para MSD fue mayor que para MSR, explicándose la MSDes en mayor medida por la MSD.

El porcentaje de C al obtenerse a partir de la MSDes y MSD, sigue la misma tendencia de mayores valores con mayor intercepción de la radiación, presentando un ranking de medias similar.

---

<sup>7</sup> Boggiano, P. 2022. Com. personal.

#### 4.3.2 Segundo muestreo

El crecimiento presentado en el cuadro No. 6 se encuentra comprendido entre el 1ero de diciembre del 2020 hasta el 9 de febrero del 2021, fecha en la cual ocurrió el segundo corte de forraje del experimento. Dicho crecimiento contempló 71 días y se considera perteneciente al período estival. Tanto el crecimiento como la TCd presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Cuadro No. 6. Efecto de los porcentajes de intercepción de la luz sobre el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) para el segundo muestreo.

Trat.	Crecimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCd (kg.ha <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> )
80	2397 A	33,8 A
65	2131 AB	30,0 AB
50	2076 AB	29,2 AB
35	1575 B	22, B
0	699 C	9,9 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

El tratamiento testigo es el único que es significativamente diferente a todos los demás ya que, si bien en valores absolutos existió un comportamiento creciente en ambas variables a medida que aumentó la intercepción de la radiación, los tratamientos con 50, 65 y 80% de intercepción no se diferenciaron estadísticamente mientras que los de 35, 50 y 65% tampoco lo hacen entre sí. En el testigo, denominado campo natural a pleno sol (CNPS o CNps), se registró el menor crecimiento de forraje, evidenciado también en una menor TCd. Los crecimientos fueron del orden de 125%, 197%, 205%, 243% superiores al testigo para los tratamientos de 35, 50, 65 y 80% de intercepción respectivamente (anexo No. 14).

La tasa de crecimiento de las pasturas desciende cuando crecen debajo de la copa de los árboles en comparación con las obtenidas a pleno sol (Pezo e Ibrahim, 1998). Cabe señalar que en este trabajo experimental por efecto de las mallas sombra se redujo la cantidad de radiación, sin afectar la calidad de la misma. Sin embargo, los árboles modifican tanto la cantidad como la calidad de la radiación que llega al sotobosque debido a la absorción diferencial que realizan de la misma. Por su parte, Peri et al. (2005) señalan que los efectos de sombreado pueden reducir, aumentar o interferir en la producción de forraje.

Es importante señalar que en este segundo período el crecimiento para todos los tratamientos es menor que en el primer caso y esto es esperable según lo reportado por Boggiano (2003) acerca de la distribución de forraje principalmente primavera-otoño de estos campos.

En el verano se dan las mayores temperaturas generando que la temperatura del suelo sea mayor y según lo reportado por Wang et al. (2003) esto inhibe la fotosíntesis y la síntesis de citoquinina, hormona responsable de la producción de nuevas hojas y macollos. En los ambientes sombreados se modifica el microclima, se generan cambios en el balance hídrico del suelo, aumenta la humedad disponible para las plantas, se reduce el déficit hídrico por más tiempo y aumenta el crecimiento de forraje (Wilson, 1996, Fedrigo et al., 2017). A su vez, la sombra disminuye la insolación directa conservando el agua del suelo, se reduce la temperatura foliar en las gramíneas y la transpiración provocando una mayor eficiencia de uso del agua (Gil et al., 2005). Por lo tanto, se puede suponer que, en la estación estival, los efectos del sombreado fueron mayores y esto se pudo observar por la mayor diferencia en crecimiento entre el tratamiento testigo y el tratamiento con 80% de intercepción en el verano que en el período primaveral. Cabe recordar que el crecimiento en la primavera en el tratamiento con máxima intercepción fue 132% superior al testigo, mientras que en el verano la diferencia fue de 243% superior.

Los valores obtenidos de las variables del segundo pastoreo se presentan en el cuadro No. 7, donde en todos los casos existieron diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro No. 7. Efecto de los distintos tratamientos sobre la altura del disponible (AltD), materia seca disponible (MSD), altura del remanente (AltR), materia seca remanente (MSR), materia seca desaparecida (MSDes) y porcentaje de cosecha (%C) para el segundo muestreo.

Trat.	AltD (cm)	MSD (kg.ha <sup>-1</sup> )	AltR (cm)	MSR (kg.ha <sup>-1</sup> )	MSDes (kg.ha <sup>-1</sup> )	C (%)
80	22,4 A	3763 A	7,7 A	1001 A	2762 A	72 A
65	21,3 A	3574 A	7,8 A	1011 A	2562 AB	71 AB
50	20,5 A	3470 AB	7,9 A	1019 A	2451 AB	70 AB
35	16,6 B	2882 B	7,7 A	997 A	1884 B	65 B
0	9,7 C	1848 C	6,9 B	890 B	956 C	52 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Existió una tendencia creciente para todas las variables en estudio en la medida que se pasaba de campo natural a pleno sol a tratamientos con mayor intercepción de radiación.

Los valores obtenidos en AltD se sostienen con lo expresado por Castro et al. (2009) acerca de que en las estaciones de primavera y verano las plantas bajo sombra presentan mayor altura que las plantas expuestas a pleno sol. Para esta variable las diferencias son estadísticamente significativas al comparar los tratamientos de 50, 65 y 80% con el de 35% y el testigo. Mientras

que para MSD el único tratamiento que no comparte significancia con ningún otro es el testigo. Tanto la AltD como la MSD para todos los tratamientos presentaron menores valores en el verano respecto al período primaveral. Esto puede deberse a las mayores TCd reportadas para la primavera en este ensayo y las presentadas por Carámbula (1991) y Boggiano (2003) como se puede observar en los cuadros No. 1 y No. 2.

Para AltR y MSR solo el campo natural a pleno sol es diferente estadísticamente al resto de los tratamientos. Esto es esperable debido al método de corte mecánico a través de la segadora autopropulsada que generaba un corte homogéneo.

La MSDes y el porcentaje de C comparten el mismo ranking de medias, se podría suponer que las diferencias entre tratamientos se dan por las diferencias encontradas en la MSD ya que, para el caso de MSR, como ya fue mencionado, solo existieron diferencias estadísticas entre el testigo y los restantes tratamientos.

#### 4.3.3 Tercer muestreo

El tercer corte de forraje se realizó el 19 de abril del 2021. Debido a que se consideró el crecimiento desde el corte anterior, el cual perteneció al período estival, hasta este tercer corte el cual ocurrió en el otoño, se denomina a este período de crecimiento como estivo – otoñal y el cual fue de un total de 66 días.

En este caso también se encontraron diferencias significativas en crecimiento y TCd según tratamientos.

Cuadro No. 8. Efecto de los porcentajes de intercepción de la luz sobre el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) para el tercer muestreo.

Trat.	Crecimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCd (kg.ha <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> )
80	2006 A	30,4 A
65	1812 AB	27,5 AB
50	1615 BC	24,5 BC
35	1455 C	22,1 C
0	1009 D	15,3 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

En el tratamiento denominado campo natural a pleno sol se registró el menor crecimiento de forraje evidenciado también en una menor TCd. Mientras que en el tratamiento con 80% de intercepción se duplicaron los valores de ambas variables con relación al tratamiento testigo. En la medida que aumentó

la intercepción de la radiación existió una tendencia creciente en ambas variables, presentando además el mismo ranking de medias.

Estos resultados obtenidos no coinciden con lo planteado por Carvalho et al. (2002) ya que estos autores aseguran que la producción de materia seca de gramíneas disminuye por efecto de la sombra en comparación a la obtenida a pleno sol.

Se debe destacar como en el tratamiento testigo el crecimiento y la TCd para este período de evaluación son mayores que para el período anterior perteneciente al verano. Esto es coincidente por lo expresado por Carámbula (1991) y Boggiano (2003) acerca de la distribución primavera-otoñal de estos campos.

Sin embargo, los tratamientos con sombra presentaron menor crecimiento y TCd en este período que en el verano. Por lo tanto, la mayor producción otoñal versus estival reportada para la zona no se vió reflejada en este ensayo para esos tratamientos. Esto pudo deberse a que en el verano la sombra benefició la producción de forraje al lograr disminuir las altas temperaturas del suelo, disminuir la transpiración de las plantas y mantener la humedad en el suelo (Gil et al., 2005, Munka, 2017). Mientras que, en el otoño, las temperaturas comienzan a descender como se puede observar en la figura No. 7 sumado a lo que reportan varios autores acerca de la marcada diferencia estacional en radiación incidente sobre la superficie terrestre, donde los máximos se dan en verano (Rojas, 2015, Peri et al., 2007). Por consiguiente, los efectos en crecimiento entre los tratamientos con sombra y el testigo son menores en el otoño que en el verano.

Cuadro No. 9. Las variables evaluadas en el tercer muestreo se presentan en el cuadro No. 9. Efecto de los distintos tratamientos sobre la altura del disponible (AltD), materia seca disponible (MSD), altura del remanente (AltR), materia seca remanente (MSR), materia seca desaparecida (MSDes) y porcentaje de cosecha (%C) para el tercer muestreo.

Trat.	AltD (cm)	MSD (kg.ha <sup>-1</sup> )	AltR (cm)	MSR (kg.ha <sup>-1</sup> )	MSDes (kg.ha <sup>-1</sup> )	C (%)
80	20,3 A	3007 A	7,6	1533	1474 A	48 A
65	19,0 AB	2823 AB	7,5	1502	1321 A	47 A
50	17,5 BC	2634 AB	7,4	1494	1140 AB	43 AB
35	16,2 C	2453 B	7,7	1536	917 B	37 B
0	12,1 D	1899 C	7,1	1412	488 C	25 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Los tratamientos obtuvieron diferencias estadísticas significativas para AltD y MSD. Siendo la AltD para el tratamiento de 80% de intercepción un 68% superior al testigo y la MSD un 58% superior al mismo.

No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos para AltR ( $p=0,09$ ) y para la MSR ( $p=0,1$ ). En el cuadro No. 10 se presenta la media de los tratamientos, el coeficiente de variación (CV), la raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y el error experimental (EE) para ambas variables en estudio.

Cuadro No. 10. Variables sin diferencias significativas para el tercer muestreo con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media	CV (%)	$CME^{1/2}$	EE
AltR	7,5 cm	4	0,3 cm	0,1 cm
MSR	1495 kg/ha	4,3	64 kg/ha	34,1 kg/ha

Como se puede observar en el cuadro No. 10 el CV no explicaría que no se hayan encontrado diferencias significativas ya que la variación en los registros de ambas variables fue baja.

Con relación a la MSDes y el %C se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos y para ambas variables el ranking de medias fue el mismo. En estos casos el único tratamiento que no compartió significancia con el resto de los tratamientos fue el testigo, campo natural a pleno sol.

#### 4.3.4 Cuarto muestreo

El cuarto y último corte de forraje ocurrió el 19 de julio del 2021. Por lo cual, el crecimiento presente en el cuadro No. 11 se generó en 88 días, considerando el muestreo anterior. A este período de crecimiento se lo puede atribuir a las estaciones de otoño-invierno. Para crecimiento y para TCd existió efecto de los tratamientos, el cual se puede evidenciar mediante el ranking de medias.

Cuadro No. 11. Efecto de los porcentajes de intercepción de la luz sobre el crecimiento de forraje y la tasa de crecimiento diaria (TCd) para el cuarto muestreo.

Trat.	Crecimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCd (kg.ha <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> )
80	434 A	4,9 A
65	452 A	5,1 A
50	293 AB	3,3 AB
35	342 AB	3,9 AB
0	196 B	2,2 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Los tratamientos con 35% y 50% de intercepción de la radiación obtuvieron un crecimiento superior al testigo de 74% y 49% respectivamente. Sin embargo, estos tratamientos no se diferenciaron estadísticamente del testigo. En tanto, los tratamientos de 65% y 80% de intercepción presentaron un 131% y 121% más de crecimiento respectivamente, diferenciándose estadísticamente en este caso del tratamiento testigo.

Como era de esperar, los valores obtenidos para crecimiento como para TCd son menores respecto al corte de forraje anterior debido a que en este caso el período considerado abarca crecimiento invernal. Al pasar de otoño a invierno la senescencia es mayor al crecimiento debido a que las especies estivales senescen muy rápido frente a fríos o heladas (Boggiano y Zanoniani, 2014). A su vez, cabe recordar que las especies estivales brotan en primavera, crecen en el verano presentando una floración larga desde octubre a abril y reposan durante el invierno. Mientras que las especies invernales, brotan luego de las primeras lluvias de abril y su crecimiento depende de lo intensas que sean las bajas temperaturas, presentando su mayor crecimiento recién en primavera y floreciendo entre setiembre y noviembre (Martínez y Pereira, 2011).

Sin embargo, los resultados alcanzados en este período otoño-invernal son considerablemente menores al compararlos con los datos presentados por varios autores (Carámbula, 1991, Boggiano, 2003). Esto podría explicarse por múltiples razones. Una de ellas podría ser que las temperaturas promedio y mínima de mayo fueron de 2,2°C y 3,9°C respectivamente por debajo de la serie histórica 1981-2010. Se conoce el hecho de que la temperatura es el factor frente al cual las plantas responden de forma instantánea y que la tasa de enlongación foliar y la tasa de aparición foliar aumentan proporcionalmente con la temperatura (Colabelli et al., 1998). Otra razón de los bajos crecimientos y TCd obtenidos podría ser las escasas precipitaciones ocurridas durante el mes de mayo, las cuales fueron 64% inferiores al promedio histórico 1961-1990. A su vez, es importante destacar el antecedente presentado por INUMET (s.f.a) acerca de que en esta región durante el período normal 1981-2010 ocurrieron

35 días con heladas considerando marzo, abril y mayo, presentándose las mismas fundamentalmente en el mes de mayo. Por último, es necesario considerar el acortamiento del largo de los días, junto con una menor radiación incidente en la medida que transcurren los días hacia el invierno (Colabelli et al., 1998, Peri et al., 2007).

En el cuadro No. 12 se presentan los resultados obtenidos de las variables pertenecientes al cuarto muestreo.

Cuadro No. 12. Efecto de los distintos tratamientos sobre la altura del disponible (AltD), materia seca disponible (MSD), altura del remanente (AltR), materia seca remanente (MSR), materia seca desaparecida (MSDes) y porcentaje de cosecha (%C) para el cuarto muestreo.

Trat.	AltD (cm)	MSD (kg.ha <sup>-1</sup> )	AltR (cm)	MSR (kg.ha <sup>-1</sup> )	MSDes (kg.ha <sup>-1</sup> )	C (%)
80	13,4 A	1967 A	7,3	1243	724 A	36 A
65	13,2 AB	1954 A	7,2	1222	731 A	37 A
50	11,8 B	1787 B	7,1	1187	600 A	33 A
35	12,5 AB	1878 AB	7,4	1280	599 A	32 A
0	10,3 C	1608 C	7,2	1219	388 B	24 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Para AltD y MSD existió efecto de tratamientos. Sin embargo, en ambos casos el único tratamiento que se diferenció estadísticamente de todos los restantes tratamientos fue el campo natural a pleno sol. Los demás tratamientos comparten significancia con algún otro tratamiento según sea el caso. Es importante destacar la menor diferencia existente tanto para AltD como para MSD entre el tratamiento testigo y el tratamiento más contrastante con 80% de intercepción frente a los obtenidos en los muestreos anteriores. En este corte la diferencia entre estos tratamientos fue de 3,12 cm en AltD y de 359 kg/ha para MSD. Esto queda evidenciado también en una menor DMS, de 1,39 cm en AltD y de 156 kg/ha para MSD.

Debido a que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en AltR ( $p=0,2$ ) y MSR ( $p=0,2$ ), se presenta el cuadro No. 13 con las medidas resumen de dichas variables.

Cuadro No. 13. Variables sin diferencias significativas para el cuarto muestreo con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME <sup>1/2</sup>) y error experimental (EE).

Variable	Media	CV (%)	CME <sup>1/2</sup>	EE
AltR	7,2 cm	2,5	0,2 cm	0,1 cm
MSR	1230 kg/ha	4,2	51 kg/ha	29,3 kg/ha

Los CV para ambas variables son bajos por lo que dicho parámetro no estaría explicando que no se hayan generado diferencias significativas.

Tanto la MSDes como el porcentaje de C presentaron una tendencia en aumento en la medida que aumentaba la intercepción de la radiación, siendo el tratamiento testigo el que presentó menor media para ambas variables y siendo el único diferente estadísticamente a los restantes tratamientos.

#### 4.3.5 Producción estival

La producción de forraje en la estación estival, la cual comprendió el periodo desde el 1ero de diciembre hasta el 28 de febrero, se expone en el cuadro No. 14.

Cuadro No. 14. Efecto de los distintos tratamientos sobre la producción estival.

Trat.	Producción estival (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCd estival (kg.ha <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )
80	2974 A	33,1 A
65	2653 AB	29,5 AB
50	2541 AB	28,2 AB
35	1994 B	22,2 B
0	990 C	11,0 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

La variable producción estival presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. En valores absolutos existió una tendencia positiva en producción estival en la medida que aumentó el porcentaje de intercepción de la radiación. La producción estival en el tratamiento 80% triplicó la del tratamiento testigo, mientras que la producción en el tratamiento 35% duplicó al testigo. Las diferencias estadísticas entre tratamientos quedan demostradas a partir del ranking de medias, siendo el tratamiento testigo el único que no comparte significancia con los demás tratamientos (cuadro No. 14).

Estos importantes incrementos en producción estival a partir de aplicar un 35% de intercepción de la radiación solar y hasta un 80% se pueden explicar por los efectos que genera un ambiente con sombra sobre su microclima. Entre ellos se destaca la disminución en la insolación directa y de la temperatura del suelo, reteniendo por más tiempo la humedad disponible en el suelo, a su vez, hay una menor transpiración por parte de las plantas lo que genera un uso más eficiente del agua y un mayor crecimiento por parte de las plantas (Wilson, 1996, Gil et al., 2005, Fedrigo et al., 2017, Munka, 2017).

La producción estival durante el período experimental en el tratamiento testigo fue menor que en el verano del 2018/19 previo a la instalación del ensayo (cuadro No. 3). Esto se podría explicar por las condiciones climáticas

que determinan el efecto año. Sin embargo, el dato de producción estival en el testigo durante el período experimental es consistente con datos anteriores de producción estival en suelos pesados de la formación geológica Yaguarí presentados en los cuadros No. 2 (Carámbula et al., citados por Boggiano, 2003). A su vez, en el cuadro No. 1 se presentó la información de TCd en verano para los suelos sobre Yaguarí y el mismo es similar al obtenido en el tratamiento testigo durante este período estival (De Souza, citado por Carámbula, 1991).

#### 4.3.6 Producción otoñal

A continuación, en el cuadro No. 15 se presenta la producción de forraje otoñal, obtenida desde el 1ero de marzo hasta el 31 de mayo, para cada tratamiento.

Cuadro No. 15. Efecto de los distintos tratamientos sobre la producción otoñal.

Trat.	Producción otoñal (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCd otoñal (kg.ha <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )
80	2262 A	24,6 A
65	2057 AB	22,4 AB
50	1807 BC	19,6 BC
35	1647 C	17,9 C
0	1132 D	12,3 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

En cuanto a la producción otoñal presente en el cuadro No. 15 también se registraron diferencias significativas entre los tratamientos y cabe destacar la misma tendencia positiva entre producción e intercepción de luz. En este caso, la producción que se obtuvo en el tratamiento con mayor intercepción duplica la del campo natural a pleno sol. Es necesario señalar la mayor producción otoñal en comparación con la estival en el caso del tratamiento testigo, respaldado por la distribución primavera-otoñal de estos campos (De Souza, citado por Carámbula, 1991, Boggiano, 2003). También es importante observar como las diferencias en producción y en TCd entre los tratamientos con intercepción y el testigo son menores en este caso que en el periodo estival. Esto permite suponer que la intercepción de la radiación durante el verano permitió mantener un microclima más adecuado para el crecimiento de las plantas, mientras que, en el otoño, las temperaturas comienzan a disminuir, la evaporación de agua desde el suelo desciende, la demanda por agua de las plantas también y por lo tanto las diferencias en producción por efecto de la sombra son menos notorias.

Si se compara la producción otoñal del tratamiento testigo del período en estudio y la producción otoñal del año 2018, la primera fue menor en un 28%. Mientras que si la referencia es la producción otoñal de los suelos pesados de Yaguarí la diferencia es solamente de un 6% (Carámbula et al.,

citados por Boggiano, 2003). Considerando esto y la TCd otoñal presentada por De Souza, citado por Carámbula (1991) en el cuadro No. 1, se pueden tomar como datos consistentes los obtenidos sobre el tratamiento testigo.

#### 4.3.7 Producción total del período

Para culminar el análisis de producción de forraje se presenta en el cuadro No. 16 la producción total del período en estudio, desde el primero de diciembre 2020 hasta el 31 de mayo 2021, siendo la suma entre la producción estival y otoñal presentada anteriormente.

Cuadro No. 16. Efecto de los distintos tratamientos sobre la producción total del período considerado.

Trat.	Producción total del período (kg.ha <sup>-1</sup> )	TCd del período (kg.ha <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )
80	5236 A	28,8 A
65	4710 A	25,9 A
50	4348 AB	23,9 AB
35	3642 B	20,0 B
0	2122 C	11,7 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

La producción total presentó diferencias significativas entre tratamientos y se mantuvo la tendencia creciente como en los casos de producción estacional anteriormente planteados. Esto se puede observar en el cuadro No. 16 a partir del ranking según la prueba de comparación múltiple seleccionada.

## 4.4 DETERMINACIONES EN COBERTURA DEL SUELO

### 4.4.1 Cobertura del suelo en los disponibles

#### 4.4.1.1 Primer muestreo

En el cuadro No. 17 se presenta la contribución de Cob. V, RS y H + M en el total de cobertura del suelo para la materia seca disponible en el primer muestreo del período experimental.

Cuadro No. 17. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca disponible del primer muestreo.

Trat.	Cob. V (%)	RS (%)	H + M (%)
80	95,5 A	4,5 AB	0 B
65	98,9 A	1,0 C	0 B
50	97,8 A	1,5 BC	0,8 B
35	96,0 A	4 ABC	0 B
0	89,3 B	6,3 A	4,5 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

La contribución de la Cob. V en el total de cobertura del suelo para el primer muestreo presentó diferencias significativas entre tratamientos. Los tratamientos con intercepción de radiación se diferenciaron estadísticamente del tratamiento testigo, presentando este último el menor porcentaje de Cob. V en el forraje disponible (cuadro No. 17). A pesar de que en el período primaveral las precipitaciones fueron menores al promedio histórico (figura No. 9), se podría suponer que en los tratamientos con sombra se atenuaron dichos efectos al retener durante más tiempo el agua en el suelo (Gil et al., 2005) y de esta forma obtener mayor Cob. V en el forraje disponible (anexo No. 15).

Por otro lado, en la medida que el porcentaje de intercepción es mayor, la eficiencia de uso de la radiación de las plantas fue mayor (figura No. 11 y No. 12). La mayor eficiencia de uso de la radiación se puede explicar por las adaptaciones de las plantas expuestas a la sombra, entre lo que se destaca la priorización del área foliar, con una mayor producción de hojas, siendo estas más grandes, delgadas, y con una mayor acumulación de clorofila (Wilson y Ludlow, 1991, Gil et al., 2005, Azcón-Bieto et al., 2008). A través de dichas adaptaciones las plantas que crecen bajo sombra incrementan su habilidad competitiva para interceptar la luz y reducir la tasa de respiración (Pezo e Ibrahim, 1998). Esto podría contribuir a que la Cob. V sea mayor en los tratamientos con sombra frente al campo natural.

Según lo expuesto por INIA (2018), un indicador de senescencia del forraje es la relación seco/verde y en la medida que aumenta la proporción de verde, la calidad del forraje es mayor. Por su parte, Gallo (2006), Obispo et al. (2013), Macedo et al. (2017), expresan que bajo condiciones de sombra el forraje en general presenta mejor calidad, debido particularmente al mayor contenido de proteína cruda y disminución de las fibras, determinando mejoras en la digestibilidad de la materia seca. Mientras que altas intensidades de radiación solar generan un menor contenido de proteína y un aumento de fibras, provocando un desmejoramiento en la calidad del forraje.

En un estudio realizado sobre el crecimiento y desarrollo de poblaciones de *Dactylis glomerata* sometidas a condiciones de sol y sombra se expone que aquellas poblaciones expuestas a la sombra tienen un color verde más intenso y que esto se correlacionaría con el contenido de nitrógeno (Lindner, 1976). Si el contenido de nitrógeno se multiplica por 6,25 se obtiene el contenido de proteína bruta y esto es un factor fundamental para caracterizar la calidad del forraje (Lindner, 1976).

En cuanto al porcentaje de RS existieron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, el tratamiento testigo junto con los tratamientos con 35% y 80% de intercepción no son significativamente diferentes (cuadro No. 17). En valores absolutos, el tratamiento testigo fue el que obtuvo mayor porcentaje de RS, en el mismo sentido, fue el que presentó el menor valor de Cob. V.

Se puede observar como en el tratamiento campo natural la contribución de H + M fue la mayor y la misma presentó diferencias significativas con los restantes cuatro tratamientos, los cuales no presentaron diferencias estadísticas entre sí (cuadro No. 17). Esto se podría deber a la alta producción primaveral, la cual fue en aumento junto con el aumento de intercepción solar, pudiendo ocasionar que la apreciación visual mediante la cual se determinó el porcentaje de H + M no permitió visualizar este componente en los disponibles, debido a que la observación se realizó sin manipular el forraje, no siendo posible su observación.

#### 4.4.1.2 Segundo muestreo

Para Cob. V, RS y H + M en el forraje disponible durante el segundo corte de forraje no se registraron diferencias significativas entre tratamientos, (Cob. V:  $p=0,7$ ; RS:  $p=0,5$ ; H + M:  $p=0,5$ ) (anexos No. 16). A pesar de esto, el tratamiento testigo presentó la menor contribución de Cob. V y la mayor de RS comparada a los restantes tratamientos. Esto se podría relacionar a la mayor radiación incidente presente en dicho tratamiento junto con la mayor temperatura del suelo y por consecuencia la menor disponibilidad de agua en el suelo (Gil et al., 2005, Munka, 2017). En el cuadro No. 18 se presentan las medidas resumen para cada una de las variables.

Cuadro No. 18. Variables de cobertura del suelo para la materia seca disponible en el segundo muestreo sin diferencias significativas con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME  $^{1/2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	CME $^{1/2}$ (%)	EE (%)
Cob. V	85,4	5,6	4,8	1,2
RS	8,9	39	3,5	0,8
H + M	5,7	68,6	3,9	1

Durante el período primaveral la media de los tratamientos para Cob. V fue de 95,5%. Por lo tanto, es necesario considerar el descenso de este componente entre dicho pastoreo y el pastoreo actual. La radiación solar incidente es el doble en el verano respecto a la primavera (Peri et al., 2007). A su vez, las máximas temperaturas se registran durante la estación estival y en consecuencia se dan las mayores temperaturas del suelo, inhibiendo la fotosíntesis y la producción de nuevas hojas y macollos (Wang et al., 2003). Esto coincide con lo planteado por Qiu y Lu (2003) que expresan que las altas temperaturas afectan el proceso fotosintético antes que aparezcan otros síntomas de estrés por calor. Estas razones podrían explicar que el forraje disponible durante el verano se presentara con una menor contribución de Cob. V, y esto se relaciona con que los porcentajes de RS para este período de evaluación son mayores a los obtenidos durante la primavera.

La variable H + M presentó un alto CV significando que la media puede no ser representativa del conjunto de datos y esto podría explicar que no se hayan detectado diferencias significativas entre tratamientos.

#### 4.4.1.3 Tercer muestreo

Para analizar la cobertura del suelo en la materia seca disponible para el tercer muestreo se puede observar el cuadro No. 19.

Cuadro No. 19. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca disponible del tercer muestreo.

Trat.	Cob. V (%)	RS (%)	H + M (%)
80	89,0	6,5 BC	4,5
65	91,5	5 C	3,3
50	92,3	5,8 BC	2
35	86,8	8,5 AB	4,5
0	85,8	11 A	2,8

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

No se registraron diferencias estadísticas significativas para Cob. V y H + M (Cob. V:  $p=0,08$ ; H + M:  $p=0,33$ ). Por este motivo, se presenta en el cuadro No. 20 las medidas de resumen para dichas variables.

Se detectaron diferencias estadísticas significativas para RS. El tratamiento testigo presentó el mayor valor absoluto para esta variable, sin embargo, no se diferenció estadísticamente del tratamiento con 35% de intercepción. Mientras que los tratamientos con 50, 65 y 80% de intercepción presentaron los menores valores de RS no diferenciándose estadísticamente entre sí. Lo anterior se relaciona con los valores obtenidos para Cob. V, a pesar

de no detectarse diferencias significativas, mediante la relación seco/verde propuesta por INIA (2018). Se debe destacar nuevamente el menor porcentaje de Cob. V en campo natural, mientras que los tratamientos con algún grado de intercepción presentaron mayores valores para dicha variable.

Cuadro No. 20. Variables de cobertura del suelo para la materia seca disponible en el tercer muestreo sin diferencias significativas con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME <sup>1/2</sup>) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	CME <sup>1/2</sup> (%)	EE (%)
Cob. V	89,1	3,9	3,4	0,9
H + M	3,4	57	1,9	0,5

Para este período de crecimiento, la media de Cob. V fue mayor que en el período anterior pero menor que en el primer período en estudio. Esto se podría explicar porque en el otoño las condiciones de crecimiento mejoran en comparación al verano debido a que las temperaturas son menores (figura No. 7), por lo tanto, el proceso de fotosíntesis se ve menos afectado que con altas temperaturas (Wang et al., 2003). Esto se pudo haber reflejado en una mayor Cob. V en este período.

En cuanto a la media de la variable H + M, la misma presentó un menor valor en este corte de forraje que en el anterior. Esto se podría explicar porque en el muestreo anterior el forraje fue cortado mediante la segadora autopropulsada y no se utilizaron animales, por lo que las heces aún presentes pertenecían al pastoreo de noviembre. Es necesario destacar el alto valor del CV para esta variable generando que la media pueda no ser representativa del conjunto de datos y provocando que no se detecten diferencias significativas.

#### 4.4.1.4 Cuarto muestreo

En el cuadro No. 21 se detallan las tres variables analizadas dentro de cobertura del suelo en la materia seca disponible para el último corte de forraje del período experimental.

Cuadro No. 21. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca disponible del cuarto muestreo.

Trat.	Cob. V (%)	RS (%)	H + M (%)
80	88,5	6,5 C	4
65	85,8	8,3 BC	4,5
50	83,8	10,5 AB	4,5
35	86,3	9,8 B	3,8
0	83,5	13 A	3,3

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

En este muestreo las variables Cob. V y H + M no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Cob. V:  $p=0,13$ ; H + M:  $p=0,34$ ).

Los menores valores para ambas variables se registraron en el tratamiento campo natural. Mientras que sí se detectaron diferencias significativas al evaluar los RS. El mayor valor absoluto obtenido de RS fue en el tratamiento testigo, sin embargo, este es igual significativamente al obtenido con 50% de intercepción. Por otro lado, el menor valor de RS se dio en el tratamiento 80% y este comparte significancia con el de 65%. Los menores valores obtenidos de RS en los tratamientos con más intercepción se podrían deber a la mayor longevidad que presentan las hojas en condiciones de sombra<sup>8</sup>, lo que se relaciona con el indicador de senescencia propuesto por INIA (2018) mediante la relación seco/verde, presentando dichos tratamientos menor relación.

Se presenta el cuadro No. 22 con medidas resumen de las variables en las que no se detectaron diferencias significativas.

Cuadro No. 22. Variables de cobertura del suelo para la materia seca disponible en el cuarto muestreo sin diferencias significativas con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	$CME^{1/2}$ (%)	EE (%)
Cob. V	85,6	3,2	2,7	0,7
H + M	4	23,6	0,9	0,2

Cabe destacar el descenso en la media de Cob. V en este corte de forraje el cual abarcó un período de crecimiento otoñal e invernal, frente a la media obtenida en el muestreo anterior. Esto se podría relacionar con la senescencia de las especies estivales, mayores contribuyentes del tapiz en

<sup>8</sup> Silveira, D. 2022. Com. personal.

estos campos naturales, ya que las mismas senescen muy rápido frente a disminuciones de la temperatura o heladas (Boggiano y Zanoniani, 2014). Lemaire y Agnusdei (2000) agregan que la porción de tejido de hoja que senesce es mayor a la que se está produciendo cuando las temperaturas se encuentran en descenso, como ocurre en el otoño, provocando un balance negativo entre crecimiento y senescencia. Todo esto también fundamenta los mayores valores de RS registrados en este muestreo. En dicha variable sí se registraron diferencias significativas siendo el tratamiento testigo el que presentó mayor porcentaje de RS, siendo esperable entonces que la relación seco/verde sea mayor en este tratamiento y, por lo tanto, la calidad del forraje menor.

#### 4.4.2 Cobertura del suelo en los remanentes

##### 4.4.2.1 Primer muestreo

No se detectaron diferencias significativas para ningún caso (Cob. V:  $p=0,78$ ; RS:  $p=0,85$ ; H + M:  $p=0,18$ ). Se muestran en el cuadro No. 23 las medidas de resumen para las tres variables.

Cuadro No. 23. Variables de cobertura del suelo para la materia seca remanente en el primer pastoreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME  $^{1/2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	CME $^{1/2}$ (%)	EE (%)
Cob. V	49,8	17,1	8,5	2
RS	29,4	26,6	7,8	1,7
H + M	20,8	33,3	6,9	2,2

La media de Cob. V para la materia seca remanente fue notoriamente menor a la obtenida para la materia seca disponible en este primer pastoreo. Esto podría deberse a que en la primavera se dan los mayores picos en la producción de forraje (Boggiano y Zanoniani, 2014), lo cual también ocurrió en esta evaluación, donde los mayores valores de crecimiento de forraje se dieron durante este período de crecimiento primaveral (cuadro No. 4). Esta mayor producción se explica por un incremento de especies estivales de mayor tamaño relativo provocando un sombreado de los estratos inferiores del tapiz (Boggiano et al., 2005). En condiciones de menor incidencia lumínica se favorece el alargamiento de los tallos (Pezo e Ibrahim, 1998). Por lo tanto, el sombreado de la propia pastura por una alta producción podría haber generado que luego del pastoreo, el forraje remanente estuviera compuesto básicamente de vainas y tallos, siendo menor la Cob. V y aumentando los RS.

Además, Boggiano et al. (2005) recomiendan que en la primavera los períodos de descanso no sean superiores a 40 días, ya que con este tiempo entre pastoreos se lograría aumentar la producción sin perder calidad en el forraje. Sin embargo, el período de descanso para este pastoreo ascendió a 68 días y por este motivo se podría plantear que existió una acumulación de RS por largo período de descanso entre pastoreos para la estación primaveral.

Los valores obtenidos de H + M en la determinación dentro de la materia seca remanente son mayores a los registrados en la materia seca disponible (cuadro No. 17). Esto podría deberse a que la alta producción de forraje observada en el forraje disponible no permitía hacer una buena estimación de las H + M presentes, ya que el método de estimación era visual sin manipular el forraje buscando no alterar la estructura de la pastura.

#### 4.4.2.2 Segundo muestreo

Para este segundo corte de forraje tampoco se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para Cob. V:  $p=0,37$ ; RS:  $p=0,47$  y H + M:  $p=0,65$ . Las medidas de resumen se pueden observar en el cuadro No. 24.

Cuadro No. 24. Variables de cobertura del suelo para la materia seca remanente en el segundo muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	$CME^{1/2}$ (%)	EE (%)
Cob. V	81,2	4,2	3,4	0,7
RS	10	29,4	2,9	0,6
H + M	8,7	26,6	2,3	0,6

A pesar de que no existieron diferencias significativas, se puede detectar en anexos No. 18 que en el tratamiento campo natural se registró el mayor porcentaje de Cob. V. La producción de forraje para dicho tratamiento durante este período de crecimiento estival fue la menor, mientras que los tratamientos con sombra obtuvieron producciones de forraje superiores en la medida que la intercepción de la radiación era mayor (cuadro No. 6). Sin embargo, es conocido el hecho de que un descenso en la relación R/RL genera que el macollaje se reduzca (Casal et al., 1987) y a su vez se promueva el alargamiento de los tallos (Pezo e Ibrahim, 1998). Por lo tanto, se podría suponer que esa mayor producción en los tratamientos con intercepción de radiación se da en una pastura compuesta de plantas más erectas en busca de la luz. Mientras que en el tratamiento testigo se obtuvo la menor producción, pero la pastura presentaba mayoritariamente hojas. Esto se sostiene por lo mencionado por Silveira et al. (2018) donde se estudiaron las comunidades bajo sotobosque, en callejones cortafuego y en campo natural y reportaron que en

las comunidades de campo natural dominan las especies de hábito de crecimiento estolonífero o rizomatoso. Entonces, ante una misma altura de corte, en los tratamientos con intercepción de radiación se esperaría menor número de macollos y el forraje remanente estaría explicado principalmente por vainas y tallos en vez de hojas, redundando en una menor Cob. V.

#### 4.4.2.3 Tercer muestreo

En el cuadro No. 25 se exponen los porcentajes de Cob. V, RS y H + M para el forraje remanente del tercer corte de forraje del período experimental.

Cuadro No. 25. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca remanente del tercer muestreo.

Trat.	Cob. V (%)	RS (%)	H + M (%)
80	76,5 C	11,5	11,8 A
65	80 BC	11,6	8 AB
50	80,5 BC	14,3	4,8 B
35	86,8 A	9,8	3,5 B
0	85 AB	10,8	4 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Se detectaron diferencias significativas entre tratamientos tanto para la variable Cob. V como para H + M. En el primer caso, el menor valor corresponde al tratamiento de 80%, sin embargo, comparte significancia con los tratamientos de 65% y 50%. El mayor valor de Cob. V se obtuvo en el tratamiento con 35%, el cual es igual significativamente al tratamiento testigo. Estos mayores valores de Cob. V en campo natural a pleno sol y en el tratamiento con 35% se podrían deber a que la pastura estaba conformada por especies de hábito de crecimiento más estolonífero y rizomatoso, mientras que los tratamientos con mayor intercepción se componían de pasturas con hábito más cespitoso<sup>9</sup>. Por lo tanto, ante una misma altura de remanente, la Cob. V podría ser mayor por mayor presencia de hojas en los tratamientos con 35% de intercepción y testigo.

Mientras que para H + M, el mayor valor corresponde al tratamiento con 80% de intercepción y comparte significancia con el de 65% y el menor valor se dio en el tratamiento con 35% y este comparte con el de 65%, 50% y CN. Por lo tanto, el testigo es diferente estadísticamente solo con el tratamiento de 80% de intercepción. Estos resultados podrían deberse a que en los tratamientos con más intercepción de radiación la estructura de la pastura era menos densa permitiendo una mayor apreciación visual de las H + M presentes. Mientras que

<sup>9</sup> Silveira, D. 2022. Com. personal.

en el tratamiento campo natural a pleno sol, la estructura de la pastura era más cerrada, por los hábitos de crecimiento de las especies presentes, y visualmente no se registraron de forma correcta las H + M presentes.

Debido a que no se registraron diferencias significativas en cuanto a RS ( $p=0,08$ ), se presentan las medidas de resumen para dicha variable (cuadro No. 26).

Cuadro No. 26. Variable de cobertura del suelo para la materia seca remanente en el tercer muestreo sin diferencias significativas, con su media, coeficiente de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	$CME^{1/2}$ (%)	EE (%)
RS	11,6	17,7	2	0,5

#### 4.4.2.4 Cuarto muestreo

Para el cuarto corte de forraje no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las variables analizadas (Cob. V:  $p=0,65$ ; RS:  $p=0,28$ ; H + M:  $p=0,06$ ) (anexos No. 19).

Como lo reportan múltiples autores, el crecimiento de las pasturas naturales en la región noreste del país presenta un marcado descenso en invierno (Olmos, 1997, Carámbula et al., citados por Boggiano, 2003). Lo mismo ocurrió en esta evaluación, donde la producción generada en este período fue la mínima (cuadro No. 11). Esto podría haber provocado una disminución de los efectos que la sombra tuvo en otros momentos de evaluación sobre la estructura de la pastura en cuanto a la reducción en el macollaje y el alargamiento de tallos (Casal et al., 1987, Pezo e Ibrahim, 1998). Por lo tanto, las diferencias en cuanto a la estructura de la pastura entre los diferentes tratamientos podrían ser menores, generando que no existan diferencias significativas en Cob. V y RS ante una misma altura de corte.

A su vez, la contribución de H + M fue la menor en el testigo, mientras que los mayores porcentajes de H + M se dieron en los tratamientos con 65% y 80% de intercepción.

En el cuadro No. 27 se presentan los valores de las variables que resumen Cob. V, RS y H + M.

Cuadro No. 27. Variables de cobertura del suelo para la materia seca remanente en el cuarto muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME <sup>1/2</sup>) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	CME <sup>1/2</sup> (%)	EE (%)
Cob. V	81,2	4,7	3,8	0,8
RS	13	26,6	3,5	0,8
H + M	4,7	29,3	1,4	0,5

La media de Cob. V para el remanente de este muestreo es muy similar a las obtenidas en los remanentes del segundo y tercer corte de forraje. Sin embargo, la media para RS va en aumento desde el segundo al cuarto corte. Esto se podría explicar porque al pasar al otoño las especies estivales comienzan a senescer, las temperaturas van en descenso y con eso el crecimiento, sumado al efecto que tienen las heladas sobre el aumento de RS (Lemaire y Agnusdei, 2000, Saldanha, 2005, Boggiano y Zanoniani, 2014).

#### 4.5 DETERMINACIONES EN COMPOSICIÓN BOTÁNICA

##### 4.5.1 Primer muestreo

Para ninguna de las variables analizadas se registraron diferencias significativas entre tratamientos en este primer corte (GPI: p=0,09, GPE: p=0,07, GAI: p=0,61, Cyp + Lil + Jun: p=0,14, HM: p=0,93). Sin embargo, es importante destacar ciertos puntos de cada variable.

El porcentaje de GPI fue en ascenso en la medida que el porcentaje de intercepción de la radiación aumentó, presentando de esta forma el menor valor de GPI el tratamiento testigo y el mayor valor el tratamiento con 80% de intercepción (anexos No. 20).

En cuanto al componente GPE, el tratamiento testigo fue el que presentó mayor importancia relativa, con un promedio entre las cuatro repeticiones del tratamiento de 83%. Mientras que, el tratamiento más contrastante con 80% de intercepción presentó un 48,5% de GPE.

En los campos naturales de Uruguay predominan las especies estivales (tipo C<sub>4</sub>) sobre las invernales (tipo C<sub>3</sub>) provocando que la mayor producción de forraje se de en el período primavero – estivo - otoñal (Carámbula, 1991). Esto quedó reflejado en el tratamiento testigo, donde las GPE dominan ampliamente sobre las GPI.

Por otro lado, Pillar et al. (2002), Silveira et al. (2018, 2022), coinciden que el ambiente lumínico condiciona la relación C<sub>4</sub>/C<sub>3</sub>, disminuyendo a medida

que aumenta el sombreadamiento. De esta forma, en los tratamientos con intercepción luminosa, se registró un mejor balance entre GPI y GPE (anexos No. 20).

Las GAI tampoco presentaron diferencias significativas, sin embargo, en el tratamiento campo natural a pleno sol se registró un valor bajo de dicho contribuyente y en el tratamiento con 80% el valor ascendió a un 11,5%. Según Plan Agropecuario (2018), las especies perennes tanto estivales como invernales componen el 90% de las pasturas naturales, siendo poco frecuente la aparición de especies anuales.

Tanto las Cyp + Lil + Jun y las HM presentaron una menor importancia relativa en relación con los restantes contribuyentes del tapiz en este primer pastoreo. A su vez, las diferencias entre tratamientos son menores.

Para poder tener en cuenta las medidas resumen de cada variable se puede observar el cuadro No. 28.

Cuadro No. 28. Variables de composición botánica para el primer muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME  $\frac{1}{2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	CME $\frac{1}{2}$ (%)	EE (%)
GPI	27	44	11,9	3
GPE	62,4	24,2	15,1	4,2
GAI	6,8	130,8	8,9	2,1
Cyp + Lil +Jun	1,3	61,1	0,8	0,2
HM	2,6	83	2,2	0,4

Es necesario considerar el CV de las variables GAI, Cyp + Lil + Jun y HM, esto podría estar influyendo en que no se hayan detectado diferencias significativas para dichas variables en este muestreo.

#### 4.5.2 Segundo muestreo

En el cuadro No. 29 se exponen los porcentajes de las GPI, GPE y HM presentes en el forraje disponible durante el segundo corte de forraje.

Cuadro No. 29. Contribución porcentual en el forraje disponible de gramíneas perennes invernales (GPI), gramíneas perennes estivales (GPE) y hierbas menores (HM) según tratamiento en el segundo muestreo.

Trat.	GPI (%)	GPE (%)	HM (%)
80	20,8 A	77,5 C	1,3
65	13,3 B	82,3 BC	3,5
50	20 A	76,5 C	1,8
35	8 BC	87,3 AB	3,3
0	4,8 C	91,8 A	2,3

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Se registraron diferencias estadísticas significativas tanto para el componente GPI como para GPE.

El tratamiento testigo fue el que presentó menor porcentaje de GPI y mayor porcentaje de GPE, compartiendo significancia en ambos casos con el tratamiento de 35% de intercepción. Por otro lado, el tratamiento con 80% de intercepción fue el que obtuvo mayor contribución de GPI, compartiendo significancia con el de 50%. En cuanto a los menores valores de GPE, estos se dieron en los tratamientos con 50, 65 y 80% de intercepción, sin diferencias significativas entre ellos.

Los resultados obtenidos son coincidentes con los hallados por Casal y Jankovic (2015) acerca de la mayor cobertura de especies invernales en los tratamientos con sombra y menor en el tratamiento testigo a pleno sol, mientras que las estivales presentaron su mayor porcentaje en el testigo y menor porcentaje en los tratamientos con sombra.

Los Brunosoles del Noreste del país presentan una buena capacidad de almacenaje de agua, permitiendo el dominio de gramíneas estivales como se puede observar en el cuadro No. 29 (Carámbula, 1988). Las especies invernales mantienen activo su crecimiento durante el invierno y reposan o mueren por el calor del verano (Lapetina, 2011). Sin embargo, el efecto de la sombra aumenta la frecuencia de especies invernales gracias a la generación de un ambiente menos desecante en el verano lo que permite una mayor sobrevivencia de macollos de GPI (Fogolino, citado por Gómez y Guerrini, 2011).

Esto coincide también con la mayor afectación que presentan las especies  $C_4$  frente a altos niveles de intercepción luminosa debido a los mayores requerimientos de ATP para metabolizar una molécula de  $CO_2$  mientras que las  $C_3$  son más tolerantes a la sombra y colonizan lugares donde las  $C_4$  se suprimieron (Pillar et al., 2002, Silveira et al., 2018, 2022).

Por otro lado, las especies invernales florecen entre setiembre y noviembre (Martínez y Pereira, 2011). Sin embargo, por efecto de la sombra se

retrasa la floración en las gramíneas, por lo tanto, el crecimiento vegetativo es de mayor duración (Carvalho et al., 2002). Esto podría explicar los valores obtenidos en GPI durante este segundo muestreo, en la estación estival, para los tratamientos con intercepción de la radiación.

Dentro de las especies invernales, se destacan como más características en estos suelos pesados del noreste, *Brisa subaristata*, *Piptochaetium montevidense*, *Piptochaetium stipoides*, *Stipa charruana* y *Stipa setigera* (Boggiano, 2003). Durante el período experimental considerado y en el área experimental se encontraron dichas especies y algunas otras como *Agrostis montevidensis*, *Piptochaetium bicolor*, *Calamagrostis alba* y *montevidensis* (anexo No. 21).

En cuanto a las GPE, Olmos, citado por Boggiano (2003), afirma que el 70% de las especies presentes en los Brunosoles del Noreste están representadas por *Andropogon ternatus*, *Axonopus affinis*, *Botriochloa laguroides*, *Panicum milioides*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Schizachyrium microstachyum* y *Sporobolus indicus*. A dicha lista se podría agregar la presencia de *Coelorhachis selloana* y *Cynodon dactylon*.

Las HM no obtuvieron diferencias estadísticas ( $p=0,18$ ) y por este motivo se presenta el cuadro No. 30 con las medidas de resumen correspondientes.

Cuadro No. 30. Variable de composición botánica para el segundo muestreo sin diferencias significativas, con su media, coeficiente de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error ( $CME^{1/2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	$CME^{1/2}$ (%)	EE (%)
HM	2,4	58,4	1,4	0,3

#### 4.5.3 Tercer muestreo

Con el objetivo de continuar con el análisis de composición botánica en la materia seca disponible se presenta a continuación en el cuadro No. 31, los porcentajes de GPI, GPE, Cyp + Lil + Jun y HM registradas para el tercer corte de forraje.

Cuadro No. 31. Contribución porcentual en el forraje disponible de gramíneas perennes invernales (GPI), gramíneas perennes estivales (GPE), monocotiledóneas no gramíneas (Cyp + Lil + Jun) y hierbas menores (HM) según tratamiento en el tercer muestreo.

Trat.	GPI (%)	GPE (%)	Cyp + Lil + Jun (%)	HM (%)
80	14,5 A	78,6	3,5	2,6
65	12 AB	78	4	4,6
50	10,3 BC	77,5	4,6	5,5
35	8,6 BC	80,5	5,5	3,6
0	7 C	81,3	6	5,5

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

En el caso de GPI, las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas y dichos valores fueron en aumento desde el tratamiento testigo hacia los tratamientos con mayor interferencia lumínica. En este sentido, el testigo obtuvo el menor valor absoluto, pero compartió significancia con el tratamiento de 35 y 50% de intercepción. Mientras que el mayor valor absoluto se dio en el tratamiento con 80% de intercepción y este fue igual significativamente al de 65%.

Como lo expresa Martínez y Pereira (2011), las especies invernales brotan después de las primeras lluvias de abril. Esto podría ser la explicación del aumento del porcentaje de GPI en el tratamiento campo natural a pleno sol desde el segundo al tercer corte de forraje. Sin embargo, por efecto de la sombra, el ciclo de crecimiento de las especies invernales se retrasa (Carvalho et al., 2002). Por lo tanto, en el segundo pastoreo las GPI estaban terminando el ciclo y en este muestreo su importancia relativa bajó.

Para la variable GPE, no se detectaron diferencias significativas ( $p=0,7$ ), sin embargo, el tratamiento campo natural a pleno sol presentó mayor contribución de este componente y los tratamientos con sombra menor. Cabe recordar que las especies estivales florecen desde octubre hasta abril y ofrecen su máxima producción en el otoño (Carámbula, 1991), momento en el cual ocurrió este muestreo.

Las diferencias en Cyp + Lil + Jun y HM entre tratamientos tampoco fueron significativas para este muestreo ( $p=0,53$ ). En cuadro No. 32 se muestran las variables resumen.

Cuadro No. 32. Variables de composición botánica para el tercer muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME  $^{1/2}$ ) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	CME $^{1/2}$ (%)	EE (%)
GPE	79,2	5,5	4,3	0,9
Cyp + Lil + Jun	4,8	47,6	2,3	0,5
HM	4,5	52,9	2,4	0,5

Al observar el cuadro No. 32 es preciso señalar el aumento en la media de HM desde el corte anterior al actual.

#### 4.5.4 Cuarto muestreo

En el cuadro No. 33 se presentan los contribuyentes del tapiz registrados en el cuarto y último corte de forraje del período experimental. En este caso se detallan los porcentajes según tratamiento de las GPI, GPE, GAI, Cyp + Lil + Jun y HM.

Cuadro No. 33. Contribución porcentual en la materia seca disponible de gramíneas perennes invernales (GPI), gramíneas perennes estivales (GPE), gramíneas anuales invernales (GAI), monocotiledóneas no gramíneas (Cyp + Lil + Jun) y hierbas menores (HM) según tratamiento en el cuarto muestreo.

Trat.	GPI (%)	GPE (%)	GAI (%)	Cyp + Lil + Jun (%)	HM (%)
80	38,8	16,9 C	23,8 AB	11,6	8,5
65	36,9	16,3 C	27,4 A	12,4	6,8
50	41,6	24,2 BC	15,5 BC	10,4	7,5
35	35,5	30,3 AB	13,8 BC	11,5	7,7
0	35,8	37,8 A	5,8 C	10,5	8,3

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Para las GPI no se lograron identificar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p=0,9$ ). Se podría destacar que los tratamientos campo natural y con 35% de intercepción obtuvieron menor porcentaje de GPI, mientras que los tratamientos con 50, 65 y 80% presentaron mayores valores para la misma variable.

Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para el caso de las GPE, siendo el campo natural el tratamiento con mayor valor, pero compartiendo significancia con el tratamiento con 35% de intercepción. Sin embargo, dicho tratamiento también comparte significancia con 50% de intercepción. A su vez, este último tratamiento es igual significativamente a los de 65 y 80%.

Es necesario relacionar estos valores obtenidos con lo expresado por múltiples autores acerca de la disminución en la dominancia de especies C<sub>4</sub> bajo sombra debido a que son las que más se afectan ante altos niveles de intercepción luminosa (Pillar et al., 2002, Silveira et al., 2018, 2022). Solo en el tratamiento testigo el valor absoluto de GPE es mayor al de GPI mientras que en los restantes tratamientos al disminuir las GPE y mantenerse o incluso aumentar su valor las GPI, presentan una mayor importancia relativa que las GPE.

En cuanto a GAI, también existió efecto entre tratamientos y esto se puede ver en el ranking de medias detallado en el cuadro No. 33. El porcentaje de GAI presentes aumentó en la medida que aumentaba la intercepción de la radiación. Por lo tanto, el tratamiento campo natural a pleno sol fue el que obtuvo menor valor de GAI y los tratamientos con 65 y 80% de intercepción no se diferenciaron estadísticamente siendo los que presentaron mayor porcentaje de GAI (anexo No. 22).

Lo anterior se podría relacionar a que las especies anuales se caracterizan por comportarse como colonizadoras, al ocupar los espacios que dejan las especies perennes (Jewsbury, 2016). Si se observa el cuadro No. 33 en campo natural es donde hay más GPE y menos GAI mientras que en el tratamiento de 65% de intercepción, se registró el menor valor de GPE y mayor de GAI.

Debido a la dominancia de especies estivales sobre las invernales en los tapices de campo natural del Uruguay, encontrar una estrategia para disponer de especies invernales puede ser de gran valor para sobrellevar momentos de déficit forrajero (Carámbula, 1991).

Los resultados obtenidos coinciden con lo expresado por Picasso et al. (2003) acerca de la mayor abundancia de especies invernales en sistemas silvopastoriles.

Algunos ejemplos de GAI encontradas durante este muestreo fueron; *Lolium multiflorum*, *Gaudinia fragilis* y *Vulpia australis*.

Para Cyp + Lil + Jun y HM no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos y los valores fueron muy cercanos para los distintos tratamientos (Cyp + Lil + Jun:  $p=0,65$ , HM:  $p=0,72$ ). En el cuadro No. 34 se exponen las medidas de resumen para dichas variables y para GPI, por ser las cuales no obtuvieron diferencias estadísticas.

Cuadro No. 34. Variables de composición botánica para el cuarto muestreo sin diferencias significativas, con sus medias, coeficientes de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (CME <sup>1/2</sup>) y error experimental (EE).

Variable	Media (%)	CV (%)	CME <sup>1/2</sup> (%)	EE (%)
GPI	37,7	26,2	9,9	2,1
Cyp + Lil + Jun	11,3	18,2	2,1	0,5
HM	7,8	23,5	1,8	0,4

Es necesario considerar que la media de HM se incrementó desde el primer muestreo hasta el actual. Esto se podría fundamentar en la baja en producción de forraje en este corte, por lo tanto, las HM aumentan su importancia relativa al tener menos competencia por recursos con los restantes componentes del tapiz.

Algunas de las HM presentes durante este cuarto muestreo fueron: *Geranium dissectum*, *Stellaria media*, *Cerastium glomeratum*, *Carduus acanthoides* y *Rumex crispus* (anexo No. 23). Todas ellas de ciclo de producción invernal y hábito de vida anual, excepto *R. crispus* que es de hábito de vida perenne.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

La amplitud térmica bajo sombra fue menor que en campo natural a pleno sol.

La intercepción luminosa fue mayor en la medida que la disponibilidad lumínica disminuía, para la estación estival y otoñal.

En los primeros tres muestreos el crecimiento acumulado, la tasa de crecimiento diaria, la altura y la materia seca disponible, la materia seca desaparecida y el porcentaje de cosecha, se obtuvieron resultados en orden creciente desde el tratamiento campo natural a pleno sol al tratamiento con 80% de intercepción. En el cuarto muestreo, los valores absolutos de algunas variables no respetaron el orden ascendente según el porcentaje de intercepción, sin embargo, siempre fueron menores los valores en el tratamiento testigo respecto a los tratamientos con sombra.

La producción de forraje estival fue mayor a la otoñal en todos los tratamientos con intercepción de la radiación, en tanto que en el tratamiento testigo, la producción otoñal registrada superó a la estival.

En cobertura del suelo para la materia seca disponible en los cuatro muestreos, se destacó los mayores valores de cobertura verde en los tratamientos con intercepción de la radiación frente a los obtenidos en el tratamiento campo natural a pleno sol. Mientras que los mayores valores de restos secos se dieron, en todos los casos, en el tratamiento testigo.

La presencia de gramíneas invernales tanto perennes como anuales fue mínima en los tratamientos testigo y mayor en los tratamientos con intercepción de radiación. De forma contraria, el porcentaje de gramíneas perennes estivales fue máximo en los tratamientos sobre campo natural a pleno sol mientras que los restantes tratamientos presentaron menor porcentaje en todos los muestreos.

## 6. CONCLUSIONES

- Niveles crecientes de intercepción de la radiación solar provocaron aumentos crecientes en la producción de biomasa en el período experimental considerado.
- Niveles moderados a altos de intercepción de la radiación solar generan una mayor cobertura verde.
- Niveles moderados a altos de intercepción de la radiación solar determinan una disminución en la cobertura de especies C<sub>4</sub> y un aumento de las especies C<sub>3</sub>.
- Se cree conveniente continuar evaluando el desempeño en el largo plazo de las pasturas naturales bajo sombra por su potencial uso silvopastoril.

## 7. RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo con el fin de evaluar la producción estivo – otoñal de un campo natural del noreste del país sometido a niveles crecientes de sombra artificial. El experimento se realizó en el departamento de Cerro Largo – Uruguay, en el predio de la EEER durante noviembre 2020 a julio 2021. El diseño experimental propuesto fue en bloques completos al azar, con 4 repeticiones y 5 tratamientos los cuales eran un testigo campo natural a pleno sol, 35, 50, 65 y 80% de intercepción de la radiación solar mediante malla sombra. El manejo realizado consistió en cuatro cortes de forraje, el primero mediante pastoreo con ovinos y los restantes con una segadora autopropulsada. Se encontró que a medida que la disponibilidad lumínica disminuía, la eficiencia de uso de la radiación aumentaba. Se evaluó el crecimiento de forraje para cada período entre los muestreos y la correspondiente tasa de crecimiento diaria. A su vez, para cada corte se determinó la altura y la materia seca disponible y remanente, la materia seca desaparecida y el porcentaje de cosecha. Se estudió la cobertura del suelo tanto para la materia seca disponible como para la remanente de cada corte. También se evaluó la composición botánica presente en la materia seca disponible de cada pastoreo. En todos los momentos de evaluación, la producción de forraje fue mayor en la medida que la intercepción de la radiación era mayor, de esta forma la máxima producción se dio en el tratamiento con 80% de intercepción y la mínima en el tratamiento sobre campo natural a pleno sol. En cuanto a la cobertura del suelo en la materia seca disponible se encontró que los tratamientos testigo presentaron el menor porcentaje de cobertura verde y el mayor de restos secos, mientras que los tratamientos con intercepción de la radiación obtuvieron mejor relación verde/seco. La composición botánica también varió según la intercepción de la radiación, en los tratamientos con sombra se registró un cambio en el balance entre gramíneas invernales/estivales frente a los tratamientos sobre campo natural a pleno sol. Se concluye que los distintos niveles de radiación solar tuvieron efectos tanto en la producción de forraje como en la cobertura del suelo y la composición botánica de un campo natural del noreste del país.

Palabras clave: campo natural; sombra; radiación fotosintéticamente activa; producción de forraje; cobertura del suelo; composición botánica

## 8. SUMMARY

The present work was carried out to evaluate the summer - autumn production of a natural field in the northeast of the country subject to increasing levels of artificial shade. The experiment was carried out in the department of Cerro Largo - Uruguay, on the EEBR site from November 2020 to July 2021. The experimental design proposed was in complete randomly blocks, with 4 repetitions and 5 treatments, which were a natural field control in full sun, 35, 50, 65 and 80% interception of solar radiation by shade mesh. The management carried out consisted of four forage cuts, the first with sheep and the remaining three with a self-propelled mower. It was found that as light availability decreased, the efficiency in the use of radiation of plants increased. Forage growth was evaluated for each period between samplings and the corresponding daily growth rate. In turn, for each cut, height and the available and remaining dry matter, the disappeared dry matter and the percentage of harvest were determined. The ground cover was studied for both the available dry matter and the remaining of each cut. The botanical composition present in the available dry matter from each cur was also evaluated. At all evaluation times, forage production was higher while the radiation interception was higher, in this way the maximum production occurred in the treatment with 80% interception and the minimum in the treatment on natural field with full sun. Regarding the ground cover in the available forage, it was found that the control treatments presented the lowest percentage of green cover and the highest percentage of dry remains, while the treatments with radiation interception obtained a better green/dry ratio in the available forage. The botanical composition also varied according to the interception of the radiation, in shaded treatments a change in the balance between winter/summer grasses was recorded compared to treatments on natural field in full sun. It is concluded that the different levels of solar radiation had effects both on forage production and on soil cover and the botanical composition of a natural field in the northeast of the country.

Keywords: natural field; shade; photosynthetically active radiation; forage production; ground cover; botanical composition

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Ammour, T. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CATIE. 244 p. (Manual técnico no. 109).
2. Araújo, J.; Silva, N.; França, F.; Campanha, M.; Sousa, J. 2010. Sistema de produção agrossilvopastoril no semiárido do Ceará: Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido. Fortaleza, PRODHAM. 32 p.
3. Arboleda, M. 2011. Efecto de la irradiancia en el crecimiento y desarrollo de *Aptenia cordifolia* (L.f.) Schwantes como cobertura ornamental. (en línea). Bioagro. 23(3): 175 - 184. Consultado 29 ago. 2022. Disponible en [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612011000300004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612011000300004)
4. Arévalo, L. 1994. Definición y clasificación de sistemas agroforestales. (en línea). In: Curso Regional de Agroforestería en la amazonia peruana (1º., 1994, Lima, Perú). Trabajos presentados. Lima, Congreso de la República del Perú. s.p. Consultado 28 set. 2021. Disponible en <https://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/inia/inia-i4/inia-i4-02.htm#TopOfPage>
5. Azcón-Bieto, J.; Fleco, I.; Aranda, X.; Gómez-Casanovas, N. 2008. Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. In: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. eds. Fundamentos de fisiología vegetal. 2a. ed. Madrid, McGraw-Hill. pp. 247 - 263.
6. Barro, R. 2011. Respostas morfofisiológicas e produtivas de genótipos forrageiros nativos em diferentes condições de luminosidade. Teses Dr. Zootecnia. Porto Alegre, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. 161 p.
7. Beretta, V.; Simeone, A.; Bentancur, O. 2013. Manejo de la sombra asociado a la restricción del pastoreo: Efecto sobre el comportamiento y performance estival de vacunos. (en línea). Agrociencia (Uruguay). 17(1): 131 - 140. Consultado 11 nov. 2021. Disponible en <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v17n1/v17n1a16.pdf>
8. Boggiano, P. 2003. Manejo y conservación de la diversidad biológica. In: Subcomponente manejo integrado de pradera: Proyecto combinado GEF/IBRD manejo integrado de ecosistemas y recursos naturales en Uruguay. Montevideo, s.e. 71 p.

9. \_\_\_\_\_.; Zanoniani, R.; Millot, J. 2005. Respuestas del campo natural a manejos con niveles crecientes de intervención. In: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 105 - 113. (Serie Técnica no. 151).
10. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2014. Producción de pasturas. (en línea). In: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY). ed. Producción animal sostenible en pastoreo sobre campo natural. Montevideo. pp. 52 - 67. Consultado 11 jul. 2022. Disponible en [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/libro\\_campo\\_natural\\_final\\_en\\_baja.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/libro_campo_natural_final_en_baja.pdf)
11. Bossi, J.; Ortiz, A.; Caggiano, R.; Oliveira, C. 2011. Geología del Uruguay. In: Manual didáctico de geología para estudiantes de agronomía. Montevideo, Udelar. pp. 89 - 115.
12. Brown, D. 1954. Methods of surveying and measuring vegetation. Farnham Royal, CABI. 223 p. (Bulletin no. 42).
13. Buitrago, M. E.; Ospina, L. A.; Narváez, W. 2018. Sistemas silvopastoriles: Alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. (en línea). Boletín científico del centro de museos. 22(1): 31 - 42. Consultado 4 nov. 2021. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v22n1/0123-3068-bccm-22-01-00031.pdf>
14. Cadenazzi, M. 1992. Comparación de distintos métodos de muestreo de la vegetación en campos naturales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 157 p.
15. Campbell, A. 1966. Grazed pasture parameters: Pasture dry-matter use in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. Journal of Agricultural Science. 67(2): 211 - 216.
16. Carámbula, M. 1988. Las pasturas de la zona norte de Uruguay. In: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical (9ª., 1988, Tacuarembó, Uruguay). Actas. Montevideo, CIAAB. pp. 5 - 14.
17. \_\_\_\_\_. 1991. Aspectos relevantes para la producción forrajera. Montevideo, INIA. 46 p. (Serie Técnica no. 19).

18. Carranza, C. A.; Ledesma, M. 2005. Sistemas silvopastoriles en el Chaco Árido. IDIA XXI. 8: 230 - 236.
19. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2009. Bases para el manejo de sistemas silvopastoriles. In: Congreso Forestal Mundial (13º., 2009, Buenos Aires, Argentina). Trabajos presentados. Buenos Aires, INTA. 9 p.
20. Carvalho, M. M.; Freitas, V. P.; Xavier, D. F. 2002. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira. 37(5): 717 - 722. Consultado 2 nov. 2021. Disponible en <https://www.scielo.br/j/pab/a/Yw8TJk9JnjBzysqw3xPxWjp/?lang=pt&format=pdf>
21. Casal, A.; Jankovic, V. 2015. Efecto del sombreeo en producción y estacionalidad de un pastizal en Cuenca del Salado. (en línea). In: Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles (3º., 2015, Misiones, Argentina). Trabajos presentados. Santa Cruz, INTA. pp. 39 - 42. Consultado 2 nov. 2021. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/a\\_casal\\_v\\_jankovic\\_efecto\\_del\\_sombreeo\\_sobre\\_la\\_produccion1.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/a_casal_v_jankovic_efecto_del_sombreeo_sobre_la_produccion1.pdf)
22. Casal, J.; Deregibus, V.; Sánchez, R. 1987. Tillering responses of Lolium multiflorum plants to changes of red/far-red ratio typical of sparse canopies. Journal of Experimental Botany. 38(9): 1432 - 1439.
23. Castaño, A. M.; Chica, H. A.; Obando, D.; Riaño, N. M. 2013. Arquitectura del dosel e interpretación de la radiación solar por tres especies forestales nativas en Colombia. (en línea). Cenicafé. 64(1): 19 - 30. Consultado 2 nov. 2021. Disponible en [https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/523/1/arc064\(01\)19-30.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/523/1/arc064(01)19-30.pdf)
24. Castro, C.; Paciullo, D.; Gomide, C.; Müller, M.; Nascimento Júnior, E. 2009. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de Brachiaria decumbens em sistema silvipastoril. (en línea). Pesquisa Florestal Brasileira. no. 60: 19 - 25. Consultado 29 ago. 2022. Disponible en <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/42/47>
25. Colabelli, M.; Agnusdei, M.; Mazzanti, A.; Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado 26 jul. 2022. Disponible en [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso\\_crecimiento.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso_crecimiento.pdf)

26. Comeau, P. 2000. Measuring light in the forest. Canada, Government of British Columbia. 7 p. (Extension Note no. 42).
27. Córdoba, E.; Hernández, S. 2003. Competencia por luz en sistemas silvopastoriles. (en línea). Ecofronteras. no. 18: 21 - 23. Consultado 11 nov. 2021. Disponible en [https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/938/1/000294191\\_documento.pdf](https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/938/1/000294191_documento.pdf)
28. De las Rivas, J. 2008. La luz y el aparato fotosintético. *In*: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. eds. Fundamentos de fisiología vegetal. 2a. ed. Madrid, McGraw-Hill. pp. 165 - 189.
29. Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C. 2013. InfoStat versión 2013. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. Consultado oct. 2022. Disponible en <https://www.infostat.com.ar/>
30. Duhalde, M.; Silveira, M. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada y mejoramiento de campo natural sobre la productividad invierno-primaveral. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 137 p.
31. Fedrigo, J.; Santa Cruz, R.; Benítez, V.; Posse, J.; Viñoles, C.; Courdin, V.; Ferreira, G. 2017. Forraje, temperatura y producción animal en un sistema silvopastoril en Uruguay. *In*: Congreso Internacional Sistemas Silvopastoriles (9º., 2017, Manizales, Colombia). Trabajos presentados. Montevideo, s.e. pp. 130 - 135.
32. Ferreira, R. A.; Castillo, L. H.; Lima, J. T.; Castillo, L. B.; Rodrigues de Souza, V. 2011. Avaliação do comportamento de ovinos Santa Inês em sistema silvipastoril no norte fluminense. *Ciência e Agrotecnologia*. 35(2): 399 - 403.
33. Gallinal, J.; Bergalli, L.; Campal, E.; Aragone, L.; Rosengurtt, B. 1938. Estudios sobre praderas naturales del Uruguay: Primera contribución. Montevideo, Imprenta Germano Uruguaya. 208 p.
34. Gallo, L. 2006. Sistemas silvopastoriles. (en línea). *Revista del Plan Agropecuario*. no. 119: 30 - 35. Consultado 4 oct. 2021. Disponible en [https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R119/R119\\_30.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R119/R119_30.pdf)
35. Garcia, R.; Couto, L.; Andrade, C.; Tsukamoto, A. 2001. Sistemas silvipastoris na Região Sudeste: A experiência da CMM. *In*: Seminario Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável (2003, Campo Grande, Brasil). Campo Grande, Embrapa. pp. 173 - 187.



36. Gil, J.; Espinoza, Y.; Obispo, N. 2005. Relaciones suelo-planta-animal en sistema silvopastoriles. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado 5 nov. 2021. Disponible en [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvopastoril/33-realacion\\_suelo\\_planta\\_animal\\_silvopastoril.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/33-realacion_suelo_planta_animal_silvopastoril.pdf)
37. Gómez, R.; Guerrini, L. 2011. Evaluación del crecimiento de gramíneas forrajeras sembradas bajo un monte de *Eucalyptus globulus ssp globulus*. (en línea). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 102 p. Consultado 26 ago. 2022. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9764/1/3773gom.pdf>
38. Gómez Sanz, V. 2004. Cubiertas forestales y respuesta microclimática. (en línea). Investigación Agraria: Sistema y recursos forestales. 13(4): 84 - 100. Consultado 15 nov. 2021. Disponible en <https://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/857/854>
39. Gutiérrez, B.; Fierro, L. 2006. Diagnóstico y diseño participativo en sistemas agroforestales. (en línea). Bogotá, Corpoica. 110 p. Consultado 15 nov. 2021. Disponible en [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17385/4/1812\\_44031.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17385/4/1812_44031.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
40. Herrera, V. 2020. Efecto del estrés calórico en el bienestar animal y la producción. (en línea). Revista del Plan Agropecuario. no. 176: 25 - 27. Consultado 4 oct. 2021. Disponible en <https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/1912972.pdf>
41. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2018. Algunos conceptos sobre calidad de forrajes. (en línea). Montevideo. 2 p. (Ficha técnica no. 33). Consultado 8 set. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11188/1/Ficha-tecnica-33-Algunos-conceptos-sobre-calidad-de-forrajes.pdf>
42. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). s.f.a. Climatología del otoño (mar-abr-may) en Uruguay 1981-2010. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 15 feb. 2022. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2020-03/climatologia-otono-2019.pdf>

43. \_\_\_\_\_. s.f.b. Climatología del verano (dic-ene-feb) en Uruguay 1981-2010. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 15 feb. 2022. Disponible en [https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2020-12/CLIMATOLOGIA%20DEL%20VERANO\\_LQ.pdf](https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2020-12/CLIMATOLOGIA%20DEL%20VERANO_LQ.pdf)
44. \_\_\_\_\_. s.f.c. Tablas estadísticas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 28 jun. 2022. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
45. Jaurena, M.; Formoso, D.; Gómez Miller, R.; Rebuffo, M. 2013. Campo natural: Patrimonio del país y fundamento de la estabilidad productiva de la ganadería. (en línea). Revista INIA. no. 32: 31 - 35. Consultado 8 nov. 2021. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7041/1/revista-INIA-32-p.31-35.pdf>
46. Jewsbury, G. 2016. Plantas forrajeras. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. 70 p. Consultado 27 ago. 2022. Disponible en <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/botaxo/wp-content/uploads/sites/14/2016/08/Forrajeras.-2016.pdf>
47. Jiménez, F.; Muschler, R.; Köpsell, E. 2001. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. (en línea). Turrialba, CATIE. 194 p. (Materiales de Enseñanza no. 46). Consultado 30 set. 2021. Disponible en [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2202/Funciones\\_y\\_aplicaciones\\_de\\_sistemas\\_agroforestales.pdf;jsessionid=570F44E171B0820124996C11C14BF265?sequence=1](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2202/Funciones_y_aplicaciones_de_sistemas_agroforestales.pdf;jsessionid=570F44E171B0820124996C11C14BF265?sequence=1)
48. King, J.; Sim, E.; Barthram, G. 1986. A comparison of spectral reflectance and sward surface height measurements to estimate herbage mass and leaf area index in continuously stocked ryegrass pastures. Grass and Forage Science. 41(3): 251 - 258.
49. Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. (en línea). Meteorologische Zeitschrift. 15(3): 259 - 263. Consultado 21 feb. 2022. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/51997463\\_World\\_Map\\_of\\_the\\_Koppen-Geiger\\_Climate\\_Classification\\_Updated](https://www.researchgate.net/publication/51997463_World_Map_of_the_Koppen-Geiger_Climate_Classification_Updated)

50. Lacorte, S.; Esquivel, J. 2009. Sistemas silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina: Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción. In: Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles (1º., 2009, Misiones, Argentina). Trabajos presentados. Buenos Aires, INTA. pp. 1 - 11.
51. Lapetina, J. 2011. Guía de buenas prácticas ganaderas para el manejo y conservación de pastizales naturales: Paisaje protegido Laguna de Rocha. (en línea). Montevideo, MVOTMA. 65 p. Consultado 26 ago. 2022. Disponible en [https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Guia\\_de\\_buenas\\_practicas\\_ganaderas - Laguna de Rocha.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Guia_de_buenas_practicas_ganaderas_-_Laguna_de_Rocha.pdf)
52. Lemaire, G.; Agnusdei, M. 2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. (en línea). In: Lemaire, G.; Hodgson, J.; De Moraes, A.; Nabinger, C.; Carvalho, P. C de F. eds. Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. Wallingford, CABI. pp. 265 - 286. Consultado 10 ago. 2022. Disponible en <https://userweb.weihenstephan.de/lattanzi/Lit/Grassland%20Ecophysiology.pdf>
53. Lin, B. 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150(4): 510 - 518.
54. Lindner, R. 1976. Influencia del sol y de la sombra sobre el crecimiento y desarrollo en poblaciones de *Dactylis glomerata* L. *Pastos*. 6(2): 376 - 383.
55. Macedo, J. R.; Campos, A. C.; Bosi, C.; Perondi, P.; Henrique, M.; De Faria, A.; Novita, S. 2017. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. *Agroforestry Systems*. 93: 39 - 49.
56. Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 15(2): 226 - 231.
57. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1976. Carta de reconocimiento de Suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo. Esc. 1:1.000.000. Color. Consultado may. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/carta-reconocimiento-suelos-del-uruguay-escala-11000000>

58. Martínez, M.; Pereira, M. 2011. Pautas para el manejo del campo natural. Montevideo, MGAP. 20 p.
59. Maurig, M. V.; Bernardis, A. C. 2017. Producción de biomasa de brachiaria (*Brachiaria brizantha*) cv. Marandú en dos sistemas silvopastoriles de pino (*Pinus elliotii*) en Corrientes, Argentina. (en línea). Chilean journal of agricultural & animal science. 33(2): 124 - 135. Consultado 3 nov. 2021. Disponible en <https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v33n2/0719-3890-chjaasc-00402.pdf>
60. May, H.; Di Landro, E.; Álvarez, C. 1990. Avances en la caracterización de sitios en el estudio integrado de pasturas naturales y suelos en la estancia Palleros. In: Seminario Nacional de Campo Natural. (2º., 1990, Tacuarembó, Uruguay). Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 11 - 33.
61. MGAP. DGRN (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales, UY). 2020. Descripción de los grupos CONEAT. (en línea). Montevideo. 62 p. Consultado 17 feb. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/coneat#:~:text=Los%20grupos%20CONEAT%20%20son,65%20de%20la%20Ley%2013695>
62. \_\_\_\_\_. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, UY). 2020. Anuario estadístico agropecuario 2020. Montevideo. 270 p.
63. MIE. DNMG (Ministerio de Industria y Energía. Dirección Nacional de Minería y Geología, UY). 1985. Carta geológica del Uruguay. (en línea). Montevideo. Esc. 1:500.000. s.p. Color. Consultado 17 feb. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/publicaciones/carta-geologica-del-uruguay-escala-1500000>
64. Molfino, J. 2009. Estimación del agua disponible en los grupos CONEAT: Metodología empleada. (en línea). Montevideo. 12 p. Consultado 4 may. 2022. Disponible en [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/estimacion\\_de\\_agua\\_disponible\\_en\\_los\\_grupos\\_coneat\\_metodologia\\_empleada.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/estimacion_de_agua_disponible_en_los_grupos_coneat_metodologia_empleada.pdf)

65. Montserrat, P. 1961. La sombra y sus efectos sobre el pasto. (en línea). In: Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (2ª., 1961, Galicia, España). Actas. Madrid, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. 12 p. Consultado 3 nov. 2021. Disponible en [https://digital.csic.es/bitstream/10261/65945/1/057\\_sombra\\_pasto\\_1961.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/65945/1/057_sombra_pasto_1961.pdf)
66. Munka, C. 2017. Microclima en sistemas silvopastoriles. In: Seminario en Sistemas Silvopastoriles (1º., 2017, Melo, Uruguay). Producción integrada para maximizar la rentabilidad. Melo, Polo Desarrollo Universitario. pp. 63 - 68.
67. Nair, P. 1989. Agroforestry systems in the tropics. Dordrecht, Kluwer. 665 p.
68. \_\_\_\_\_. 1993. An introduction to Agroforestry. Dordrecht, Kluwer. 491 p.
69. Obispo, N. E.; Espinoza, Y.; Gil, J. L.; Ovalles, F.; Cabrera, E.; Pérez, M. J. 2013. Relación de la proporción de sombra en el potrero con el rendimiento, calidad del forraje y ganancia diaria de peso en novillos. (en línea). Revista Científica. 23(6): 531 - 536. Consultado 2 nov. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/959/95928830010.pdf>
70. Oliveira, C.; Do Carmo, S.; Machado, M.; Silva, N.; Gomes dos Santos, T.; Junqueira, S. 2014. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. (en línea). Acta Scientiarum, Animal Sciences. 36(2): 129 - 136. Consultado 15 nov. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v36i2.22398>
71. Olmos, F. 1997. La productividad de pasturas en relación a los principales parámetros del clima. In: Efectos climáticos sobre la productividad de pasturas en la región noreste. Montevideo, INIA. pp. 1 - 12. (Boletín de Divulgación no. 64).
72. \_\_\_\_\_.; Franco, J.; Sosa, M. 2005. Impacto de las prácticas de manejo en la productividad y diversidad de pasturas naturales. In: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 93 - 103. (Serie Técnica no. 151).
73. \_\_\_\_\_.; Sosa, M.; Soares de Lima, J. 2014. Integración de resultados para el manejo del campo natural en la región noreste. Montevideo, INIA. 218 p. (Serie Técnica no. 214).
74. OMSA (Organización Mundial de Sanidad Animal, FR). s.f. Bienestar Animal. (en línea). Paris. s.p. Consultado oct. 2021. Disponible en: <https://www.oie.int/es/que-hacemos/sanidad-y-bienestar-animal/bienestar-animal/>

75. Paciullo, D.; Gomide, C.; Castro, C.; Fernandes, P.; Müller, M.; Pires, M.; Fernandes, E.; Xavier, D. 2012. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira. 46(10): 1176 - 1183. Consultado 23 jul. 2022. Disponible en <https://www.scielo.br/j/pab/a/jzM6CYVCddFM4ZBCwFMDzt/?format=pdf&lang=pt>
76. Pereira, M. 2011. Manejo y conservación de las pasturas naturales del Basalto. (en línea). Montevideo, Plan Agropecuario. 78 p. Consultado 15 abr. 2021. Disponible en [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/20\\_pasturas\\_de\\_basalto.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/20_pasturas_de_basalto.pdf)
77. Peri, P.; Moot, D.; McNeil, D. 2005. Modelling photosynthetic efficiency ( $\alpha$ ) for the light-response curve of cocksfoot leaves grown under temperate field conditions. European Journal of Agronomy. 22: 277 - 292.
78. \_\_\_\_\_; Lucas, R.; Moot, D. 2007. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. (en línea). Agroforestry Systems. 70(1): 63 - 79. Consultado 25 jul. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9029-x>
79. \_\_\_\_\_; Dube, F.; Varella, A. 2016. Silvopastoral systems in the subtropical and temperate zones of South America: An overview. In: Peri, P.; Dube, F.; Varella, A. eds. Silvopastoral systems in Southern South America. Cham, Springer. pp. 1 - 9. (Advances in Agroforestry vol. 11).
80. Pezo, D.; Ibrahim, M. 1998. Sistemas silvopastoriles. Turrialba, CATIE/GTZ. 258 p.
81. Picasso, V.; Boggiano, P.; Cadenazzi, M.; Zarza, R.; Millot, J. C. 2003. Efecto del árbol en la composición botánica de pasturas naturales del litoral oeste del Uruguay. In: Jornadas de Zoología del Uruguay (7<sup>a.</sup>, 2003, Montevideo, Uruguay). Encuentro de Ecología del Uruguay. Montevideo, s.e. 126 p.
82. \_\_\_\_\_. 2014. Sustentabilidad y resiliencia en sistemas de campo natural. (en línea). In: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY). ed. Producción animal sostenible en pastoreo sobre campo natural. Montevideo. pp. 119 - 130. Consultado 10 nov. 2021. Disponible en [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/libro\\_campo\\_natural\\_final\\_en\\_baja.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/libro_campo_natural_final_en_baja.pdf)

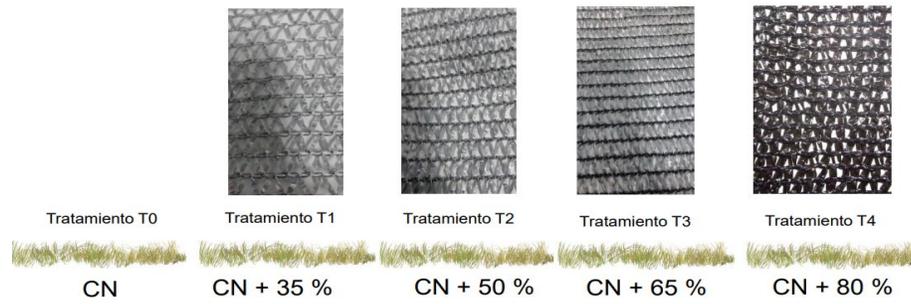
83. Pillar, V.; Boldrini, I.; Lange, O. 2002. Padrões de distribuição espacial de comunidades campestres sob plantio de eucalipto. (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira. 37(6): 753 - 761. Consultado 20 oct. 2021. Disponible en <https://www.scielo.br/j/pab/a/gXqpSPTdH5Dh5Jc9dXS8pNq/?format=pdf&lang=pt>
84. Plan Agropecuario. 2018. ¿Por qué no es recomendable introducir especies anuales como raigrás en el campo natural? (en línea, video). Consultado 26 ago. 2022. Disponible en [https://www.youtube.com/watch?v=IK\\_fqIS94QE](https://www.youtube.com/watch?v=IK_fqIS94QE)
85. Polla, C. 2000. Experiencias en sistemas productivos agroforestales y silvopastoriles en Uruguay. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado 2 set. 2021. Disponible en: [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvopastoril/31-sistemas\\_productivos\\_agroforestales\\_silvopastoriles\\_uruguay.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/31-sistemas_productivos_agroforestales_silvopastoriles_uruguay.pdf)
86. Qiu, N.; Lu, C. 2003. Enhanced tolerance of photosynthesis against high temperature damage in salt - adapted halophyte *Atriplex centralasiatica* plants. Plant, Cell and Environment. 26(7): 1137 - 1145.
87. Raffo, D. 2014. La radiación solar y las plantas: Un delicado equilibrio. (en línea). Revista Fruticultura y Diversificación. no. 74: 40 - 44. Consultado 11 nov. 2021. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_fyd\\_74\\_la-radiacion-solar-y-las-plantas.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_fyd_74_la-radiacion-solar-y-las-plantas.pdf)
88. Rego, G.; Possamai, E. 2006. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila inicial do Jequitibá – rosa. Pesquisa Florestal Brasileira. no. 53: 179 - 194.
89. Ríos, N.; Andrade, H.; Ibrahim, M. 2008. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. (en línea). Zootecnia Tropical. 26(3): 183 - 186. Consultado 8 nov. 2021. Disponible en <http://ve.scielo.org/pdf/zt/v26n3/art04.pdf>
90. Rivera, J.; Colcombet, L.; Santos-Gally, R.; Murgueitio, E.; Díaz, M.; Mauricio, R.; Peri, P.; Chará, J. 2021. Sistemas silvopastoriles: Ganadería sostenible con arraigo e innovación. Cali, CIPAV. 22 p.
91. Rojas, E. 2015. La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de tomate. Tesis Mag. Ciencias en Agroplasticultura. Saltillo, México. Centro de Investigación en Química Aplicada. 72 p.

92. Rosengurtt, B. 1943. Estudios sobre praderas naturales del Uruguay: 3a. contribución. Montevideo, Barreiro. 281 p.
93. Rovira, P.; Velazco, J. 2007. Sombra: Buena para el ganado, mejor para el productor: engorde de novillos durante el verano. (en línea). Revista INIA. no. 13: 2 - 5. Consultado 9 nov. 2021. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/14445120308113926.pdf>
94. Saldanha, S. 2005. Manejo del pastoreo en campos naturales sobre suelos medios de basalto y suelos arenosos de cretácico. *In*: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 75 - 84. (Serie Técnica no. 151).
95. Sancho, L.; Arocena, I.; Ordeig, L. 2021. Definición, caracterización y cuantificación del área bajo sistemas silvopastoriles, para el seguimiento de las contribuciones establecidas en la contribución determinada a nivel nacional de Uruguay. (en línea). Montevideo, MGAP. 66 p. Consultado 15 oct. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/definicion-caracterizacion-cuantificacion-del-area-bajo-sistemas-silvopastoriles>
96. Silveira, E.; De Mello, M.; Zanoniani, R.; Boggiano, P. 2016. Relación raíz - parte aérea de plántulas de tres gramíneas perennes bajo un sistema silvopastoril y a cielo abierto. *In*: Encuentro de Investigadores de la Región Noreste (1º., 2016, Tacuarembó, Uruguay). Resúmenes. Tacuarembó, Udelar, INIA. p. 23.
97. \_\_\_\_\_.; Cadenazzi, M.; Zanoniani, R.; Boggiano, P. 2018. Estructura de las comunidades herbáceas en áreas con plantaciones forestales. (en línea). Agrociencia (Uruguay). 22(1): 1 - 12. Consultado 2 nov. 2021. Disponible en [https://pdfs.semanticscholar.org/fb64/e0aaece5a25d9f479c448f91917a2ed7128b.pdf?\\_ga=2.31468222.1864483287.1635868760-329343101.1635868760](https://pdfs.semanticscholar.org/fb64/e0aaece5a25d9f479c448f91917a2ed7128b.pdf?_ga=2.31468222.1864483287.1635868760-329343101.1635868760)
98. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2019. Diferencias en cobertura y valor pastoral de la vegetación en condiciones silvopastoriles y campo natural. (en línea). Agrociencia (Uruguay). 23(1): 1 - 12. Consultado 7 oct. 2021. Disponible en <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v23n2/2301-1548-agro-23-02-41.pdf>

99. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Nabinger, C.; Boggiano, P. 2022. Influencia del ambiente lumínico sobre la cobertura vegetal y metabolismos fotosintéticos en comunidades de sotobosque. (en línea). *Agro Sur*. 50(1): 47 - 63. Consultado 14 set. 2022. Disponible en <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/6818/7923>
100. Simeone, A. 2013. Ganadería y forestación: Una buena yunta para aumentar la rentabilidad. *In*: Simeone, A.; Beretta, V.; Caorsi, J. eds. *La forestación y la ganadería en el Uruguay*. Montevideo, UPM Forestal Oriental. pp. 41 - 58.
101. \_\_\_\_\_.; Beretta, V.; Caorsi, C. 2013. ¿Es importante la sombra que proporcionan los montes de la forestación para la performance del ganado de carne durante el verano? *In*: Simeone, A.; Beretta, V.; Caorsi, J. eds. *La forestación y la ganadería en el Uruguay*. Montevideo, UPM Forestal Oriental. pp. 27 - 38.
102. Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. *Fisiología vegetal*. 3a. ed. Castelló de la Plana, Universitat Jaume. 2 v.
103. Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. 1955. *The water balance*. Centerton, Drexel Institute of Technology. vol. 8, 104 p.
104. Uresk, D.; Mergen, D. 2012. Monitoring mid-grass prairie in southwestern South Dakota and northwestern Nebraska, USA. *Grassland Science*. 58: 140 - 146.
105. Wang, Z.; Pote, J.; Huang, B. 2003. Responses of cytokinins, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in shoots of creeping bentgrass to high root-zone temperatures. (en línea). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 128(5): 648 - 655. Consultado 25 jul. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.5.0648>
106. Wilson, J. R.; Ludlow, M. M. 1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. *In*: *Forages for Plantations Crops* (1990, Bali, Indonesia). Proceedings. Canberra, ACIAR. pp. 10 - 24.
107. \_\_\_\_\_. 1996. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. *Australian Journal of Agriculture Research*. 47(7): 1075 - 1093.
108. Wong, C. C.; Wilson, J. R. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. *Australian Journal of Agricultural Research*. 31(2): 269 - 285.

## 10. ANEXOS

### Anexo No. 1. Tratamientos del diseño experimental.



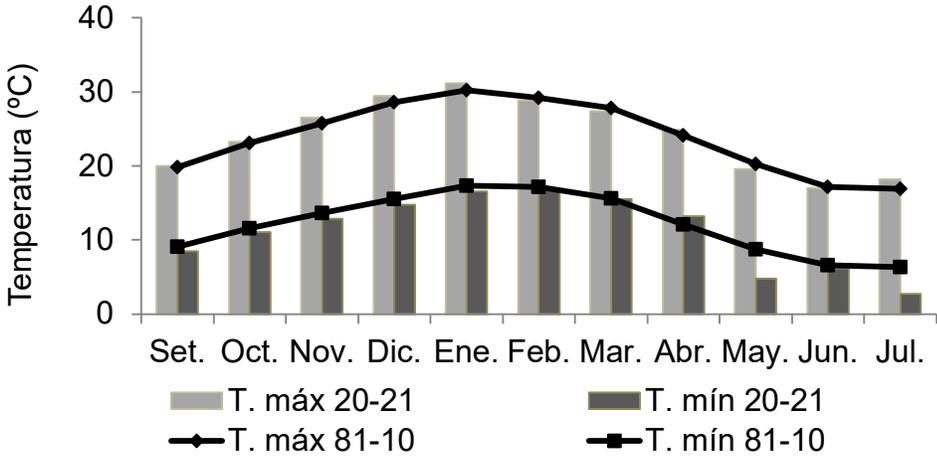
### Anexo No. 2. Imagen de sensor remoto.



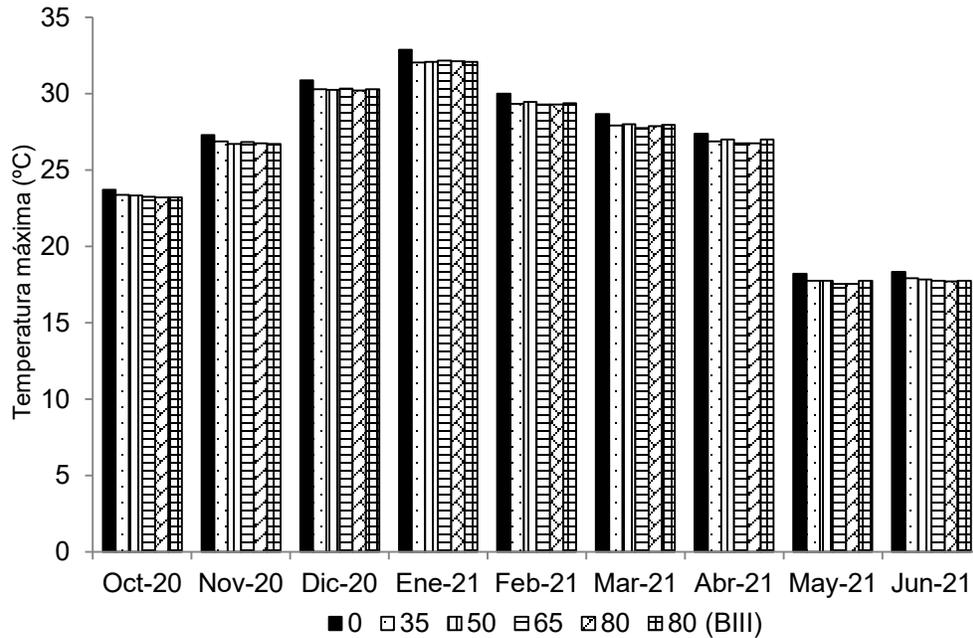
Anexo No. 3. Muestras de corte de forraje en estufa.



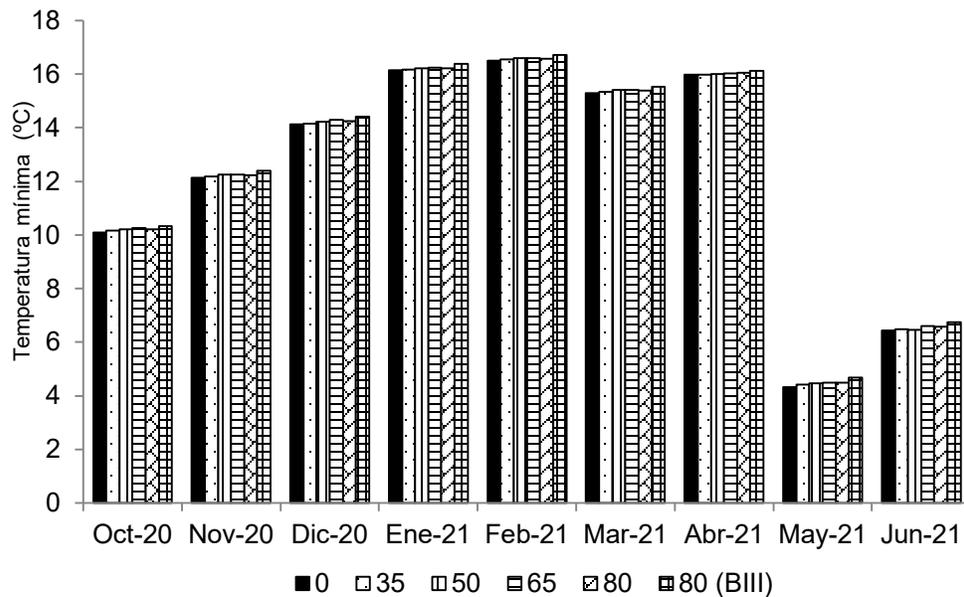
Anexo No. 4. Temperatura media máxima y mínima del período setiembre 2020 a julio 2021 y de la serie histórica 1981 - 2010.



Anexo No. 5. Temperatura media máxima mensual desde octubre 2020 hasta junio 2021 para todas las parcelas del bloque II y para la parcela de 80% del bloque III.



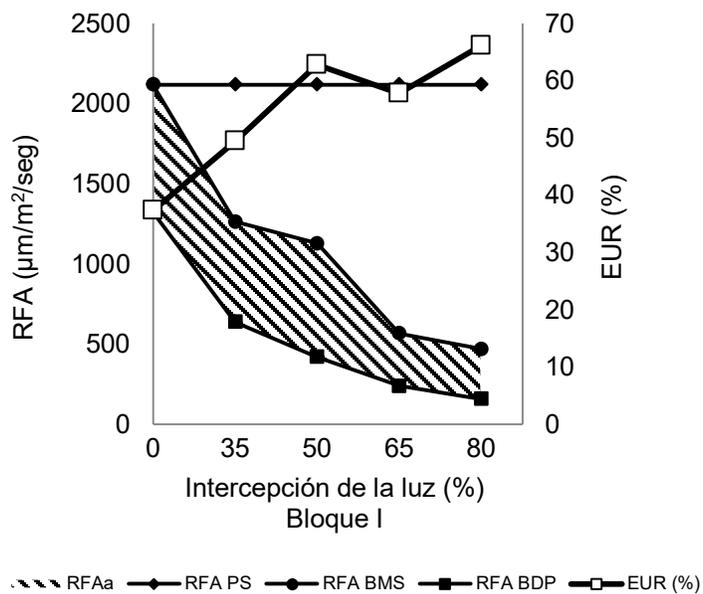
Anexo No. 6. Temperatura media mínima mensual desde octubre 2020 hasta junio 2021 para todas las parcelas del bloque II y para la parcela de 80% del bloque III.



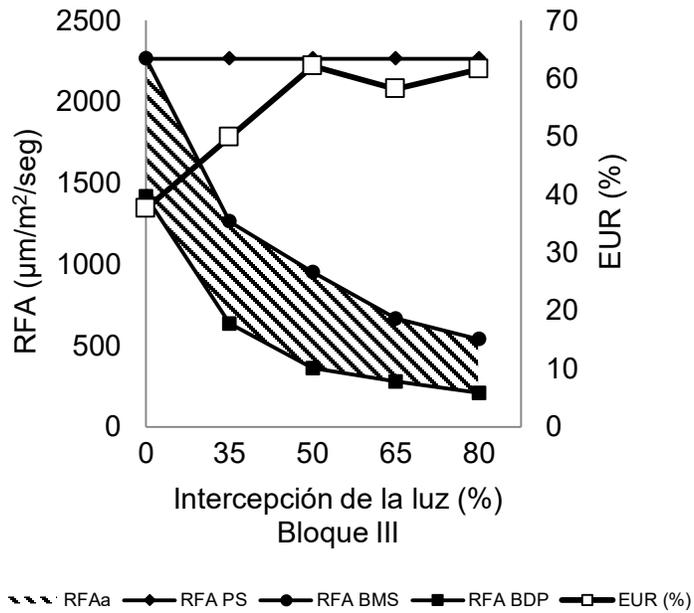
Anexo No. 7. Balance hídrico meteorológico entre abril 2020 y julio 2021 según datos de la estación meteorológica de Melo para un suelo con una capacidad de almacenaje de agua disponible igual a 154 mm.

Fecha	PP (mm)	ETP (mm)	P - ETP (mm)	Alm. (mm)	varAlm. (mm)	ETR (mm)	Def. (mm)	Exc. (mm)
Abr. 20	101,3	93,6	7,7	154 / 7,7				7,7 /
May. 20	81,1	64,4	16,7	154 / 24,4				16,7 /
Jun. 20	148,3	43,8	104,5	154 / 128,9				104,5 /
Jul.20	40,1	46,6	-6,5	147,6 / 123,6				
Ago. 20	56,2	76,6	-20,4	129,3 / 108,2				
Set. 20	155,6	88,2	67,4	154 / 154				42,7 / 21,6
Oct. 20	63	125,9	-62,9	102,4	-51,6	63	62,9	
Nov. 20	19	153,7	-134,7	42,7	-111,3	19	134,7	
Dic. 20	69,9	220,8	-150,9	16	-138	69,9	150,9	
Ene. 21	190,4	223,3	-32,9	12,9	-141,1	190,4	32,9	
Feb. 21	204	144,8	59,2	72,1	-81,9	144,8		
Mar. 21	99,6	109	-9,4	67,9	-86,1	99,6	9,4	
Abr. 21	137,2	99	38,2	106,1	-47,9	99		
May. 21	35,4	60,7	-25,3	90	-64	35,4	25,3	
Jun. 21	112,6	40,7	71,9	154	0	40,7		7,9
Jul. 21	89,8	54,3	35,5	154	0	54,3		35,5

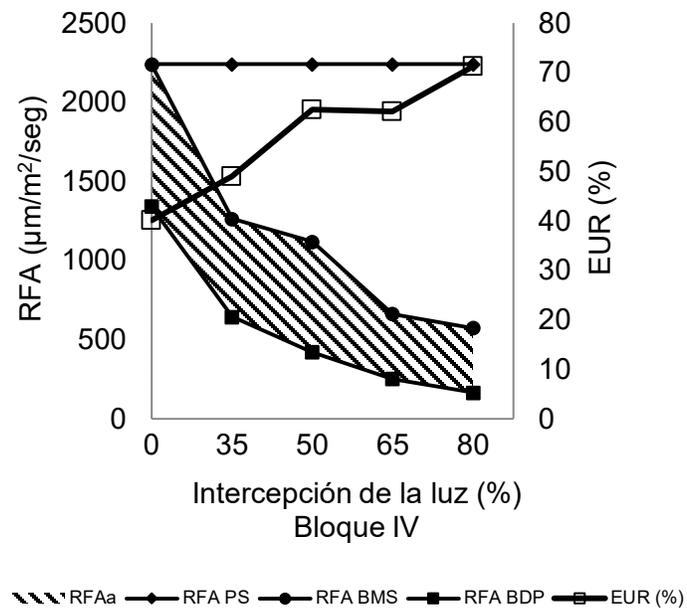
Anexo No. 8. RFA según tratamientos dentro del bloque I durante la estación estival.



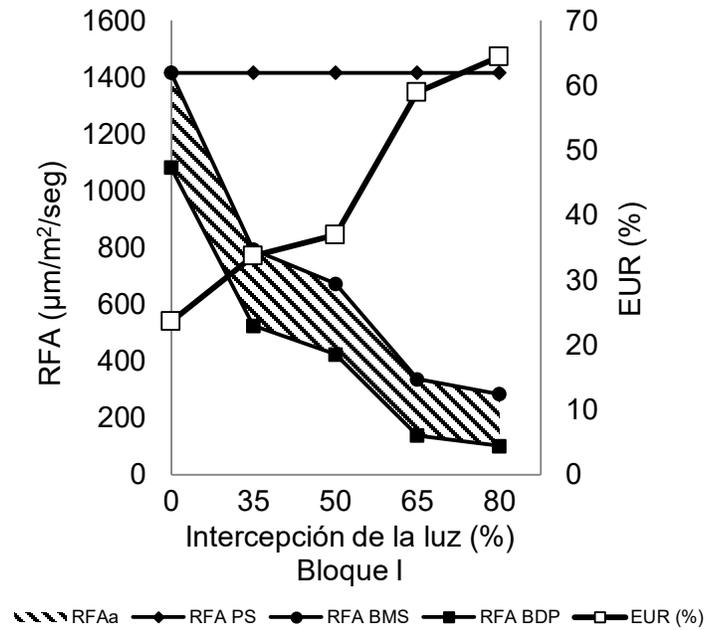
Anexo No. 9. RFA según tratamientos dentro del bloque III durante la estación estival.



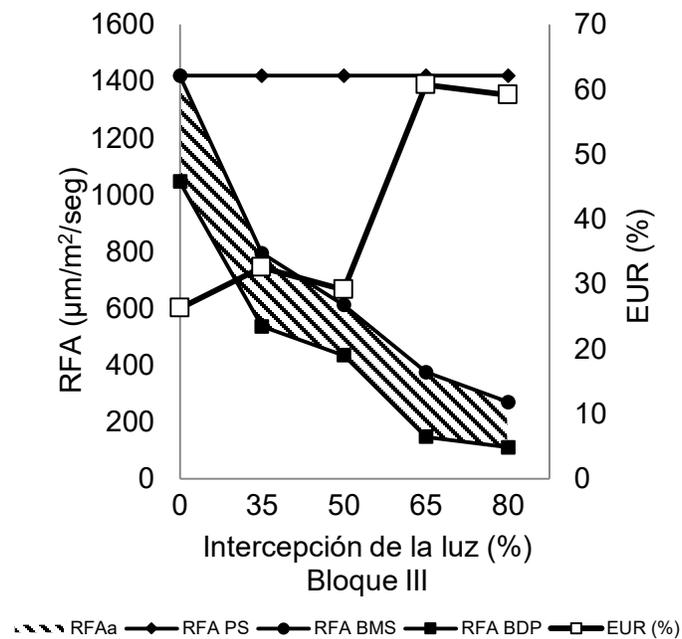
Anexo No. 10. RFA según tratamientos dentro del bloque IV durante la estación estival.



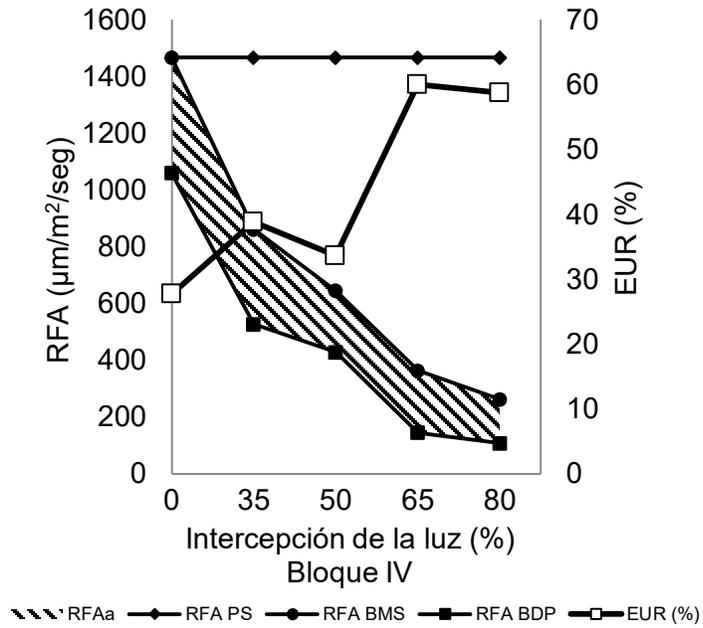
Anexo No. 11. RFA según tratamientos dentro del bloque I durante la estación otoñal.



Anexo No. 12. RFA según tratamientos dentro del bloque III durante la estación otoñal.



Anexo No. 13. RFA según tratamientos dentro del bloque IV durante la estación otoñal.



Anexo No. 14. Materia seca disponible en el segundo muestreo en la parcela 19 perteneciente al tratamiento campo natural (izquierda) y en la parcela 17 al tratamiento con 80% de intercepción (derecha).



Anexo No. 15. Muestras de forraje del tratamiento campo natural y 80% de interceptación de la radiación pertenecientes al primer corte de forraje.



Anexos No. 16. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca disponible del segundo muestreo.

Trat.	Cob. V(%)	RS (%)	H + M (%)
80	84,3	8,3	7,8
65	86,5	7	6,5
50	86,5	10,3	3
35	86,8	8,3	4,8
0	82,8	10,8	6,5

Anexos No. 17. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca remanente del primer muestreo.

Trat.	Cob. V (%)	RS (%)	H + M (%)
80	45	25,8	29,2
65	51,3	29,6	19,2
50	51,7	30,8	17,5
35	51,7	28,8	19,6
0	49,6	31,8	18,7

Anexos No. 18. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca remanente del segundo muestreo.

Trat.	Cob. V (%)	RS (%)	H + M (%)
80	80,8	10,6	8,3
65	81,8	8,5	9,8
50	78,3	11,8	9,5
35	81,8	10,3	7,8
0	83,3	8,5	8

Anexos No. 19. Contribución porcentual de cobertura verde (Cob. V), restos secos (RS) y heces + mantillo (H+M) según tratamiento para la materia seca remanente del cuarto muestreo.

Trat.	Cob. V (%)	RS (%)	H + M (%)
80	81	12	5,8
65	81	10,3	6
50	81,5	12,8	4,5
35	79	15,8	4,3
0	83,3	14	3

Anexos No. 20. Contribución porcentual en la materia seca disponible de gramíneas perennes invernales (GPI), gramíneas perennes estivales (GPE), gramíneas anuales invernales (GAI), monocotiledóneas no gramíneas (Cyp + Lil + Jun) y hierbas menores (HM) según tratamiento en el primer muestreo.

Trat.	GPI (%)	GPE (%)	GAI (%)	Cyp + Lil + Jun (%)	HM (%)
80	35,8	48,5	11,5	0,5	3,3
65	35	55,5	5,5	1,5	2,8
50	26,5	64	6,3	1,3	2
35	26	60,8	9	2	2,3
0	11,8	83	1,8	1	2,8

Anexo No. 21. Materia seca disponible en el segundo muestreo en la parcela 3, perteneciente al tratamiento con 65% de intercepción.



Anexo No. 22. Materia seca disponible en el cuarto muestreo en la parcela 15, perteneciente al tratamiento campo natural (izquierda) y en la parcela 13 al tratamiento con 80% de intercepción (derecha).



Anexo No. 23. Hierbas menores presentes en el cuarto muestreo en la parcela 18, perteneciente al tratamiento con 65% de intercepción.

