

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE DISTINTOS MARCOS DE PLANTACIÓN DE
EUCALYPTUS SOBRE LA IMPLANTACIÓN DE *Festuca arundinacea*
Y *Dactylis glomerata***

por

**Camila IMPARATTA MESCIA
Isolina FERNÁNDEZ CASTELLS**

**TESIS presentada como
uno de los requisitos para
obtener el título de
Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2022**

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. (PhD.) Pablo Boggiano

Ing. Agr. (MSc.) David Silveira

Ing. Agr. (PhD.) Jean Frédigo

Fecha: 15 de septiembre de 2022

Autoras: -----
Camila Imparatta Mescia

Isolina Fernández Castells

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a nuestras familias por el apoyo durante todo el proceso.

A nuestras amigas, compañeros y personas que nos ayudaron para llegar al final de esta etapa.

A nuestro tutor, Ing. Agr. Pablo Boggiano, por su apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A la Ing. Agr. Mónica Cadenazzi, por su dedicación a lo largo del proceso de análisis estadístico.

A la Lic. Sully Toledo por la corrección del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 <u>SISTEMAS AGROFORESTALES</u>	2
2.1.1 <u>Clasificación de los sistemas agroforestales</u>	3
2.2 <u>SISTEMAS SILVOPASTORILES (SSP)</u>	4
2.2.1 <u>Funciones de los SSPP.</u>	5
2.2.2 <u>Sistemas silvopastoriles en Uruguay</u>	7
2.2.3 <u>Interacciones en sistemas silvopastoriles</u>	9
2.2.3.1 <u>Efecto de los árboles sobre la pastura</u>	12
2.3 <u>CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LOS COMPONENTES FORRAJEROS</u>	20
2.3.2 <u>Gramíneas perennes</u>	21
2.3.2.1 <u>Dactylis glomerata</u>	21
2.3.2.2 <u>Festuca arundinacea</u>	22
2.3.3 <u>Caracterización del componente forestal</u>	23
2.3.3.1 <u>Eucalyptus camaldulensis</u>	23
2.3.3.2 <u>Eucalyptus grandis</u>	23
2.4 <u>IMPLANTACIÓN</u>	24
2.4.1 <u>Aspectos relacionados con la implantación</u>	24
2.4.2 <u>Factores que afectan la implantación</u>	25
2.4.2.1 <u>Características del suelo</u>	25
2.4.2.2 <u>Método de siembra</u>	29
2.4.2.3 <u>Enmalezamiento</u>	30
2.4.2.4 <u>Calidad de la semilla</u>	31
2.4.2.5 <u>Época de siembra</u>	31
2.4.2.6 <u>Densidad de siembra</u>	32
2.4.2.7 <u>Condiciones lumínicas</u>	33
2.5 <u>MORFOGÉNESIS DE GRAMÍNEAS FORRAJERAS</u>	34
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	36
3.1. <u>LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL</u>	36
3.2. <u>CLIMA</u>	36
3.2.1. <u>Temperatura</u>	36

3.2.2. <u>Precipitaciones</u>	36
3.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	37
3.3.1 <u>Unidad de suelo</u>	37
3.3.2. <u>Descripción de suelos CONEAT</u>	38
3.4. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO	38
3.4.1. <u>Componente forestal</u>	38
3.4.2. <u>Componente pastura</u>	40
3.4.2.1. <u>Especies forrajeras, manejo pre siembra y siembra</u>	40
3.4.2.2. <u>Manejo post siembra</u>	41
3.5. CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	41
3.5.1. <u>Arreglo espacial del ensayo y croquis</u>	41
3.5.2. <u>Análisis de datos</u>	43
3.6. MEDICIONES.....	44
3.6.1. <u>Dinámica poblacional</u>	44
3.6.2. <u>Número de plantas establecidas</u>	44
3.6.3. <u>Determinación de la partición de la materia seca</u>	45
3.7. VARIABLES ESTIMADAS	45
3.7.1 <u>Implantación</u>	45
3.7.2 <u>Cobertura del suelo</u>	45
3.8. HIPÓTESIS.....	46
3.8.1 <u>Hipótesis biológicas</u>	46
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	47
4.1. TEMPERATURA.....	47
4.2. PRECIPITACIONES	48
4.3. IMPLANTACIÓN.....	49
4.3.1 <u>Número de plantas por metro cuadrado</u>	49
4.3.1.1. <u>Comparación con experimento dos a través de intervalo de confianza</u>	53
4.3.2 <u>Porcentaje de suelo cubierto por especies sembradas, por malezas, por residuos y de suelo desnudo</u>	54
4.3.2.1. <u>Comparación con experimento con condiciones de pleno sol a través de intervalos de confianza</u>	56
4.4 MUESTREO DE PLANTAS	58
4.4.1. <u>Comparación con experimento dos a través de intervalos de confianza</u>	60
4.5 DINÁMICA POBLACIONAL	61
4.6 MACOLLAJE.....	66
4.6.1. <u>Comparación con experimento dos a través de intervalos de confianza</u>	67
4.7 NÚMERO DE PLANTAS.....	67
4.7.1 <u>Comparación con experimento dos a través de intervalos de confianza</u>	68

5. <u>CONCLUSIONES</u>	69
6. <u>RESUMEN</u>	70
7. <u>SUMMARY</u>	72
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	74

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Parámetros que permiten definir la densidad de siembra.....	33
2. Promedios por tratamiento para las variables DAP, altura total, altura del tronco, altura de la copa y ancho de copa.....	39
3. Especies utilizadas, densidad de siembra y características de las semillas.....	41
4. Superficie por parcela.....	41
5. Medias de implantación, medido en número de plantas por metro cuadrado, a los 90 y 120 días pos siembra.....	50
6. Implantación como porcentaje del número de semillas sembradas.....	50
7. Intervalos de confianza para implantación a pleno sol, por fecha.....	53
8. Intervalos de confianza para implantación a pleno sol, por especie.....	53
9. Promedios de porcentaje de malezas por marco de plantación.....	54
10. Resultados del porcentaje de residuos y de suelo desnudo para las dos especies.....	55
11. Efecto de la interacción del marco de plantación y la especie, sobre el porcentaje de suelo desnudo.....	56
12. Intervalos de confianza para la implantación como número de planta por m ²	56
13. Intervalos de confianza para % de suelo cubierto.....	57
14. Intervalos de confianza para el porcentaje de suelo cubierto por malezas.....	57

15. Intervalos de confianza para el porcentaje de suelo desnudo.....	57
16. Determinaciones realizadas en muestreos de plantas bajo dosel arbóreo (promedio por especie).....	58
17. Largo de hoja promedio según marco de plantación.....	59
18. Determinaciones realizadas en muestreos de plantas a pleno sol (promedio por especie).....	60
19. Número de hojas en expansión promedio para las distintas fechas evaluadas.....	62
20. Número de hojas en expansión promedio de cada especie a los 90 días..	63
21. Intervalos de confianza del número de hijas en expansión a pleno sol.....	63
22. Número de hojas expandidas promedio para las distintas fechas evaluadas.....	64
23. Número de hojas totalmente expandidas promedio para los dos marcos de plantación.....	64
24. Número de hojas totalmente expandidas promedio de cada especie.....	65
25. Intervalos de confianza para número de hojas totalmente expandidas a pleno sol.....	65
26. Número de macollos por planta promedio para los distintos marcos de plantación a los 90 días.....	66
27. Número de macollos por planta para la interacción marco*especie.....	66
28. Promedio de macollos por planta a pleno sol.....	67
29. Promedio de macollos por planta bajo dosel arbóreo.....	67
30. Número de plantas por metro lineal.....	68

31. Intervalos de confianza de número de plantas por metro lineal a pleno sol.....	68
--	----

Figura No.

1. Clasificación de los SAF según la naturaleza de los componentes.....	4
2. Esquema de interacciones.....	10
3. Fotografía de parcelas instaladas en monte	40
4. Croquis del experimento.....	42
5. Transectas ubicadas a campo para la medición de dinámica poblacional en pleno sol.....	44
6. Temperatura media (°C) histórica de Melo 1961-1990, y temperaturas medias, máximas y mínimas para los meses del experimento durante el año 2019.....	47
7. Precipitaciones mensuales (mm) para el año 2019 y serie histórica 1961-1990.....	49
8. Medición de implantación bajo dosel arbóreo a los 120 dps.....	51
9. Medición de dinámica poblacional bajo dosel arbóreo a los 30 dps.....	62

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia del Uruguay, la ganadería ha sido el rubro más importante dentro de la actividad agropecuaria, demostrando su relevancia y estabilidad hasta hoy en día. A su vez, este rubro ha contribuido en gran proporción al PBI del país desde tiempos inmemorables por lo que la ganadería no solo prevalece en términos de superficie, sino que también es un gran motor dentro de la economía uruguaya.

Si bien el campo natural representa el 64% de la superficie dedicada a la ganadería (MGAP. DIEA, 2014), el uso de praderas cobra importancia como apoyo para la producción de materia seca. A lo largo de la vida de una pradera, la implantación es una de las etapas más importantes, ya que de ella dependerá tanto la producción como la longevidad de la misma. En esta etapa influyen varios factores como la luz, la temperatura, la humedad y el suelo (Carámbula, 2003).

En contra partida, la forestación no es reconocido como un rubro tradicional en el país, sino que ha venido creciendo desde hace dos décadas. Con la Ley forestal 15.939, la superficie plantada con fines comerciales aumentó de 565.793 hectáreas en 1999 a 1.079.160 en 2018 (MGAP. DIEA, 2018).

La búsqueda constante por hacer un uso más eficiente de los recursos hace necesario que se generen sinergias entre rubros que se puedan complementar. Los sistemas silvopastoriles (SSP) combinan la forestación con la ganadería, siendo una compleja pero interesante alternativa para los productores.

Existe escasa información acerca de la implantación de pasturas sembradas bajo dosel arboreo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la implantación de dos especies forrajeras tradicionalmente utilizadas en el país: *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea* bajo dos marcos de plantación bajo *Eucalyptus spp.*

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. SISTEMAS AGROFORESTALES

La definición científica de agroforestación debería resaltar dos características comunes a todas las formas de agroforestación, y que lo separan de las otras formas de uso de la tierra. En primer lugar, debe existir el crecimiento conjunto de especies leñosas con cultivos o animales, en la misma unidad de tierra, ya sea en una mezcla espacial o en una secuencia. Además, debe existir una interacción significativa (positiva o negativa) entre los componentes leñosos y no leñosos del sistema, ya sea a nivel ecológico o económico (Lundgren, citado por Nair, 1993).

Teniendo en cuenta el concepto anterior, el ICRAF sugiere la siguiente definición: *“se trata de un concepto colectivo para sistemas de uso de la tierra en que las plantas leñosas (árboles y arbustos) son combinadas a propósito en la misma unidad de manejo de tierra con cultivos herbáceos y/o animales, ya sea en forma de algunos arreglos espaciales o en secuencias en el tiempo. Debe haber una interacción tanto ecológica como económica entre plantas leñosas y los otros componentes del sistema.”* (Lundgren y Raintree, citados por Nair, 1993). Por lo tanto, según Nair (1993), esta definición implica que:

- la agroforestación normalmente involucra dos o más especies de plantas (o plantas y animales), siendo al menos una leñosa.
- Un sistema agroforestal siempre tiene dos o más productos
- El ciclo de un sistema agroforestal es siempre más de un año
- Incluso el sistema agroforestal más simple es más complejo ecológicamente (a nivel estructural y funcional) y económicamente, que un sistema de monocultivo.

Los sistemas agroforestales son más que una simple combinación de agricultura y forestación. Requieren diferentes prácticas y tecnologías de manejo que comprendan las complejas interacciones entre los varios componentes del sistema.

Los objetivos de un sistema agroforestal (SAF), son lograr un sinergismo entre los componentes el cual conduce a mejoras netas en uno o más rango de características, tales como productividad y sostenibilidad, así como también diversos beneficios ambientales y no-comerciales. Como ciencia, es multi-disciplinaria y a menudo involucra la participación de campesinos o agricultores en la identificación, diseño y ejecución de las actividades de investigación (Burley y Speedy, 2003).

Nair (1993), considera que existen tres atributos que, todos los SAF teóricamente poseen:

1. Productividad: en general, los SAF buscan mantener o aumentar la producción, así como la productividad de la tierra. Los SAF pueden mejorar la productividad de muchas formas diferentes. Entre ellas: aumento de la producción por parte de los árboles, aumento de los rendimientos de los cultivos asociados, disminución de los insumos en los cultivos, y aumento de la eficiencia de trabajo.

2. Sustentabilidad: conservando la producción potencial del recurso base, mayormente por el efecto de las leñosas perennes en el suelo, la agroforestación puede alcanzar y mantener indefinidamente las metas de conservación y fertilidad.

3. Adaptabilidad: en este contexto, la palabra "adaptar" toma el significado de "aceptar", y puede ser separado de otros usos que adquiere la palabra adaptar que impliquen "modificar" o "cambiar". Agroforestación es una palabra relativamente nueva para un conjunto de prácticas antiguas que ya fueron aceptadas y adoptadas por los productores desde hace tiempo. De todas formas, cuando se trata de tecnologías mejoradas o nuevas de la agroforestación, estas también deben adecuarse a las prácticas de productores locales.

2.1.1. Clasificación de los sistemas agroforestales

Existen diferentes criterios para la clasificación de los sistemas agroforestales. Un primer criterio establecido por Nair (1985) es según aspectos estructurales, los cuales se definen por sus componentes, y los roles y funciones que estos poseen. Según la naturaleza de los componentes (árboles, pastura/cultivos o animales) existe la siguiente clasificación:

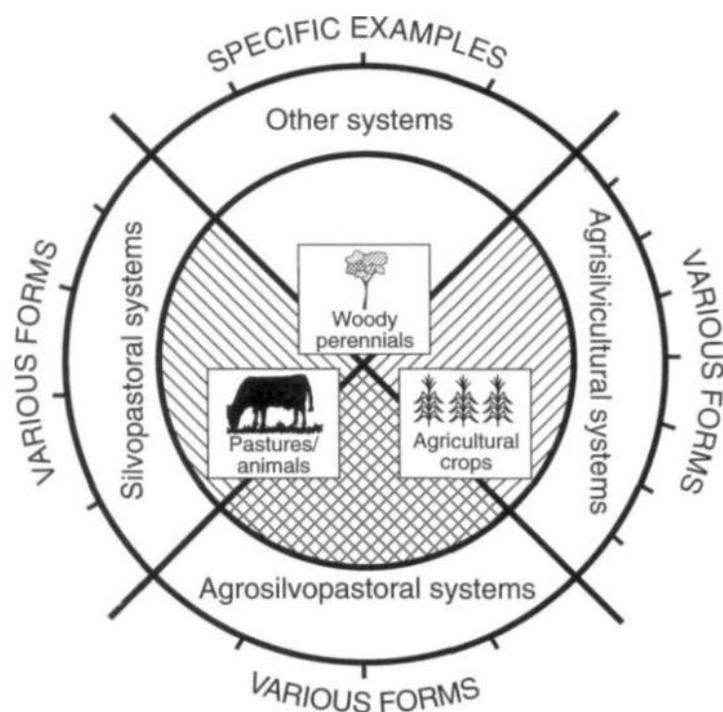


Figura 1. Clasificación de los SAF según la naturaleza de los componentes

Fuente: Nair (1993).

Por lo tanto, un sistema silvopastoril está compuesto por árboles y animales, un SAF consiste de árboles combinados con cultivos, y los sistemas agrosilvopastoriles poseen los tres componentes: cultivos, árboles y animales.

Estas categorías se subdividen de acuerdo a criterios de arreglo espacial (sistemas densos, mixtos, sistemas en franjas, etc.), de arreglo temporal (sistemas secuenciales, coincidentes, interpolados, etc.), funciones de los componentes (leña, forraje, cercas vivas, conservación de suelos, etc.), zonas agroecológicas donde se practican, aspectos socioeconómicos (sistemas para altos o bajos insumos, etc.); de esta manera, la descripción del sistema es dinámica y no solamente descriptiva (Gutiérrez et al., 1999).

2.2. SISTEMAS SILVOPASTORILES (SSP)

“El Silvopastoreo es un sistema 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 (Mahecha, 2002). Dichas interacciones, se manejan intensamente para producir simultáneamente productos maderables, forraje de alta calidad y ganado de carne, basándose en un ambiente sustentable (Clason y Sharrow, 2000).

A su vez, Mahecha (2002), menciona que el componente arbóreo puede ser natural o plantado con diferentes destinos: maderables, frutales, multipropósito; así como también el componente forrajero se compone de pasturas naturales o mejoradas. Como resultado de las diferentes combinaciones, existen varios tipos de SSP, siendo este tipo de sistemas, uno de los ejemplos más complejos de la agroforestería (Clason y Sharrow, 2000).

El objetivo de los SSP es optimizar una producción sostenible, y las combinaciones que integran dichos sistemas, surgen de la integración del medio ambiente con el manejo productivo (Pardini, 2007). Es una alternativa que logra diversificar la producción y generar mayor atracción por los programas de reforestación, gracias a los ingresos obtenidos antes de completar el turno forestal (Daniel y Couto, 1999).

De acuerdo a Polla (1998) los sistemas silvopastoriles son *“la asociación o combinación de especies forestales leñosas con praderas y ganado en una misma unidad productiva, con el objetivo de obtener una producción diversificada; produciendo forraje, productos pecuarios y forestales”*.

De Sancho (2021), se desprende una definición que surge de encuestar varios actores relacionados con este tipo de sistemas: siendo un sistema que integra diferentes componentes en un sentido armónico y con un objetivo concreto; pre pensado y definido como tal; ya que ninguno de los rubros está sometido al otro maximizando la generación de productos maderables y ganaderos.

2.2.1. Funciones de los SSPP

Los árboles en los SAF cumplen funciones ecológicas de protección al suelo, disminuyendo los efectos directos del sol, agua y viento (Montagnini et al., citados por Ibrahim y Pezo, 1998). Además, estimulan el ciclo de renovación de materia orgánica y fertilización, al retornar al suelo hojas, frutos, ramas, etc. y extrayendo nutrientes que generalmente quedan fuera del alcance del sistema radicular de los pastos (Fassbender, 1993).

En cuanto al reciclaje de nutrientes, el manejo de gramíneas acompañado con árboles y/o arbustos, permite que una fracción representativa

de los nutrientes que son extraídos de la solución edáfica sea retornada a ella mediante la deposición, en la superficie del suelo, del follaje y residuos de pastoreo o podas. Esta mayor deposición de materia orgánica, contribuye a modificar las características físicas del suelo como su estructura (Sadeghian et al., 1999). La mayor presencia de materia orgánica en el suelo y el microclima (humedad y temperatura) creado por la presencia de árboles, favorece la actividad biológica de la micro y macro fauna, lo cual resulta en una mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Belsky et al., citados por Mahecha, 2002). Además, la materia orgánica que es incorporada paulatinamente al suelo por la acción de la endofauna, contribuye a mejorar la estabilidad del suelo y la capacidad de infiltración de agua (Mahecha, 2002). Gutiérrez, citado por Mahecha (2002) sostiene que el sistema radicular extendido y profundo de los árboles, aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes.

Los sistemas silvopastoriles cumplen funciones en la dinámica del agua colaborando con la disminución de la erosión hídrica, mediante la reducción de la escorrentía superficial, aumentando la infiltración, conservando la materia orgánica sobre la superficie del suelo, resultando en recarga y mantenimiento de los acuíferos (Ríos et al., 2008). Para esto, la cubierta de suelo es fundamental, dado que el follaje de las plantas lo protege de la lluvia y el viento, evitando grandes escurrimientos que arrastran suelo y materia orgánica (Ibarra y Martín, citados por Bugarín, 2012).

El incremento de la cobertura vegetal como la conversión de pastura pura a SSP incrementa la cantidad de carbono almacenado (Mahecha, 2002), siendo la captura de carbono otra de las funciones ecológicas. López et al. (1999), encontraron que el SSP de *P. maximum* y *Calliodora* tiene el potencial de acumular carbono en la biomasa, sin disminuir el carbono en el suelo durante los primeros 7-10 años de crecimiento. Además, los contenidos de carbono encontrados por Ramírez, citado por Mahecha (2002), en el suelo del SSP, indican que son potenciales sumideros de carbono que pueden contribuir a mitigar el efecto de las emisiones globales de carbono. Así mismo, se integra al sistema una mayor cantidad de energía solar, al existir un mayor aprovechamiento de la misma por parte de los distintos estratos del sistema (Budowski, citado por Casella et al., 1993).

El silvopastoreo también cumple la función de aumentar la diversidad faunística fomentando los depredadores, especialmente insectos y aves que atacan plagas, resultando en un ecosistema menos susceptible a estos en comparación con el monocultivo (Mahecha, 2002).

Por otro lado, esta forma de diversificación productiva:

- disminuye los riesgos de incendio (Papanastasis et al., 2008), evitando problemas económicos y ecológicos.
- Proporciona una entrada de efectivo más frecuente que la forestación como monocultivo (Clason y Sharrow, 2000).
- Reduce riesgos económicos dado que el ganado y la forestación requieren diferentes entradas, comparten pocas enfermedades, y se venden en diferentes mercados (Clason y Sharrow, 2000).
- Brinda refugio y sombra para el ganado, reduciendo la mortalidad y el gasto de energía para termorregulación (Clason y Sharrow, 2000).

2.2.2. Sistemas silvopastoriles en Uruguay

Aunque la ganadería es el rubro con mayor trayectoria y extensión (80% del área) en el país, en los últimos años la forestación ha crecido muy rápidamente. Hoy en día, las exportaciones de carne y celulosa lideran las exportaciones de bienes del país siendo un 18% en cada uno de los casos (Uruguay XXI, 2018), y un 5% para la exportación de madera. Por lo que ambas actividades son de gran importancia económica para Uruguay. Además, las características físicas y edafo-climáticas de Uruguay favorecen tanto la producción agropecuaria como la forestal, así como también la producción integrada de ambas actividades. Ésta última basada en el extenso conocimiento empírico y científico del sector agrícola-ganadero, y en el rápido crecimiento y desarrollo del sector forestal (Polla, 1998).

En los últimos 30 años, el sector forestal uruguayo ha logrado un importante desarrollo en toda la cadena agroindustrial. El incremento de las plantaciones forestales, y más específicamente de especies como *Eucalyptus spp.* (49% de área) y *Pinus spp.* (21% de área), se ha debido principalmente a la aplicación de normas legales y técnicas específicas para el fomento forestal, Ley No. 15.939 (Martin et al., 2003). Dada la situación, a partir de los años 90 empresas forestales se plantean el uso de los montes con ganado como otra alternativa.

El Uruguay es un país sin tradición forestal pero sí con una fuerte e histórica cultura agrícola - ganadera que data desde el momento en que fue introducida la ganadería al país. Esta cultura tan arraigada, encierra a su vez, tradicionales prácticas silvopastoriles adoptadas naturalmente por la presencia de un bosque nativo ribereño y serrano y por la incorporación de cortinas rompeviento y montes de abrigo y sombra para al ganado. Estas forestaciones

tipo "islas", compuestas principalmente por eucaliptos colorados -*E. camaldulensis* y *E. tereticornis*- cumplen fundamentalmente un rol de servicio y un muy escaso rol productivo, proporcionando combustible (leña) y material maderable para alambrados y cercas, así como postes y piques (Polla, 1998).

Es por eso que en Uruguay se identifican principalmente tres tipos de actividades silvopastoriles que no son propiamente sistemas silvopastoriles¹:

- árboles, montes de abrigo y cortinas rompeviento en pasturas, donde los árboles se incorporan a los sistemas ganaderos con el objetivo de servicio hacia el componente ganadero (sombra y refugio).

- Pastoreo en plantaciones forestales: con el desarrollo del rubro forestal en el país, surge la oportunidad de incluir ganado a plantaciones forestales. En este caso, el componente forestal es el de mayor importancia y los animales pastorean bajos y áreas no plantadas contribuyendo a mantener la limpieza de los montes.

Estas prácticas se han adoptado buscando diversificar la producción, aumentar sus ingresos y disminuir riesgos (Polla, 1998), pero en ninguno de ambos casos, el sistema es diseñado teniendo en cuenta todos los componentes involucrados, los cuales deberían presentar igual importancia.

En Uruguay es posible distinguir dos tipos de plantaciones comerciales: aquellas cuyo fin es proporcionar madera para pulpa de celulosa, y las destinadas a producir madera de calidad con fines industriales. En el primer grupo las especies dominantes son *Eucalyptus globulus* y *E. grandis*, con densidades que van desde 1100 a 1600 árboles/há. No se realizan operaciones de manejo (raleos y podas), por lo que la pastura del sotobosque es escasa. No obstante, en el caso de *E. globulus*, y a las densidades menores, puede haber una oferta de forraje hasta los siete años de la edad del monte. En plantaciones para pulpa, la distribución espacial puede ser diseñada para permitir el desarrollo de un sistema silvopastoril. Se plantan árboles en filas simples o dobles, dejando callejones de ancho variable que permiten el desarrollo de la pastura o la siembra de forrajeras (Polla, 1998)

Las plantaciones forestales para aserrío o debobinado, parten de densidades iniciales similares a las de pulpa, pero llegan a la cosecha final con aproximadamente un 25% de los árboles plantados. Las especies principales son *E. grandis* y *Pinus taeda*. Se realizan podas y raleos, lo que favorece el desarrollo de la vegetación herbácea y el desplazamiento de los animales en el bosque (Polla, 1998).

¹ Gallo, L. 2013. Nota de clase. (sin publicar).

Se supone que ambientes silvopastoriles, pueden ser menos estresantes que los tradicionales para las pasturas en los momentos críticos del campo natural. Esto redundaría en un menor riesgo productivo, disminuyendo la indeseable estacionalidad de las pasturas (Millot et al., 1987). Algunas especies forrajeras tienden a ser más bajas en fibra, pero de mayor palatabilidad cuando crecen bajo sombra o bajo la copa de los árboles. La sombra generada por los árboles en SSP podría reducir la excesiva radiación solar que limita la sobrevivencia de especies invernales de alta calidad forrajera (gramíneas de ciclo C₃) en pasturas naturales. Se pueden practicar mejoramientos en los bajos, calles internas, bordes, cortafuegos y entre filas, con leguminosas y gramíneas. Las cargas animales a utilizar dependen de los suelos, especies vegetales y animales y manejo del sistema.¹

Según Casella et al. (1993), los sistemas silvopastoriles están integrados principalmente por bosques plantados de *E. grandis*, *E. globulus* y otros eucaliptos, asociados a campo natural y a ganado bovino (Hereford, Holando y cruzas) y ovino (Corriedale) y algo de equinos. Los objetivos principales de estas producciones, son la obtención de madera de diversa calidad y/o madera para pulpa, aprovechando el rol protector que ejerce el bosque al ganado; sumando los ingresos adicionales de la ganadería y aprovechando los servicios prestados por ésta en la limpieza de cortafuegos, limpieza del monte disminuyendo el riesgo de incendio. Los objetivos generales de estos sistemas productivos son:

- realizar un aprovechamiento mayor e integral del recurso suelo.
- Obtener mayor productividad por hectárea.
- Diversificar la producción sin abandonar la ganadería, introduciendo el recurso forestal, y cultivos forrajeros y cerealeros.
- Obtener ingresos anticipados a la cosecha de madera para pulpa, para cajones y madera de alta calidad para debobinado y aserrado
- Acceder a los beneficios tributarios y al reintegro parcial del costo de plantación que la Ley forestal ofrece y permite a aquel productor o empresario que genere el recurso forestal (Uruguay XXI, 2020).

Por otro lado, Sancho (2021), establece que en Uruguay en el año 2021, se declaran 3693 hectáreas efectivas dedicadas al silvopastoreo propiamente dicho, por lo que queda en evidencia la poca participación de este tipo de sistemas dentro del sector agropecuario.

2.2.3. Interacciones en sistemas silvopastoriles

Dentro de un sistema silvopastoril, existen varios tipos de interacciones entre los componentes que lo integran. El componente arbóreo interactúa directa

e indirectamente con el forraje, los animales y el suelo, y a su vez éste último afecta el componente pasturas. Los animales también interactúan con las forrajeras, el suelo y los árboles. Además, el pasto influye directamente sobre los animales y también ejerce cierto efecto sobre el crecimiento de los árboles. A continuación, se presenta un esquema modificado de Ibrahim y Pezo (1998).

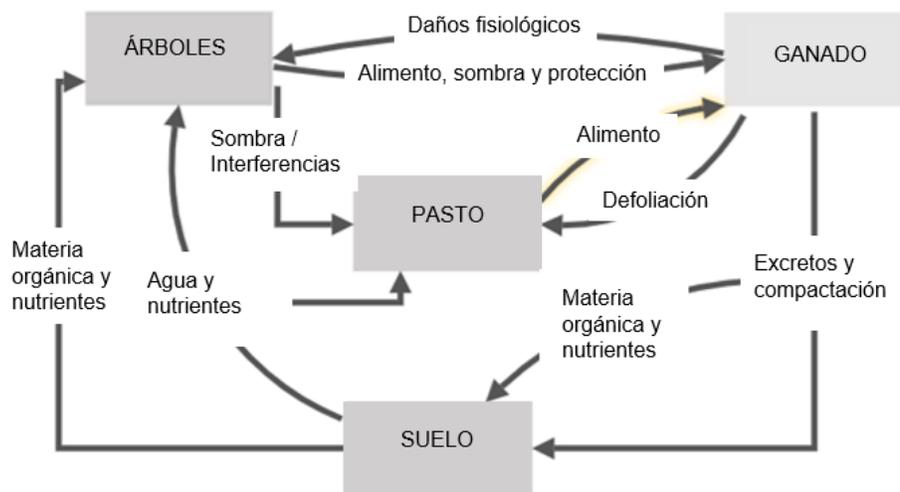


Figura 2. Esquema de interacciones

Fuente: modificado de Ibrahim y Pezo (1998).

El suelo suministra la base sólida para que los vegetales puedan fijarse a él, además provee a las plantas el agua y minerales necesarios para elaborar sus alimentos. Una condición importante para que se produzca el crecimiento de una planta, es que el suelo presente cantidades suficientes de sustancias nutritivas. Éstas se obtienen a partir de la descomposición del humus, por lo cual la presencia de bacterias y hongos, es imprescindible para llevarla a cabo (Crespo et al., citados por Bugarín, 2012).

Las interacciones entre las leñosas y el componente animal, pueden ser directas o mediadas a través del suelo y las pasturas. Entre las directas se puede citar la protección contra las inclemencias del clima que pueden ejercer los árboles o arbustos sobre los animales y el aporte de nutrientes a la dieta mediante la producción de fitomasa comestible. Por su parte, el ganado puede ejercer efectos detrimentales sobre los árboles y arbustos, especialmente en sus estadios juveniles, provocándoles daños físicos al rascarse en los tallos, raspar

la corteza, o incluso al cosechar intensamente los nuevos brotes. Todo esto puede eventualmente resultar en una pérdida de plantas.¹

Entre las mediadas por el suelo, se citan la provisión de nutrientes vías las excretas que depositan los animales y el efecto de compactación por el pisoteo, el cual puede afectar detrimentalmente el crecimiento de las leñosas.¹

Según Chen, citado por Wilson y Ludlow (1991), en sistemas silvopastoriles en condiciones tropicales se ha observado que la temperatura debajo de las copas es 2 o 3°C por debajo de la observada en áreas abiertas. Además, los árboles interfieren parcialmente el paso de la radiación solar hacia la superficie corporal del animal, aliviando su contribución potencial al incremento de la carga calórica del animal (Weston, citado por Ibrahim y Pezo, 1998).

Según un trabajo realizado por Velazco y Rovira (2009), en Uruguay el suministro de sombra no generó diferencias significativas en cuanto a temperatura ambiente. De todos modos, varios autores, citados por Velazco y Rovira (2009), afirman que el principal beneficio de la sombra como estrategia de mitigación del calor es la reducción de la radiación solar incidente en el animal. Los resultados de dicho experimento concluyen en que la temperatura promedio del aire entre las 06.00 y 21.00 horas fue la variable más relacionada con la tasa respiratoria y con el uso de la sombra. Cuando la temperatura ambiental superó los 25°C, independientemente de la humedad relativa, el efecto de la sombra fue significativo en la reducción de la tasa respiratoria, variable indicadora del estrés térmico animal.

La reducción de temperatura causada por los árboles, aunque sea de dos o tres grados Celsius, es extremadamente importante cuando la temperatura ambiental sobrepasa el límite superior del 'área de confort' o 'zona de termoneutralidad'. Fuera de esos límites fallan los mecanismos de pérdida o emisión de calor que poseen los animales homeotermos, resultando en una elevación de la temperatura corporal, con sus consecuencias en la productividad animal (Djimde et al., citados por Ibrahim y Pezo, 1998).

Entre los efectos benéficos frecuentemente atribuidos a la sombra como regulador del estrés calórico, sobre el comportamiento y productividad de los animales en pastoreo, se citan los siguientes (Ibrahim y Pezo, 1998):

- más tiempo dedicado a pastorear y rumiar.
- Mayor consumo de alimentos.
- Disminución de los requerimientos de consumo de agua de los animales.

- Incremento de la eficiencia de conversión alimenticia
- Mejora en la ganancia de peso, producción de leche, y rendimientos de lana.
- Mejoras en el comportamiento reproductivo, debido a una pubertad más temprana (consecuencia de mejores tasas de crecimiento en los animales jóvenes), mayor fertilidad (más alta tasa de concepción), más regularidad en la ciclicidad del estro, alargamiento de la vida reproductiva útil, reducción en las pérdidas embrionarias, mejora en la libido y reducción en la proporción macho/hembra para mantener un nivel adecuado de fertilidad en el rodeo.
- Reducción de la tasa de mortalidad de animales jóvenes debido a: mejor condición y mayor producción de leche de las madres, menores dificultades al parto, mejoras en el peso al nacimiento.

En cuanto a la protección contra el viento, es más relevante en zonas frías, donde la temperatura ambiental se encuentra por debajo del límite inferior de la zona de termoneutralidad. En dicha situación el animal debe sacrificar parte de la energía que se destinaría a la producción, para contrarrestar el frío y poder mantener su temperatura corporal. El efecto de los árboles en zonas frías no sólo es productivo, sino que también se manifiesta en la sobrevivencia de animales al disminuir la incidencia de neumonías (Alexander et al., Djimde et al., citados por Ibrahim y Pezo, 1998).

2.2.3.1. Efecto de los árboles sobre la pastura

Los árboles pueden competir con la pastura por agua, nutrientes, luz y espacio, y el efecto será mayor en la medida que los requerimientos sean similares. La caída natural de las hojas y la poda de ramas modifican los requerimientos y la disponibilidad de agua, luz y nutrimentos en los componentes del sistema. La adecuada selección de las especies, la época y la frecuencia de poda pueden ayudar a atenuar la competencia o dirigirla convenientemente (Russo, 2015). La protección que brindan las leñosas contra el viento, los excesos de temperatura y radiación, también ejercen efectos sobre el crecimiento y la calidad del forraje cosechado por los animales en pastoreo.¹

Efecto por sombreado

La disponibilidad de luz es fundamental para el crecimiento y desarrollo de todas las plantas, dado que es uno de los factores esenciales para que se dé el proceso de fotosíntesis, así como también para la germinación de semillas durante la etapa de implantación. Las semillas germinan en la oscuridad al ser enterradas en el suelo, por lo que las plántulas deben desarrollar rápidamente hipocótilos que se alargan sin abrir los cotiledones, por encima de la superficie.

Al llegar a la luz, se inhibe el alargamiento del hipocótilo, los cotiledones empiezan a expandirse y comienza el desarrollo del aparato fotosintético (Fankhauser y Chory, 1997).

Durante la fotosíntesis, la energía solar se convierte en energía química mediante los cloroplastos que absorben longitudes de onda entre 400-700 nanómetros del espectro visible (radiación fotosintéticamente activa). Longitudes de onda entre 700-800 nm, no interfieren en la fotosíntesis, pero pueden afectar germinación, floración y crecimiento de los tallos de las hojas. Mayor cantidad de luz, provoca mayores niveles de fotosíntesis y, por lo tanto, más crecimiento. Sin embargo, a medida que la intensidad de luz aumenta, la velocidad en que se da la fotosíntesis aumenta hasta alcanzar el punto de saturación de la luz. A su vez, aumentando las horas de luz, también aumenta el crecimiento de las hojas y el macollaje. La cantidad de tiempo que las plantas estén sometidas a luz solar depende de varios factores como época del año, latitud y estructuras que proveen sombra (Bragado y Jaschek, 2017).

Las principales respuestas fotomorfogenéticas de las plantas están mediadas por pigmentos fotosensibles: fitocromo (sensible en la porción del Rojo (R) y el Rojo Lejano (RL) del espectro lumínico), criocromo (sensible a la porción Azul) y UVcromo (sensible a los rayos ultra violeta). Una baja cantidad de luz y una baja relación R/RL provocan tres respuestas principales en las plantas: aumento de asignación de recursos a la parte aérea (tallo:raíz alta), alargamiento de los órganos ya existentes, reducción del macollaje (Deregibus et al., citados por Abud et al., 2011).

Las plantas son capaces de responder a la intensidad y al color de la luz (Zhang y Folta, 2012) por medio de sus fotorreceptores, los cuales se activan bajo longitudes de onda específicas (Liu, 2012) haciendo ajustes precisos en su desarrollo y crecimiento con respecto a las distintas condiciones ambientales (Chen et al., 2004)

La cantidad de luz disponible para el crecimiento del componente herbáceo en un SSP puede considerarse como un factor decisivo para la sostenibilidad de estos sistemas (García et al., 2001). Lo cual no solo está relacionado con la densidad de plantación de los árboles sino con varios factores como: edad, tamaño de la copa (especie), orientación de las filas. El índice área foliar (IAF) de las especies forestales altera la calidad de la luz que incide sobre una pastura y puede modificar algunas variables morfogenéticas a nivel de planta individual, como la tasa de aparición y elongación de hojas, y cambiar algunas características estructurales de las pasturas, como densidad y tamaño de macollos (Colabelli et al., 1998).

La reducción de las reservas en tallos y raíces en las plantas sombreadas, así como la de toda su masa radical es muy clara. Esta alteración del equilibrio radical, determina una menor resistencia de las plantas sombreadas a la defoliación repetida (pastoreo). Por otro lado, se reduce la cantidad de carbohidratos en las plantas, tanto de reservas como disueltos en las vacuolas, con una disminución en el valor nutritivo (Montserrat, 1961). Según Montserrat (1961), también se ha observado una reducción en la cantidad de renuevo producido por plantas sombreadas. Según Gallo et al. (1999), la productividad MS/planta/día de la gramínea asociada en un SSP, se reduce en la medida que la sombra aumenta. A partir de eso, puede plantearse que el porcentaje de materia seca de las gramíneas asociadas en SSP depende de la sombra que se alcance en el sistema, la cual debe variar según las especies que se involucren y su adaptabilidad a la sombra (Alonso et al., 2006). Estos autores (Alonso et al., 2006), también reportan que ciertas especies aumentan su índice de Área Foliar Específica (AFE: área de la hoja/ peso seco de la hoja), indicador asociado a la tolerancia a la sombra. Un mayor AFE implica un aumento en la capacidad de intersección de la luz por la planta y posiblemente, es una manera de aumentar la superficie fotosintéticamente activa, asegurando un aprovechamiento más eficiente en bajas intensidades luminosas (Ribaski y Meneses, 2002). El aumento de este indicador puede ser reflejo de modificaciones en las dimensiones y la forma de las hojas de las plantas, en respuesta a las alteraciones de luminosidad. Las hojas de sombra, normalmente, son mayores en longitud y ancho y también son más delgadas que las producidas bajo elevadas intensidades luminosas (Pentón, citado por Alonso et al., 2006).

Además, según Berlyn y Cho (2000) las plantas bajo sombreado, sufren alteraciones morfofisiológicas, como: presencia de mayores contenidos de agua en los tejidos y mayor volumen de tejido citoplasmático en comparación con tejido de pared celular; menos contenido de tejido de sustento y de conducción; la relación entre la clorofila a y clorofila b, es menor; presentan menos contenido de cloroplastos, con mayor tamaño; estomas con mayor tamaño pero de menor densidad; y presentan mayor eficiencia fotosintética, saturándose a baja irradiancia. Esto puede justificar los resultados obtenidos en el estudio realizado por Garcez Neto et al. (2010) en Nueva Zelanda, en donde se midió la interceptación luminosa por tapices de *Dactylis sp.*, centeno, y trébol rojo. La mayoría de las características morfológicas evaluadas respondieron significativamente al sombreado y solo el área foliar de la hoja más joven completamente expandida y la relación lámina/tallo no mostró respuesta ($P > 0.05$) a los niveles de sombreado. El área foliar del centeno fue mayor con 25 a 50% de sombreado desde el establecimiento hasta el primer rebrote. Para el trébol rojo también se observó mayor área foliar entre 25-50% de sombreado pero en este caso, esa mayor área foliar se da entre la primera y segunda

brotación (Garcez Neto et al., 2010). Según Peri et al. (2007), el aumento del área foliar ha sido una de las principales adaptaciones morfológicas para compensar las reducciones en radiación incidente. De todas maneras, en el experimento realizado por Garcez Neto et al. (2010), a pesar de que la longitud de las hojas de las gramíneas aumentó con el sombreado, en el caso del *dactylis*, en términos de dimensión lineal, el área foliar no cambió significativamente. Por el contrario, en el caso de la longitud del pseudo tallo, este sí aumentó linealmente con los niveles de sombreado.

Además, según Moraes de Matta et al. (2009), en *Panicum maximun* evaluado a tres niveles de sombreado (0, 0.25 y 0.75), se encontró que cuanto mayor es el sombreamiento, mayor es la altura del tallo y su número por planta.

En un experimento realizado por Soares de Andrade et al. (2002), donde se evaluaron dos montes de eucalipto con diferentes edades, se encontró que la radiación fotosintéticamente activa se distribuyó más uniformemente en el espacio, en el monte más viejo, adjudicando el resultado al tipo de copas de los árboles. Según ellos, esto se debe a que el rodal más joven presenta menores tamaños de copa, pero más densas. De todas maneras, a pesar de las diferencias encontradas en variación espacial, los valores promedio obtenidos de transmisión de luz en ambos rodales fueron muy parecidos. La variación entre lecturas de transmisión de luz, si fue significativa (6,5-82%). Dejando en evidencia la variación en distribución de "sunflecks" (destellos de luz solar directa que a través del dosel) en el área del sotobosque, la cual puede tener consecuencias sobre la actividad fotosintética de forraje (Soares de Andrade et al., 2002). Estos autores añaden que la transmisión de luz al sotobosque depende de la proporción de luz directa en relación a la difusa, teniendo esta última una mejor penetración en el dosel que la luz directa (Wilson y Ludlow, 1991) y concluyen que, la transmisión de luz solar está fuertemente influida por la altitud solar la cual varía a lo largo del día y del año, por lo que sus resultados solo se aplicarían en condiciones similares.

Según los estudios realizados por Kirchner et al. (2010), el sombreamiento disminuye significativamente la producción de forraje de todas las especies forrajeras, especialmente cuando se dan los menores espaciamientos arbóreos. En espaciamientos de 15 x 3 metros (30% de reducción de la radiación) la producción de forraje disminuye 3500 kg MS/há, mientras que en espaciamientos de 9 x 3 metros (60% de reducción de la radiación), la producción de materia seca por hectárea se redujo en 4950 kg aproximadamente. Esos resultados confirman el efecto negativo de la restricción de la irradiancia, a pesar de las mejores condiciones de temperatura, humedad y otros indicadores. Además, Peri et al., citados por Kirchner et al. (2010),

observaron que la producción de forraje de *Dactylis glomerata* en dos condiciones de disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa (100% y 24%), bajo un monte de *Pinus radiata* de diez años de edad, fue significativamente afectada por la restricción de luz. Según sus resultados, la producción de materia seca debajo del monte se redujo en un 46% con respecto a lo obtenido bajo cielo abierto. De todas maneras, el efecto causado por la reducción de la irradiancia en las plantas difiere entre especies. Según este experimento, *Dactylis glomerata* presentó la menor reducción de la producción cuando fue sometida a condiciones de poca luz disponible (24% de irradiancia).

El rendimiento relativo de materia seca, variable utilizada para la determinación de la tolerancia al sombreado, disminuye con la reducción de la luminosidad. Kirchner et al. (2010), utilizando un marco de plantación de 15 x 3 m, obtuvieron una producción del 43% de lo obtenido a cielo abierto. Este dato no concuerda con lo obtenido por Sartor et al. (2010), quienes obtuvieron rendimientos relativos mayores, en el mismo local. Esto se explica porque las condiciones climáticas durante el experimento de Kirchner et al. (2010), fueron bastantes favorables, con precipitaciones regulares, mientras que en el año 2006 fue un año con menos lluvias. Las condiciones de restricción hídrica, baja humedad y temperaturas elevadas que ocurrieron a pleno sol, no fueron tan pronunciadas debajo del monte, por lo que, en esas situaciones, las plantas que se encuentran parcialmente sombreadas se ven favorecidas.

Además, las especies herbáceas que crecen bajo la sombra de los árboles, presentan un retardo de casi todas sus fenofases (crecimiento, floración, fructificación y senescencia). Esto lleva a una predominancia de especies tardías en respuesta a las condiciones favorables bajo los árboles: temperatura y humedad (Ovalle y Squella, 1996); y a su vez, en las especies invernales se da un período de pastoreo más prolongado en la primavera.

En un experimento realizado por Burner y Belesky (2004), con *Dactylis glomerata* L, cultivada en un sistema silvicultural, se concluyó que en ambientes sombreados ocurre un incremento en: proteína bruta: de 27 a 33% y en digestibilidad del 1 a 2 %, mientras que el rendimiento en producción de materia seca disminuye entre 28 y 34%, así como también los carbohidratos no estructurales disminuyen entre 27 y 34%. Según Ribaski y Menezes (2002), la reducción de la fotosíntesis en sombreados causa una mayor eficiencia de conversión de la energía solar a energía química. También se genera una elevación de la clorofila, aumento de N y del área foliar, lo cual contribuye al aumento de proteína bruta.

Según Carvalho et al., citados por Kirchner et al. (2010), las diferencias en el porcentaje de proteína bruta entre dos niveles de luminosidad durante una estación seca son diferentes a los registrados en épocas lluviosas. Para *Bracharia decumbens*, en el Sudeste brasileño, en la época seca la cantidad de proteína bruta aumentó en 80% en áreas bajo árboles de acacias (*Acacia sp.*), en relación con áreas bajo pleno sol. Mientras que, en la época lluviosa, este aumento fue menor, 20% (Carvalho et al., citados por Kirchner et al., 2010).

Fogliano, citado por Gómez y Guerrini (2010), dice que es posible que se evolucione a tapices con un mejor balance de gramíneas invernales. Esto se explicaría por varios aspectos tales como la acción protectora de los árboles, ya que debido al efecto de la sombra en verano aumentaría la probabilidad de sobrevivencia de macollos de especies perennes de ciclo invernal al estar sometidos a un ambiente menos desecante. A su vez, el bosque también ejerce un efecto protector contra las heladas, debido a que las temperaturas mínimas dentro del monte son superiores, siendo escasa la ocurrencia de heladas dentro de él, propiciando mayor crecimiento de las pasturas. Por otro lado, la sombra moderada estimula la absorción de nitrógeno en las gramíneas y la inhibe en las leguminosas (Wilson y Wong, 1980). El resultado es que el crecimiento de las gramíneas, es menos afectado en condiciones de baja radiación solar (Ludlow, citado por Ibrahim y Pezo, 1998).

Efecto por competencia y aporte de nutrientes

A pesar de que los árboles aumentan el contenido de minerales en la zona del suelo que ocupan los pastos, la mayoría de los estudios realizados en la región muestran que la producción de pasto debajo de árboles es menor que la producción a cielo abierto. Esto se debe, en parte, al sombreado que producen los árboles y probablemente también a un cierto nivel de competencia entre los árboles y las herbáceas, por los nutrientes y agua (Rusch et al., 2013). Nair, citado por Ibrahim y Pezo (1998) menciona a la fijación de nitrógeno, el reciclaje de nutrientes, la mejora en la eficiencia del uso de los nutrientes, el mantenimiento de la materia orgánica y el control de la erosión como algunos de los mecanismos más importantes.

El reciclaje de nutrientes en sistemas silvopastoriles ocurre a través de la senescencia de la biomasa aérea y la muerte de raíces tanto de leñosas como de las especies herbáceas. Esto se da a través de ramas caídas y material podado que es dejado en el campo, y por medio de las excretas que los animales depositan durante el pastoreo (Ibrahim y Pezo, 1998). Por otro lado, las raíces mejoran la estructura del suelo promoviendo la formación de agregados y

eliminando capas endurecidas, dejando canales, una vez muertas, que facilitan la aireación e infiltración del agua (Budowski, citado por Almada y Garat, 2010).

Efecto sobre la disponibilidad del agua

Según Young, citado por Andrade et al. (2008), los árboles afectan la dinámica del agua básicamente de tres formas. En primer lugar, actuando como barreras que reducen el escurrimiento, en segundo lugar, disminuyendo el impacto de las gotas sobre el suelo, y por último mejorando las propiedades físicas del suelo aumentando la infiltración y retención de agua teniendo como consecuencia la reducción del escurrimiento superficial y arrastre de sedimentos. Dado que la lluvia que llega al suelo se da por goteo directo, goteo desde el dosel, y escorrentía por los troncos, generalmente es inferior en los sistemas agroforestales, debido a la intercepción de parte de la precipitación (Jiménez y Muschler, 2001).

Generalmente, la forestación resulta en volúmenes y picos más bajos de crecidas. El valor de las plantaciones agroforestales en reducir las inundaciones es mayor en suelos profundos, donde los árboles pueden mejorar la capacidad de almacenamiento de agua (Jiménez y Muschler, 2001). Según Mathur et al., citados por Jiménez y Muschler (2001) en la India, luego de instalar una plantación de eucaliptus, las salidas de agua hacia la cuenca disminuyeron un 28%. Además, en trabajos realizados por Andrade et al. (2008) en Costa Rica, se concluye que la escorrentía superficial se afectó negativamente con incrementos en la cobertura arbórea. Siendo los sistemas con mayor cobertura los que presentaron los niveles de infiltración más altos. Según Adams (1966), esto se explica posiblemente por un efecto esponja del mulch en el suelo, el cual permite la retención de agua. Por lo tanto, Andrade et al. (2008) sostienen que los sistemas silvopastoriles brindan beneficios hidrológicos al promover la infiltración y disminuir la escorrentía superficial, contribuyendo a la recarga y sustento de acuíferos.

Silveira et al. (2006) en Uruguay, encontraron que, a nivel de caudales pico (variable utilizada para medir el escurrimiento en macrocuencas) se produce un descenso del 49% a partir del año 1993, coincidente con la definición del período posforestación. Dichos autores también evaluaron la variable precipitación directa en cuencas de pastizales y forestales, y encontraron que, bajo la forestación la precipitación directa se reduce aproximadamente un 5,3% respecto a la medida en la pastura. Se debe tener en cuenta que, bajo forestación, según ese mismo estudio, el 8,5% de la precipitación incidente escurre por los troncos.

Efecto de las condiciones edáficas en suelos forestados

Se considera que el suelo es un ecosistema vivo y complejo compuesto por agua, aire, sustancias sólidas e infinidad de seres vivos que interactúan activamente. Todos estos elementos son determinantes para la presencia y disponibilidad de nutrientes, los cuales inciden sobre la condición del suelo y la permanencia de las actividades agropecuarias en un sistema productivo (Sadeghian et al., 1999).

Los árboles en sistemas agroforestales cumplen funciones ecológicas de protección de suelo disminuyendo los efectos directos del sol, agua y el viento (Fassbender, 1993), principalmente sobre la capa más superficial y fértil, dificultando el arrastre de estos. También pueden modificar las características físicas del suelo como su estructura (por la adición de hojarasca, raíces y tallos incrementan los niveles de materia orgánica) y temperatura, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de los nutrientes (Young, 1989). El sistema radicular extendido y profundo aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes. Además, las formas arbóreas constituyen un mecanismo efectivo de capturar y retener carbono atmosférico (Gutiérrez, citado por Sadeghian et al., 1999).

En estudios realizados por Sadeghian et al. (1999), constatan que la actividad microbiana se relaciona alta y negativamente de forma muy significativa con la densidad aparente y resistencia a la penetración a los 20 cm del suelo. Por lo que suelos con mayor volumen de poros y con una economía hídrica eficiente (como ocurre en sistemas agroforestales), favorecen la actividad de estos organismos (Sadeghian et al., 1999). Como se ha dicho en puntos anteriores, los árboles contribuyen a la disminución del escurrimiento superficial, por lo que además de estabilizar el suelo mediante sus raíces, la hojarasca ejerce cierta protección directa frente al goteo de la lluvia disminuyendo la erosión hídrica.

En lo que respecta al balance de nutrientes en bosques de eucaliptus, según Nair, citado por Almada y Garat (2010), es común escuchar que éstos generan un agotamiento de los nutrientes, más aún cuando se realizan varios turnos de corta. La situación cambia, si éstos se plantan en sitios desforestados o degradados, en esos casos los árboles se transforman en mejoradores de las condiciones de suelo rompiendo las capas del subsuelo relativamente impermeables y extraen nutrientes a mayor profundidad.

Según Young (1989), suelos bajo árboles aumentan la fertilidad del suelo. En climas semiáridos es común encontrar mayor contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo debajo de las copas de los árboles que en tierra

abierta adyacente. Ciertos autores constatan que dicho aumento en el contenido de materia orgánica es solo en pocos centímetros de profundidad, pero otros han encontrado que el efecto continúa en profundidad (Young, 1989).

Young (1989) enumera ciertos procesos por los cuales los árboles mejoran los suelos, entre los que adicionan: a) mantenimiento o aumento de la materia orgánica; b) fijación de nitrógeno; c) absorción de nutrientes: la hipótesis es que en general los árboles son más eficientes que las herbáceas absorbiendo nutrientes liberados de la meteorización de los horizontes más profundos; d) entradas atmosféricas, e) exudación de sustancias promotoras del crecimiento por la rizosfera. Por otro lado, dicho autor también reconoce ciertos procesos que afectan las condiciones físicas del suelo como por ejemplo la reducción de temperaturas extremas que ocurren en él, debido a la cobertura generada por los desechos de los árboles. La producción de cierta cantidad de residuos del bosque genera un efecto de liberación de nutrientes mineralizados distribuidos a través del tiempo. Estos residuos son herbáceos y leñosos, resultando en diferentes calidades para su descomposición.

Por otro lado, Young (1989) menciona la pérdida de materia orgánica y nutrientes como efectos de la cosecha forestal. Ciertas especies de eucaliptus producen toxinas que pueden inhabilitar la germinación o el crecimiento de herbáceas anuales (Power y Fries, citados por Young, 1989). La producción de sustancias alelopáticas por las raíces puede ser un problema en la agroforestería, aunque no existen grandes evidencias.

2.3 CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LOS COMPONENTES FORRAJEROS

2.3.1. Gramíneas

Las gramíneas constituyen indudablemente el volumen más importante de forraje para los animales. Sin embargo, para que mantengan una alta producción es necesario contar con una fuente apropiada de nitrógeno, lo que se logra fundamentalmente mediante siembras asociadas con leguminosas o con la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Carámbula, 2002).

Carámbula (2002), cuando compara las gramíneas con las leguminosas, determina que las primeras presentan las siguientes ventajas:

- se adaptan muy bien a la mayoría de los suelos.
- No producen meteorismo.
- Presentan muy pocos ataques de plagas y enfermedades.
- Proveen alta persistencia a las pasturas
- Permiten controlar las malezas de hoja ancha más fácilmente.
- Proveen materia seca a las pasturas a lo largo de todo el año.

Sin embargo, a pesar de los grandes atributos que presentan las gramíneas, muchas de ellas pueden provocar bajo ciertas circunstancias, problemas y desórdenes en los animales que pastorean (Carámbula, 2002).

2.3.2 Gramíneas perennes

2.3.2.1. *Dactylis glomerata*

Dactylis glomerata es una gramínea perenne, cespitosa, con macollos achatados intravaginales, lígula blanca, sin aurículas, con hojas y vainas glabras, y lámina navicular. La inflorescencia es una panoja con espiguillas en manojos apretados, con semillas cuyo peso varía entre 0.7 y 1.3 g/1000 semillas (García, 1995).

Debe sembrarse en otoño, preferentemente en abril, ya que en las siembras tardías de invierno o primavera muchas plantas mueren cuando llegan las sequías de verano, ya que no han desarrollado un buen sistema radicular (Carámbula, 1977).

El cultivar Oberón es de porte intermedio a semierecto cuando se lo deja crecer; bajo pastoreo frecuente se vuelve más postrado. Tiene buen crecimiento invernal y no tiene latencia estival, es decir, produce forraje en verano. Florece a principios de noviembre y la semilla madura a fines de diciembre (García, 1995).

Se adapta a un amplio rango de suelos, desde texturas arenosas a pesadas, aunque su mejor performance se obtiene en suelos de texturas medias y permeables. En cuanto a los requerimientos de fertilidad, crece bien en suelos de fertilidad moderada y por lo tanto se la considera una especie de menores requerimientos de fertilidad que festuca, falaris o raigrás perenne (García, 1995).

Oberón es poco tolerante a excesos hídricos, por el contrario, una de sus características principales es su buena resistencia a la sequía; dentro de las gramíneas perennes invernales, *Dactylis glomerata* es de las que utiliza mejor el agua durante el verano (García, 1995).

En cuanto a la implantación, es más rápida que la festuca y tiene buena capacidad para resemebrarse (García, 1995). El crecimiento inicial es más vigoroso que el de festuca, produciendo un aumento rápido de macollas, lo que favorece a una buena implantación y generalmente un mayor rendimiento que festuca o falaris en el año de siembra (Carámbula, 1977). Es por estas razones que, si bien se beneficia con la siembra en líneas, su implantación en siembras al voleo es aceptable. Tiene buena tolerancia a la sombra adaptándose bien a las siembras asociadas (García, 1995).

En cualquier caso, debe sembrarse superficialmente, entre 0.5 y 1 cm de profundidad; siembras más profundas enlentecen y reducen la emergencia (García, 1995).

2.3.2.2. *Festuca arundinacea*

Festuca arundinacea es la gramínea perenne invernal más usada en el país (Formoso, 1995). Es una gramínea perenne de ciclo invernal, que debido a su característica de producir forraje temprano y a fines de invierno, puede ser clasificada como una pastura precoz de vida larga (Carámbula, 1977).

Presenta macollas rollizas o poco comprimidas, vaina glabra, lámina verde oscuro con la cara exterior brillante y la interior con numerosas nervaduras prominentes. Su sistema radicular fibroso es profundo y muy extendido, lo que le permite mejorar los suelos y obtener agua de los horizontes profundos. La inflorescencia es una panoja laxa, con espiguillas que contienen 2 a 3 flores que caen en la madurez (Carámbula, 1977).

La festuca se mantiene verde todo el año siempre que disponga de humedad y niveles adecuados de nitrógeno, mostrando una buena tolerancia a las temperaturas frías de invierno y altas de verano (Carámbula, 1977).

Debido a que crece en un alto rango de pH (4,5-9,5), se presenta como la gramínea más plástica en este sentido, prefiriendo los suelos fértiles, húmedos y más bien arcillosos. Por su extenso y poderoso sistema radicular, vegeta bien en suelos con drenaje pobre o inundables (Carámbula, 1977).

En cuanto a la implantación, ésta es muy lenta, dado que sus plántulas son muy poco vigorosas. Como consecuencia, es fácilmente dominada por especies anuales de crecimiento rápido (Cowan, citado por Carámbula, 1977).

Dentro de la especie, el cultivar Rizar es de tipo continental-rizomatosa, con hábito de crecimiento semi postrado. Forma un tapiz denso y se destaca por su alta productividad, persistencia y rusticidad (Ayala et al., s.f.).

Se recomienda sembrarla a partir de mediados de marzo utilizando densidades de 12-15 kg/há en mezcla. La festuca Rizar tiene implantación lenta y las siembras tardías con suelos fríos reducen su velocidad de crecimiento y retrasan el primer pastoreo.

Las características distintivas hacen que se adapte muy bien a ambientes marginales donde se busca alta productividad anual y calidad.

2.3.3. Caracterización del componente forestal

2.3.3.1. *Eucalyptus camaldulensis*

Se trata de un árbol de gran porte, de copa abierta y ramas gruesas; follaje fino, péndulo. Con corteza caduca en fajas cortas, con las primeras hojas opuestas y las juveniles alternas (Brussa, 1994).

Es la especie con más amplia distribución en Australia, desde el nivel del mar hasta elevaciones de 700m. Presenta numerosos ecotipos adaptados a climas desde templados a cálidos, con un promedio de temperaturas máximas de 27-40°C y mínimas de 3-15°C, con heladas desde escasas a 50 por año; subhúmedos a semiáridos, con precipitaciones de 150-600 mm, invernales o estivales (Brussa, 1994).

Se adapta a una amplia gama de suelos, desde arenosos a pesados, soportando inundaciones periódicas.

Ampliamente cultivado en el país desde aproximadamente 1860. La gran resistencia a las sequías y adaptabilidad a gran variedad de condiciones edáficas incentivó el empleo de esta especie en forma masiva. Los mejores crecimientos se observan en suelos aluviales. Presenta resistencia a las heladas. Se emplea en montes de abrigo y sombra, ornamental y maderero (Brussa, 1994).

Duramen rojizo, durable, apto para construcciones rurales, durmientes, pisos y carpintería en general (Brussa, 1994).

2.3.3.2. *Eucalyptus grandis*

Árbol grande, de tronco recto y muy buen desrame natural; follaje de textura media a gruesa. Corteza caduca en fajas largas, con primeras hojas opuestas y juveniles alternas (Brussa, 1994).

Su lugar de origen es el Este del continente australiano, áreas disyuntas de la región y centro, costero (Sur) y continental (Norte), con diferentes registros altitudinales. Clima templado hasta tropical, con un promedio de temperaturas máximas de 24-30 °C (Sur) y 29-32 °C (Norte), mínimas de 3-8 °C (Sur) y 10-17 °C (Norte), con heladas escasas en localizaciones alejadas de la costa;

húmedo con precipitaciones estivales con una media anual de 1000-3500 milímetros (Brussa, 1994).

Prefiere suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, de texturas limosas, bien drenados (Brussa, 1994).

Su cultivo en Uruguay se difunde en la década de 1960, y actualmente se trata de uno de los cultivos más empleados en forestaciones comerciales por su conformación y velocidad de crecimiento, las que pueden verse sensiblemente disminuidos en los suelos poco desarrollados y en aquellos con drenaje imperfecto (Brussa, 1994).

Duramen rosado, moderadamente duro, empleado en carpintería, construcciones en general y para la producción de celulosa (Brussa, 1994).

2.4 IMPLANTACIÓN

2.4.1. Aspectos relacionados con la implantación

Al momento de la implantación interactúan muchos factores, entre ellos, los restos vegetales presentes en el suelo, la estructura de la zona más superficial del suelo donde se ubica la cama de siembra, la calidad de la semilla y especialmente la humedad, ya que tiene impactos muy importantes (Formoso, 2007).

En años normales el 28% de las praderas que se instalan tienen problemas de implantación, mientras que en años de clima adverso la frecuencia de praderas mal implantadas es del 60%, de las cuales la tercera parte se pierde en el primer año (García et al., 1981).

Para puntualizar los principales aspectos en la instalación de una pradera resulta importante tener en cuenta las etapas que ello involucra, y por lo tanto es imprescindible distinguir tres procesos: germinación, emergencia y establecimiento (Carámbula, 1977). Estas etapas son muy importantes ya que la persistencia de una plántula depende de su respuesta al ambiente durante la germinación y las primeras etapas del desarrollo vegetativo (Raguse et al., citados por Carámbula, 1977).

Carámbula (1977) define las etapas de la siguiente manera:

1. la germinación comprende en las gramíneas el crecimiento del germen, la ruptura de la semilla y la aparición de la radícula y coleoptile. Este primer proceso depende de factores externos como temperatura, luz, humedad y

oxígeno, y de factores intrínsecos de la semilla como permeabilidad y madurez fisiológica.

2. Emergencia consiste en la aparición de la plántula sobre la superficie del suelo, siendo la velocidad muy importante ya que en esta etapa no fotosintética el crecimiento de la plántula depende exclusivamente de las reservas de la semilla. A su vez, está expuesta a infinidad de factores desfavorables.

3. El establecimiento o porcentaje de establecimiento se refiere al número de plántulas saludables que se establecen en la pradera, y se expresa como porcentaje del número de semillas viables sembradas. Dado que el porcentaje de establecimiento es la sumatoria de los porcentajes de germinación y mortandad, resume la habilidad de cada especie o cultivar para contribuir a la composición de la pradera.

2.4.2. Factores que afectan la implantación

El éxito en la instalación de una pradera se basa principalmente en la preparación de una buena sementera, ya que la semilla debe ubicarse en un ambiente que asegure su buena germinación y el arraigue inmediato de las plántulas (Carámbula, 1977).

2.4.2.1. Características del suelo

Propiedades físicas

La penetración del suelo por parte de la radícula es una de las etapas en el establecimiento de la pastura, que cobra importancia cuando se realiza siembra sin laboreo. Se define como la entrada de la radícula al suelo, de forma de generar el anclaje de la plántula a la superficie del suelo. La superficie del suelo constituye una barrera que la radícula de las semillas sembradas con siembra directa debe romper para que el establecimiento pueda ser alcanzado, y, por lo tanto, existe la posibilidad que la radícula quede expuesta a la desecación. Pérdidas durante la etapa de establecimiento pueden limitar el éxito de la implantación (Campbell y Swan, 1973a). Ellos también establecen que los factores que influyen en la entrada de la radícula son la resistencia, el laboreo y la heterogeneidad de la superficie del suelo.

Diferentes estudios muestran que, al aumentar la resistencia del suelo, se limita el crecimiento de las raíces (Campbell y Swan, 1973a). Campbell y Swan (1973a), determinaron el impacto de esos factores, en la entrada de la radícula al suelo. En primer lugar, en una superficie nivelada, y finamente estructurada, pequeños aumentos en la resistencia del suelo marcadamente redujeron la

entrada de la radícula. A su vez, cuando se trataba de una superficie porosa (resultado de un laboreo grueso y medio), el porcentaje de entrada de la radícula era mayor que en superficies de estructuras finas, manteniendo una resistencia del suelo medio.

Campbell y Swain (1973b) encontraron que el porcentaje de entrada de la radícula es mayor en invierno respecto a primavera o verano, ya que la superficie del suelo en invierno presenta menor resistencia y mayores niveles de humedad. Cuando se da la muerte de las plántulas en esta etapa del establecimiento las causas son mayormente debidas a que la radícula no tiene la fuerza suficiente para deformar la superficie del suelo o porque no encuentran un poro que tenga el tamaño adecuado que permitiera su entrada, y por lo tanto mueren desecadas.

También se determinó que las ondulaciones de la microtopografía y los restos vegetales muertos también son factores que pueden asistir en la entrada de la radícula al suelo. Depresiones en suelo realizadas artificialmente generaron el aumento de la entrada de la radícula en leguminosas. Coberturas de restos vegetales mantillo) aumenta la aspereza de la superficie del suelo, protege las radículas expuestas de la desecación, y al reducir la pérdida de humedad de la superficie, la mantiene blanda y húmeda (Campbell y Swain, 1973b). A su vez, al reducir el riesgo de desecación, permite que el período que posee la radícula para penetrar en el suelo sea mayor (Evans y Young, citados por Campbell y Swain, 1973b).

Formoso (2007), haciendo referencia a la siembra directa, menciona que los abresurcos, especialmente los de disco doble, en condiciones húmedas pueden compactar y formar una pátina lustrosa sobre las paredes del surco de siembra (comúnmente denominada por los productores como espejado o lustre), disminuir el drenaje y formar costras, atributos que deprimen la aireación, infiltración, drenaje, los porcentajes de implantación y limitan el crecimiento vegetal.

Adicionalmente, la falta de laboreo en siembra directa aumenta la compactación del horizonte más superficial del suelo, zona donde se ubican las camas de siembra de las semillas. La compactación es una característica indicadora de la degradación física del suelo. El aumento en la densidad aparente incrementa la resistencia mecánica a la penetración de las raíces, disminuye la porosidad, especialmente la cantidad, tamaño y continuidad de macroporos, generando ambientes más propensos a la deficiencia de oxígeno, deprime la capacidad de infiltración, etc. A su vez, a mayor humedad del suelo, aumenta la compactación y sus efectos nocivos sobre la germinación y/o crecimiento inicial de las especies (Formoso, 2007).

La magnitud de la depresión productiva inicial, dependiendo de la sensibilidad diferencial de las especies, puede manifestarse deprimiendo la precocidad, el rendimiento total del primer año, y en las perennes, además, puede perpetuarse sobre el segundo y/o tercer año (Formoso, 2007).

Propiedades químicas

El suelo aporta el agua y los elementos minerales que consume la planta. Por eso, si un suelo es deficiente en algún elemento, tanto las pasturas como los animales que consumen dicho forraje sufrirán las consecuencias. Por lo tanto, antes de iniciar la implantación de una pastura resulta imprescindible conocer el estado actual de la fertilidad del suelo, a los efectos de definir las acciones que permitan lograr que su producción de forraje y su persistencia sean exitosas (Carámbula, 2002).

La presencia de nitrógeno en el suelo resulta un estímulo importante para el crecimiento de las gramíneas. No sólo acelera el crecimiento de las plántulas, sino que además resulta un apoyo invaluable en suelos fríos donde la mineralización es lenta y en suelos donde la eficiencia de este elemento será mayor a varios centímetros de la superficie del suelo, que si se ubica en cobertura (Ignatieff y Page, citados por Carámbula, 2002).

En cuanto a la presencia de nitrógeno en la implantación de las gramíneas, si bien la cantidad de este nutriente aportado a la siembra, en suelos con bajo contenido del mismo, favorece tanto el crecimiento de la parte aérea como el de las raíces, el crecimiento aéreo es siempre más favorecido, siendo aún más importante en suelos con alto contenido natural. Así, a medida que se eleva la dosis, es posible detectar una disminución en el peso de las raíces (Troughton, citado por Carámbula, 2002) y un crecimiento muy importante de la parte aérea (Evans, citado por Carámbula, 2002). Por el contrario, una disponibilidad baja de este nutriente favorece el desarrollo de los sistemas radiculares, aunque si bien las raíces se presentan en mayor número, éstas son más cortas y finas por menor tamaño de sus células (Evans, citado por Carámbula, 2002).

Normalmente la fertilización no afecta la germinación y la emergencia, mientras que el crecimiento subsiguiente durante el establecimiento de las plántulas varía de acuerdo con la disponibilidad de nutrientes. Por consiguiente, el balance de los nutrientes en la pastura puede promover la dominancia de unas especies sobre otras.

Carámbula (2002) también menciona que, si bien conocer el pH del suelo es de primordial importancia cuando se trata de implantar leguminosas, en el

caso de las gramíneas ello no es así. Estas especies toleran niveles de pH más bajos que las primeras y en general dentro de un rango mayor.

Propiedades hídricas

En primer lugar, Collis-George y Sands, citados por Harper y Benton (1966), encontraron que la germinación es muy sensible a las variaciones en la tensión de agua en el rango de 0-650 cm de agua, y que las especies difieren en su respuesta. A su vez, Sedgley, citado por Harper y Benton (1966), encontró que, para una tensión determinada, la cantidad de agua absorbida y el porcentaje de germinación aumentaban al mejorar el grado de contacto entre el agua en estado líquido y las semillas.

Campbell y Swain (1973a) determinaron que la falta de humedad es la principal causa que afecta la germinación, ya que, identificaron una mayor germinación en aquellos tratamientos que incluyeran riego o semillas protegidas de la pérdida de humedad a través de coberturas. En las dos estaciones en las que se realizaron las pruebas (invierno y verano), la germinación procedió en respuesta a un número de lluvias intermitentes.

Por otro lado, Harper y Benton (1966) determinaron que no hay una relación simple entre germinación y la tensión del agua disponible, y que, a pesar del gran gradiente de presión de difusión entre las semillas y el sustrato, factores como el mucílago, tamaño y naturaleza de la superficie de la semilla, tienen marcadas influencias en la germinación. A su vez, en semillas de gran tamaño como en *Pisum stivum* y *Vicia faba*, el contacto toma una importancia particular debido a que pueden tener mayores pérdidas de agua por el mayor tamaño de la superficie de las semillas (Harper y Benton, 1966).

Mientras la germinación es poco sensible a contenidos normales de agua en el suelo, la emergencia es altamente dependiente. El inicio de la germinación se da cuando ocurren los procesos de imbibición de las semillas y aumento de su respiración. La evidencia muestra que los niveles críticos de agua en el suelo, para inhibir la germinación, son mucho menores de lo esperado. Owen, citado por Peter y Runkles (1967) encontró un porcentaje de germinación mayor al 20%, con potenciales de agua de -30 atm (aproximadamente el doble de la tensión considerada en el punto de marchitez permanente). Owen, citado por Peter y Runkles (1967) dice que el estrés hídrico no es un factor que afecte a la iniciación del desarrollo del embrión, mientras que si la velocidad de emergencia de la radícula, determinando entonces un resultado, en porcentaje de germinación, menor. La reducción en el porcentaje de germinación, fue atribuido al aumento de probabilidad de enfermedades (Owen, citado por Peter y Runkles, 1967).

Campbell y Swain (1973a) determinaron que las mayores pérdidas durante el establecimiento de las plántulas están relacionadas al estrés hídrico, ya que identificaron pérdidas masivas de plántulas en los tratamientos que no incluían riego. Esto a su vez determina que, durante el invierno, el índice de muertes sea menor debido a una menor evaporación.

A su vez, Carámbula (2002) menciona que el suelo debe poseer un volumen de agua aceptable como para que las plántulas puedan extender sus raíces en profundidad y alcanzar un suministro de humedad suficiente que les permita crecer sin limitaciones, ya que la humedad del horizonte superficial es muy variable y por lo tanto las plántulas no pueden depender de éste.

No obstante que la falta de humedad impide la germinación y expone las semillas al ataque de insectos, o en leguminosas, afecta la nodulación por la muerte de los rizobios, la falta de oxígeno causada por un exceso de agua puede provocar la muerte de las semillas (Carámbula, 2002).

2.4.2.2. Método de siembra

Cualquiera sea el método de siembra que se va a aplicar, se deberá considerar todos los factores que afectan la germinación de las semillas, así como la emergencia y establecimiento de las plántulas, a los efectos de proveer el medio apropiado para la implantación eficiente de las mismas (Carámbula, 2002).

Las oportunidades de éxito de todos los métodos de siembra dependen ampliamente de las condiciones de humedad del medio ambiente y muy en especial del contenido de agua en el suelo, por lo que la falta de humedad almacenada al momento de la siembra, reduce notablemente las posibilidades de lograr una buena implantación (Carámbula, 2002).

Carámbula (2002) propone entonces que, cualquiera sea el método de siembra, su éxito dependerá de la necesidad ineludible de cumplir con algunas directivas muy valiosas, respecto a la preparación de la sementera:

- a) proveer un medio ambiente con humedad favorable y sostenida.
- b) No realizar labores distanciadas entre sí en el tiempo, que provoquen pérdidas de humedad. En cada uno se puede llegar a perder hasta 20 mm o más.
- c) Efectuar la siembra lo más cercano posible o en el mismo momento que se acondiciona el suelo.

d) Buscar el menor lapso posible entre la germinación y la penetración de la radícula.

e) Escapar a la desecación superficial que se produce en suelos calientes y secos a fines del verano.

f) No sembrar en suelos secos en los que las semillas presentan germinaciones desperejadas y quedan expuestas a pérdidas mayores por plagas y enfermedades.

g) No sembrar en suelos secos donde los rizobios deben permanecer en un ambiente agresivo a la espera de rocíos fuertes, neblinas o lluvias.

Un método de siembra adecuado debe además tener en cuenta que las semillas deben ser cubiertas por una capa de suelo suelto, ligeramente aterronado del tamaño de un huevo de paloma. Estos reducen la evaporación, lo que permite al suelo retener la humedad por un tiempo más prolongado con efectos favorables para la germinación de la semilla y la vida del rizobio, en especial en los casos en que las lluvias esperadas sean poco intensas (Muslera y Ratera, citados por Carámbula, 2002).

En conclusión, Carámbula (2002) sostiene que para lograr una buena sementera se debería alcanzar condiciones físicas, químicas y biológicas satisfactorias, eliminar la competencia por parte de especies establecidas o en vías de regeneración ya sean malezas o pratenses, proveer una disponibilidad apropiada de nutrientes para promover el desarrollo y el equilibrio de la composición de las pasturas y disponer de cantidades adecuadas de humedad para la germinación y crecimiento de plántulas.

2.4.2.3. Enmalezamiento

El grado y tipo de enmalezamiento que posee el potrero o chacra en la cual se implantará una pastura no debe ser ignorado. Al respecto, se debe distinguir entre las malezas anuales y las perennes. Las primeras pueden ser controladas por herbicidas selectivos temprano en otoño, aunque si se trata de suelos muy chacreados, que poseen bancos altos de semillas de malezas, es preferible realizar primero un control integral de las malezas, con la siembra de un verdeo invernal y la posterior siembra de la pastura al siguiente otoño (Carámbula, 2002).

Carámbula (2002) también hace referencia a la situación en que las principales malezas son perennes como la gramilla. En ese caso su control debe asegurarse sin alternativas, mediante métodos mecánicos y químicos, aunque estos tratamientos signifiquen que la siembra de la pastura deba ser postergada.

2.4.2.4. Calidad de la semilla

La buena semilla asegura una mejor instalación de la pastura, un mejor comportamiento durante su desarrollo, una mayor resistencia a enfermedades y adversidades climáticas y una mayor producción de forraje (Carámbula, 2002). En el costo de implantación de una pastura, el valor de la semilla constituye un alto porcentaje del mismo y de ahí, entonces, que se deba asegurar la siembra con semilla de calidad (Carámbula, 2002).

Dentro de las características más importantes que definen una buena semilla, se encuentran un buen poder germinativo y la pureza, ya que no debe contener impurezas o semillas de malezas u otras especies cultivadas que puedan interferir en el establecimiento de la pastura o contaminar el suelo (Carámbula, 2002).

Según Carámbula (1977), puede considerarse satisfactorio para la mayoría de las especies forrajeras una germinación superior al 80%, aunque este criterio puede variar en determinadas especies. Si se encuentra entre un 50 % y 80%, el problema de se puede solucionar aumentando proporcionalmente la cantidad de semilla a sembrar. Pero si el porcentaje de germinación es menor al 40%, no se podrá solucionar (Carámbula, 1977). Es debido a lo mencionado anteriormente, que se recomienda enviar una muestra a un laboratorio de análisis de semillas para determinar su poder germinativo, y por lo tanto poder alterar la densidad de siembra si es necesario.

Otro factor relacionado con la calidad de las semillas es el peso de 1000 semillas. En general, a mayor peso, mayor tamaño, mayor velocidad de germinación, mayor vigor de plántulas, mayores porcentajes de implantación, mayor producción de raíces, menor tiempo para iniciar el crecimiento de tallos, mayor sobrevivencia bajo ambientes estresantes, etc. Estas características se traducen en la práctica en menores riesgos de perder las pasturas, mayores tasas de crecimiento inicial y mayor precocidad en entregar rendimientos de materia seca, superiores (Formoso, 2007).

2.4.2.5. Época de siembra

La temperatura influye directamente sobre la velocidad de cualquier proceso biológico, pueden ser infra-óptimas, óptimas o supra-óptimas. Por ser una variable continua, dentro de los rangos normales que se registran en Uruguay, en general actúa deprimiendo o acelerando los procesos de germinación, implantación, etc. Valores térmicos extremos, altos o bajos,

especialmente los primeros pueden determinar la muerte de las plántulas (Formoso, 2007).

Siembras tempranas (fines de febrero) con el objetivo de disponer de más forraje a fines de otoño e invierno, pueden determinar en algunas forrajeras pérdidas importantes de la población. Formoso (2007) determinó que temperaturas muy altas durante la primera semana de abril generaron temperaturas foliares superiores a los 41°C a las 14 horas en algunas especies. El calentamiento foliar excesivo de las forrajeras más sensibles durante 4 días seguidos determinó un número importante de plantas muertas.

La humedad en cambio es una variable discontinua y por tal, agregado a su alta variabilidad, es generalmente la causa principal en determinar malas implantaciones. La cobertura vegetal del suelo y tiempos de barbecho largos posibilitan aumentar el nivel de humedad en el suelo y disminuir los riesgos de estrés hídrico (Formoso, 2007). De todas formas, y relacionado a la época de siembra, asegurar un buen suministro de agua sin interrupciones a la semilla, generalmente es más fácil en el período húmedo, fin de otoño e invierno, que más temprano en el otoño, o tarde en primavera.

Cuando las siembras se realizan en períodos de menor disponibilidad de agua, que en general coinciden con temperaturas más elevadas, las siembras sobre suelo recubierto con rastrojo, protegen en mayor grado a las semillas de la desecación con relación al suelo desnudo. Por otro lado, si se trata de un período húmedo, las coberturas con rastrojo pueden generar condiciones muy favorables para el desarrollo de hongos, y terminar teniendo un efecto negativo en la implantación (Formoso, 2007).

2.4.2.6. Densidad de siembra

Carámbula (2002) sostiene que la densidad constituye uno de los aspectos más variables al momento de instalar una pastura. En el caso de siembra de especies perennes de lento crecimiento, si se utiliza baja densidades es probable que se vea fuertemente afectado por las malezas, y finalmente no se obtendrá buena población de plantas. Por ello, la densidad deberá aumentarse a medida que el grado de perennidad de una especie se incrementa, ya que presentan un crecimiento lento y por tanto mayor riesgo que una especie anual de mayor vigor inicial.

La cantidad de semilla utilizada para implantar tanto una especie pura como una mezcla de especies, es sin duda una herramienta de gran importancia para la obtención de una buena pastura (Mas, 1995).

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de las principales condiciones que permite definir las densidades de siembra a ser utilizada.

Cuadro 1. Parámetros que permiten definir la densidad de siembra

Densidad de siembra	
Alta	Baja
Suelos mal preparados	Suelos bien preparados
Suelos fértiles	Suelos poco fértiles
Suelos sin riesgo de sequía	Suelos con riego
Suelos enmalezados	Suelos poco enmalezados

Fuente: Carámbula (2002).

Deben ser densidades de siembra moderadas que permitan no solo un desarrollo individual completo el año de siembra, sino también que se observen buenos desarrollos al segundo año de implantación.

2.4.2.7. Condiciones lumínicas

Carámbula (2003), sostiene que la luz afecta el crecimiento inicial de las plántulas de dos maneras; mediante su intensidad y por el fotoperíodo. Por otro lado, es importante destacar que la competencia por luz que pueden ejercer malezas, cultivos asociados o tapiz del campo es responsable de muchos fracasos en la implantación.

2.4.2.8. Datos de implantación en Uruguay

Brito del Pino et al. (2008) en un relevamiento de 58 chacras obtuvieron un promedio de implantación a los 90 días pos siembra, de 29,3%, variando según la mezcla entre valores de 24,0% a 36,2%, sin diferencias encontradas entre los 45 y 90 días, ni entre gramíneas y leguminosas.

Acle y Clement (2004), confirman que con los resultados obtenidos la implantación se trata de un proceso ineficiente. El promedio de implantación encontrado por ellos (Acle y Clement, 2004), fue del 46% a los 90 días pos siembra. Ese resultado es similar al obtenido por Fariña y Saravia (2010), los cuales encontraron un 45% de implantación a los 60 días pos siembra.

Por otra parte, Gomes de Freitas y Klassen (2011) obtuvieron un resultado inferior, con un valor de implantación del 38% a los 90 días. Según estos autores, ese resultado es superior al obtenido en predios comerciales, el cual ronda el 28%.

Arín et al. (2018) obtuvieron a los 78 días pos-siembra un porcentaje de implantación promedio de 32 %, lo que se considera bajo si se lo compara con el 77 % obtenido por Mangado y Saint-Girons (2017) a los 79 días pos-siembra.

Etcheverry et al. (2020) obtuvieron un porcentaje de implantación general de 37% a los 99 dps, valor promedio de las dos mezclas evaluadas.

Datos de implantación en condiciones de sombreado

Mujica y Rumi (1998), en Argentina, encontraron que en *Lotus glaber* el peso seco total y radicular fueron deprimidos por el sombreado, a partir del estadio cotiledones desplegados. El área foliar resultó disminuida por el sombreado en el estadio cotiledones desplegados solamente.

Además, a través del sombreado de los cotiledones cuando estaba desplegada la primera hoja, se obtuvo un aumento de la relación área foliar-longitud de raíz.

2.5. MORFOGÉNESIS DE GRAMÍNEAS FORRAJERAS

El crecimiento de las plantas resulta de un programa dinámico de morfogénesis, determinado por características genéticas e influenciado por variables ambientales, como la temperatura, la radiación solar, el agua y los nutrientes. Estas características morfogénicas son, tasa de elongación foliar (TEF), tasa de elongación de estolones o tallos, tasa de aparición foliar (TAF) y vida media foliar (VMF, Lemaire y Chapman, 1996).

Las variables morfogénicas en un macollo de gramínea se relacionan, por lo tanto, a los siguientes procesos (Colabelli et al., 1998):

- tasa de aparición de hojas: es el intervalo entre la aparición de dos hojas sucesivas en un macollo. Dicho intervalo puede ser expresado en días. Sin embargo, debido a la estrecha relación con la temperatura, puede ser calculado como suma térmica (producto del intervalo en días, por la temperatura media diaria del intervalo). En este caso, se denomina filocrono y su unidad es grados día.

- Tasa de elongación foliar: se refiere al incremento en longitud de lámina verde en un intervalo de tiempo o de suma térmica. La elongación foliar es la principal expresión del crecimiento de una hoja. El ancho foliar presenta normalmente variaciones de menor magnitud.

- Vida media foliar: es el intervalo transcurrido entre la aparición de una hoja y el comienzo de la senescencia. Puede ser expresada como número de intervalos de aparición de hojas. Las hojas tienen una vida limitada, siendo ésta una característica relativamente estable para cada genotipo. Luego de crecer, cada hoja comienza a senescer y muere.

La tasa de aparición y elongación de hojas y la vida media foliar, son las variables que determinan mayoritariamente los cambios de estructura que experimentan los macollos en el transcurso de su desarrollo (Davies, citado por Colabelli et al., 1998).

El producto de dichos cambios, determina las características estructurales de las pasturas: número de hojas vivas por individuo, densidad de macollos y tamaño de hojas. A su vez, estas últimas características definen el índice de área foliar de las pasturas, y con ello la capacidad de capturar energía lumínica para la fotosíntesis y abastecer funciones de crecimiento (Colabelli et al., 1998).

El crecimiento y el desarrollo de las plantas están fuertemente controlados (estimulados o frenados) por las condiciones ambientales. Dentro del medio abiótico, la temperatura, la luz y la disponibilidad de agua y nutrientes se destacan por ser altamente determinantes de los mencionados procesos (Colabelli et al., 1998).

El tiempo térmico necesario para el surgimiento de dos hojas consecutivas (filocrono) es mayor para plantas sombreadas (Baldissera et al., citados por Fedrigo et al., 2018), característica que junto con la menor tasa de macollaje (resultante de la menor proporción de luz R/RL) influye negativamente en la eficiencia del crecimiento. Casal et al. (1987) encontraron en un experimento con *Lolium multiflorum* una fuerte reducción del macollaje con pequeñas depresiones de la relación R/RL en la luz incidente, para diferentes condiciones de fotoperíodo, edad de planta, fuentes lumínicas.

La velocidad de un proceso morfogénico es proporcional al incremento de temperatura, por encima de un umbral por sobre el cual la planta responde desarrollándose y/o creciendo. Por otro lado, en la medida en que un fenómeno dependa fundamentalmente de la temperatura, las predicciones de su evolución en función de esta variable serán más precisas. Tal es el caso de la tasa de aparición de hojas para las gramíneas, la cual se puede ejemplificar para distintas especies. Por ejemplo, con una temperatura diaria promedio de 10° C, la velocidad de aparición de hojas es de alrededor de una cada 11 días en raigrás perenne y una cada 23 días en festuca (Colabelli et al., 1998). Por otro lado, el filocrono encontrado por Gao y Wilman (1994), para *Festuca arundinacea* es de 168 grados/día con una temperatura media de 14,5 grados (condiciones experimentales), lo cual corresponde a la aparición de una hoja cada 11,5 días.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El ensayo se ubicó en el departamento de Cerro Largo, a 30 km de la localidad de Fraile Muerto (coordenadas 32°37'10 S y 54°28'02 O). El período experimental comprendió entre el 19 de marzo de 2019, día en que se realizó la siembra, y la última jornada de muestreo, el 30 de julio de 2019.

3.2. CLIMA

3.2.1. Temperatura

Analizando los datos del período 1980-2009, Castaño et al. (2011), determinaron que la temperatura media anual sobre Uruguay es de 17,7 °C, variando desde unos 19,8 °C en la zona Noroeste (Bella Unión), hasta unos 16,6 °C en la costa Sur del país. Las isothermas tienen una tendencia incremental general desde el Sur hacia el Noroeste. Según estos autores, en Uruguay, las temperaturas máximas medias (22,6 °C) se dan en los meses de enero y febrero, mientras que las mínimas medias (12,9 °C) en junio y julio. En el mes más cálido (enero) el promedio de las temperaturas registradas en el país es de 24 °C para las medias, 29,6 °C para las máximas y 18,5 °C para las mínimas. Mientras que durante el mes más frío (julio) el promedio de las temperaturas registradas se sitúa en 11,6 °C para las medias, 15,8 °C para las máximas y 7,3 °C para las mínimas (Castaño et al., 2011).

Respecto a la zona de Melo, según la serie histórica (1991-2020), la temperatura promedio es de 17,77°C, con una media máxima en el mes de enero de 23,8°C, y una media mínima en el mes de julio de 11,6°C.²

3.2.2. Precipitaciones

Los valores medios de precipitación acumulada anual sobre el país se sitúan entre 1200 y 1600 milímetros (mm) con los menores valores situados al Suroeste (departamento de Colonia) y los máximos al Noreste (departamentos

² INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). s.f. Serie de datos de temperatura media para Melo en el período 1991-2020. (sin publicar).

de Rivera y Artigas). El gradiente por lo tanto es incremental de Suroeste a Noreste (Castaño et al., 2011).

Se puede decir que el régimen de precipitaciones sobre Uruguay tiene características marítimas en la región Sureste (litoral atlántico) y Este (cuena de la Laguna Merín), con un máximo de precipitaciones en el invierno. El resto del país es una región de transición entre las lluvias de carácter marítimo ya mencionadas y las lluvias veraniegas del interior del continente (Prohaska, citado por Castaño et al., 2011). Ambas influencias se manifiestan resultando un ciclo anual con una doble estación lluviosa, un máximo principal en otoño y un máximo secundario en primavera, un mínimo principal en invierno (excepto en el Este y Sureste) y un mínimo secundario a mitad del verano.

En cuanto a la distribución espacial a lo largo del año, se observó el cambio en el gradiente de la precipitación, de Oeste a Este en el invierno a un gradiente casi de Sur a Norte para los meses de verano y otoño. Considerando los valores acumulados de la lluvia a través del año, no existe ni una estación seca ni una estación lluviosa bien definida, registrándose acumulados medios mensuales entre 60 mm/mes, para el litoral Oeste en invierno, y 140 mm/mes en el Noroeste en los meses de abril y octubre (Castaño et al., 2011).

Los datos registrados en la estación experimental de Melo, para la serie histórica de 1991-2020, resultan en un promedio mensual de 117.8 mm, con un acumulado promedio de 1414 mm.³

3.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

3.3.1. Unidad de suelo

Según Altamirano et al. (1976), el experimento se encuentra en la Unidad Tres Islas. Los suelos Luvisoles Ocrícos (Melánicos) Típicos (Abrúpticos) son los dominantes en dicha unidad. Por otro lado, los suelos que se presentan como asociados son Brunosoles Subéutricos Típicos, Brunosoles Dístricos Lúvicos y Litosoles Dístricos/Subéutricos Ocrícos (Altamirano et al., 1976).

Los suelos Luvisoles son descriptos por Altamirano et al. (1976), como suelos que presentan un horizonte argilúvico de más de 50 % de saturación de bases (a pH 7.0) en todos sus subhorizontes cumplen con una de las siguientes combinaciones de características: si tienen un horizonte melánico, poseen una relación de contenido de arcilla en el horizonte B con respecto al del horizonte A

³ INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). s.f. Serie de datos de precipitaciones para Melo en el período 1991-2020. (sin publicar).

mayor de 3, cualquiera sea la transición entre ambos horizontes o bien, una relación entre 2 y 3, si muestran una transición abrupta entre los horizontes A y B. Si tienen un horizonte ócrico o úmbrico, basta que la relación de contenido de arcilla entre los horizontes B y A sea mayor de 1.2, cualquiera sea la transición entre ambos horizontes. Además, estos suelos no presentan más de 5 % de aluminio intercambiable, carecen de horizonte gleico a menos de 120 cm de profundidad, y si pueden presentar un horizonte álbico.

3.3.2. Descripción de suelos CONEAT

El experimento se encuentra sobre el grupo de suelos 2.14 según la descripción de suelos CONEAT. Son sierras no rocosas, de relieve ondulado fuerte a quebrado o escarpado con afloramientos rocosos y pendientes entre 3 y 12%. El material generador de estos suelos está constituido por areniscas a veces silicificadas y tillitas de la formación San Gregorio - Tres Islas o mantos de alteración profundos de rocas cristalinas. Los suelos son Luvisoles Ócricos Úmbricos (a veces Melánicos) Típicos (algunas veces Abrúpticos) arenosos a franco arenosos ródicos (Praderas Arenosas rojas); asociados a Brunosoles Dístricos Lúvicos, arenosos francos y arenosos, moderadamente profundos, ródicos (Praderas Arenosas) y Litosoles Dístricos/Subéutricos Ócricos/Úmbricos, arenoso francos y francos e Inceptisoles Úmbricos, franco arenosos gravillosos. Ocurre una extensa región de sedimentos gruesos de la Formación Tres Islas que se extiende desde Arévalo, pasando por Tres Islas y Cerro de las Cuestas hasta el paso de la Cruz sobre el Río Tacuarí. Existen áreas discontinuas de materiales de alteración de rocas cristalinas en distintos puntos geográficos: Isla Patrulla, Zapicán, Tupambaé y la región serrana localizada entre ruta 26 y Paso Centurión en el Dpto. de Cerro Largo. La vegetación es de pradera estival, y el uso actual pastoril. Los suelos de este grupo integran las unidades Tres Islas y parte de la Sierra de Polanco, de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.). Índice de Productividad 61 (MGAP. CONEAT, 2010).

3.4. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

3.4.1. Componente forestal

El experimento se situó bajo un monte experimental de un híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* (genética de la empresa Lumin), con rodales plantados en dos orientaciones: Norte- Sur y Este-Oeste. Al momento de instalar el experimento, los árboles tenían una edad de 11 años. Parte del experimento se situó bajo un monte en su densidad original, de 420 árboles/há, con un arreglo espacial de 7 metros entre líneas y 3,4 metros entre árboles. Estas condiciones se utilizaron para aplicar el tratamiento denominado "7 metros". Para la aplicación del otro tratamiento, se instaló parte del

experimento en un monte con una densidad original de 326 árboles/há y distancia entre filas de 9,75m, el cual fue raleado para obtener una distancia de 19,5 m entre líneas y una densidad final de 163 árboles/há. En este caso se trata del tratamiento “19,5 metros.”

En cuanto a las características de los árboles, existen algunas diferencias en diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura entre los distintos tratamientos. En el siguiente cuadro se resume la información.

Cuadro 2. Promedios por tratamiento para las variables DAP, altura total, altura del tronco, altura de la copa y ancho de copa

Tratamiento	Orientación	DAP (m)	Altura total (m)	Altura tronco (m)	Altura copa (m)	Ancho copa (m)
7 metros	N-S	31,3	31,3	11,4	19,9	4,45
	E-O	29,7	29,7	10,6	19,1	4,35
19,5 metros	N-S	28,1	30,1	9,9	20,2	6
	E-O	31,2	32,2	9,5	22,7	7



19,5 metros de distancia entre árboles (izquierda) y 7 metros (derecha).

Figura 3. Fotografía de parcelas instaladas en monte

3.4.2. Componente pastura

3.4.2.1. Especies forrajeras, manejo pre siembra y siembra

Para la preparación de la sementera el 23 de enero se aplicó 6 l/há de glifosato. Un día previo a la siembra se fertilizó realizando huellas con discos de sembradora para la colocación del fertilizante, con una dosis de 100 kg.ha⁻¹ de 07-40-00.

La siembra se llevó a cabo el 19 de marzo. Debido al tamaño de las parcelas, la siembra se realizó de forma manual con una distancia entre líneas

de 17 cm. A continuación, se presenta información de densidad y cultivares utilizados.

Cuadro 3. Especies utilizadas, densidad de siembra y características de las semillas

Especie	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Dactylis glomerata</i>
Densidad (kg/há)	14	12
Cultivar	Rizar IGP12	INIA LE Oberón
Peso mil semillas	1,75	0,86
Poder germinativo	84	84

3.4.2.2. Manejo post siembra

En el tratamiento a pleno sol, se colocaron cercas eléctricas a 10 cm del suelo para el control de liebres. Se realizó una aplicación de Paradigm el 16 de julio, con una dosis de 25 gr/há para el control de malezas de hoja ancha.

3.4.3 Experimento a pleno sol

Se realizó una siembra en parcelas de *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea* en una sin interferencia de los árboles, para poder determinar el efecto de los mismos. Este experimento control fue denominado experimento 2.

3.5. CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

3.5.1. Arreglo espacial del ensayo y croquis

En primer lugar, se demarcaron dos áreas: una con rodales plantados en orientación Norte-Sur y otra con los árboles orientados Este-Oeste. En cada una de ellas se demarcaron parcelas para las condiciones 7 metros y para la condición de 19,5 metros de distancia de entre fila, seis parcelas por especie. Por último, se delimitó una zona sin interferencia de los árboles para poder tener condiciones de pleno sol que permitan realizar comparaciones (experimento 2).

Cuadro 4. Superficie por parcela

Parcela	Superficie (m²)
Pleno sol	15
7 m	23,8
18 m	61,2



Arriba el bloque I tratamientos 7m y 19,5 m, bloque I 19,5 m, y experimento pleno sol. Abajo bloque II 7m y bloque II 19,5m.

Figura 4. Croquis del experimento

Esta distribución corresponde a un diseño de parcelas divididas en bloques, donde la parcela mayor es el marco de plantación y las subparcelas corresponden a las especies forrajeras implantadas.

3.5.2. Análisis de datos

Se realizaron análisis de la varianza para las variables implantación, dinámica poblacional y macollaje, considerando el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_a + \gamma_k + (\tau\gamma)_{jk} + \varepsilon_b$$

Donde

Y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

β_i = efecto del i – esimo bloque

τ_j = efecto del j – esimo nivel de marco de plantacion

γ_k = efecto del k – esimo nivel de especie

$(\tau\gamma)_{jk}$ = efecto de la interaccion marco por especie

ε_a = error experimental asociado al marco de plantacion

ε_b = error experimental, asociado a la subparcela y la interaccion

En tanto que para las variables medidas en plántulas (peso de láminas, peso de vaina, peso de raíces, longitud de lámina, macollos por planta y hojas totalmente expandidas), la que fueron calculadas en base a una muestra compuesta, se ajustó un modelo asociado al diseño de bloques completos aleatorizados ($Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{exp}$) donde los tratamientos corresponden a la combinación de los marcos de plantación por las dos especies forrajeras estudiadas.

Se utilizó el test de Tukey para realizar las diferencias de medias.

Tanto para los análisis de varianza como para el test de Tukey se utilizó un nivel de significación de 10%.

3.6.MEDICIONES

Se calcularon intervalos de confianza al 90% para comparar los tratamientos de marcos de plantación por especies con las condiciones a pleno sol, ya que este tratamiento fue relevado en una repetición por cada bloque.

3.6.1. Dinámica poblacional

Treinta días posteriores a la siembra se demarcaron cuatro transectas de 1 metro por parcela sobre la línea de siembra, y se midió en cada una de ellas el número de plantas y los macollos por planta, así como el número de hojas senescentes, expandidas y en expansión del tallo principal. Realizándose las mismas mediciones a los 60, 90 y 120 días post siembra (dps).



Figura 5. Transectas ubicadas a campo para la medición de dinámica poblacional en pleno sol

3.6.2. Número de plantas establecidas

En rectángulos de 20x50 cm, dispuestos de forma aleatoria dentro de las parcelas, se realizó el conteo del número total de plantas de la especie sembrada, la proporción de suelo cubierto por la pastura, por malezas, por restos forestales

y suelo descubierto. El número de cuadros medidos por parcela fue de 2, 3 y 7 para los tratamientos pleno sol, entre filas de 7 y 19,5 metros respectivamente. Este procedimiento se realizó a los 90 y 120 dps.

3.6.3. Determinación de la partición de la materia seca

A los 120 dps, se extrajeron diez plántulas por parcela con un pan de suelo cilíndrico de 5 cm de profundidad. El conjunto de las diez plantas constituyó la muestra de la parcela. Al momento de elegir las plantas a extraer, se buscó que éstas fueran representativas de las plantas de la parcela. Posteriormente, en el laboratorio las plantas fueron lavadas y se separó el macollo principal, de los secundarios. Al principal se le midió longitud y ancho de la hoja más larga, y luego todos los macollos fueron separados en láminas, vainas y raíces. Las muestras se secaron en estufa a 60° C durante 72 horas y se pesaron para obtener el peso seco de cada fracción.

3.7. VARIABLES ESTIMADAS

3.7.1. Implantación

La implantación como número de plantas por m² se determinó a partir de los datos relevados en los muestreos aleatorios mencionados en el punto 3.6.2. Se realizó un promedio por parcela del número de plantas encontradas en cada cuadro, a los 90 y a los 120 días, y luego sabiendo el área de los cuadros se calculó el número de plantas por m².

Para el cálculo de implantación como porcentaje del número de semillas viables sembradas, se partió del dato de densidad de siembra, y se calculó qué porcentaje de esas semillas sembradas se correspondía con plántulas a los 90 y a los 120 días después de la siembra.

3.7.2. Cobertura del suelo

En los rectángulos en los que se midió el número de plantas para estimar el porcentaje de implantación, también se evaluó la cobertura del suelo. La cantidad de muestras también fueron las mismas, pero en este caso se estimó visualmente a nivel de campo la proporción relativa (%) de la pastura, los restos forestales, las malezas y el suelo descubierto en cada tratamiento.

3.8.HIPÓTESIS

3.8.1. Hipótesis biológicas

El efecto de la sombra reduce la implantación de las gramíneas *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata* respecto a implantación en pleno sol.

Marcos de plantación que determinen mayor espaciamiento resultan en mayores valores de implantación.

Dactylis glomerata bajo monte presenta mayor implantación que *Festuca arundinacea* bajo monte.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan a continuación registros de las condiciones climáticas registradas durante el año 2019 (temperatura y precipitaciones, Fraile Muerto) y las registradas en la serie histórica 1961-1990 en Melo (INUMET, s.f.). Se presentan ambos registros a los efectos de comparar los datos y detectar diferencias ambientales que podrían contribuir a explicar los resultados obtenidos.

4.1. TEMPERATURA

En la siguiente grafica se observan las temperaturas máximas (T. máx.), mínimas (T. mín.), y medias (T. media) para los meses en los que se realizó el experimento, durante el año 2019, y las temperaturas medias de referencia, para el periodo 1961-1990.

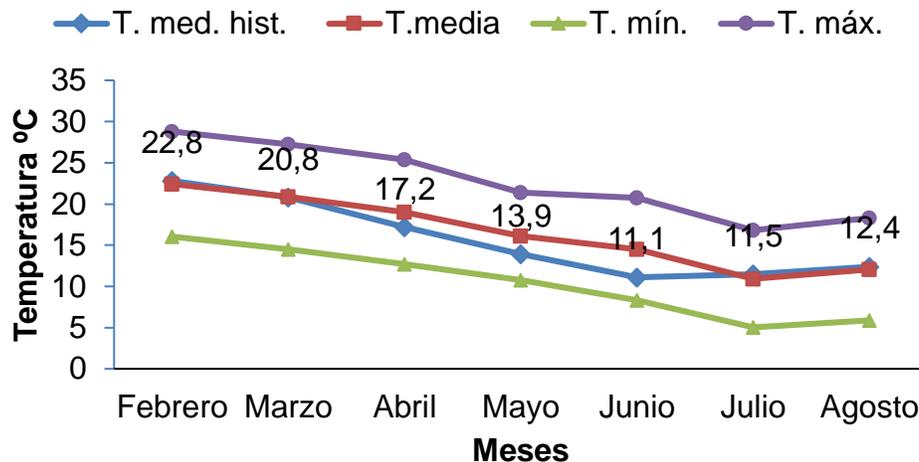


Figura 6. Temperatura media (°C) histórica de Melo 1961-1990, y temperaturas medias, máximas y mínimas para los meses del experimento durante el año 2019

Fuente: INUMET⁴, INUMET (s.f.).

Como se observa en la gráfica, la temperatura media durante el año 2019 es similar a la de la serie histórica, salvo en los meses de abril, mayo y junio. En dichos meses, la temperatura registrada fue: 2,2 y 3,5 (abril-mayo-junio) grados superiores en el año en que se realizó el experimento. Formoso (2007) determinó que temperaturas muy altas durante la primera semana de abril generaron

⁴ INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). s.f. Serie de datos de temperatura febrero a agosto 2019, Fraile Muerto. s.p. (sin publicar).

temperaturas foliares superiores a los 41°C a las 14 horas en algunas especies. El calentamiento foliar excesivo de las forrajeras más sensibles durante 4 días seguidos determinó un número importante de plantas muertas. Por otro lado, las temperaturas superiores registradas durante el experimento, se acercan a las temperaturas óptimas de especies C₃, lo que pudo haber favorecido el crecimiento de las mismas en los primeros días post siembra (Formoso, 2007). A pesar de contar con los registros de temperatura de Melo, se debe tener en cuenta que coberturas vegetales hacen que haya una menor amplitud térmica, tanto en el aire como en el suelo. Según Fedrigo et al. (2018), en Uruguay se ha reportado que, en los meses de mayor temperatura, el monte de *Pinus taeda* de 8 años de edad, reduce la temperatura del aire en 2,6-2,8°C entre las 10 y 20 horas. Por otro lado, durante las noches de invierno, las temperaturas aumentan en 1°C.

4.2. PRECIPITACIONES

Como se observa en la figura 7, durante el mes de febrero, mes previo la siembra, y marzo, mes en el que se llevó a cabo la siembra, las precipitaciones ocurridas fueron ampliamente inferiores a las registradas en la serie histórica, lo cual puede haber influido en la implantación de las especies. Según Carámbula (2003) la falta de humedad puede afectar tanto la germinación, como la nodulación repercutiendo negativamente en la implantación. Por el contrario, en el mes de abril las precipitaciones se encontraron 40 mm por encima del promedio histórico, y también debe ser tomado en cuenta ya que la falta de oxígeno causada por un exceso de agua puede provocar la muerte de las semillas (Carámbula, 2002). Además, en los meses de agosto y octubre de 2019 también se registraron volúmenes de lluvia superiores a los promedios históricos. En el volumen total de lluvias recibidas durante los meses presentados, en 2019 se registraron 120mm más respecto al promedio histórico.

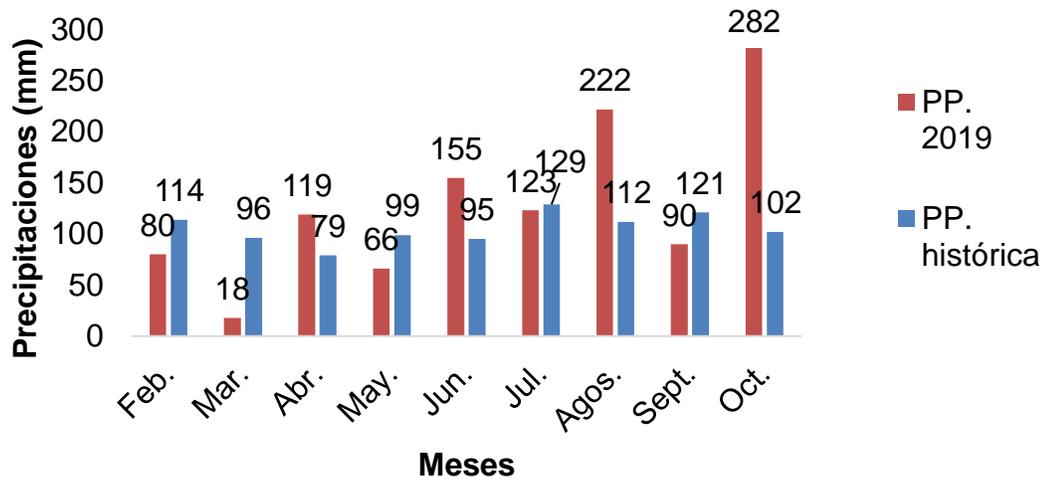


Figura 7. Precipitaciones mensuales (mm) para el año 2019 y serie histórica 1961-1990

4.3. IMPLANTACIÓN

4.3.1. Número de plantas por metro cuadrado

En primer lugar, en el cuadro 5, se presentan los datos del experimento bajo dosel arbóreo, comparando los valores de implantación entre los dos marcos de plantación y las dos especies (cuadro 5). Tanto a los 90 como a los 120 días post siembra (dps), se encontraron diferencias significativas para implantación entre las dos especies. *Festuca arundinacea* siempre se mantiene con un número mayor de plantas por metro cuadrado respecto a *Dactylis glomerata*. A su vez, cuando se analizaron las diferencias entre las fechas, estas no resultaron significativas.

Cuadro 5. Número de plantas por metro cuadrado promedio, de dactylis y festuca, a los 90 y 120 dps

Fecha (dps)	Especie	No. pl/m ² *	Promedio por fecha
90	Festuca	57,94 a	47,17
	Dactylis	36,4 b	
120	Festuca	54,72 a	43,47
	Dactylis	32,22 b	

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

Cuadro 6. Implantación como porcentaje del número de semillas sembradas

Especie	Festuca	Dactylis
No. semillas viables sembradas/m ² **	672	867
No. plantas/m ² F1	57,9a	36,4b
Establecimiento (semillas viables/plántulas sanas)F1	8,6%	4,2%
No. plantas/m ² F2	54,7a	32,2b
Establecimiento (semillas viables/plántulas sanas) F2	8,1 %	3,7 %

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

D. glomerata se destaca por su tolerancia a las condiciones de sombra (García, 1995), por poseer una mayor habilidad para extender rápidamente los hipocotilos, entrenudos y láminas de las primeras hojas (Carámbula, 2002). Por el contrario, se ve en los resultados que la *F. arundinacea* presentó mayor número de plantas por metro cuadrado en ambas fechas evaluadas. Una semilla con altos estándares de calidad asegura una rápida instalación de la pastura, y en el costo de implantación de una especie, el valor de la semilla constituye un alto porcentaje del mismo (Carámbula, 2002). Se puede suponer en el caso de

D. glomerata, que la semilla puede haber tenido un bajo poder germinativo o baja pureza, que explique la menor implantación. Otra posible causa puede ser la mayor competencia al momento de la germinación, ya que *D. glomerata* fue sembrado en mayor densidad. Se dejan afuera causas climáticas, ya que ambas especies fueron expuestas a iguales condiciones.

Se considera importante mencionar que en el experimento hubo parcelas correspondientes al tratamiento de *D. glomerata* que nunca presentaron plantas en el periodo evaluado, por lo que se supone que la siembra fue defectuosa, y esto también puede haber influido en el resultado obtenido en la implantación.



Figura 8. Medición de implantación bajo dosel arbóreo a los 120 pos siembra

Por otro lado, si se compara con estudios realizados en el país, que evaluaron la implantación de gramíneas y leguminosas en condiciones de luminosidad óptimas, se aprecia que la implantación bajo dosel arbóreo siempre

fue inferior. Brito del Pino et al. (2008) encontraron porcentajes de implantación del 29,3% a los 90 días pos siembra (en mezcla de gramíneas y leguminosas), y Acle y Clement (2004) determinaron un 46% de implantación (en mezcla de gramíneas y leguminosas) a los 50 días pos siembra.

Carella y De Mello (2015) evaluaron la implantación bajo dosel de pinos, encontrando un valor de 33,3% para *F. arundinacea* y de 9,66% para *D. glomerata*, valores de promedio de la implantación a los 60 y 120 dps. Estos valores son superiores a los encontrados en el presente trabajo, pero se mantiene la superioridad de festuca respecto a dactylis.

La disponibilidad de luz es fundamental para la germinación de semillas en la etapa de implantación. Las semillas germinan en oscuridad, por lo que las plántulas deben desarrollar rápidamente los hipocótilos que se alargan sin abrir los cotiledones, por encima de la superficie. Al llegar a la luz, se inhibe el alargamiento del hipocótilo, los cotiledones empiezan a expandirse y comienza el desarrollo del aparato fotosintético (Fankhauser y Chory, 1997). En situaciones de escasa luminosidad, dicho proceso no se desarrollaría de forma exitosa, llevando a una reducción en los porcentajes de implantación.

De todas formas, se considera que el resultado obtenido en *F. arundinacea* de un 8% de implantación, en comparación con los datos obtenidos en otros experimentos de un 30% aproximadamente en gramíneas perennes, no es tan bajo si se tiene en cuenta las condiciones de restricción lumínica y de la cama de siembra con alta densidad de residuo forestal.

También se evaluó el efecto del marco de plantación, sobre el número de plantas por metro cuadrado. No se detectaron diferencias significativas para el marco de plantación, para ninguna especie o fecha. Por lo tanto, las diferencias en la restricción lumínica entre ambos marcos de plantación, no afectaron el resultado. En contraste con lo obtenido para implantación, Kirchner et al. (2010) evaluaron el efecto de distintos marcos de plantación en la producción de materia seca, encontrando diferencias entre ellos, donde. Se observó una reducción de 3500 kg.MS en marcos de plantación de 15 x 3 m respecto a pleno sol, y de 4950 kg.MS en marcos de plantación de 9 x 3 m.

4.3.1.1. Número de plantas por metro cuadrado a pleno sol según fecha de evaluación y especie. Comparación con experimento dos a través de intervalos de confianza

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a pleno sol según fecha de determinación de la implantación y según especies considerada, cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. Intervalos de confianza para número de plantas por m² a pleno sol según fecha

Fecha	No. plantas por m ²
90 dps	60,08±17,8
120 dps	65,17±17,95

Cuadro 8. Intervalos de confianza para implantación como número de plantas por metro cuadrado, a pleno sol y por especie (izquierda), y promedios de implantación como número de plantas por metro cuadrado para experimento bajo sombra

Especie	No. plantas por m ² .	
	Pleno sol	Bajo monte
<i>Dactylis glomerata</i>	58,6±5,3	34,3
<i>Festuca arundinacea</i>	65,6±45,7	56,33

El número de plantas a pleno sol y abajo del monte, para la fecha uno (90 dps), no se detectaron diferencias. El promedio del número de plantas bajo monte en fecha 1 fue de 47,2 pl/m² (cuadro 5), mientras que el límite inferior del intervalo de confianza a pleno sol fue de 42,3 pl/m², con lo cual ambas medias pertenecieron al mismo intervalo de confianza (90%). Por otro lado, en la fecha dos si se encuentran diferencias, siendo el promedio del número de plantas observado bajo monte fue de 43,5 pl/m² (cuadro 5), y el límite inferior del intervalo a pleno sol de 47,2 pl/m², por lo cual se detectaron diferencias entre las situaciones evaluadas. Por lo tanto, el número de plantas no mostró diferencia entre los dos experimentos a los 90 dps, en cambio se observó una superioridad por parte del ambiente a pleno sol (sin restricciones lumínicas) sobre lo obtenido bajo monte en la fecha 2 (120 dps).

En cuanto a los promedios por especie (cuadro 8), dactylis bajo monte presentó un promedio de 34,3 pl/m², por lo cual, si existieron diferencias significativas, donde dactylis a pleno sol presentó un mayor número de plantas. En porcentaje, se obtuvo un promedio de 3,9% bajo dosel arbóreo, mientras que a pleno sol el promedio fue de 6,8%, aproximadamente el doble. De todas formas, ambos porcentajes comparados con los antecedentes ya mencionados en la sección anterior, fueron bajos.

Para festuca los promedios obtenidos fueron de 56,33 pl/m² bajo el monte, y 65,6 pl/m² a pleno sol, valor contenido en un intervalo de 91,4 pl/m² de amplitud, debido a la alta variabilidad relevada. Por lo tanto, para esta especie no se observaron diferencias significativas en la implantación bajo las dos condiciones lumínicas.

4.3.2. Porcentaje de suelo cubierto por especies sembradas, malezas, residuos forestales y de suelo descubierto

Para la evaluación de la cobertura del suelo, esta fue estimada en términos absolutos. No se presentaron se detectaron diferencias significativas del marco de plantación o las especies, sobre el porcentaje de suelo cubierto por las especies sembradas ni el porcentaje de malezas. Tampoco hubo efecto de la interacción. Por lo tanto, a pesar de que *F. arundinacea* presentó un mayor número de plantas por unidad de superficie, esto no se correspondió con una mayor cobertura del suelo.

Cuadro 9. Promedios de porcentaje de malezas según marco de plantación

Marco (m)	Porcentaje de malezas (%)
19,5	15,6
7	4,1

A pesar de que las diferencias no fueron significativas, se puede apreciar en el cuadro 9 una tendencia de mayor enmalezamiento en el marco de plantación de 19,5 m., lo cual se corresponde con un escenario de mejores condiciones lumínicas. Según Carámbula (2003), al instalar una pastura el objetivo debe ser lograr un adecuado balance entre gramíneas, leguminosas y malezas, por lo cual es aceptado como ideal una proporción de 60-70%, 20-30% y 10% respectivamente. Tomando esos valores como referencia, en el caso de la pradera bajo dosel de 19,5 m, el porcentaje de malezas estaría por encima de lo ideal. Etcheverry et al. (2020), obtuvieron en implantación de praderas mezcla a pleno sol un 19% para la mezcla de ciclo corto, y un 6% para la mezcla de ciclo largo.

Por otro lado, los promedios de porcentaje cubierto por *F. arundinacea* y por *D. glomerata*, en ambos marcos de plantación fue de 8,6% y 7,9% respectivamente, por lo que, a pesar que el enmalezamiento no fue mayor, 10,31% para *dactylis* y 9,49% para *festuca*, las especies no dominaron la superficie de la pastura en los primeros 60 dps. Se puede observar que el valor obtenido fue ampliamente inferior a la proporción ideal planteada por Carámbula (2003), donde se espera un 80-90% de cobertura por parte de las especies sembradas a pleno sol.

Los promedios del porcentaje de suelo cubierto por residuos del monte, para cada especie, se encuentran entre el 57 y el 70% de la superficie. Estos residuos corresponden con la caída natural de las hojas y la poda de ramas, que a su vez modifican los requerimientos y la disponibilidad de agua, luz y nutrientes en los componentes del sistema (Russo, 2015). Aunque no se encontraron antecedentes o estudios previos para comparar el porcentaje de suelo cubierto por residuos del monte, se considera alto el valor encontrado, y sería una posible causa de los bajos porcentajes de cobertura por las especies sembradas que se encontraron en el estudio.

Si se toma la siembra sobre residuos del monte como una siembra en cobertura, Formoso (2007) menciona que la colocación de la semilla en cobertura generalmente determina menores porcentajes de implantación, debido principalmente a la variabilidad que presenta la continuidad del flujo de agua hacia la semilla.

El porcentaje de residuos del monte y el porcentaje de suelo descubierto presentaron diferencias significativas según la especie, además se encontraron diferencias significativas en suelo descubierto para la interacción marco por especie, al 10%.

Cuadro 10. Resultados del porcentaje de residuos y de suelo descubierto para las dos especies

Especie	Porcentaje de residuos (%)	Porcentaje de suelo descubierto (%)
<i>F. arundinacea</i>	69,98 a	24,48 a
<i>D. glomerata</i>	57,58 b	11,71 b

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

Cuadro 11. Efecto de la interacción del marco de plantación y la especie, sobre el porcentaje de suelo descubierto

Interacción	Porcentaje de suelo descubierto (%)
7 festuca	31,83 a
19,5 festuca	17,12 b
19,5 dactylis	12,6 b
7 dactylis	10,83 b

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

Los resultados presentados en los cuadros 10 y 11, muestran que, aunque festuca presentó mayores niveles de implantación en ambas fechas, también fue donde encontró mayor porcentaje de residuos y de suelo descubierto. Por otro lado, al evaluar la interacción marco por especie, festuca sembrada bajo el marco de plantación de siete metros, se diferenció del resto de los tratamientos, presentando un mayor porcentaje de suelo descubierto.

4.3.2.1. Comparación con experimento en condiciones de pleno sol a través de intervalos de confianza

En los cuadros 12, 13, 14 y 15 se presentan los intervalos de confianza para el número de plantas por metro cuadrado y los distintos componentes de cobertura, por especie y marco de plantación permitiendo compararlos con las medias a pleno sol.

Cuadro 12. Intervalos de confianza para la implantación como número de plantas por m²

Especie	Tratamiento	LI	LS
Dactylis	19,5	-2	60
Dactylis	7	1	70
Festuca	19,5	38	76
Festuca	7	26	77

Los promedios de número de plantas para festuca y dactylis a pleno sol fueron de 69 y 61 plantas respectivamente. Por medio de la comparación de estos valores con los intervalos de confianza presentados en el cuadro 12, se puede decir que ninguna de las especies tuvo diferencias significativas respecto a pleno sol.

Cuadro 13. Intervalos de confianza para el porcentaje de cobertura según especie

Especie	Tratamiento	L. I.	L. S.
Dactylis	19,5	2	12
Dactylis	7	-5	23
Festuca	19,5	-5	30
Festuca	7	2	8

Para el experimento pleno sol los promedios fueron de 43% en *D. glomerata* y 45% en *F. arundinacea*, por lo cual, en ambos casos, la mayor disponibilidad lumínica determinó una mayor cobertura por la especie sembrada. Este resultado confirma el impacto negativo de la competencia de los marcos de plantación de los árboles, sobre la implantación de las especies sembradas, por ser factor esencial de la fotosíntesis y de la germinación de las plántulas en la implantación (Fankhauser y Chory, 1997).

Cuadro 14. Intervalos de confianza para el porcentaje de suelo cubierto por malezas según especie

Especie	Tratamiento	L. I.	L. S.
Dactylis	19,5	0,4	25,9
Dactylis	7	-25,3	41,1
Festuca	19,5	4,6	33,3
Festuca	7	-0,7	1,4

Los porcentajes que se observaron en el experimento a pleno sol fueron de 10,3 y 15,3% para dactylis y festuca respectivamente. En ambos casos, el valor se encuentra dentro de los intervalos de confianza para todos los tratamientos, excepto para *F. arundinacea* 7m, que significativamente muestra un menor nivel de enmalezamiento. Este tratamiento (7 metros) se corresponde con la peor situación lumínica, la cual limitaría del desarrollo de la especie sembrada y las malezas.

Cuadro 15. Intervalos de confianza para el porcentaje de suelo descubierto según especie y marco de plantación

Especie	Tratamiento	L. I.	L. S.
Dactylis	19,5	-3,3	28,5
Dactylis	7	0,1	21,8
Festuca	19,5	3,9	32,8
Festuca	7	21,2	84,9

Dactylis a pleno sol presentó un promedio del 35% de suelo descubierto, estadísticamente mayor que lo encontrado bajo el monte. Esto se debe que en el monte había mucha cobertura por los residuos del bosque, no observándose suelo descubierto. En el caso de *F. arundinacea* el promedio presentado a pleno sol fue de 12,2%, por lo cual en el caso de 19,5 no se detectaron diferencias mientras que el tratamiento 7 m presentó una mayor proporción de suelo descubierto. Esto puede ser explicado por la baja implantación, la baja cobertura por la especie sembrada, y el bajo impacto de malezas en ese tratamiento (-0,7-1,4% de cobertura por malezas), todo lo cual terminó en mayor proporción de suelo descubierto.

4.4. MUESTREO DE PLANTAS

Para las variables longitud de lámina, número de macollos, de hojas totalmente expandidas, materia seca de láminas del macollo principal, materia seca de la vaina del macollo principal y peso seco de raíces a los 120 días pos siembra, no hubo efecto estadísticamente significativo del marco de plantación, de la especie ni de su interacción.

Cuadro 16. Determinaciones realizadas en muestreos de plantas bajo dosel arbóreo (promedio por especie)

Especie	<i>F. arundinacea</i>	<i>D. glomerata</i>
Peso láminas (g/pl)	0,1	0,08
Peso vainas (g/pl)	0,07	0,07
Peso raíces (g/pl)	0,18	0,09
PA/PR	1,14	1,37
Longitud de lámina (cm)	6,89	6,58
Macollos/pl	1,21	1,16
Hojas totalmente expandidas	2,82	2,95

Carella y De Mello (2015), en un experimento establecido bajo rodales de *Pinus taeda*, de 32 años, con una distancia de 12 metros entrefila, determinaron el peso de la parte aérea de *F. arundinacea* y *D. glomerata* a los 60 días pos siembra, siendo 0,01 y 0,02 g/pl. respectivamente. No pudieron hacer el análisis a los 120 días por la alta variabilidad en los datos, por lo cual estos valores no serían necesariamente comparables con los valores de 0,33 g/pl. promedio en *F. arundinacea*, y 0,24 g/pl. en dactylis, que fueron obtenidos a los 120 días en este experimento.

Carella y De Mello (2015), también evaluaron el peso de las raíces para festuca y dactylis a los 120 días, encontrando 0,04 y 0,07 g/pl. respectivamente. En ambos casos las especies presentaron un menor peso radicular que lo obtenido en este experimento. Al comparar las condiciones ambientales en las que se dieron los experimentos, se ve que en el experimento llevado a cabo por Carella y De Mello (2015), en los meses previos a la siembra las precipitaciones se encontraron por debajo de la media histórica, situación similar a lo que sucedió en este experimento. Por lo tanto, en ambos casos la siembra se realizó con escasa agua en el suelo. En cuanto a las condiciones edáficas presentes en los dos experimentos, en ambos casos se desarrollaron en zonas donde predominan suelos arenosos, por lo cual otras variables como por ejemplo la especie arbórea presente (*Pinus taeda*) o la densidad de plantación diferente en ambos experimentos, pudieron haber estado afectado el desarrollo radicular.

Por otro lado, Fariña y Saravia (2010), obtuvieron en plantas de *F. arundinacea* instaladas a pleno sol, un peso de la parte aérea de 2,58 g. a los 75 dps. También evaluaron el peso de la parte radicular, las cuales presentaron un promedio de 1,05 gr/planta. Ambos valores, peso de parte aérea y parte radicular, son superiores a los obtenidos en este experimento bajo dosel arbóreo. Se puede apreciar la superioridad de materia seca en plantas sin restricciones lumínicas, tanto en la producción de materia seca aérea como radicular. Se evidencia las restricciones de crecimiento para pasturas instaladas bajo monte.

En cuanto a la relación parte aérea/ parte radicular, Etcheverry et al. (2020), obtuvieron en promedio 1,74 para *F. arundinacea* en praderas mezcla en implantación a pleno sol. La relación parte aérea/ parte radicular presentada por Fariña y Saravia (2010) fue de 2,45 para festuca en pradera a pleno sol. Mientras que ambos valores son similares, la relación obtenida bajo dosel arbóreo, promedio para los dos marcos de plantación fue de 1,14 y 1,37 para festuca y dactylis respectivamente. Los antecedentes muestran que una baja cantidad de luz, y una baja relación R/RL provocan un aumento de la asignación de recursos a la parte aérea (parte aérea/parte radicular alta, Deregibus et al., citados por Abud et al., 2011), pero en este caso no fue el resultado encontrado. La relación PA/PR fue inferior a los experimentos realizados por Fariña y Saravia (2010), Etcheverry et al. (2020) a pleno sol, por lo cual no hubo una mayor distribución de materia seca a la parte aérea como establece la bibliografía.

Cuadro 17. Largo de hoja promedio según marco de plantación

Marco (m)	Largo de hoja (cm)
7	7,13a
19,5	6,34a

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

A pesar de que estadísticamente no se pudieron establecer diferencias para el largo de hoja según marco de plantación, se puede ver una tendencia de mayor longitud de la lámina en ambientes con mayor restricción lumínica. La calidad de la luz que incide sobre una pastura puede modificar algunas variables morfogénicas a nivel de planta individual, como la tasa de aparición y elongación de la hoja (Colabelli et al., 1998). Las hojas de sombra normalmente son mayores en longitud y ancho, y también son más delgadas que las producidas bajo elevadas intensidades luminosas (Pentón, citado por Alonso et al., 2006).

4.4.1. Comparación de las características de hojas, raíces y macollos a pleno sol y bajo sombra

Se compararon los experimentos bajo monte, y a pleno sol, para las variables de materia seca y demás características a través de intervalos de confianza, que se presentan en el cuadro 18. Estos arrojaron que no hay diferencias significativas para largo de lámina, macollos por planta, y en el caso del número de hojas totalmente expandidas hay diferencias solamente para *D. glomerata*, con mayor número a pleno sol. Esto se debe principalmente a la amplia variabilidad encontrada en los datos, lo que llevó a intervalos de confianza amplios.

Cuadro 18. Determinaciones realizadas en muestreos de plantas a pleno sol (promedio por especie) y bajo dosel arbóreo

Variable/especie	Bajo dosel arbóreo		Pleno sol	
	Festuca	Dactylis	Festuca	Dactylis
Peso láminas P (g/pl)	0,07	0,07	0,54±0,46	0,69±0,28
Peso vainas P (g/pl)	0,05	0,05	0,39±0,33	0,69±0,28
Peso láminas S (g/pl)	0,01	0,01	0,52±0,83	0,25±0,12
Peso vainas S (g/pl)	0,02	0,02	0,35±0,47	0,24±0,1
Peso raíces (gr/pl)	0,18	0,09	1,07±1,03	1,27 ±1,02
PA/PR	0,83	1,66	1,68	1,47
Largo lámina (cm)	6,89	6,58	12,01±7,8	14,13±8
Macollos/pl	1,21	1,16	2,67±1,6	1,9±0,86
Hojas totalmente expandidas	2,82	2,95	3,06±0,46	4,67±1,01

Pero sí se observa la tendencia de las medias, se puede apreciar que a pleno sol las plantas tienden a tener un mayor largo de lámina (por mayor tamaño

de la planta en general), un mayor número de macollos, y un mayor número de hojas totalmente expandidas. Todo esto se corresponde con mejores condiciones lumínicas que favorecen la fotosíntesis, la deposición de materia seca, y por lo tanto un mayor crecimiento.

Para las variables peso de lámina y vainas primarias y secundarias, no se encuentran diferencias significativas entre los experimentos que ya todos los valores encontrados bajo dosel arbóreo se encuentran dentro del rango del intervalo de confianza o muy en el límite. En cambio, para el peso de las raíces si hay diferencias entre pleno sol y bajo dosel arbóreo para *D. glomerata*, mientras que en *F. arundinacea* no se encontraron diferencias.

La relación parte área/ parte radicular, no cambia en el caso de *Dactylis glomerata* cuando este cambia de escenario lumínico. En cambio, en *Festuca arundinacea*, al pasar de una condición de menor cantidad de luz, la relación aumenta. Esto podría estar mostrando la mayor plasticidad de *Dactylis glomerata* frente a la sombra.

4.5. DINÁMICA POBLACIONAL

Para el estudio de la dinámica poblacional de las pasturas, se realizó un análisis estadístico con medidas repetidas en el tiempo sobre las diferentes variables. El efecto de la fecha, fue significativo en el número de hojas en expansión y número de hojas totalmente expandidas.



Figura 9. Medición de dinámica poblacional bajo dosel arbóreo a los 30 dps

Cuadro 19. Número de hojas en expansión promedio para las distintas fechas evaluadas

Fecha (dps)	No. hojas en expansión
120	0,98a
90	0,97a
60	0,94a
30	0,43b

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

Se puede decir que, a medida que pasó el tiempo, tanto las plantas de *D. glomerata* como de *F. arundinacea*, fueron aumentando el número de hojas en expansión, para las dos condiciones lumínicas (marco 7m y 19,5m). De todas formas, la tendencia fue de un aumento entre los 30 y 60 días, y después se mantuvo relativamente constante hasta los 120 dps. La tasa de aparición foliar es un proceso morfogénético, y como tal es proporcional al incremento de temperatura. Durante los meses posteriores a los 60 dps, las temperaturas fueron

inferiores (meses de mayo, junio y julio), por lo cual puede haber determinado una menor tasa de aparición de hojas.

Para evaluar el efecto del marco de plantación y de la especie, sobre el número de hojas en expansión, se hizo un análisis de la varianza para cada fecha en particular. A los 30, 60 y 120 dps no se encontraron efectos estadísticamente significativos del marco de plantación ni la especie. En la evaluación que se realizó a los 90 dps, se detectó un efecto de la especie sobre el número de hojas en expansión.

Cuadro 20. Número de hojas en expansión promedio de cada especie a los 90 días

Especie	No. hojas en expansión
<i>D. glomerata</i>	0,99a
<i>F. arundinacea</i>	0,96b

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

En general, mientras el número de hojas en desarrollo varía dentro de ciertos límites, la frecuencia de aparición y su tamaño final son afectados notablemente por las condiciones ambientales (Carámbula, 1977). Es decir, el número de hojas en expansión no se vio afectado en gran medida por las diferencias ambientales, y es por eso que los efectos generados por los marcos de plantación no mostraron efectos significativos sobre el número de hojas en expansión.

Para comparar con el experimento a pleno sol, se presentan los intervalos de confianza del número de hojas en expansión en las cuatro fechas evaluadas.

Cuadro 21. Intervalos de confianza del número de hojas en expansión a pleno sol

Fecha (dps)	No. hojas en expansión
30	1,16±0,13
60	1,05±0,06
90	1,05±0,07
120	1,09±0,12

Las diferencias fueron significativas a los 30, 60 y 90 días, encontrándose el valor bajo dosel arbóreo por debajo del obtenido a pleno sol. No se detectó diferencias a los 120 dps. De todas formas, la diferencia más importante se encontró a los 30 días, con un promedio de 0,43 bajo monte y de 1,16 a pleno sol. En los primeros días de implantación de las especies (*Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata*), el número de hojas se vio afectado por las restricciones lumínicas.

También se contabilizaron las hojas totalmente expandidas de la macolla principal, a los 30, 60, 90 y 120 días. El análisis a través del tiempo, que incluye el conjunto de todas las determinaciones, arrojó efectos significativos para la fecha, el marco de plantación y la especie.

Cuadro 22. Número de hojas expandidas promedio para las distintas fechas evaluadas

Fecha (dps)	No. hojas expandidas
120	2,3 a
90	1,91b
60	1,58 c
30	0,92 d

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

Al igual que sucede con el número de hojas en expansión, el número de hojas expandidas va aumentando a través de las fechas. Pero en este caso, el aumento es más constante y sostenido desde los 30 días hasta los 120 días. En cuanto al número de hojas totales, en promedio a los 120 días el número de hojas por planta era de 2,3. Según Colabelli et al. (1998), el número de hojas vivas por macollo en *F. arundinacea* ronda las 2,5. De todas formas, Berasain et al. (2015) obtuvieron valores medios de hojas vivas por macollo en festuca de 3,66, y Etcheverry et al. (2020) valores medios de 3. Para *D. glomerata*, Beraza et al. (2017), encontraron valores medios de hoja por planta de 3,61.

Cuadro 23. Número de hojas totalmente expandidas promedio para los dos marcos de plantación

Marco (m)	No. hojas expandidas
19,5	1,82 a
7	1,54 b

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes

En el ambiente con mejores condiciones de luminosidad, el desarrollo fue superior. El filocrono es una característica genotípica que, expresada como suma térmica, es un parámetro relativamente estable a variaciones ambientales para el caso de pasturas vegetativas (Anslow, citado por Colabelli et al., 1998). Sin

embargo, las condiciones contrastantes y los cambios fisiológicos de las plantas pueden determinar variaciones en dicho parámetro (Colabelli et al., 1998). Según Baldeissera et al. (2014), el filocrono es mayor para plantas sombreadas, lo cual, junto con una menor tasa de macollaje (afectado por la calidad de la luz), influye negativamente sobre la eficiencia del crecimiento de las pasturas.

En cuanto a las especies, se observa que *D. glomerata* fue superior en el número de hojas expandidas frente a *F. arundinacea*.

Cuadro 24. Número de hojas totalmente expandidas promedio de cada especie

Especie	No. hojas expandidas
<i>Dactylis glomerata</i>	1,78a
<i>Festuca arundinacea</i>	1,58b

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

Mientras que la *F. arundinacea* se considera de implantación muy lenta, dado que sus plántulas son muy poco vigorosas, el *D. glomerata* tiene un crecimiento inicial más vigoroso y rápido (Carámbula, 1977).

Se presentan a continuación el número de hojas totalmente expandidas según fecha, para el experimento a pleno sol.

Cuadro 25. Intervalos de confianza para número de hojas totalmente expandidas a pleno sol

Fecha (dps)	No. hojas expandidas
30	1,81±0,14
60	2,41±0,31
90	2,44±0,14
120	2,18±0,25

Si se compara con el experimento bajo dosel arbóreo, se observa que el número de hojas expandidas se mantuvo por encima de los 30 a 90 días, cuando no hubo restricciones lumínicas. Es decir, las plantas desarrolladas a pleno sol presentaron un mayor número de hojas hasta los 120 días, momento en el cual se equipararon. Esto coincide con lo expuesto en el cuadro 18, que muestra que en el marco de mejores condiciones lumínicas el desarrollo fue mayor. A pleno sol esas condiciones se vieron mejoradas más aún, y por lo tanto el resultado supera el obtenido en promedio de ambos marcos de plantación.

4.6. MACOLLAJE

En el análisis que incluyó la variable tiempo, el macollaje no presentó diferencias significativas. Por lo cual se prosiguió a realizar el análisis de varianza para cada fecha en particular y así evaluar el efecto de la especie y del marco de plantación en el macollaje, para cada momento.

En las primeras dos instancias de evaluación, a los 30 y 60 dps, el macollaje bajo el dosel arbóreo era tan bajo que no se pudo analizar. Se presentan a continuación los resultados de las determinaciones a los 90 y 120 dps.

Cuadro 26. Número de macollos por planta promedio para los distintos marcos de plantación a los 90 dps

Marco (m)	Macollaje (mc/pl)
19,5	0,03 a
7	0,01 b

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

A los 90 días se encontraron efectos significativos del marco de plantación sobre el macollaje, siendo coherente un mayor macollaje en el ambiente de mejores condiciones lumínicas. De todas formas, observando los promedios de macollos por planta, se puede ver que en ambos casos estos son muy bajos, y eran pocas plantas las que presentaban macollos. Como se mencionó anteriormente, una baja cantidad de luz, y una baja relación R/RL provocan tres respuestas principales en las plantas: aumento de la asignación de recursos a la parte aérea, alargamiento de los órganos ya existentes y reducción del macollaje (Deregibus et al., citados por Abud et al., 2011). Además, Casal et al. (1987), encontraron que pequeñas disminuciones en la relación R/RL, resultan en fuertes reducciones en el macollaje de *Lolium multiflorum*.

Por último, a los 120 dps no se pudieron determinar efectos del marco o de la especie, pero sí de la interacción.

Cuadro 27. Número de macollos por planta para la interacción marco*especie

Interacción marco * especie	Macollos/planta
19,5-Da	0,2 a
19,5-Fe	0,13 ab
7-Fe	0,04 b
7-Da	0,02 b

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

En esta interacción se puede ver claramente el efecto del marco, nuevamente reafirmando la idea de que mejores condiciones lumínicas determinan mayor macollaje.

4.6.1. Comparación con experimento dos a través de intervalos de confianza

A continuación, se presentan los intervalos de confianza de macollaje para el experimento a pleno sol, según las fechas.

Cuadro 28. Promedio de macollos por planta a pleno sol

Fecha (dps)	Macollos por planta
30	0,14±0,05
60	0,38±0,27
90	1,19±0,35
120	1,41±0,45

Cuadro 29. Promedio de macollos por planta bajo dosel arbóreo

Fecha (dps)	Macollos por planta
90	0,02
120	0,1

En el experimento a pleno sol se determinó el macollaje a los 30 y 60 días pos siembra, aunque este era bajo. Se puede observar que, a los 90 y 120 dps, el macollaje fue ampliamente superior a pleno sol. Esto coincide con lo ya discutido anteriormente, que mejores condiciones lumínicas determinan mayor macollaje.

En comparación con estudios a pleno sol, reportados por Etcheverry et al. (2020), donde encontraron un macollaje promedio en gramíneas mezcla de 8,9 macollos por planta, por más que se encontró una superioridad respecto al macollaje bajo monte, el resultado fue bajo respecto a otras experiencias a pleno sol.

4.7. NÚMERO DE PLANTAS

En el análisis a través del tiempo, se evaluó el efecto de la fecha, del marco de plantación y de la especie, sobre el número de plantas en líneas fijas. El efecto de la fecha resultó significativo con un nivel de significancia del 6%.

Cuadro 30. Número de plantas por metro lineal

Fecha (dps)	Número de plantas por metro lineal
60	89,75 b
90	88,45 b
120	88,13 b
30	70,23 a

*Diferentes letras muestran resultados significativamente diferentes.

La población de plantas aumentó entre los 30 y los 60 días, para luego mantenerse estable hasta la última medición, a los 120 días. Este comportamiento fue similar al que se encontró en el análisis de la implantación, la cual aumento en los primeros treinta días para luego mantenerse estable.

No hubo efecto significativo del marco de plantación ni de la especie.

4.7.1. Comparación con experimento dos a través de intervalos de confianza

En el cuadro 31, se presentan los intervalos de confianza para el número de plantas por metro lineal en el experimento a pleno sol.

Cuadro 31. Intervalos de confianza de número de plantas por metro lineal a pleno sol

Fecha (dps)	Número de plantas por metro lineal
30	100,5±47,28
60	144,13±74,31
90	90,83±34,24
120	89,88±33,49

No existen diferencias significativas en el número de plantas por metro lineal, para ninguna de las cuatro fechas, entre ambos experimentos. De todas formas, lo que se buscó evaluar a través de la dinámica poblacional fue el comportamiento de las plántulas a través del tiempo, y si se compara el patrón observado en el experimento a pleno sol con el que se desarrolló bajo dosel arbóreo, se concluye que son diferentes. Mientras que bajo monte la tendencia fue de un aumento inicial, y luego un estancamiento en el número de plantas, a pleno sol el número de plantas partió de un número alto, para luego subir a los 60 días, y disminuir a los 90 y 120 días. Este comportamiento está de acuerdo con un escenario de mayor competencia, que lleva a la mortandad de plantas o macollos.

5. CONCLUSIONES

Festuca arundinacea presentó una mayor implantación que *Dactylis glomerata* bajo dosel arbóreo. Los marcos de plantación no tuvieron efecto en la implantación de las especies. La implantación fue mayor en condiciones de pleno sol.

Bajo monte existió un bajo nivel de enmalezamiento. La cobertura de las especies sembradas fue mayor a pleno sol, respecto a los sembrados bajo dosel.

Los marcos de plantación no modificaron el peso de las plantas, el cual fue similar a pleno sol. La relación parte aérea-parte raíz bajo monte fue inferior a la información a pleno sol.

Se encontró un mayor número de macollos en el marco de plantación más espaciado, en tanto que a pleno sol el macollaje fue mayor.

6. RESUMEN

Este trabajo fue realizado de marzo a julio del año 2019, en campos forestados del departamento de Cerro Largo, a 30 km de la localidad de Fraile Muerto (coordenadas 32°37'10 S y 54°28'02 O). El experimento se encuentra sobre la unidad Tres Islas. El diseño experimental fue un diseño de parcelas divididas en bloques, donde la parcela mayor es el marco de plantación y las subparcelas corresponden a las especies forrajeras implantadas. El experimento se situó bajo un monte experimental de eucaliptus de 11 años, con rodales plantados en dos orientaciones: N-S y E-O. En cada orientación, el experimento se situó bajo dos densidades, las cuales resultaban de arreglos espaciales diferentes: 7 y 19,5 metros entre filas, siendo estos los tratamientos llamados "7m" y "19,5m". En cada tratamiento se delimitaron seis parcelas para cada especie: *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata*. Además, se delimitó una zona sin interferencia de los árboles para lograr tener información a pleno sol. Las variables medidas fueron: dinámica poblacional (contando la cantidad de plantas, macollos, hojas expandidas, en expansión y senescentes por planta, en transectas fijas en tres fechas), número de plantas por metro cuadrado, longitud de láminas, y materia seca (pesando muestras de la última fecha de medición); estimándose la implantación y la cobertura del suelo. Los resultados de implantación determinaron que festuca se mantuvo superior a dactylis, pero no hubo diferencias significativas entre las fechas de muestreo. A los 120 dps, la implantación fue de 8,1% para festuca y 3,7% para dactylis, siendo esta inferior a la reportada a pleno sol. No hubo diferencias significativas para el efecto marco de plantación, para ninguna especie o fecha, sobre implantación. Para la evaluación de la cobertura del suelo, no se presentaron efectos significativos del marco de plantación o las especies, sobre el porcentaje de suelo cubierto por las especies sembradas ni el porcentaje de malezas. Los promedios de porcentaje cubierto por festuca y por dactylis, para ambos marcos de plantación fueron de 8,6% y 7,9% respectivamente. Para las variables longitud de lámina, número de macollos, número de hojas totalmente expandidas, materia seca de la parte aérea y peso seco de raíces a los 120 días pos siembra, no hubo efecto estadísticamente significativo del marco de plantación, de la especie ni de su interacción. El peso de raíz fue 0,19 g para festuca y 0,09 g para dactylis, en ambos casos inferiores a lo reportado en otros trabajos a pleno sol. La relación PA/PR fue de 1,14 y 1,37 para festuca y dactylis respectivamente. Al comparar los experimentos (por intervalos de confianza) bajo monte, y a pleno sol, para las variables de materia seca, largo de láminas, número de macollos y hojas totalmente expandidas, estos arrojaron que no hay diferencias significativas. Al comparar los resultados del número de hojas en expansión bajo monte con lo obtenido a pleno sol, se obtuvieron diferencias significativas a los 30, 60 y 90 días encontrándose el valor bajo dosel arbóreo por debajo del obtenido a pleno sol. Al

igual que sucede con el número de hojas en expansión, el número de hojas expandidas va aumentando a través de las fechas. El número de hojas totalmente expandidas se diferenciaron significativamente entre marcos de plantación, siendo 1,82 a 19,5m y 1,54 a 7m, apreciándose que, en el ambiente con mejores condiciones de luminosidad, el desarrollo fue superior. En cuanto a las especies, se observa que *dactylis* manifestó una superioridad en número de hojas expandidas frente a *festuca*. El análisis que incluyó la variable tiempo, no presentó diferencias significativas para macollaje. A los 90 días se encontraron efectos significativos del marco de plantación sobre el macollaje, siendo coherente un mayor macollaje en el ambiente de mejores condiciones lumínicas. De todas formas, observando los promedios de macollos por planta, se puede ver que en ambos casos estos son muy bajos, y eran pocas plantas las que presentaban macollos. En el análisis a través del tiempo, se evaluó el efecto de la fecha, del marco de plantación y de la especie, sobre el número de plantas sobre líneas fijas. El efecto de la fecha resultó significativo con un nivel de significancia del 6%. La población de plantas aumentó entre los 30 y los 60 días, para luego mantenerse estable hasta la última medición, a los 120 días. Al compararlo con el pleno sol, no existen diferencias significativas en el número de plantas por metro lineal, para ninguna de las cuatro fechas, entre ambos experimentos.

Palabras clave: Silvopastoreo; Implantación; *Dactylis*; *Festuca*.

7. SUMMARY

This work was carried out from March through July 2019 on forested fields 30 kilometers from Fraile Muerto (coordinates 32°37'10 S y 54°28'02 W) on Cerro Largo Department, Uruguay. This experiment is set on the Tres Islas unit. The experimental design consists of parcels divided by blocks, on which the biggest parcel is the plantation framework, and the sub-parcels correspond to the implanted forage species. The experiment was situated under an eleven-year experimental eucalyptus plantation, with two distinct patches of land: one with N-S and one with E-W orientation. On each of these orientations, the experiment was carried out under two different densities, which were a result of the different spacial arrangements: one with 7 meters between rows, and one with 19.5 meters, respectively called "7m" and "19.5m". On each treatment six parcels were established for each species: *Festuca arundinacea* and *Dactylis glomerata*. Another area without trees' interference was established to be able to have information with constant sunlight. To estimate implantation and soil coverage, several variables were measured. These were: poblacional dynamic (counting the amount of plants, tillers, expanded, expanding and senescent leaves per plant on fixed transects on three separate dates), amount of plants per square meter, length of laminas and dry matter (weighing samples from the last measuring date). The implantation results determined that, while there weren't any significant differences between the sampling dates, festuca remained above dactylis. 120 days after sowing, the implantation rate was of 8.1% for festuca and of 3.7% for dactylis, the latter being below the implantation rate reported with constant sunlight. There weren't any notable differences to the effect of the plantation framework for either of the species and none of the dates. To evaluate the soil coverage, no significant plantation and species framework effects were presented, as well as on the percentage of covered soil by the planted species and of the undergrowth percentage. The average percentage of covered soil on both plantation frameworks were of 8.6% and 7.9% for festuca and dactylis, respectively. About the aforementioned variables of length of lamina, number of tillers, number of expanded leaves, dry matter on the aerial section and dry weight of the roots on the 120th day after sowing, there wasn't any statistically substantial effect from neither the plantation, species, or interaction framework. The weight of the root was 0.29g for festuca and 0.09g for dactylis, which in both cases was below the reported on other works on constant sunshine. The PA/PR ratio was of 1.14 and 1.37 for festuca y dactylis, respectively. When comparing the experiments (by confidence intervals), under a plantation and under constant sunlight, the results show that there are no significant differences in regard to the variables of dry matter, length of lamina, number of tillers, and expanded leaves. On the other hand, when comparing the results of expanding leaves between under a plantation and under constant sunlight, significant differences can be

seen on days 30, 60 and 90, the value of those below the canopy being below the value of those under constant sunlight. Similarly, as it happens with the number of expanding leaves, the number of expanded leaves grows as time goes by. The number of completely expanded leaves had significant differences across the different plantation frameworks, being 1.82m to 19.5 m and 1,54m to 7m, once again the plantation with constant sunlight being the one with most development. Regarding the species, *Dactylis* manifested a greater amount of expanded leaves when compared to *Festuca*. The analysis, which includes the time variable, didn't present any significant differences on tillering. After 90 days, significant differences were found regarding tillering, then comparing lightning conditions. Once again, the environment with more favorable lightning conditions fared better. It is worth noting that the tillering average per plant was very low on both cases, and there weren't many plant that presented tillers. On the analysis through time, the effect of the date, plantation framework and species were taken into account to evaluate the number of plants on fixed lines. The effect of the date turned out to be a significant one, with a significance of 6%. The plant population grew between days 30 and 60, to then remain stable through the last measurement on the 120th. day. When comparing with constant sunlight, there are no significant differences on the number of plants per meter, for none of the four dates across both experiments.

Keywords: Silvopastoralism; Implantation; *Festuca*; *Dactylis*.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abud, M.; Gaudenti, C.; Orticochea, V.; Puig, V. 2011. Evaluación estivo-otoñal de mezclas forrajeras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 106 p.
2. Acle, F.; Clement, G. 2004. Características de la implantación y vigor de gramíneas y leguminosas perennes integrantes de mezclas forrajeras y estudio de la población de unidades morfológicas en el segundo año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 103 p.
3. Adams, J. 1966. Influence of mulches on runoff, erosion and soil moisture depletion. Soil Science Society of American Proceedings. 30:110-114.
4. Almada, A.; Garat, A. 2010. Evaluación del crecimiento de leguminosas forrajeras bajo monte de *Eucalyptus globulus ssp globulus*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 107 p.
5. Alonso, J.; Febles, G.; Ruiz, T. T.; Achang, G. 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 40 (4):503-511.
6. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echeverría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: clasificación de suelos. Montevideo, Uruguay, MAP. DSF. t.1, 96 p.
7. Andrade, C.; García, R.; Couto, L.; Pereira, O. G. 2002. Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. Revista Árvore. 26 (1):19-23.
8. Andrade, J.; Ibrahim, M.; Ríos, N. 2008. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. Zootecnia Tropical. 26(3):183-186.

9. Arin, M.; Dabezies, S.; Garese, J.; Mahilos, M. 2018. Efecto de la incorporación de nitrógeno y leguminosas en verdes anuales invernales en el establecimiento y producción inicial. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 82 p.
10. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Condón, F.; Cotro, B.; Cuitiño, M. I.; Docanto, J.; García, J.; Gutiérrez, F.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J.; Maranges, F.; Fernández, P. s.f. Catálogo de cultivares INIA de especies forrajeras. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado abr. 2021. Disponible en <https://pasturas.inia.org.uy/catalogo/index.php?id=152>
11. Baldissera, T. C.; Pontes, L. D. S.; Barro, R. S.; Giostri, A. F. 2014. Phyllochron and leaf lifespan of four C4 forage grasses cultivated in association with trees. *Tropical Grasslands*. 2:12-14.
12. Berasain, I.; Duret, L.; Sosa, E. 2015. Evaluación de la implantación de tres mezclas forrajeras en siembra directa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 72 p.
13. Beraza, S.; Guerisoli, G.; Rodriguez, E. 2017. Morfogénesis en *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 74 p.
14. Berlyn, G. P.; Cho, J. 2000. Light, moisture, and nutrient use by plants. The silvicultural basis for agroforestry systems. (en línea). Washington, D. C., CRS. 296 p. Consultado ago. 2020. Disponible en https://books.google.com.uy/books?hl=es&lr=&id=JGqjVR_gjbgC&oi=fnd&pg=PA9&ots=GXFNSNqK3&sig=WGk_ahew_2CMUmAb_oD6wo80_ZwY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
15. Bonino, L.; Da Rosa, E. 2016. Evaluación de la producción de tres mezclas forrajeras bajo un dosel arbóreo de *Pinus taeda*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 103 p.

16. Bragado Alcaraz, R.; Blanco Jaschek, J. 2017. Rol del factor luz en el crecimiento de las plantas. (en línea). s.l., Tiloam. s.p. Consultado mar. 2020. Disponible en <https://www.tiloam.com/rol-del-factor-luz-en-el-crecimiento-de-las-plantas/>

17. Brito del Pino, G.; Colella, A.; Crosta, D.; Morales, C. J. 2008. Relevamiento de implantación de pasturas con gramíneas perennes en Basamento Cristalino. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 125 p.

18. Brussa, C. 1994. Eucalyptus: especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 328 p.

19. Burgarín, J. O. 2012. La interacción suelo, planta, animal en un sistema silvopastoril. Nayarit, México, Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Agricultura. 10 p.

20. Burley, J.; Speedy, A. W. 2003. Investigación agroforestal: perspectivas globales. (en línea). In: Conferencia Electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica (2003, s.l.). Trabajos presentados. Roma, FAO. p. irr. Consultado abr. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Burley2.htm>

21. Burner, D.; Belesky, D. 2004. Diurnal effects on nutritive value of alley cropped orchardgrass herbage. (en línea). Crop Science. 44(5):1776-1780. Consultado 5 ago. 2022. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/43260321_Diurnal_Effects_on_Nutritive_Value_of_Alley-Cropped_Orchardgrass_Herbage

22. Campbell, M.; Swain, F. 1973a. Effect of strength, tilt and heterogeneity of the soil surface on radicle-entry of surface-sown seeds. Journal of the British Grassland Society. 28:41 - 50.

23. _____; _____. 1973b. Factors causing losses during the establishment on surface-sown pastures. (en línea). Journal of Range Management. 26 (5):355-359. Consultado mar. 2020. Disponible en <https://repository.arizona.edu/handle/10150/647272>

24. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 464 p.
25. _____. 2002. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 2, 371 p.
26. _____. 2003. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 2, 371 p.
27. Carella, A.; De Mello, M. 2015. Evaluación de implantación de mezclas forrajeras en un sistema silvopastoril y a cielo abierto. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 135 p.
28. Casal, J.; Sánchez, R.; Deregibus, A. 1987. Tillering responses of *Lillium multiflorum* plants to changes of red/far red ratio typical of sparse canopies. *Journal of Experimental Botany*. 38:1432-1439.
29. Casella, M.; Cedrés, A.; Munka, C.; Pastorini, V.; Posse, J. 1993. Diagnóstico de sistemas agroforestales del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 124 p.
30. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furets, J.; Aunchayna, R., Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay, 1980-2009. Montevideo, INIA. 34 p. (Serie Técnica no. 193).
31. Chen, M.; Chory, J.; Fankhauser, C. 2004. Light signal transduction in higher plants. *Annual Review of Genetics*. 38:87-117.
32. Clason T.; Sharrows, S. 2000. Silvopastoral Practices. In: Garret, H. E.; Rietveld, W. J.; Fisher, R. F. eds. *North American Agroforestry: an integrated science and practice*. Madison, WI, ASA. cap. 5, pp. 119-147.
33. Colabelli, M.; Agnusdei, M.; Mazzanti, A.; Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. INTA. Boletín Técnico no. 148. 21 p.

34. Daniel, O.; Couto, L. 1999. Una visión general de sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles con eucalipto en Brasil. (en línea). In: Conferencia Electrónica para la Producción Animal en Latinoamérica (1º., 1998, Roma). Memorias. Roma, FAO. pp. 421-438. Consultado mar. 2020. Disponible en https://www.academia.edu/11131707/Agroforesteria_para_la_produccion_animal_en_america_latina
35. Etcheverry, R.; Etcheverry, R.; González, J. 2020. Implantación y producción inicial de dos mezclas forrajeras con dos diferentes sistemas de siembra. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 184 p.
36. Fankhauser, C.; Chory, J. 1997. Light control of plant development. Annual Review of Cell and Developmental Biology. 13:203-229.
37. Fariña, M.; Saravia, R. 2010. Evaluación de la productividad de mezclas forrajeras bajo pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 83 p.
38. Fassbender, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 475 p.
39. Fedrigo, J.; Benítez, V.; Santa Cruz, R.; Posse, J.; Santiago, R.; Hernández, J.; Mantero, C.; Morales, V.; Silveira, D.; Viñoles, C. 2018. Oportunidades y desafíos para los sistemas silvopastoriles en Uruguay. Veterinaria. 54(209):20-30.
40. Formoso, F. 1995. Época de diferenciación floral y alargamiento de entrenudos en *Festuca arundinacea* cv Estanzuela Tacuabé, *Falaris aquatica* cv Estanzuela Urunday y *Dactylis glomerata* cv INIA LE Oberón. Montevideo, Uruguay, INIA. 15 p. (Serie Técnica no. 59).
41. _____. 2007. Conceptos sobre implantación de pasturas. In: Jornada Instalación y Manejo de Pasturas (2007, La Estanzuela). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 17-38 (Actividades de Difusión no. 483).
42. Gallo, L.; Somarriba, E.; Ibrahim, M.; Galloway, G. 1999. Productividad de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*. Agroforestería en las Américas. 6 (23):57-59.

43. Gao, I.; Wilman, Y. 1994. Leaf development in eight related grasses. *The Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. 123 (1):41-46.
44. Garcez Neto, A. F.; García, R.; Moot, D. J.; Gobbi, K. F. 2010. Aclimatação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. (en línea). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39 (1):42-50. Consultado feb. 2020. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982010000100006&script=sci_arttext
45. García, J. A.; Formoso, F.; Risso, D.; Arrospide, C. G.; Ott, P. 1981. Factores que afectan la productividad y estabilidad de praderas. *Miscelánea CIAAB*. no. 29. 23 p.
46. _____. 1995. *Dactylis glomerata* L. INIA LE OBERON. Montevideo, INIA. 11 p. (Boletín de Divulgación no. 49).
47. García, R.; Mauricio, C.; Andrade, C. M. 2001. Sistemas silvipastoris na regio sudeste. In: Carvalho, M.; Alvim, M.; Costa, J. eds. *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Viçosa, EMBRAPA. pp. 45-78.
48. Gomes de Freitas, S.; Klaassen, L. 2011. Efecto de la fecha de siembra y tipo de barbecho en la implantación y producción inicial de mezclas con *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 131 p.
49. Gómez, A.; Guerrini, L. 2010. Evolución del crecimiento de gramíneas forrajeras sembradas bajo un monte de *Eucalyptus globulus ssp globulus*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 102 p.
50. Gutiérrez, B.; Acevedo, F.; Gustamante, C.; Navas, A.; Plaza, J. 1999. Plan de investigación y desarrollo tecnológico en sistemas agroforestales. In: Congreso Latinoamericano sobre Agroforestería para la Producción Animal Sostenible (1°), Seminario Internacional sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles (6°., 1999, Cali, Colombia). Trabajos presentados. Roma, FAO. s.p.

51. Harper, J.; Benton, R. 1966. The behaviour of seeds in soil. The germination of seeds on the surface of a water supplying substrate. *Journal of Ecology*. 54(1):151-166.
52. Ibrahim, M.; Pezo D. 1998. *Sistemas silvopastoriles*. (en línea). 2ª. ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 275 p. (Materiales de enseñanza no. 44). Consultado feb. 2020. Disponible en https://books.google.com.uy/books?id=BrWHDQcM7PwC&lpg=PR7&ots=wqWPrO_Mab&dq=Ibrahim%2C%20M.%3B%20Pezo%2C%20D.1998.%20Sistemas%20Silvopastoriles.&lr&hl=es&pg=PA6#v=onepage&q&f=false
53. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). s.f. Estadísticas climatológicas: 1961-1990. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado ene. 2020. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticasclimatologicas/tablas-esta>
54. Jiménez, F.; Muschler, R. 2001. Agroforestería y recursos naturales. In: Jiménez, F.; Muschler, R.; Kopsell, E. eds. *Funciones y aplicaciones de los sistemas agroforestales*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. cap. 2, pp 25-30.
55. Kirchner, R.; Brugnara, A.; Sartor, L.; Adami, P.; Migliorini, F.; Fonseca, L. 2010. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. (en línea). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39 (11):2371-2379. Consultado feb. 2020. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982010001100009&lng=pt&tlng=pt
56. Lemaire, G.; Chapman, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J.; Illius, A. W. eds. *The Ecology and Management of Grazing Systems*. Wallingford, CAB International. pp. 3-35.
57. Liu, W. 2012. Light environmental management for artificial protected horticulture. (en línea). *Agrotechnology*. 1(1):1-4. Consultado mar. 2020. Disponible en <https://www.longdom.org/open-access/light-environmental-management-for-artificial-protected-horticulture-2168-9881.1000101.pdf>

58. López, A.; Schlovoigt, A.; Ibrahim, M.; Klein, Ch; Karkku, K. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*. 6 (23):51-53.
59. Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. [15\(2\)](#):226-232.
60. Mangado, B.; Saint-Girons, F. 2017. Evaluación de la implantación de verdes puros y en mezclas con leguminosas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 71 p.
61. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: descripción de las unidades de suelos. Montevideo. t.3, 452 p.
62. Martin, D.; Tomasino, H.; Grasso, A. 2003. La actividad forestal a través del censo agropecuario. Montevideo, Uruguay, MGAP. DIEA. 17 p.
63. Mas, C. 1995. Consideraciones sobre la implantación de pasturas en rastrojos de arroz. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. *Producción y manejo de pasturas*. Montevideo, INIA. pp. 183-191 (Serie Técnica no. 80).
64. MGAP. CONEAT (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra, UY). 2010. Índice de productividad y grupos de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. 62 p. Consultado abr. 2014. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/descripcion_de_grupos_de_suelos_coneat_0.pdf
65. _____. DIEA (Ministerio Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Agropecuarias, UY). 2011. Anuario estadístico agropecuario 2011. 246 p.
66. _____. _____. 2014. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 216 p.

67. _____. _____. 2018. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 213 p.
68. _____. _____. 2020. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 270 p.
69. Millot, J. C.; Risso, D.; Methol, R. 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay. Montevideo, Uruguay, FUCREA. 199 p.
70. Montserrat, P. 1961. La sombra y sus efectos sobre el pasto. Madrid, España, Client S.E.E.P. 12 p.
71. Moraes Da Matta P.; Souto S. S.; Dias P. F.; Colombari A.; Campbell De Azevedo, B.; De Souza Vieira, M. 2009. Efeito de sombreamento no estabelecimento de *Panicum maximum* cv. Mombaça. (en línea). Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 17(3-4):97-102. Consultado jun. 2020. Disponible en <http://www.bioline.org.br/pdf?la09014>
72. Mujica, M.; Rumi, C. 1998. El crecimiento inicial de *Lotus glaber* afectado por la remoción y el sombreado de los cotiledones. Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata, Argentina). 103 (2):127-33.
73. Nair, P. K. R. 1985. Clasification of agroforestry systems. Agroforestry Systems. 3 (2):97-128.
74. _____. 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer. 499 p.
75. Ovalle, M. C.; Squella, F. N. 1996. Terrenos de pastoreo con praderas anuales en el área de influencia climática mediterránea. In: Congreso de Agricultura de Chile (3°. , 1996, Santiago). Trabajos presentados. Santiago de Chile, Ruiz. pp. 429-466.
76. Papanastasis, V. P.; Yiakoulaki, Md; Decandia, M.; Dini-Papanastasis, O. 2008. Integrating woody species into livestock feeding in Mediterranean. Animal Feed Science and Technology. 140 (1):1-17.

77. Pardini, A. 2007. Perspectiva sobre la valoración de los sistemas agrosilvopastoriles en la cuenca del Mediterráneo. (en línea). Pastos y Forrajes. 30(1):s.p. Consultado feb. 2020. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942007000100002
78. Peri, P. L.; Lucas, R. J.; Moot, D. J. 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 jul. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/D-Moot/publication/225696225_Dry_matter_production_morphology_and_nutritive_value_of_Dactylis_glomerata_growing_under_different_light_regimes/links/53ea717d0cf2dc24b3cc2fea/Dry-matter-production-morphology-and-nutritive-value-of-Dactylis-glomerata-growing-under-different-light-regimes.pdf
79. Peters, D.; Runkles, J. 1967. Shoot and root growth as affected by water availability. In: Hagan, R. M.; Haise, H. R.; Talcott, W. eds. Irrigation and agricultural lands. Madison, WI, ASA. cap. 20, pp. 373-386.
80. Polla, M. C. 1998. El estudio de los sistemas silvopastoriles y el manejo sustentable de los recursos forestales en Uruguay. (en línea). In: Congreso Latinoamericano IUFRO (1º., 1998, Valdivia, Chile). Trabajos presentados. Montevideo, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. División Forestal Dirección General de Recursos Naturales Renovables. s.p. Consultado dic. 2019. Disponible en <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005039/tema2/PollaMariaCristina1.pdf>
81. Ribaski, J.; Menezes, E. de A. 2002. Influencia del algarrobo *Prosopis juliflora* en la disponibilidad y calidad del forraje de pasto buffel *Cenchrus ciliaris* en la región semi-árida brasilera. Agroforestería en las Américas. 9:33-34.
82. Ríos, N.; Andrade, H.; Ibrahim, M. 2008. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. Zootecnia Tropical. 26(3):183-186.

83. Rusch, G.; Zapata, P.; Casals, P.; Romero, J.; Saucedo, M.; Morales, J.; Declerck, F. 2013. Relación de la cobertura arbórea con la disponibilidad de pasto. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 48 p. (Serie técnica no. 60).
84. Russo, R. O. 2015. Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles. Pastos y Forrajes. 38 (2):157-161.
85. Sadeghian, S.; Rivera, J. M.; Gómez, M. E. 1999. Impacto de la ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. (en línea). In: Conferencia Electrónica para la Producción Animal en Latinoamérica (1º., 1998, Roma). Memorias. Roma, FAO. p. irr. Consultado dic. 2019. Disponible en <https://www.fao.org/documents/card/es/c/d9935685-5201-5bef-85b2-8e2bf092b7b0/>
86. Sancho, 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. Proyecto URU/18/G13. Ministerio de Ambiente. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.
87. Sartor, L. R.; Soares, A. B.; Adami, P.; Migliorini, F.; Kirncher, R. 2010. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. (en línea). Revista Brasileira de Zootecnia. 39 (11):2371-2379. Consultado dic. 2019. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982010001100009&lng=pt&tlng=pt
88. Silveira, L.; Alonso, J.; Martínez, L. 2006. Efecto de las plantaciones forestales sobre el recurso agua en Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 180 p.
89. Soares de Andrade, C.; García, R.; Couto, L.; Gomes Pereira, O. 2002. Trasmissoo de luz em sistemas silvopastoris com eucalipto. Revista Árvore. 26 (1):19-23.

90. Uruguay XXI. 2018. Informe anual de comercio exterior 2018. Promoción de inversiones exportaciones e imagen país. (en línea). Montevideo. 11 p. Consultado dic. 2019. Disponible en <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/690cc2f9aaa8763b54d802d8e991665b4e007585.pdf>
91. _____. 2020. Bussines case forestal. (en línea) Montevideo. 22 p. Consultado dic. 2019. Disponible en <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/614faae7d3ec70fdd06557ac97304c87e3546ebf.pdf>
92. Velazco, J. I.; Rovira, P. J. 2009. Efecto del tipo de sombra en la ganancia de peso, tasa respiratoria y conducta de novillos en pastoreo. *In*: Jornada de Divulgación Producción Animal - Pasturas (2009, Treinta y Tres). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 83-94 (Actividades de Difusión no. 591).
93. Wilson, J. R.; Wong, C. C. 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.
94. _____.; Ludlow, M. M. 1991. The enviroment and potential growth of herbage under plantation. *In*: Workshop on Forages for Plantation Crops (32nd., 1991, Sanur Beach, Bali, Indonesia). Proceedings. Canberra, W.W. Sturs. pp.10-24.
95. Young, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. Wallingford, UK, BPCW Wheatons. 276 p.
96. Zhang, T.; Folta, Y. K. M. 2012. Green light signaling and adaptive response. (en línea). *Plant Signaling & Behavior*. 7 (1):75-78. Consultado ene. 2020. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3357375/>