

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DE GRAMÍNEAS FORRAJERAS EN SOTOBOSQUE DE
EUCALYPTUS SP EN DISTINTOS MARCOS DE PLANTACIÓN**

por

**Nicolás COORE VIÑAS
Gonzalo SOARES DE LIMA SANCRISTOBAL
Franco SOTELO SUÁREZ**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2021**

Tesis aprobada por:

Director: -----
Zootecnista (MSc., PhD.) Jean Kássio Fedrigo

Ing. Agr. (PhD.) Jaime González Talice

Fecha: 30 de junio de 2021

Autores: -----
Nicolás Coore Viñas

Gonzalo Soares de Lima Sancristobal

Franco Sotelo Suárez

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por el apoyo de todos estos años de estudio.

A la Facultad de Agronomía por dejarnos ser parte de esta hermosa carrera.

A nuestro tutor Especialista en manejo de Pasturas, Zootecnista, MSc., PhD., Jean Kássio Fedrigo por orientarnos en nuestro trabajo y siempre estar dispuesto a ayudar en todo lo necesario, además de compartir junto con nosotros su conocimiento.

Al Ing. Agr. PhD. Jaime González Talice por compartir con nosotros sus conocimientos y siempre estar a disposición.

Al Ing. Agrónomo Claudio Hernández por la constante colaboración no sólo en la etapa de gabinete, sino que en el trabajo de campo.

A todo el personal de la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EEBR), por su amabilidad y hospitalidad.

Al Polo Agroforestal por permitirnos formar parte de este proyecto.

A la empresa LUMIN por cedernos el espacio experimental sin ningún tipo de restricción.

A todos muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 SISTEMAS AGROFORESTALES.....	3
2.2 SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	4
2.2.1 <u>Clasificación de sistemas silvopastoriles</u>	4
2.2.2 <u>Sistemas silvopastoriles en Uruguay</u>	5
2.2.3 <u>El componente forestal y sus efectos en los cultivos del sotobosque</u>	7
2.2.3.1 Efecto de la orientación.....	8
2.2.4 <u>Características microclimáticas e interacciones en sistemas silvopastoriles</u>	9
2.2.4.1 Temperatura y humedad del aire.....	9
2.2.4.2 Viento.....	9
2.2.4.3 Precipitaciones.....	10
2.2.4.4 Balance de energía.....	10
2.2.4.5 Radiación solar.....	11
2.2.4.6 Competencia y aportes de nutrientes.....	12
2.2.4.7 Disponibilidad de agua.....	13
2.2.4.8 Temperatura y humedad del suelo.....	14
2.2.4.9 Factores edáficos.....	15
2.3 DESCRIPCIÓN DE ESPECIES.....	16
2.3.1 <u>Holcus lanatus</u>	16
2.3.2 <u>Dactylis glomerata</u>	17
2.3.3 <u>Festuca arundinacea</u>	19
2.4 IMPLANTACIÓN.....	20
2.4.1 <u>Germinación y emergencia</u>	20
2.4.2 <u>Establecimiento</u>	21
2.5 PRODUCCIÓN DE BIOMASA.....	22
2.5.1 <u>Tasa de acúmulo y producción de forraje</u>	22
2.5.2 <u>Relación hoja:tallo</u>	23
2.6 HIPÓTESIS.....	24
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	25
3.1 LOCALIZACIÓN Y TIPO DE SUELO.....	25

3.2 DISEÑO Y MATERIAL EXPERIMENTAL.....	26
3.2.1 <u>Descripción del componente arbóreo</u>	27
3.2.2 <u>Preparación del área experimental</u>	28
3.2.3 <u>Siembra y fertilización</u>	28
3.2.4 <u>Dimensiones y arreglos del experimento</u>	33
3.3 MEDICIONES.....	33
3.3.1 <u>Parámetros microclimáticos</u>	33
3.3.2 <u>Muestras</u>	33
3.3.3 <u>Determinación de la densidad volumétrica</u>	35
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	35
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	38
4.1 <u>CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS PARA EL PERÍODO EXPERIMENTAL</u>	38
4.1.1 <u>Radiación fotosintéticamente activa (RFA)</u>	38
4.1.2 <u>Temperatura del suelo</u>	40
4.1.3 <u>Temperatura del aire</u>	44
4.1.4 <u>Precipitaciones del período</u>	47
4.1.5 <u>Contenido de humedad del suelo</u>	48
4.1.6 <u>Humedad relativa del aire</u>	50
4.2 <u>EVALUACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA</u>	51
4.2.1 <u>Producción de forraje</u>	51
4.2.1.1 <u>Interacción entre ambiente*especie</u>	51
4.2.1.2 <u>Interacción entre mes*especies</u>	53
4.2.1.3 <u>Interacción entre ambiente*mes</u>	55
4.2.2 <u>Altura de regla</u>	57
4.2.2.1 <u>Interacción entre especie*mes</u>	57
4.2.2.2 <u>Interacción entre ambiente*mes</u>	58
4.2.3 <u>Densidad volumétrica</u>	59
4.3 <u>CONSIDERACIONES FINALES</u>	61
5. <u>CONCLUSIONES</u>	63
6. <u>RESUMEN</u>	65
7. <u>SUMMARY</u>	68
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	70
9. <u>ANEXOS</u>	82

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Valores promedios de diámetros de altura de pecho (DAP medio, cm), altura total media (m), altura de tronco (m), y longitud de copa de los arboles presentes en las cuatros condiciones generadas en el presente estudio.....	28
2. Especie y cultivar utilizado, densidad objetiva de siembra (Kg.há ⁻¹), porcentaje de germinación (%) y densidad de siembra final (Kg.há ⁻¹).....	29
3. Valor promedio, error estándar y rangos mensuales de radiación fotosintéticamente activa acumulada mensual (RFA, mol.m ⁻²) en tres condiciones diferentes: sin árboles (control (C)) y con hileras de árboles (<i>E. grandis</i> x <i>tereticornis</i>) con callejones de 20m en dos orientaciones diferentes (Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EO)).....	39
4. Valor promedio, error estándar y rangos mensuales de temperatura del suelo (°C) en tres condiciones diferentes: sin árboles (control (C)) y con hileras de árboles (<i>E. grandis</i> x <i>tereticornis</i>) con callejones de 20m en dos orientaciones diferentes (Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EO)).....	43
5. Valor promedio, error estándar y rangos mensuales (máximos y mínimos promedios) de temperatura del aire (°C) en tres condiciones diferentes: sin árboles (control (C)) y con hileras de árboles (<i>E. grandis</i> x <i>tereticornis</i>) con callejones de 20m en dos orientaciones diferentes (Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EW)).....	46
6. Valor promedio, error estándar y rangos mensuales de contenido de agua del suelo (m ³ / m ³) en tres condiciones diferentes: sin árboles (control (C)) y con hileras de árboles (<i>E. grandis</i> x <i>tereticornis</i>) con callejones de 20m en dos orientaciones diferentes (Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EW)).....	50

7. Análisis de varianza (ANOVA) para las variables producción de forraje, altura del pasto, en función del ambiente, especie forrajera, mes de evaluación y sus interacciones.....	51
--	----

Figura No.

1. Mapa determinando los tipos de suelos correspondientes al padrón 11249.....	25
2. Imagen satelital correspondiente a los ensayos.....	27
3. Aplicación de fosforo al voleo.....	29
4. Corte de forraje en experimento control.....	34
5. Medición de altura con regla en control.....	34
6. Experimentos N-S 20m y N-S 7m.....	36
7. Experimentos E-O 20m y E-O 7m.....	36
8. Experimento control.....	37
9. Registro de los valores horarios de radiación fotosintéticamente activa (RFA) para los meses de octubre (a), noviembre (b) y diciembre (c) de 2019.....	40
10. Registro de los valores de temperatura del suelo para el período octubre hasta diciembre de 2019.....	42
11. Registro de los valores de temperaturas medias del aire para el período octubre hasta diciembre de 2019.	45
12. Registro de los valores de precipitaciones de la zona para el período octubre (2019) hasta diciembre (2019).....	47
13. Registro de los valores de humedad del suelo para el período octubre (2019) hasta diciembre (2019).	49

14. Registro de los valores de humedad del suelo para el período octubre (2019) hasta diciembre (2019).	51
15. Producción de forraje (kgMS.há ⁻¹) en función de la interacción ambiente*especie.....	52
16. Producción de forraje (kgMS.há ⁻¹) en función de la interacción mes*especie.....	54
17. Producción de forraje (kgMS.há ⁻¹) en función de la interacción ambiente*mes.....	55
18. Altura del pasto (cm) en función de la interacción especie*mes.....	57
19. Altura del pasto (cm) en función de la interacción ambiente*mes.....	58
20. Correlación entre altura del pasto y masa de forraje.....	60

1. INTRODUCCIÓN

Uruguay es un país que cuenta con ventajas comparativas que permiten al sector agropecuario ser clave en la economía del mismo, cumpliendo un rol fundamental en el PBI nacional. Dichas ventajas como lo son, el campo natural, tierras fértiles, clima templado; le permiten al país sobresalir en las exportaciones relacionadas sobre todo al mercado ganadero. Con un rebaño de 11,4 millones de vacunos y 6,6 millones de ovinos, Uruguay es considerado a nivel mundial como uno de los principales productores de carne. En el último año agrícola (2019/2020) la producción de carne en el país fue de 1.107 miles de toneladas en pie (MGAP, 2020). Uruguay se caracteriza por presentar una superficie cubierta por campo natural mayor al 70%, la cual se utiliza principalmente para la cría de ganado. En todos los casos mencionados por los autores se destaca la importancia del campo natural como componente forrajero principal de los sistemas productivos en el país.

A finales de la segunda mitad del siglo XX e impulsado por leyes, fue el rubro forestal quien vio un fuerte crecimiento hasta la fecha. El hecho de que exista un marco legal y regulado atrajo capital extranjero, habiendo hoy dos plantas procesadoras de celulosa en el país. En este contexto, acompañando el crecimiento sostenido de la forestación en el país en los últimos años, las empresas forestales han estimulado la creación de contratos con los productores ganaderos con el fin de que ingresen ganado a las plantaciones forestales para pastoreo. De esa manera, las empresas forestales tienen ventajas por la disminución de los riesgos de incendios forestales debido a la remoción del exceso de biomasa de forraje, además de los ingresos generados por la renta del 30-40% del campo que permanece sin plantar (Cubbage et al., 2012). Además de esta modalidad conocida como de “pastoreo en montes”, dentro del predio del productor comienzan a aparecer sistemas en los cuales el componente arbóreo juega un rol clave, tanto por medio de montes de sombra como cortinas de viento. También existen algunos ejemplos de productores que buscan una integración equilibrada entre la ganadería y la forestación, buscando atender desde el bienestar animal, producción de forraje, sustentabilidad económica, generando un mayor ingreso en el largo plazo con respecto a la ganadería por sí sola, y además se logra incrementar la productividad del recurso suelo. En esta modalidad, el productor es quien decide de qué manera implementar este componente, y lo realiza con espaciamientos adecuados para permitir el ingreso de luminosidad al sotobosque, asegurando así la producción de forraje. Estos sistemas son llamados silvopastoriles, los cuales según, Gallo (2006), son una alternativa de producción en la cual se ven involucradas especies leñosas perennes ya sean árboles o arbustos. Estos últimos, interactúan bajo un mismo sistema de manejo, tanto con las forrajeras herbáceas como con los animales. Es común ver la combinación de ambas producciones en el país, practicados en

tierras con plantaciones forestales, en pastizales con árboles aislados o en por ejemplo en árboles en cercas. Se habla de que hace 50 - 80 años los productores ganaderos de Uruguay comenzaron a plantar árboles de especies exóticas con el fin de proporcionar sombra para el ganado, leña y buena madera para uso rural como postes y listones para cercas (Cubbage et al., 2012).

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones microclimáticas (radiación fotosintéticamente activa, temperatura y humedad del aire, temperatura y humedad del suelo) resultante de la presencia de árboles del género *Eucalyptus* sp. en distintos marcos de plantación; determinar la productividad primaria y estudiar las modificaciones estructurales (altura, densidad volumétrica) de *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* y *Holcus lanatus* cultivados bajo distintos marcos de plantación arbóreos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS AGROFORESTALES

Para lograr una correcta interpretación de los diferentes factores e interacciones de los sistemas agroforestales, es necesario realizar su adecuada definición, clasificación y contextualización del concepto, y con eso poder realizar un correcto abordaje del trabajo. En este sentido, los sistemas agroforestales pueden definirse como un conjunto de prácticas y técnicas de producción, en los cuales el componente arbóreo es plantado en una misma unidad de tierra en conjunto de cultivos agrícolas o animales, presentando interacciones ecológicas y económicas significativas entre los componentes leñosos y no leñosos. (Lundgren, citado por Arévalo, 1994).

Según Ammour (2012) la agroforestería satisface tres condiciones básicas; en primer lugar deben de existir al menos dos especies que interactúan biológicamente; en segundo lugar, al menos uno de los componentes debe de ser una leñosa perenne y por último, al menos dos de los componentes deben de ser manejados con el fin de cumplir con los objetivos del administrador de la tierra.

Nair (1989) clasifica según la naturaleza y presencia de estos componentes a los sistemas agroforestales en sistemas agrosilvícolas, sistemas agrosilvopastoriles y sistemas silvopastoriles:

- Sistemas agrosilvícolas: se basan en la integración del componente arbóreo y los cultivos tanto anuales como perennes.
- Sistemas agrosilvopastoriles: radican en alternar árboles, cultivos y pastizales para la producción animal.
- Sistemas silvopastoriles: consisten en la alternancia de árboles y pastizales para sostener la producción animal.

Jiménez et al. (2001) afirma que los sistemas agroforestales pueden presentar ventajas y beneficios tanto biofísicos como socioeconómicos. Una de las ventajas es una mejor utilización del espacio vertical y además un mejor aprovechamiento de la radiación solar entre los estratos presentes. En concordancia con lo mencionado se genera un microclima más moderado, es decir una atenuación de las temperaturas extremas donde las máximas no son tan elevadas y las mínimas no son tan bajas. Además se genera una disminución del viento teniendo como consecuencia una disminución de la erosión eólica. Otra ventaja importante de los sistemas es que contribuyen a mantener la estructura y fertilidad del suelo, mediante aportes de material orgánica, mayor actividad biológica, reducción de la acidez comparado a condición de selva, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo (principalmente en

zonas secas) y por lo tanto cooperan a recuperar suelos degradados. Con respecto al aspecto socioeconómico, el productor puede reducir los costos abasteciéndose de madera, leña y alimentos. Además se logra una mayor estabilidad productiva asumiendo menores riesgos. Se observa una reducción potencial de los requerimientos y gastos en fertilizantes, herbicidas, etc. Se destaca además el avance progresivo hacia prácticas conservacionistas de los recursos naturales.

En estos sistemas, existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre sus distintos componentes. Cuando un árbol es incorporado en tierras cultivadas las interacciones entre este y el cultivo tendrán consecuencias. El árbol puede afectar tanto de forma positiva o negativa al cultivo. Realizar un balance de las interacciones ecológicas es clave para maximizar aquellas positivas y minimizar las negativas. Los sistemas agroforestales crean un sistema de manejo de tierras el cual permite mantener la productividad en el largo plazo y además obtener productos de mercado y de uso doméstico.

2.2 SISTEMAS SILVOPASTORILES

Los sistemas silvopastoriles se presentan como una modalidad de sistemas agroforestales. Estos consisten en la asociación de pastizales con cultivos arbóreos como por ejemplo, especies forestales, árboles frutales, legumbres, plantaciones industriales, etc (Savio et al., 2014). Carvalho y Xavier (2005) definen a los sistemas silvopastoriles como una modalidad de agroforestería en los cuales se integran árboles y/o arbustos, herbáceas y animales herbívoros. De acuerdo con Savio et al. (2014), los árboles y/o arbustos son considerados elementos estructurales básicos y claves para la estabilidad del sistema debido a la influencia que estos tienen en el ciclo de los nutrientes y en el balance de energía.

2.2.1 Clasificación de sistemas silvopastoriles

Los arreglos entre los componentes que determinan estos sistemas pueden ocurrir de diferentes formas. Son estas variantes las que hacen aparecer diferentes tipos de sistemas silvopastoriles. Según FAO (2001) la clasificación de los sistemas silvopastoriles es la siguiente:

- Árboles dispersos en potreros: en este tipo de sistema silvopastoril los animales se ven beneficiados principalmente con sombra y en alguna ocasión con frutos. Estos árboles además pueden ser fuente de madera y de refugio.

- Sistemas silvopastoriles con manejo de sucesión vegetal: estos sistemas se caracterizan por utilizar y dirigir la repoblación de especies arbóreas y arbustivas que invaden el área de pasturas.
- Pastoreo de ganado en plantaciones forestales: consiste en el ingreso de bovinos jóvenes como ovinos a las plantaciones para pastorear. Se ayuda a evitar incendios y mejorar el flujo financiero.
- Pastoreo de animales en cultivos y plantaciones frutales: ingreso de animales a plantaciones frutales. Ejemplos de estas plantaciones son: cítricos, guayabos, mango, etc.
- Cercas vivas: dentro de la tradición cultural ganadera son las más utilizadas. Gran diversidad de especies en América.
- Cortinas contraviento: conjunto de árboles plantados con el objetivo de disminuir el impacto negativo del viento. Se utilizan para proteger tanto animales como pasturas.
- Sistemas silvopastoriles de alta densidad arbórea: combinaciones de árboles en altas densidades. Utilizados con pastoreos rotacionales y altas cargas animales.
- Sistemas de corte y acarreo: bancos de forraje puros o en policultivos. Mayor producción y durabilidad del cultivo.
- Bancos de alimentos energéticos: sistema similar al anterior en el cual se utilizan plantas encargadas de la producción de almidón y aceites para la alimentación animal.
- Pasturas en callejones de árboles: arreglos de árboles plantados en líneas paralelas los cuales son acompañados de forrajes. Se obtienen beneficios desde el punto de vista edáfico como de bienestar animal.

2.2.2 Sistemas silvopastoriles en Uruguay

Sancho et al. (2021) realizaron una consultoría donde uno de los objetivos fue elaborar una definición de sistemas silvopastoriles la cual se adecue a la caracterización de los sistemas que existen actualmente en el país. Dicha definición fue la siguiente:

“Integración deliberada y a largo plazo de árboles, ganado y pasturas, que interactúan en forma armónica, propendiendo a la sinergia de sus

componentes, con el objetivo de maximizar la producción del sistema en forma sostenible”.

Tamousinas (2015) destaca que el apoyo financiero y técnico entre 2005 y 2010 del MGAP tuvo como finalidad poder facilitar la adopción de estrategias de producción ganadera sostenibles que minimizan las pérdidas de producción por estrés térmico, diversifican la fuente de ingresos de la explotación por la venta de madera y mitigan los impactos ganaderos negativos (emisiones de metano). Dentro de estas estrategias se incluía la de instalar macizos forestales como abrigo y sombra.

Según relatan Fedrigo et al. (2017) las empresas forestales realizan contratos de pastoreo de sus plantaciones con productores locales, que manejan el ganado a una dotación de 0.4-0.5 unidades ganaderas por hectárea. De acuerdo con Pattarino (2019) las empresas forestales no tienen problema en que interactúe el ganado con los árboles, siempre y cuando se adapte a una plantación, generalmente de eucalipto de distintas especies en altas densidades, con un estricto fin maderero. En este tipo de negocio la empresa forestal se ve beneficiada dado que percibe ingresos por renta y además disminuye el riesgo de incendios. En cambio el productor ganadero utiliza el forraje para producción de carne (Cubbage et al., 2012).

Pero según relata Tamosiunas (2015) la adopción de sistemas silvopastoriles, que promuevan la sinergia de sus componentes, es baja en Uruguay, a pesar de que ha sido promovida por el programa ganadero del MGAP. Pastorini y Acosta (2011) relatan que las limitantes se deben principalmente por falta de tecnología validada y la falta de predios piloto para difusión de resultados. Según Tamosiunas (2015) aquellos productores con experiencia silvopastoril, forestan por el convencimiento de los beneficios para el ganado; mientras que los que no optan por ellos, ven a la forestación como un aumento de costos, sin beneficios a corto plazo.

Dentro de la negativa a realizar silvopastoreo por parte de los productores, Tamosiunas (2015) destaca que la razón más importante para la decisión de forestar o no fue la convicción personal, dado el paradigma preexistente en el productor sobre el comportamiento del sistema animal-planta herbácea-planta leñosa. Dentro de las alternativas para incrementar la adopción forestal, Tamosiunas (2015) relata que es de suma importancia el desarrollo de planes de gestión en conjunto con los productores, para que de esta manera se identifique al árbol como un potencial generador de ingresos para la unidad de producción.

2.2.3 El componente forestal y sus efectos en los cultivos del sotobosque

Los árboles afectan la actividad fotosintética de las plantas, esto se explica debido a que la radiación solar de mejor calidad para las plantas es absorbida mayoritariamente por el componente arbóreo del sistema, por lo tanto los espectros que logran llegar a las plantas son de baja calidad (Fedrigo et al., 2017). Fernández (2018) hace mención a que las plantas que crecen en situaciones de baja calidad, en presencia de sombra son expuestas a radiaciones de baja relación (rojo/rojo lejano), esto trae consecuencias no solo productivas para el sistema, sino que también se desencadenan procesos metabólicos relacionados con la adaptación de las plantas a su desarrollo en dicho ambiente. En cuanto a las modificaciones de la radiación que logra penetrar al sotobosque, esta sufre modificaciones diarias y estacionales, además es afectada por la latitud, exposición del terreno, especie (arquitectura y velocidad de crecimiento), densidad forestal, nubosidad, edad y altura de los árboles (Fedrigo et al., 2017).

Una de las características más comunes con respecto a la producción del componente forrajero en un sistema silvopastoril es su variación espacial y temporal, aspecto que es determinado fundamentalmente por el marco de plantación del componente forestal. El diseño de plantación, la especie forestal, las intervenciones forestales y la edad de los árboles son algunos de los factores que determinan variaciones en la acumulación de forraje dentro del sistema. De esa manera, distintos diseños forestales interfieren directamente en la magnitud de competencia entre árboles y pastos por los recursos naturales. A pesar de que la radiación solar disponible en el sotobosque ha sido ampliamente estudiada como el principal factor que interfiere en el desempeño de los cultivos del sotobosque, la competencia por el agua y los nutrientes con los árboles pueden provocar variaciones en el rendimiento (Varela, 2012).

Dupraz et al. (2018) observaron que con el aumento de la distancia entre las líneas de árboles se mejora la disponibilidad y disminuye la heterogeneidad de la irradiancia de los cultivos en todas las latitudes. Las líneas de árboles más espaciadas sin variación de la distancia entre individuo (reducción de la cantidad de árboles) aumentaron de manera constante la radiación relativa que llega a los cultivos en todas las latitudes. Por lo tanto, llegaron a la conclusión que un espaciado de árboles más amplio es muy eficiente para aumentar la irradiación de cultivos, mientras que los árboles de baja densidad crecen más rápido que los árboles de alta densidad. Esto explica la variación espacial en la producción de forrajes entre las filas de los árboles, la cual fue aumentando a medida que el ambiente luminoso se volvía favorable para el crecimiento del componente herbáceo. Sin embargo, el espaciado entre las líneas de los árboles no pueden ser tan grandes como para comprometer la cantidad y calidad del producto forestal por área de tierra y la cubierta de árboles deseada para la protección de

animales y pastos (Varella, 2012). En sistemas silvopastoriles, la producción equilibrada entre los distintos componentes es la clave para que los beneficios de su adopción se logren en mediano y largo plazo.

2.2.3.1 Efecto de la orientación

Cuando los sistemas silvopastoriles son establecidos sobre campo natural, la orientación de las hileras en los rodales condicionan el número de familias, géneros y especies. Silveira et al. (2018) realizaron un experimento el cual tuvo como objetivo de poder caracterizar la composición, riqueza, y diversidad de comunidades de sotobosque, callejones cortafuego y campo natural. Para el experimento se realizaron 18 transectas con direcciones N-S y E-O ubicadas en entre fila (distancia entre dos filas de arboles), callejones (amplio espacio entre filas) y campo natural. Los mayores valores en el número de familias, géneros y especies se asocian a ambientes donde llega más radiación.

Dupraz et al. (2018) demostraron en un experimento que la orientación de la línea de árboles tuvo efectos opuestos en altas y bajas latitudes. En latitud baja (25°) la irradiancia solar disponible para los cultivos del sotobosque fue mayor con líneas de árboles este-oeste, mientras que en latitud elevada (65°) la irradiación relativa era ligeramente más alta en una orientación Norte-Sur. Con los árboles en orientación Norte-Sur, todos los cultivos experimentan tanto sol como sombra durante un día, independientemente de la posición en el callejón, resultando en una irradiancia diaria bastante uniforme a través del callejón. Por el contrario, son las líneas de árboles orientadas de este a oeste, el cultivo puede estar a pleno sol o sombra durante todo el día, dependiendo de su posición en el callejón. Esto resulta en coeficientes de variación muy altos de irradiancia en los cultivos en el callejón. En conclusión se recomiendan líneas de árboles de Norte - Sur en latitudes altas y líneas de árboles Este - Oeste en bajas latitudes. En latitudes medias, líneas de árboles de Norte a Sur deben preferirse para lograr una homogeneidad de irradiancia incidente al cultivo en el callejón, debido al movimiento aparente del sol en todas las épocas del año; con líneas de árboles Este – Oeste esto no ocurre.

En cuanto a la disposición de los árboles, pueden variar, de líneas simples, dobles o triples de acuerdo con la finalidad de la madera, o pueden ser asociados a prácticas de desbaste selectivo o sistemático, para producir madera de mayor espesor y mayor valor agregado. En el sistema de IAGF con finalidad en la pecuaria, la implantación de líneas simples facilita el manejo de los árboles, exigiendo menos mano de obra. En áreas con relieve plano a ondulado suave, se debe dar preferencia a la orientación de las líneas de árboles en el sentido Este-Oeste para maximizar la incidencia de luz en el sub-bosque, mientras tanto

en áreas de relieve ondulado as líneas de árboles deben ser dispuestas a nivel, privilegiando la conservación del suelo (Giolo de Almeida, 2017).

2.2.4 Características microclimáticas e interacciones en sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles abarcan distintos componentes, los cuales generan determinadas modificaciones climáticas dentro de los sistemas. La aplicación y el desarrollo de este tipo de sistemas no solamente abarcan interacciones de nivel biológico, pero dentro de ellas se logran identificar por lo menos tres interacciones o efectos entre; árbol sobre pastura; cobertura del árbol en relación con la estructura del suelo y su fertilidad; y por último la competencia existente entre árboles y pastura (Gallo, 2006).

En este tópico se hará énfasis en las interacciones que ocurren entre el árbol y la pastura respectivamente. Dicho esto se pasará a detallar las características microclimáticas que se consideran importantes en el desarrollo del sistema y cómo estas se comportan.

2.2.4.1 Temperatura y humedad del aire

En condiciones de sotobosque, las variaciones tanto diarias como estacionales de temperatura del aire se ven reguladas por el dosel forestal (Munka, 2017). Se reportan valores diarios y anuales de temperaturas máximas menores y de temperaturas mínimas mayores respecto a registros térmicos en áreas sin árboles. Consecuentemente, la amplitud térmica bajo sotobosque es menor, reportándose en Uruguay disminuciones de entre 2-3 °C en los meses de verano y aumento de las temperaturas nocturnas en los meses más fríos bajo un monte de Pinus de alta densidad (Fedrigo et al., 2017).

Con respecto a la humedad del aire; Munka (2017) menciona que en sitios sin árboles el microclima es menos húmedo que bajo el dosel forestal. El hecho de que la humedad del aire sea mayor bajo la cubierta forestal se explica por la menor renovación de aire, los menores valores de temperaturas máximas, baja turbulencia y una mayor resistencia aerodinámica a la pérdida de vapor de agua. Según Grantz (1990) el aumento de la humedad del aire explica en parte por qué los árboles producen una reducción de la temperatura.

2.2.4.2 Viento

La presencia de árboles modifica el viento, en magnitud y también en la circulación del aire debajo del dosel. El principal efecto que sufre el viento al encontrarse con árboles, es la reducción de la velocidad. Dicho efecto en conjunto con la sombra que generan las superficies forestadas, se lo puede definir como un servicio al animal (abrigo y sombra) provocando que los animales

se encuentren en condiciones de confort en situaciones adversas, tanto por frío o por calor (Munka, 2017). Allen et al. (2006) afirman que una barrera rompe vientos reduce la velocidad del viento y disminuye la tasa de evapotranspiración de la zona situada directamente después de dicha barrera.

En los sistemas que tiene como objetivo la formación de cortinas rompe viento, es en donde se dan las mayores reducciones en la velocidad del viento debido a las características de las especies utilizadas. Cabe resaltar que la disminución de la velocidad depende principalmente de la estructura, densidad, permeabilidad y altura de la cortina implantada.

2.2.4.3 Precipitaciones

La redistribución de la precipitación que ocurre en lugares con superficie forestal puede variar en función de la estructura del dosel, la cantidad e intensidad de la precipitación y la velocidad de los vientos (Alonso, 2011). Parte de la precipitación es interceptada por la cubierta forestal, pudiendo ser evaporada o precipitada desde el dosel al suelo. Otra porción de esta precipitación escurre por el tronco y otra parte atraviesa sin obstáculos el dosel llegando como precipitación directa.

Bajo el dosel, la colecta de precipitación es por lo general menor que la registrada en áreas sin árboles. La presencia de plantaciones forestales aumenta la intercepción de agua de lluvia, de este modo los procesos erosivos se ven disminuidos. La velocidad de escorrentía disminuye y en consecuencia la erosión (von Stackelberg et al., 2007). Ante una precipitación de alta intensidad, la lluvia tiende a atravesar rápidamente el dosel y precipita al suelo, disminuyendo las pérdidas por evaporación en relación con una precipitación de baja intensidad (Munka, 2017).

2.2.4.4 Balance de energía

La radiación solar a través de la canopia depende de las características de la copa, es decir su densidad, y también el follaje que la compone, esto determinará en menor o mayor medida cuanto radiación logrará penetrar dicha copa. La radiación que atraviese la canopia sufrirá modificaciones de tipo cualitativo y cuantitativo; desde el punto de vista cualitativo se transforma en parte en radiación difusa y además tendrá menor proporción de radiación fotosintéticamente activa. La radiación fotosintéticamente activa es aquella constituida por las longitudes de onda de mayor eficiencia fotosintética. Esta radiación de mayor calidad es principalmente absorbida por el componente arbóreo, llegando al componente herbáceo la de menor calidad y de esta manera viéndose afectada la actividad fotosintética del mismo (Feldhake y Belesky,

2009). Es por esto que según Munka (2017) el efecto de sombreado y la extinción de radiación solar incidente al atravesar la canopia también determinan una menor insolación directa de la superficie del suelo bajo dosel.

Además cuantitativamente, la radiación será mayormente absorbida por el dosel, generando una reducción del flujo de energía saliente de onda corta, es decir se genera una disminución del albedo. Por otro lado en cuanto a radiación directa del suelo, esta se ve reducida, y por lo tanto, también el flujo saliente de radiación de onda larga emitida por el suelo. No solo la radiación incidente sobre el suelo se reduce, sino que esto repercute en la radiación de onda larga saliente desde el suelo por efecto de retención por parte de la cubierta forestal. El conjunto de fenómenos descritos anteriormente, tanto a nivel de canopia y bajo el dosel provocará una disminución en la amplitud del balance neto de energía debajo de la cubierta forestal (Munka, 2017).

2.2.4.5 Radiación solar

La luz es un elemento clave en las modificaciones del aparato fotosintético de las plantas. Representa uno de los factores más importantes que actúan sobre el crecimiento y también el desarrollo de las plantas, en conjunto con el oxígeno, el dióxido de carbono (CO_2) y minerales. Ante variaciones en la radiación se desencadenan una serie de efectos en los procesos fisiológicos de las plantas. La luz influye en procesos fisiológicos de las plantas como germinación de las semillas, apertura estomática, pigmentación, inducción a floración y tasa de floración, senescencia, inducción a la dormancia, longitud y diámetros de entrenudos, la forma y tamaño de hojas, raíces y flores. Las plantas que reciben menos luz de su nivel óptimo producen hojas pequeñas, delgadas y tienen un menor peso total. Por su parte aquellos individuos que superen sus umbrales de radiación, incluso lleguen a niveles de exceso de radiación pueden sufrir deshidratación, perder dominancia apical, perder coloración debido a la destrucción de la clorofila, entre otros aspectos demostrativos de una situación de estrés (Rojas, 2015).

Hay una marcada diferencia estacional en la radiación incidente por sobre la superficie del planeta. Los valores más altos se dan en verano, mientras que en la estación invernal, estos valores se hacen mínimos (Rojas, 2015).

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) captada por un vegetal determina la cantidad de materia seca producida y la calidad de la producción (Raffo y Iglesias, 2004). Sin embargo, hay ciertos niveles o umbrales denominados de saturación en los que ante un aumento de radiación no hay aumentos en las tasas fotosintéticas (Iglesias y Muñoz, 2007).

Según Monteith (1977) siempre y cuando factores como nutrientes, agua y temperatura no sean limitantes, la radiación fotosintéticamente activa es el principal factor determinante para el crecimiento de la pastura. La relación rojo/rojo lejano constituye un índice de la densidad y cercanía de la vegetación. Es un indicador de proximidad de la planta vecina, pudiendo gatillar cambios morfológicos importantes para evitar la sombra como el alargamiento del tallo (Bustos, 2009). Carillo (2004) afirma que la relación rojo/rojo lejano establece un fotoequilibrio entre las formas Pr y Pfr de los fitocromos. La radiación solar directa R/RL es constante y con valores entre 1,05 y 1,25. Los pigmentos fotosintéticos de las plantas absorben luz de casi todo el espectro visible mientras que son casi transparentes al rojo lejano. Por eso en la zona de sombra vegetal la relación R/RL disminuye hasta valores entre 0,05 y 0,15.

Según Gallo (2006), las plantas que se desarrollan bajo los árboles disponen de menores cantidades de luz, esto es debido al efecto de la copa que intercepta radiación y hace que esta llegue en menor cantidad al suelo. Algunas especies logran suplir sus requerimientos de luz bajo el dosel, mientras que otras no logran alcanzarlo, viéndose esto reflejado en la producción de biomasa. El autor también afirma que la importancia del efecto depende de la cantidad de árboles en el sistema y el arreglo de los mismos dentro de este. La sombra puede ocasionar una disminución en la producción de forraje en volumen, a pesar de que el forraje generalmente presenta una mejor calidad, sobre todo tratándose de proteína cruda, que se ve elevada bajo condiciones de sombra.

El manejo de la luminosidad en el sistema es de suma importancia, ya que determinará el crecimiento de la pastura y por ende la producción animal. Para obtener una producción equilibrada es necesario un correcto manejo de la luminosidad. Este factor es de suma importancia, ya que determina a qué ritmo crece la pastura (Fedrigo et al., 2018). Es posible modificar la luminosidad con distintos manejos como los son los marcos de plantación y con la realización de podas y raleos (Sotomayor y Teuber, 2011).

2.2.4.6 Competencia y aporte de nutrientes

Según Fernández (2018) la diferencia en la extensión y la eficiencia de absorción de las raíces de las plantas asociadas es muy importante en la competencia por los nutrientes. Una de las características positivas de los sistemas silvopastoriles es que el componente arbóreo es eficiente en la translocación de nutrientes de capas más profundas de suelo a la superficie, donde pueden permanecer disponible para plantas herbáceas con raíces poco profundas. Además reduce los procesos de lixiviación de nutrientes en el perfil del suelo (Fedrigo et al., 2017).

Otra característica importante según Fedrigo et al. (2017) es debido a la alta densidad de raíces en los primeros centímetros de suelo proveniente del componente herbáceo, resulta en el aumento del ciclaje de nutrientes y además favorece la formación de materia orgánica. Los sistemas silvopastoriles generan un ambiente propicio para mejorar potencialmente características químicas y físicas de los suelos donde son practicados, y además que aumenta la posibilidad de acumulación de nutrientes por parte de los árboles y arbustos. Camarao et al. (1990), afirman que “...*algunas leguminosas y no-leguminosas de la comunidad de plantas invasoras de pasturas cultivadas de la Amazonía Oriental son concentradoras de Ca, P y algunos micronutrientes*”.

El componente de pasto, a su vez, puede desempeñar un papel decisivo en la protección del suelo en los sistemas silvopastoriles. Esta protección es particularmente eficaz en la fase de establecimiento (principalmente si se hace con leguminosas), cuando el desarrollo de los árboles todavía no permite una buena cobertura del suelo, o incluso en la edad adulta (Camarao et al., 1990).

2.2.4.7 Disponibilidad de agua

La presencia de árboles permite una mayor infiltración y retención de agua debido a mejoras en las características físicas del suelo por efecto de las raíces, las cuales promueven la formación de agregados, y rompen con su crecimiento posibles zonas de encostramiento o endurecimiento del suelo. En caso de que dejen de ser funcionales, generan canales naturales que favorecen la circulación del agua dentro del perfil y además también la aireación del mismo (Gallo, 2006).

Según Gallo (2006), debido al efecto del sombreado, la evapotranspiración de las plantas se ve reducida, pero muchas veces esa reducción del consumo por parte de la pastura se ve contrarrestado por el consumo de los árboles que dependiendo de las condiciones pueden llegar a consumir grandes cantidades de agua. La modificación del microclima, resultante de la presencia del componente arbóreo, en el balance hídrico del suelo, contribuye al aumento de la humedad disponible para las plantas bajo las copas de los árboles (Fedrigo et al., 2017).

Karki y Goodman (2014) afirman que los árboles maduros (18-20 años) presentes en sistemas silvopastoriles, tienen una mayor demanda y un sistema radicular más extenso para poder absorber y utilizar el agua disponible en comparación a sistemas con árboles jóvenes. De esta manera los autores concluyen que a pesar de una menor evapotranspiración en especial por la vegetación del sotobosque, en comparación con la vegetación a cielo abierto, la demanda de agua será mayor en sistemas silvopastoriles con árboles maduros.

2.2.4.8 Temperatura y humedad del suelo

Según Sánchez (1972) la temperatura del suelo está relacionada a condiciones climáticas, propiedades del suelo, contenido de humedad, como así también a los característicos de la cobertura. La temperatura del suelo agrícola condiciona los procesos microbianos que tienen lugar en el suelo. La temperatura también influye en la absorción de los nutrientes, especialmente del fósforo que es menor en suelos fríos.

La temperatura media del suelo varía según el arreglo, densidad y altura de los árboles. Se han registrado reducciones de 3,8 °C en verano en árboles con una altura promedio de 6-8 metros y de 2,1 °C en árboles menores a 6 metros (Bahamonde et al., 2009). Estos cambios son positivos para el crecimiento de las especies forrajeras, especialmente las invernales. Debido a los valores extremos de temperatura del suelo registrados en los meses más calurosos, su efecto negativo resulta más relevante que la temperatura del aire. Altas temperaturas del suelo inhiben la fotosíntesis y la síntesis de citocinina, hormona responsable de la producción de nuevas hojas y macollos y del retraso en la senescencia (Wang et al., 2003).

El crecimiento y desarrollo de las plantas transcurre normalmente dentro de determinados límites. El proceso de germinación depende de la temperatura del suelo, más que la del aire. La temperatura de germinación además es variable según las especies. Por otra parte, la absorción de nutrientes, siempre y cuando haya humedad adecuada en el suelo, depende en gran medida de la temperatura del suelo. La actividad de determinados microorganismos del suelo depende también de la temperatura edáfica. Los fijadores de nitrógeno que ven disminuida su actividad por debajo de los 10 °C y aumenta con el consiguiente aumento de la temperatura, hasta determinados límites (UNLP, 2017).

Según Ribaski et al. (2005) en los sistemas silvopastoriles se presentan alteraciones en la temperatura del suelo causado por el componente arbóreo, por lo general la temperatura del suelo es menor en el interior del bosque. Wilson (1996) remarcaba que ese cambio en la temperatura es importante en la reducción del déficit hídrico, sobre todo en las regiones donde las temperaturas son más elevadas. La retención de la humedad en el suelo por un mayor período de tiempo puede aumentar el crecimiento de las gramíneas ya sea por el menor déficit hídrico o por el favorecimiento de la actividad microbiana.

En cuanto a sistemas silvopastoriles con relación a la humedad disponible en el suelo se ha constatado que puede ocurrir competencia entre las raíces de los árboles y las pasturas, siempre y cuando el suelo no esté completamente saturado en agua (Peri et al., 2016). El componente arbóreo

además de la competencia posee otros efectos sobre el suelo, y así lo destaca Houghton (1984) haciendo referencia que los árboles pueden actuar en el control de la erosión hídrica y eólica. La reducción de los vientos ayuda a disminuir la pérdida de humedad en los suelos. El control de la erosión hídrica por efecto de los árboles se debe a los siguientes efectos:

- 1) Reducción en la intensidad de la lluvia que llega al suelo
- 2) Aumento en la infiltración de agua
- 3) Mantener un contenido adecuado de materia orgánica en la superficie
- 4) Efecto agregado de las partículas del suelo

Munka (2010) señala que los árboles pueden modificar la dinámica del agua en el suelo, con tendencia a la disminución de su disponibilidad subterránea. Una síntesis de 26 estudios que se realizaron en distintas cuencas hidrográficas alrededor del mundo, indican una reducción del 39% en el volumen de agua disponible (un promedio de 167 mm/año), siendo mayor el efecto con Eucalyptus que con Pinus (Farley et al., 2005). Estudios en Uruguay han encontrado una mayor hidrofobicidad bajo plantaciones forestales, debido a la mayor presencia de compuestos orgánicos bajo vegetación de Eucalyptus y Pinus que bajo pasturas nativas (Rodríguez, 2008).

Además de los factores que se ven alterados en los sistemas agroforestales, Stadtmuller (1994) indica que pueden reducir la contaminación del agua de suelo por nitratos y otras sustancias perjudiciales para el ambiente y la salud humana. Como resultado del menor escurrimiento y por la filtración de las micro cuencas hidrográficas con cubierta forestal, se produce agua de mejor calidad.

2.2.4.9 Factores edáficos

La utilización de árboles en los sistemas silvopastoriles, genera cambios de distinta índole a nivel del suelo, tanto en propiedades físicas como químicas. Uno de los mayores aportes de la forestación a los sistemas ganaderos es el aumento de la captación y almacenamiento de carbono en el suelo, que colabora en las estrategias para mitigar la producción de gases de efecto invernadero (Sharrow y Ismail, 2004).

En la forestación la acumulación de mantillo incrementa los niveles de materia orgánica a nivel de suelo, debido al constante aporte por parte de los árboles mediante ramillas, hojas o corteza que a medida que caen en la superficie comienzan su ciclo de descomposición (Fedrigo et al., 2017). En los sistemas

silvopastoriles, el efecto de la sombra sobre el suelo genera aumento en la disponibilidad de nitrógeno. Este aspecto está relacionado a la mejoría del ambiente bajo la copa de los árboles, que permite una actividad microbiana más eficaz en la descomposición de la materia orgánica que se traduce en una mayor liberación de nitrógeno mineralizado. La dinámica del proceso de descomposición se torna aún más eficiente con la presencia de leguminosas en el sistema cuando la relación carbono/nitrógeno es baja (Wilson, 1996).

El humus es cotidianamente utilizado como sinónimo del término materia orgánica del suelo, y alude a compuestos orgánicos, que no se encuentran bajo forma de residuos que fueron parcialmente desintegrados. Ese material parcialmente descompuesto es muchas veces incluido en la definición del término materia orgánica del suelo. Sin embargo, humus tiene un concepto preciso y hace referencia a sustancias húmicas, además de los productos de re síntesis por parte de los microorganismos que actúa en y sobre el suelo y que además se transforman en estables. Si bien el humus siempre está presente en el suelo, el porcentaje de composición varía considerablemente de un tipo de suelo a otro.

2.3 DESCRIPCIÓN DE ESPECIES

2.3.1 *Holcus lanatus*

El centro de origen de la especie está radicado en la Península Ibérica, mediante un proceso de colonización se dispersa a toda Europa y al noreste africano. Mediante la influencia humana en lo que respecta a actividades pastoriles la especie se extiende a áreas agrícolas en regiones templadas de las Américas, Sudáfrica y Australia (Jacques, 1962).

También conocido como pasto lanudo, *Holcus lanatus* es una gramínea invernada, bianual o perenne de vida corta. Presenta una adaptabilidad a un amplio rango de suelos, tolera el mal drenaje y los déficits hídricos en suelos superficiales. Sus requerimientos de fertilidad son bajos, aceptando suelos pobres y ácidos. Ante la variabilidad climática presentan una gran plasticidad (Carámbula, 2002).

El *Holcus lanatus* tiene un sistema radicular amplio y agresivo el cual le permite explorar grandes volúmenes de suelo. Presenta un buen establecimiento con crecimiento inicial lento y un buen potencial de producción de forraje otoño-invierno-primavera, teniendo problemas en verano. Su valor nutritivo es aceptable y su tolerancia a la defoliación intensa y frecuente es media (Carámbula, 2002). En lo que a palatabilidad respecta no es una especie apetecible en sentido relativo. Cuando el animal tiene libre elección la preferencia

es hacia otras especies y esto se atribuye en muchos casos a la pubescencia (Jacques, 1962).

Percival (1984) señala que en Nueva Zelanda, *Holcus lanatus* es una de las pocas especies que prospera bien en los sistemas agroforestales de *Pinus radiata* junto con *Lotus maku*. Ambas especies se complementan presentando sus períodos de productividad en épocas distintas.

Devkota et al. (1997) realizaron un experimento en el cual evalúan la morfología y la tolerancia a la sombra de *Holcus lanatus*, *Dactylis glomerata*, *Poa trivialis*, *Lolium perenne*, y *Festuca arundinacea*. Las especies fueron sometidas a diferentes niveles de radiación fotosintéticamente activa. Los resultados mostraron que a menor nivel de RFA, es decir mayor sombreamiento, en lo que respecta a peso seco de brote por planta *Holcus lanatus* presentó el mayor. El área foliar aumentó con un aumento de RFA en todas las especies, sin embargo en sombra densa (menor nivel de RFA) fue *Holcus lanatus* quien presentó el mayor IAF. Por último en lo que respecta a la cantidad de macollos, *Holcus lanatus* y *Dactylis glomerata* fueron las especies con una mayor cantidad a mayor sombreado (menor nivel de RFA).

El cultivar “INIA VIRTUS” presenta un hábito vegetativo semi-postrado, gran versatilidad y rusticidad. Planta foliosa de buena calidad que se asocia bien con leguminosas. Alta producción de semilla y capacidad de resiembra. La producción invierno-primaveral es alta. La variedad se obtuvo luego de cuatro ciclos de selección sobre el cultivar “La Magnolia” presentando una mejor sanidad foliar que le confiere mayor persistencia, mejor palatabilidad y favorece la producción de semilla con respecto a este último. El cultivar es sensible al estrés hídrico por lo que es recomendable contar con área foliar remanente en el período estival (Ayala et al., 2017).

2.3.2 *Dactylis glomerata*

También conocido como pasto ovillo o pasto azul, *D. glomerata* es una gramínea perenne, invernal y cespitosa. Requiere suelos medianos a pesados, fértiles y permeables; siendo menos sensible a la acidez de suelos y a problemas de toxicidad mineral. Presenta una buena adaptación a suelos de fertilidad moderada y baja humedad, siendo intolerante a excesos de humedad. Su sistema radicular es superficial, pero tolera períodos cortos de sequía (Carámbula, 2002).

D. glomerata presenta buena digestibilidad y buena aceptabilidad al mantenerse corto, siendo clave un manejo adecuado en verano. Su respuesta al pastoreo rotativo es muy buena y es un buen productor de semilla. Es apropiado

para siembras asociadas con cereales y es la gramínea perenne que mejor controla la gramilla. Presenta baja persistencia reproductiva y susceptibilidad a la roya dependiendo del cultivar (Carámbula, 2002).

Carámbula (2002) afirma que no es adaptable a pastoreo con ovinos. Almonacid (2018) demuestra mediante un experimento que en una pradera polifítica, los ovinos seleccionan *Lolium spp.*, y *Bromus valdivianus*, y rechazan a *Dactylis glomerata*.

Se trata de una especie moderadamente resistente al frío, con buenas producciones a temperaturas elevadas con buen suministro hídrico. Esta gramínea posee un sistema radicular superficial, por lo que se debe de promover mediante el manejo una buena producción de raíces antes y después del verano, buscando la persistencia de la especie durante este. Acepta defoliaciones las cuales no deben de ser muy intensas, ya que las sustancias de reservas se encuentran en la base de los macollos y en las vainas de las hojas. Al poseer un crecimiento otoño-inverno-primaveral, se recomienda su siembra en conjunto con leguminosas como trébol rojo o blanco. Las mezclas con estas leguminosas pueden ser importantes en suelos húmedos, sobreviviendo más fácilmente en el verano y produciendo buenos volúmenes de forraje (Carámbula, 2002).

En el experimento realizado por Devkota et al. (1997) el cual se mencionó anteriormente demostró la buena tolerancia *Holcus lanatus* a la sombra. *Dactylis glomerata* fue la especie que siguió a *Holcus lanatus* en peso seco de brotes por planta a menor nivel de RFA, área de hoja a mayor sombreado, y número de macollos por planta. Como conclusión se demostró que dentro de las especies evaluadas, *Holcus lanatus* y *Dactylis glomerata* fueron quienes presentaron mayor tolerancia a la sombra.

“INIA Le Oberón” es un cultivar tardío el cual florece próximo al 23/10. Posee un hábito semierecto con muy buen vigor inicial, su adaptación a la región es muy buena creciendo todo el año. Fue seleccionado por producción otoño-invernal, sanidad foliar y persistencia. Desde su liberación ha presentado una excelente adaptación tanto en Uruguay como en Argentina (Ayala et al., 2017).

El cultivar presenta una adaptabilidad a un amplio rango de suelos, viéndose su mejor performance en suelos de texturas medias y permeables. No debe de usarse en suelos húmedos con mal drenaje, ya que no tolera los excesos hídricos. Presenta buena resistencia a la sequía destacándose de otras gramíneas perennes en veranos secos. Admite siembras asociadas a leguminosas y cereales por su buena tolerancia a la sombra. Se recomienda su uso para mezclas de praderas de larga duración, en suelos de menor potencial y fertilidad (Ayala et al., 2017).

2.3.3 Festuca arundinacea

Gramínea perenne invernal, cespitosa a rizomatosa con rizomas muy cortos. Se adapta a un amplio rango de suelos, prosperando de mejor manera en suelos medios a pesados y tolerando suelos ácidos y alcalinos. En lugares húmedos su crecimiento es correcto, presentando a la vez, resistencia a la sequía. *F. arundinacea* admite pastoreos intensos y frecuentes, no es necesario un reposo estival pero si un correcto manejo en verano. Presenta muy buena persistencia y es muy buena productora de semilla bajo buena fertilidad. La palatabilidad de la especie es baja en el estado reproductivo, a su vez esta varía según el cultivar y el manejo. Su establecimiento es lento y en el estado de plántula es muy vulnerable a la competencia. No se resiembra naturalmente y presenta susceptibilidad variable a la roya (Carámbula, 2002).

Según Carámbula (2002), *F. arundinacea* es una de las gramíneas perennes de mayor importancia y de mayor utilización en la región. Como se mencionó anteriormente el estado de plántula es vulnerable por lo que el manejo debe ser muy criterioso para no sufrir problemas por competencia tanto de malezas como de otras especies. Otros de los problemas de la especie es la falta de aceptabilidad en estados avanzados, es una planta que debe de ser utilizada tal que no crezca mucho, ya que pierde digestibilidad y el animal la rechaza. La especie presenta altos requerimientos de nitrógeno que se pueden suplir por fertilizantes nitrogenados o mediante leguminosas asociadas. El comportamiento de la especie cambia de manera radical ante la ausencia de nitrógeno, tornándose amarillenta, brotando lentamente y siendo rechazada por animales. Qihua et al. (2011) indican que sus caracteres especiales diferentes a los mencionados anteriormente, son la tolerancia al pisoteo, tolerancia a la sombra (50%) y sensibilidad a los fertilizantes.

Perrachón (2020) asegura que manejar una gramínea perenne en la pradera es clave y que *Festuca* es una de las más utilizadas en el país. El mismo indica manejos con los cuales se esperaría que la especie ya nombrada tenga éxito.

La densidad de siembra es de entre 10 a 15 kg.há⁻¹ cuando se siembra pura y entre 9 a 12 kg.há⁻¹ cuando se siembra con otras especies (Perrachón, 2013). Las semillas son poco vigorosas por lo cual la implantación es lenta, cuanto más grande sea la semilla mayor será el porcentaje de implantación. La capacidad de resiembra es baja, por lo tanto es deseable lograr un buen número de plantas nacidas a la siembra. Es aconsejable sembrar lo antes posible en el otoño dado su lenta implantación, asegurando buena humedad en el suelo para que no llegue a los períodos de frío con poco desarrollo radicular (Perrachón, 2020).

Allard et al. (1991) realizaron un experimento con los objetivos de determinar el efecto de la radiación en la anatomía de las hojas y la partición de materia seca de *Festuca arundinacea*. En el experimento, las plantas se cultivaron al aire libre durante 10 semanas durante el verano de 1986 y el otoño de 1987 con o sin tela de pantalla para dar irradiancias de 30%, 60% o pleno sol. La producción de materia seca total de la planta se redujo a baja irradiancia (30%), principalmente debido a menos macollos por planta. La relación brote/raíz y la relación del área foliar (área foliar por peso seco de la planta) fueron más altas para las plantas cultivadas con irradiancia baja que para las cultivadas con irradiancia alta. Las láminas foliares desarrolladas recientemente en plantas con baja irradiancia eran 54 o 65% más largas y tenían 56 o 77% más de área foliar, pero eran 12% más delgadas y tenían 18 o 25% menos peso específico de las hojas que aquellas cultivadas con alta irradiancia. El ancho de la hoja no se vio afectado.

Belesky et al. (2011) determinaron la producción de macollos en función de la disponibilidad de luz, altura de luz y altura de corte, para *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata*. En primer lugar, la producción de macollos fue mayor en lugar sin sombra y menor en lugar con sombra, independiente de la altura de corte. Las tendencias en la producción de macollos fue la siguiente: *Dactylis glomerata* > *Festuca arundinacea*; sitios sin sombra > sombra parcial > sombra densa. *Dactylis glomerata*, pero no *Festuca arundinacea*, mantuvo producción de hojas y tallos en los lugares sombreados, lo que sugiere que la primera especie es adecuada para su uso en silvopastoreo.

El cultivar “Rizar” es un material de festuca continental-rizomatosa el cual presenta un hábito de crecimiento semipostrado y una alta producción de forraje. Presenta un alto rendimiento anual destacándose su persistencia. La producción otoño-invernal de este cultivar es excelente. “Rizar” fue seleccionado por persistencia, sanidad, y alta presencia de rizomas, destacándose por formar un tapiz denso. Estas características distintivas hacen que se adapte muy bien a ambientes marginales en los cuales se busca alta productividad. Se puede aplicar a muchos sistemas de producción (Ayala et al., 2017).

2.4 IMPLANTACIÓN

2.4.1 Germinación y emergencia

La germinación de semilla abarca tres etapas las cuales son sucesivas y pueden llegar a superponerse parcialmente. La primera etapa es la de imbibición, la cual consta del ingreso de agua, lo que provoca un hinchamiento y una posterior ruptura final de la testa. La segunda etapa se da con el inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio. Ocurre la translocación y

asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión. Por último, en la tercera etapa, ocurre el crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula. Se observa que en la mayoría de las semillas el agua ingresa por el micrópilo y la primera manifestación de la germinación exitosa es la emergencia de la radícula (Vásquez et al., 1997).

Una vez la semilla en el suelo es el agua la clave para poder iniciar los cambios fisiológicos que dan lugar a la germinación, esta es indispensable para activar el metabolismo y el crecimiento de las células de los tejidos de las semillas. Condiciones ambientales como humedad del suelo, humedad del aire, temperatura y características de la semilla como permeabilidad, composición química de las reservas y contenido de humedad, afectarán la cantidad de agua que absorbe y la velocidad a que lo hace esta misma. Algunas semillas toleran cierto grado de sequía mediante la pérdida de humedad, entrando en un estado de quiescencia (Vásquez et al., 1997).

Carámbula (2002) afirma que la emergencia se basa en la aparición de la plántula sobre el suelo. Al ser una etapa no fotosintética, el crecimiento de la plántula depende de las reservas de la semilla, por lo que la velocidad de emergencia juega un rol clave teniendo en cuenta la infinidad de amenazas a la que esta se expone. En las gramíneas la velocidad en que la plántula emerge y crece en sus primeras etapas depende del grado de utilización que hace de sus reservas endospermicas. Cabe aclarar además que tanto en leguminosas como en gramíneas, los porcentajes de emergencia son afectados por la profundidad de siembra de la semilla.

2.4.2 Establecimiento

El establecimiento o también dicho porcentaje de establecimiento, hace referencia al número de plántulas que se establecen y se expresa como porcentaje del número de semillas viables que fueron sembradas. Este porcentaje antes mencionado está limitado por el período de desarrollo el cual finaliza entre 10 y 12 semanas post siembra. El porcentaje de establecimiento es la sumatoria de los porcentajes de germinación y de mortalidad, por lo que sintetiza la capacidad de cada especie o cultivar para contribuir a la composición de la pastura. Luego de la germinación y la emergencia, la velocidad de crecimiento juega un rol clave en la producción inicial de forraje. El porcentaje de establecimiento es afectado por la especie y cultivar, también por la disponibilidad de nutrientes y profundidad de siembra (Carámbula, 2002).

En esta etapa, la disponibilidad de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno debe de ser considerado un factor de suma importancia al cual hay que prestarle

atención. Es conocida la importancia de estos nutrientes en el crecimiento inicial de gramíneas y leguminosas, ya que una vez que la plántula se independiza de su propia semilla pasa a depender totalmente de los nutrientes del suelo. Muchas veces la cantidad de estos nutrientes pueden determinar la dominancia de unas especies sobre otras. En muchas oportunidades, generalmente con siembra directa, la fertilización con un fertilizante binario NP es indiscutible (Carámbula, 2002).

2.5 PRODUCCIÓN DE BIOMASA

2.5.1 Tasa de acúmulo y producción de forraje

El crecimiento de los pastos involucra procesos de gran importancia como: la aparición de hojas, la aparición de tallos y la aparición de raíces. El ambiente caracterizado por el suelo y el clima, tiene gran influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas y por lo tanto en su rendimiento. La luz solar y la temperatura afectan la tasa de crecimiento de las especies forrajeras así como la tasa y tiempo de desarrollo de los estados fenológicos (Matthew et al., 2001).

En sistemas silvopastoriles la productividad del componente herbáceo depende de la interacción de factores ambientales y de la manera en la que el manejo afecte la capacidad fotosintética y aspectos morfológicos de la pastura en el sotobosque (Ong et al., 1991).

Según Monteith (1977) siempre y cuando factores como nutrientes, agua y temperatura no sean limitantes, la entrada de energía solar como radiación fotosintéticamente activa es el principal factor determinante para el crecimiento de la pastura. Sin embargo, los árboles modifican tanto la intensidad como la calidad de la radiación entrante. Específicamente, en los sistemas silvopastoriles, las plantas del sotobosque experimentan frecuentes fluctuaciones en irradiancia de pleno sol a sombra causada por el dosel de los árboles (Miah et al., 1995). Joshi (2000) constató que el rendimiento de *Dactylis glomerata* irrigadas por debajo de 650 árboles.há⁻¹ se redujo en un 55% y en un 16% por debajo de 300 árboles.há⁻¹ en comparación con los pastos abiertos.

Cambios en la cantidad y calidad de luz (relación rojo/rojo lejano) debajo de los árboles pueden modificar el IAF, ya que se puede promover un alargamiento del tallo inhibiendo el macollaje (Casal et al., 1987). Garnier y Roy (1988) han informado que la intensidad de la luz reducida y los cambios en la calidad de la luz reducen el macollamiento y por lo tanto es probable que reduzcan el IAF. Generalmente en pastos, altos niveles de sombra alentarán a las plantas a estar más etioladas donde el crecimiento más alto es un esfuerzo

por obtener un mayor acceso a la luz disponible en la competencia con plantas vecinas (Peri, 2002).

En algunos casos es posible determinar el rendimiento de un determinado forraje por medio de la producción de materia seca, lo cual es posible a través de los métodos directos (evaluación por corte) y los métodos indirectos (estimación visual, altura comprimida, capacitancia electrónica) (Cantero y Montero, s.f.). Estrada (2002) indica que los métodos directos, también llamados destructivos, son aquellos en que la cantidad de forraje se mide por corte manual o mecánico. Siempre y cuando el número de muestras sea adecuado, un método directo será un indicador objetivo del rendimiento del forraje mediante la estimación de la disponibilidad de materia seca. Según Barrera (1977) determinar la disponibilidad de forraje mediante el método de corte parece ser la manera más exacta a pesar de tener desventajas como requerir gran cantidad de tiempo tanto en el potrero como en el laboratorio y que el hecho de cortar el forraje lo transforma en un método destructivo, en donde se remueven los tejidos necesarios para la fotosíntesis.

Según Barnhart (1998), para realizarlo, se debe cortar el forraje de manera representativa. Mientras que las evaluaciones se realizan utilizando un marco que puede ser circular, cuadrado o rectangular de diferentes materiales, de dimensiones de 0,25 x 0,25 m, 0,50 x 0,50 m o 1 x 1 m. El procedimiento se realiza cortando a ras de suelo, abarcando distintos lugares que representen la variabilidad de la vegetación existente, luego se recolecta el forraje cortado, se guarda en bolsas, se identifica, se le extrae el aire comprimiendo la bolsa y posteriormente se registra el peso verde, resulta clave restar el peso de la bolsa para obtener solamente el peso del forraje y así calcular el rendimiento de materia verde por hectárea, posteriormente se lleva al laboratorio para determinar la materia seca del forraje y así poder determinar el rendimiento de materia seca por hectárea (Barnhart 1998, Estrada 2002, Bernal 2003, Teuber et al. 2008).

La obtención de datos de materia seca en el laboratorio que se hace utilizando hornos de ventilación forzada a temperaturas que oscilan entre 60 a 105 °C de 24 a 72 horas, este procedimiento es lento, pero se asegura que no se altere la composición nutricional del forraje (Church 1987, Teuber et al. 2008).

2.5.2 Relación hoja:tallo

La relación hoja/tallo indica la proporción de hojas y tallos que tiene una especie y se expresa en base a materia seca, la cual varía sobre todo según la época del año, variedad y el manejo utilizado. La proporción de hojas con respecto a los tallos (relación hoja:tallo) es un indicador de calidad muy importante. Se busca que esta sea lo más alta posible; las hojas son más

digestibles, tienen un contenido de proteína superior y por lo tanto mayor valor nutritivo y su calidad se conserva durante más tiempo que la de los tallos (Fick y Holthausen, 1985).

Se estima que a mayor proporción de hojas, en relación a los tallos, mayor calidad (INIA, s.f.). Romero et al. (2002) observaron mediante un experimento que a medida que avanza el estado de madurez del cultivo, hay un aumento en la producción (kgMS.há^{-1}), mientras que la calidad de la alfalfa representada por la relación hoja/tallo disminuye como consecuencia de una menor proporción de hojas con respecto a los tallos.

El interés del sector ganadero en lo que respecta a pastos y forrajes se basa en la acumulación de materia seca que ocurre en las hojas, dado que es la parte de la planta preferentemente consumida por el animal y que le aporta el mayor contenido de nutrientes y proteína. De la misma manera se tiene en cuenta la relación hoja:tallo a fin de determinar la proporción de asimilados destinados a las hojas. Desde el punto de vista de los aportes al sistema ganadero, es deseable una alta relación hoja:tallo, es decir, que la mayor proporción de asimilados se destinen a la producción de hojas, lo cual puede ser asociado con la calidad de la pastura como se mencionaba anteriormente (Atencio et al., 2014).

Mediante un muestreo destructivo, se puede determinar variables como materia seca, relación hoja/tallo, área foliar, etc. Para ello es necesario la extracción de plantas completas y la separación de hojas, tallos y raíces. A partir de los pesos de hoja y tallo, se determinó la relación de hoja:tallo (Atencio et al., 2014).

2.6 HIPÓTESIS

La distancia entre hileras de árboles y su orientación cardinal en sistemas silvopastoriles determina modificaciones espaciales y temporales en el microclima para el sotobosque, lo que genera un gradiente de respuesta productiva del componente forrajero, aspecto que es dependiente del genotipo forrajero utilizado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN Y TIPO DE SUELO

El experimento se realizó en la localidad de Fraile Muerto, departamento de Cerro Largo, Uruguay ($32^{\circ}37'10.59''\text{S}$ - $54^{\circ}28' 2.27''\text{W}$), en un predio correspondiente al padrón 11249 (Figura 1). De acuerdo a la carta de reconocimiento de suelos de Uruguay (Altamirano et al., 1976), el predio se encuentra en el límite de las Unidades Fraile Muerto y Tres Islas, sin embargo dadas sus características los mismos corresponden a la Unidad Tres Islas. El material generador corresponde a sedimentos arenosos, y la vegetación natural corresponde a campo natural con predominancia de especies estivales, las cuales forman una fisionomía heterogénea debido a la prevalencia de gramíneas postradas y erectas (formadoras de matas). A pesar de la existencia de otros tipos de suelo en el predio, para el presente trabajo las unidades experimentales (parcelas) fueron ubicadas solamente en suelos 2.14, de acuerdo con la clasificación CONEAT.



Figura No. 1. Mapa determinando los tipos de suelo presentes en el predio correspondiente al padrón 11249

Fuente: MGAP. RENARE (2020).

Los grupos CONEAT no son estrictamente unidades cartográficas de suelos, sino que constituyen áreas homogéneas, definidas por su capacidad productiva en términos de lana y carne bovina. Esta productividad se expresa por un índice relativo a la capacidad productiva media del país, a la que corresponde

el índice 100. En el caso del grupo 2.14, este tipo de suelo presenta índice de productividad 61. De acuerdo con la descripción CONEAT de estos suelos, los mismos se constituyen por “*sierras no rocosas, de relieve ondulado fuerte ha 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 abrupticos) arenosos a franco arenosos ródicos (praderas arenosas rojas); asociados a brunosoles dístricos lúvicos, arenoso 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, s.f.).*

De acuerdo con el análisis de suelo realizado inmediatamente antes de la implantación del experimento (marzo de 2019), el suelo presenta: textura franco arcillosa (43% de arena, 29% de limo y 28% de arcilla), fósforo (ppm) = 7, pH (H₂O)= 4,9, % carbono orgánico= 2,76 y % materia orgánica= 4,77.

3.2 DISEÑO Y MATERIAL EXPERIMENTAL

Las especies de gramíneas *Dactylis glomerata* cv. INIA LE Oberón, *Festuca arundinacea* cv. Rizar IGP 12 y *Holcus lanatus* cv. INIA Virtus fueron sembradas en 5 condiciones de interferencia del componente arbóreo: 1. en el sotobosque de árboles con hileras de 20 m de callejón y orientación Norte-Sur (N-S 20); 2. en callejones de 7 m y orientación Norte-Sur (N-S 7); 3. en callejones de 20 m y orientación Este-Oeste (E-O 20); 4. en callejones de 7 m y orientación Este-Oeste (E-O 7); y sin la interferencia del componente arbóreo (control). Para el control las especies forrajeras fueron sembradas en parcelas de 3 m de ancho x 5 m de largo, y para las áreas con interferencia arbórea las parcelas tenían 3,4 m de ancho y con largo de 7 o 20 m, variando de acuerdo con ancho del callejón. Para las 5 condiciones de interferencia arbórea, las 3 especies fueron sembradas en bloques completos al azar, totalizando 45 unidades experimentales (Figura 2).



Figura No. 2. Imagen satelital correspondiente a los ensayos

Fuente: MIEM. DINAMIGE (2017)

El período experimental se extendió desde marzo del 2019, donde se realizó la siembra de las gramíneas forrajeras, hasta diciembre del mismo año, donde se realizó la última evaluación.

3.2.1 Descripción del componente arbóreo

El componente arbóreo se caracteriza por clones del híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* establecidos en el año 2008 (11 años de edad en el inicio del experimento), en las orientaciones Norte-Sur y Este-Oeste. En ambas orientaciones los clones fueron plantados en hileras simples, con plantas espaciadas a 3,4 m en la hilera y con callejones de 7 m ($420 \text{ árboles.há}^{-1}$) y 10 m ($294 \text{ árboles.há}^{-1}$), que fueron podados en el año 2013. Para la generación de los gradientes de interferencia arbórea necesarios para el presente estudio, en diciembre de 2018 se removió en ambas orientaciones una de las filas de árboles que tenían callejones de 10 m, generando callejones de 20 m ($147 \text{ plantas.há}^{-1}$).

En agosto de 2019 fue realizada una descripción detallada de todos los árboles del experimento en los atributos: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura real, altura de tronco y longitud de copa (Cuadro No. 1). El DAP fue determinado por medio del uso de cinta diamétrica, la altura real y de tronco por

medio de un clinómetro, y la longitud de copa a través de la medición por medio de cinta métrica, a nivel del suelo, de la proyección de la última rama del árbol.

Cuadro No. 1. Valores promedios de diámetro de altura de pecho (DAP medio, cm), altura total media (m), altura de tronco (m) y longitud de copa de los árboles presentes en las 4 condiciones experimentales generadas en el presente estudio

Variable	Condiciones experimentales			
	20m N-S	20m E-O	7m N-S	7m E-O
DAP (cm)	28,1	31,2	26,1	27,4
Altura total (m)	30,1	32,2	31,3	29,7
Altura de tronco (m)	9,9	9,5	11,4	10,6
Longitud copa (m)	20,2	22,7	19,9	19,1

3.2.2 Preparación del área experimental

Para el adecuado establecimiento de los monocultivos forrajeros del presente experimento, fue realizado un corte de la vegetación existente a 5 cm en el día 15 de enero de 2019. Posteriormente, el día 23 de enero fue realizada la pulverización del área con el herbicida glifosato (Roundup®) a una dosis de 4 l.há⁻¹. Por tratarse de un herbicida de amplio espectro que permite la eliminación de hierbas perennes, el control permitió la eliminación total de las especies presentes, incluso de *Cynodon dactylon* que presentaba proporciones elevadas.

3.2.3 Siembra y fertilización

Las 3 especies forrajeras fueron sembradas por medio de simulación de siembra directa, con densidades que fueron corregidas por la germinación relativa de cada especie (Cuadro No. 2). Debido al tamaño reducido de las unidades experimentales y por tratarse de distintas especies repetidas y aleatorizadas en el espacio, aspectos que dificultan la operabilidad de la maquinaria, la siembra fue realizada por medio de la preparación del área con una sembradora directa y seguida por siembra manual, es decir se realizó una primera pasada de la sembradora sin semillas para luego utilizar las líneas como guía para la siembra manual. En conjunto con la siembra, la cual se realizó en marzo de 2019, se aplicaron 100 kg.há⁻¹ de 07-40-00.

Cuadro No. 2. Especie y cultivar utilizado, densidad objetivo de siembra (kg.há^{-1}), porcentaje de germinación (%) y densidad de siembra final (kg.há^{-1})

Especie	Cultivar	Densidad pretendida (kg.há^{-1})	% de germinación	Densidad final (kg.há^{-1})
<i>Dactylis glomerata</i>	INIA Le Oberón	10	84	12
<i>Festuca arundinacea</i>	Rizar	12	84	14
<i>Holcus lanatus</i>	INIA Virtus	6	81	7

A los 180 post siembra se aplicaron 50 kg.há^{-1} N en la forma de urea verde con una enzima que retrasa la nitrificación. La última aplicación se realizó 270 post siembra y se realizó con 40 kg.há^{-1} de superfosfato triple 0-46/47-0 (Figura 3).



Figura No. 3. Aplicación de fósforo al voleo

3.2.4 Dimensiones y arreglos del experimento

Como se aprecia en la Figura 2, se realizaron cinco experimentos de los cuales cuatro fueron bajo influencia de árboles. Dos de los experimentos se realizaron en dirección Norte-Sur, otros dos en dirección Este-Oeste y otro control. Dentro de los experimentos Norte-Sur y Este-Oeste se determinaron dos distancias entre filas de árboles en las cuales se realizó la evaluación, ellas fueron 20 y 7 metros. Cabe destacar que el experimento control se realizó sin la influencia de árboles.

3.3 MEDICIONES

3.3.1 Parámetros microclimáticos

Fueron instalados sensores para medición continua de las variables microclimáticas en los tratamientos control y en los callejones con distancia de 20m de entrefilas. Los sensores utilizados para medir los parámetros descritos a continuación fueron acoplados a un datalogger (Em50, Decagon®) programado para realizar mediciones a una frecuencia de 10 minutos:

- Temperatura y humedad del aire (sensor: VP-4, Decagon®)
- Temperatura y humedad del suelo (sensor 5TM, Decagon®)
- Radiación fotosintéticamente activa (sensor piranómetro Apogee®)

3.3.2 Muestreos

A los 210 post siembra se realizó el primer muestreo o evaluación, que consistió en ubicar cuadros de dimensiones conocidas (50 cm x 50 cm) dentro de cada bloque y a su vez dentro de la parcela correspondiente de cada especie. La colocación del cuadro no fue al azar, sino que se procuró colocarlo en la parte más representativa de la parcela. Se efectuaron tres cortes de forraje en los cuadros dentro de las parcelas de las especies correspondientes a cada ensayo y dos cortes en el control. Con la altura de corte se buscó simular una situación de pastoreo con un remanente de 10 cm, dichos cortes se efectuaron con una máquina de esquilar (Figura 4). Después de cada evaluación se utilizó una máquina cortadora de pasto Honda para cortar el resto de la parcela.

A partir de estos cortes se obtuvieron datos de kg de materia fresca y a posteriori de materia seca.



Figura No. 4. Corte de forraje en experimento control

Antes y post corte se determinaron los datos de altura de regla (Figura 5).

A los 240 y 270 días se realizaron dos muestreos más en los que se efectuaron las mismas mediciones que en el primero.



Figura No. 5. Medición de altura con regla en control

3.3.3 Determinación de la densidad volumétrica

Luego de realizar las mediciones correspondientes, se procedió a realizar el cálculo de densidad volumétrica del forraje. Dicho cálculo se realiza dividiendo la producción de MS ($t.há^{-1}$) de cada forraje, por su altura correspondiente. El

resultado que se obtiene, indica la disponibilidad de forraje por cada cm de altura de forraje en una hectárea ($\text{kgMS}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{há}^{-1}$). Dicho parámetro es un indicador de uso común en países donde el principal alimento del ganado es el pasto debido a que la densidad volumétrica es directamente proporcional al tamaño del bocado y consumo diario del animal (Allison 1985, Chilbroste 2002, Chacón 2011).

En dicho trabajo para determinar la relación entre la altura del pasto y la biomasa del forraje fueron construidos modelos de regresión seleccionados con base en los valores de AIC. Además una vez que se obtuvieron los modelos, estos fueron agrupados con criterios en los intervalos de confianza.

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental correspondiente a cada experimento es un diseño de bloques completos aleatorizados (DBCA). La comparación entre las distintas condiciones experimentales fueron por medio del modelo general de experimentos combinados (Moore y Dixon, 2015). Para los análisis, fue utilizado el software SAS University Edition (SAS/STAT®, SAS Institute Inc, NC, USA). Los promedios fueron comparados por medio del test de Tukey a 5%.

Cada experimento realizado (N-S 20 m, N-S 7 m, E-O 20 m, E-O 7 m y control) se dividió en tres bloques dentro de los cuales se realizaron de manera al azar los tratamientos. Cabe destacar que cada tratamiento se corresponde con una especie cultivada.

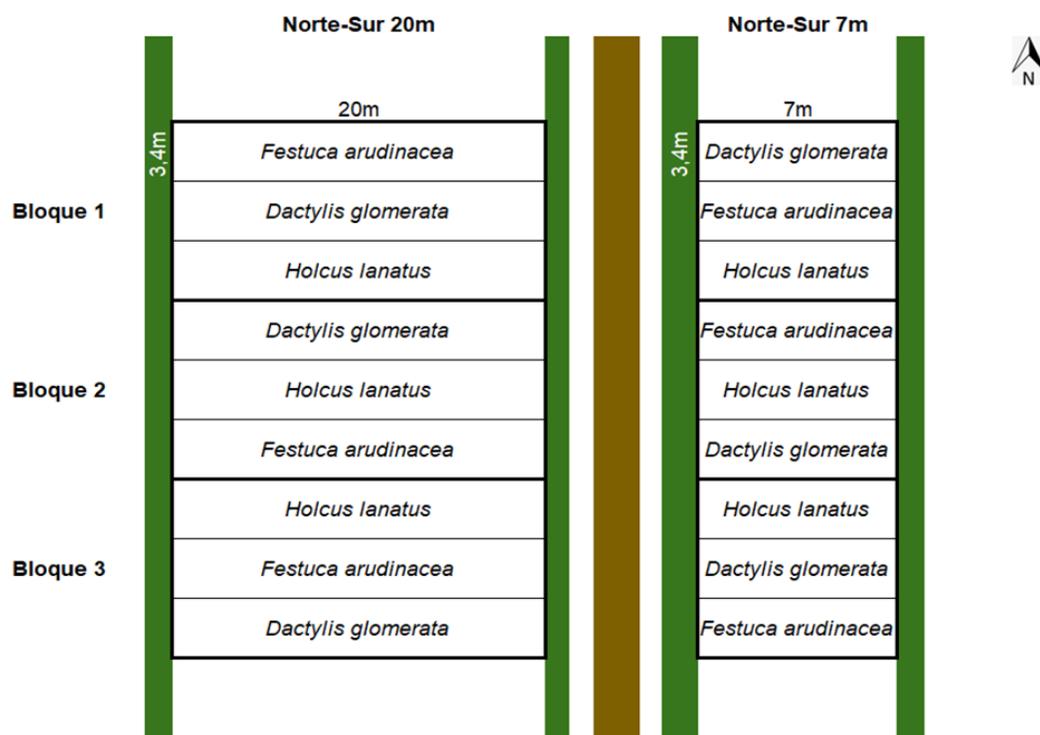


Figura No. 6. Experimentos N-S 20 m y N-S 7 m

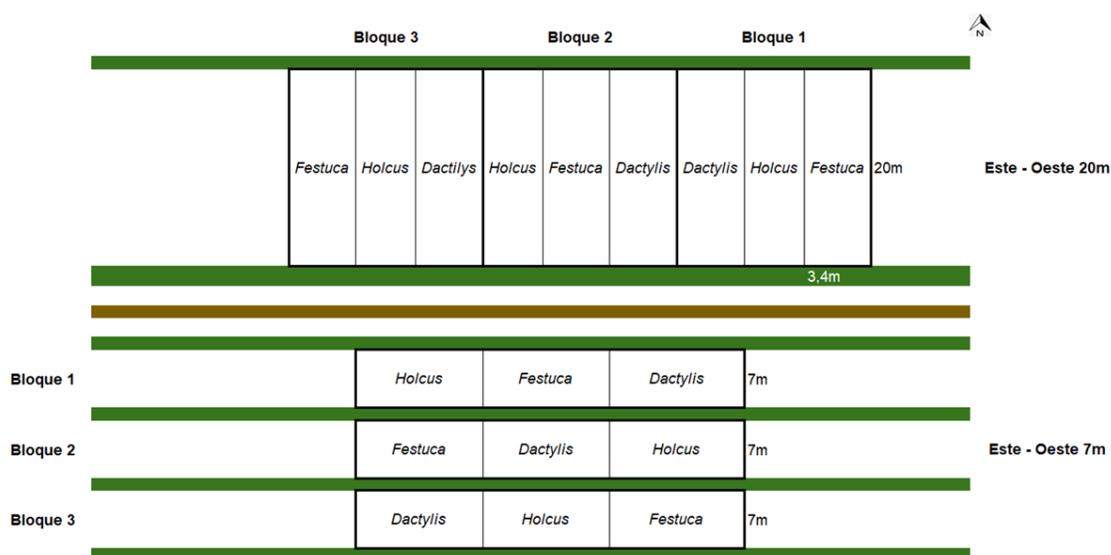


Figura No. 7. Experimento E-O 20 m y E-O 7 m

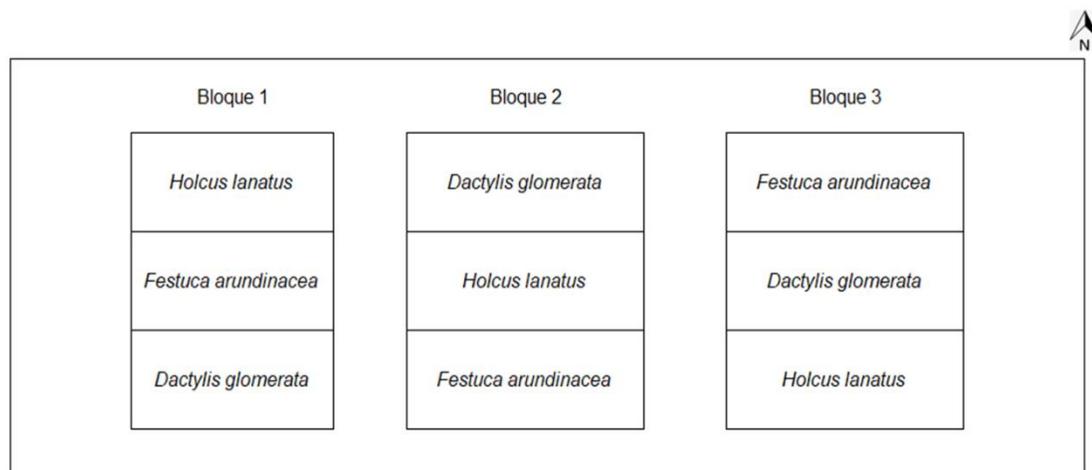


Figura No. 8. Experimento control

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS PARA EL PERÍODO EXPERIMENTAL

Se presenta a continuación un resumen de las condiciones climáticas para el año en el cual fue realizado el experimento, donde se evaluó si las mismas influyeron en los resultados obtenidos. Debido a la ausencia de equipos de evaluación microclimática suficiente para contemplar todos los ambientes generados en el presente experimento, los datos presentados a continuación se restringen a los tratamientos control y a la menor densidad arbórea.

4.1.1 Radiación fotosintéticamente activa (RFA)

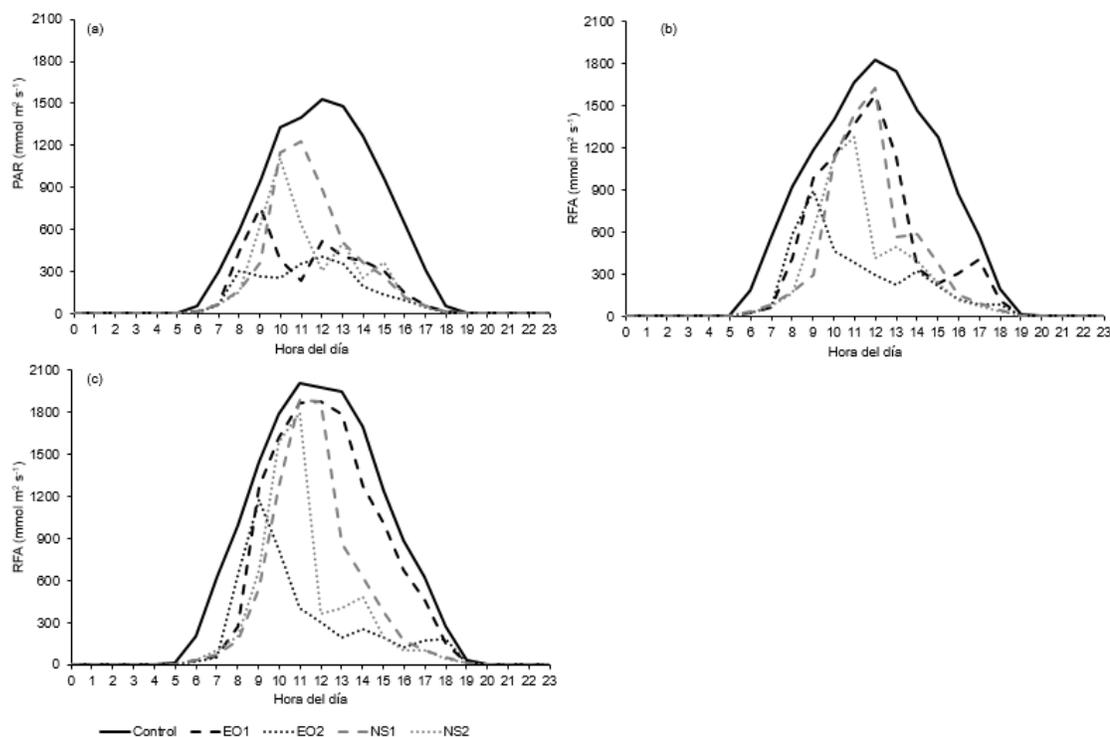
El régimen de luz (RFA) fue la variable microclimática que presentó las mayores variaciones entre las diferentes condiciones (Cuadro No. 3). En presencia de árboles con callejones de 20 metros con orientación E-O, el RFA disminuye 65% en octubre, 57% en noviembre y 48% en diciembre, en relación al tratamiento control (pleno sol). Ya en la orientación N-S la RFA disminuye 55% en octubre, 56% en noviembre y 55% en diciembre. Los resultados obtenidos confirman la hipótesis de que la distancia entre hileras de árboles y su orientación cardinal en sistemas silvopastoriles determina modificaciones espaciales y temporales en el microclima del sotobosque, generando un gradiente de respuesta productiva del componente forrajero.

No obstante, el patrón de sombreado mostró diferencias entre las orientaciones de las filas y el mes de medición. En la orientación E-O el RFA fue mayor para diciembre con respecto a la orientación N-S, pero la situación fue contraria en octubre y noviembre. El movimiento aparente del sol permitió que para el caso de las filas de árboles en la orientación E-O, donde el mismo permanece más tiempo sobre el callejón, una mayor radiación acumulada en el mismo durante el final de la primavera y comienzo del verano, y menos en octubre. En el caso de la orientación N-S, las filas de árboles se encuentran perpendiculares al movimiento del sol, lo que genera una mayor variabilidad diaria pero menos variabilidad anual con respecto a E-O.

Cuadro No. 3. Valor promedio, error estándar y rangos mensuales de radiación fotosintéticamente activa acumulada mensual (RFA, mol.m⁻²) en tres condiciones diferentes: sin árboles (control (C)) y con hileras de árboles (*E. grandis* x *tereticornis*) con callejones de 20 m en dos orientaciones diferentes (Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EO))

Condición	RFA acumulada por mes (mol.m ⁻²)		
	Octubre	Noviembre	Diciembre
C	30,1 ± 4,0 (6,01-182,35)	44,4 ± < 4,0 (13,3-151,7)	51,0 ± < 4,0 (23,6-108,9)
N-S	13,4 ± < 2,1 (2,42-78,46)	19,4 ± < 2,1 (6,13-65,09)	23,0 ± < 2,1 (9,75-47,11)
E-O	10,4 ± < 2,8 (2,07-68,56)	19,2 ± < 2,8 (5,39-63,65)	26,5 ± < 2,8 (8,83-60,4)

Los datos del presente experimento concuerdan con Dupraz et al. (2018), ya que todos los días hay mejor distribución de la radiación en N-S, teniendo poca variabilidad entre estaciones. En diciembre E-O y N-S son más parecidos, aunque el sensor ubicado en el centro del callejón en E-O recibe más radiación por lo que es muy parecido al control (Figura 9).



Los datos refieren al promedio 5 días mensuales completamente soleados y encuentran discriminados según la orientación de los experimentos: control (línea negra continua), Norte-Sur (20 m) (línea gris de guiones), Este-Oeste (20 m) (línea negra de guiones), Norte-Sur (7 m) (línea gris punteada), Este-Oeste (7 m) (línea negra punteada)

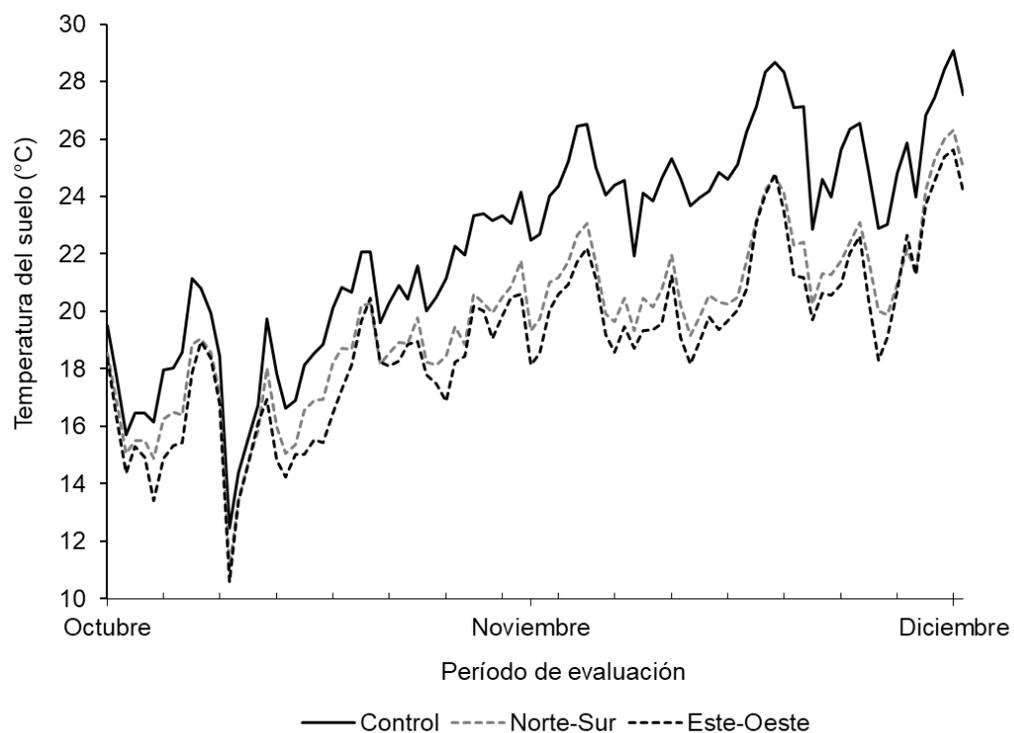
Figura No. 9. Registro de los valores horarios de radiación fotosintéticamente activa (RFA) para los meses de octubre (a), noviembre (b) y diciembre (c) de 2019

Es necesario remarcar que durante el período de invierno en la orientación Este - Oeste la radiación solar directa no llegaba al sotobosque, una vez que la inclinación aparente del sol hacia el Norte determina que el dosel forestal intercepte la radiación solar durante todo el día, siendo que solamente radiación difusa llegaba al sotobosque (datos no presentados). Durante todo el año, la orientación Norte - Sur recibió todos los días radiación directa, a diferencia de Este - Oeste en donde las parcelas estaban ubicadas del lado derecho del callejón, lugar donde la radiación solar era interceptada por el componente arbóreo motivo por el cual se presentaba la condición de sombreamiento la mayor parte del tiempo.

4.1.2 Temperatura del suelo

Los árboles jugaron un rol clave sobre la carga calórica a nivel del suelo, generando que los aumentos temporales de temperatura tanto en el tratamiento

Norte-Sur como en Este-Oeste ocurrieran en promedio por debajo de los valores del control. Así mismo se observa que la variable presenta valores mayores en la orientación N-S con respecto a E-O. Se registró un incremento progresivo de la temperatura del suelo para las tres condiciones, conforme avanzó la primavera (Figura 10). El tratamiento control se mantuvo con temperaturas superiores a las registradas en los sistemas silvopastoriles. Entre los meses de octubre y diciembre, los promedios mensuales de temperatura del suelo incrementaron 41% para el control, 32% y 34% para las condiciones N-S y E-O. La presencia del componente arbóreo, por lo tanto, amortigua los cambios bruscos de temperatura del suelo. Según Ribaski et al. (2005), en los sistemas silvopastoriles se presentan alteraciones en la temperatura del suelo causado por el componente arbóreo, siendo que por lo general la temperatura del suelo menor en el interior del bosque. Bahamonde et al. (2009), afirman que se han registrado reducciones de 3,8 °C en verano en árboles con una altura promedio de 6 - 8 metros y de 2,1 °C en árboles menores a 6 metros. Tendencia similar ocurrió en los meses de noviembre y diciembre donde en el control la temperatura del suelo alcanzó para noviembre los 23,3 °C mientras que N-S, logró 3 °C menos y E-O 3,8 °C respectivamente. En cuanto a las mediciones de diciembre, lo ocurrido fue similar obteniéndose diferencias de 3,7 °C y 4,3 °C respecto a la ausencia de árboles, respectivamente.



Los datos se encuentran discriminados según la orientación de los experimentos: control (línea negra continua), Norte-Sur (20m) (línea gris punteada) y Este-Oeste (20 m) (línea negra punteada)

Figura No. 10. Registro de los valores de temperatura del suelo para el período octubre hasta diciembre de 2019

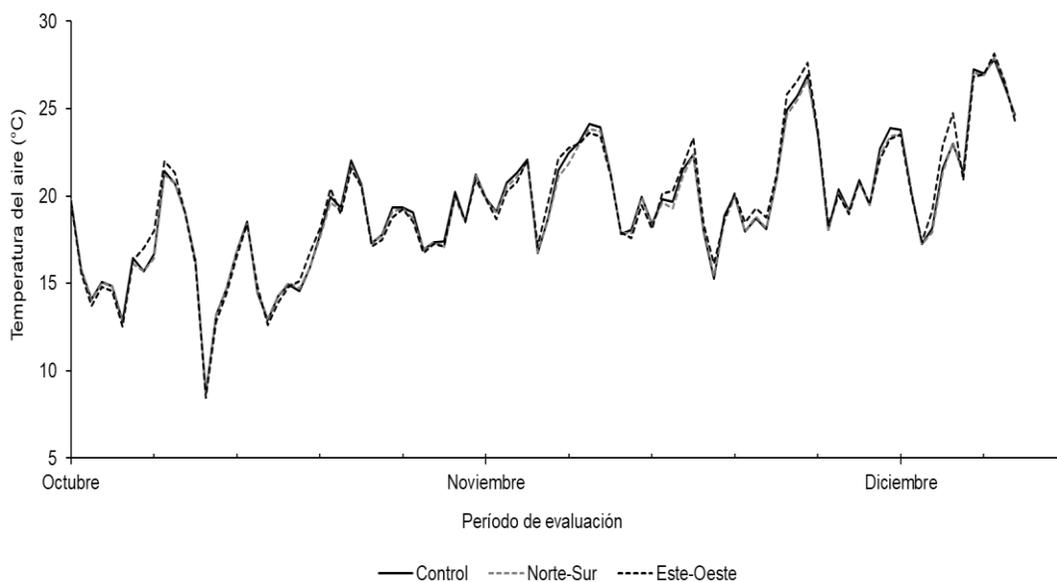
Cuadro No. 4. Valor promedio, error estándar y rangos mensuales de temperatura del suelo (°C) en tres condiciones diferentes: sin árboles (control (C)) y con hileras de árboles (*E. grandis* x *tereticornis*) con callejones de 20 m en dos orientaciones diferentes (Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EO))

Variable	Condición	Mes		
		Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura del suelo (°C)	C	18,3 ± 0,4 (11,8-27,1)	23,3 ± 0,3 (16,2-32,9)	25,8 ± 0,3 (17,2-37,4)
	N-S	16,8 ± 0,4 (10,5-27,4)	20,3 ± 0,2 (6,0-29,5)	22,1 ± 0,4 (15,3-33,1)
	E-O	16,1 ± 0,4 (9,6-23,2)	19,5 ± 0,2 (13,9-24,9)	21,5 ± 0,4 (14,4-30,1)

Karki y Goodman (2015) concuerdan en que la mayor temperatura del suelo ocurre en la ausencia del componente arbóreo. El aumento de la temperatura en la zona radicular de 12 °C hasta 25 °C está asociada al mejor suministro de agua y nutrientes para las plantas de *Arachis hypogaea*, mejor crecimiento radicular y aumento del contenido de clorofila (Awal et al., 2003); y el aumento de 25 °C a 30 °C aumenta la tasa fotosintética en plantas de *Glycine max* (Ziska, 1998). Sin embargo, si se sigue aumentando la temperatura del suelo puede ocurrir inhibición del crecimiento por la reducción de la absorción de nutrientes y por el menor contenido de clorofila (Du y Tachibana, 1994). En *Agrostis palustris*, se ha observado que con 35 °C las plantas presentan menores tasas fotosintéticas, menor crecimiento radicular y menor crecimiento aéreo (Xu y Huang, 2000). De acuerdo con Xu y Huang (2000), altas temperaturas del suelo son más perjudiciales para el desarrollo de las plantas forrajeras que elevadas temperaturas del aire. Para el mes de diciembre, los valores de temperatura del suelo superaron los 37 grados en el tratamiento control (Cuadro No. 4). Debido a que el remanente forrajero después de cada corte fue de 10 cm, en condiciones de pastoreo más intenso es posible que las temperaturas del suelo sean todavía superiores, lo que puede comprometer el desempeño productivo en los meses más cálidos, sobre todo tratándose de especies perennes invernales.

4.1.3 Temperatura del aire

Los valores de temperatura del aire encontrados en el presente experimento fueron similares para las tres condiciones con una misma tendencia de fluctuaciones en el tiempo. El mes de octubre presentó más variación, con valores mínimos promedio de 8,6 °C; hacia el final del mes la temperatura aumentó, manteniéndose para noviembre y diciembre, llegando a valores de entre 20 °C y picos máximos de 25 °C. El mes de noviembre presentó valores más altos de temperaturas mínimas con respecto a octubre y diciembre para las tres condiciones, mientras que este último mes presentó valores mínimos de temperatura menores que octubre tanto en control como en Norte – Sur. Los valores máximos de temperatura fueron mayores en diciembre para las tres condiciones.



Los datos se encuentran discriminados según la orientación de los experimentos: control (línea negra continua), Norte-Sur (20 m) (línea gris punteada) y Este-Oeste (20 m) (línea negra punteada)

Figura No. 11. Registro de los valores de temperaturas medias del aire para el período octubre hasta diciembre de 2019

Cuadro No. 5. Valor promedio, error estándar y rangos mensuales (máximos y mínimos promedios) de temperatura del aire (°C) en tres condiciones diferentes: sin árboles (control (C)) y con hileras de árboles (*E. grandis* x *tereticornis*) con callejones de 20 m en dos orientaciones diferentes (Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EW))

Variable	Condición	Mes		
		Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura del aire (°C)	C	16,5 ± 0,5 (8,6-22,0)	20,1 ± 0,4 (16,7-24,1)	21,7 ± 0,6 (15,28-27,8)
	N-S	16,5 ± 0,5 (8,7-21,7)	19,9 ± 0,4 (16,8-23,8)	21,6 ± 0,6 (15,4-27,9)
	E-O	16,6 ± 0,5 (8,5-21,9)	20,0 ± 0,4 (16,7-23,6)	21,9 ± 0,6 (16,1-28,1)

Munka (2017) afirma que las variaciones tanto diarias como estacionales de temperatura del aire se ven reguladas debajo del dosel forestal por este mismo, reportándose valores diarios de temperaturas máximas menores y de temperaturas mínimas mayores respecto a áreas sin árboles. Dicha afirmación concuerda con los valores mínimos y máximos para cada mes, donde la amplitud térmica es mayor en control. Fedrigo et al. (2017) respaldan lo mencionado con anterioridad sobre los sistemas silvopastoriles y destaca que la amplitud térmica es menor, reportándose en Uruguay disminuciones de entre 2-3 °C en los meses de mayor temperatura. Además los autores afirman que en los meses más fríos, las temperaturas nocturnas son mayores. En lo que respecta a los valores mínimos y máximos promedio para cada mes del presente estudio, los mismos no se adaptan a lo indicado anteriormente (Cuadro No. 5). Posiblemente, el hecho de que los sensores de temperatura del aire estuvieron siempre a la sombra (tanto en los silvopastoriles como en el control) y a la proximidad física entre los distintos tratamientos, fueron factores que impactaron en la ausencia de diferencias.

4.1.4 Precipitaciones del período

En octubre se dieron los mayores valores de precipitación (379 mm) y además la misma ocurrió en mayor frecuencia (17 días) (Figura 12). En los primeros días del mes, ocurrieron cuatro eventos de lluvia, siendo el segundo evento el de mayor aporte en mm para el período; luego los dos siguientes eventos fueron de menor importancia en volumen. Hacia la mitad del mes aproximadamente también se registraron varios días con lluvias de entre 5 y 35 mm aproximadamente. Hacia el final del mes, se registraron seis eventos de lluvia de entre 10 y 60 mm.

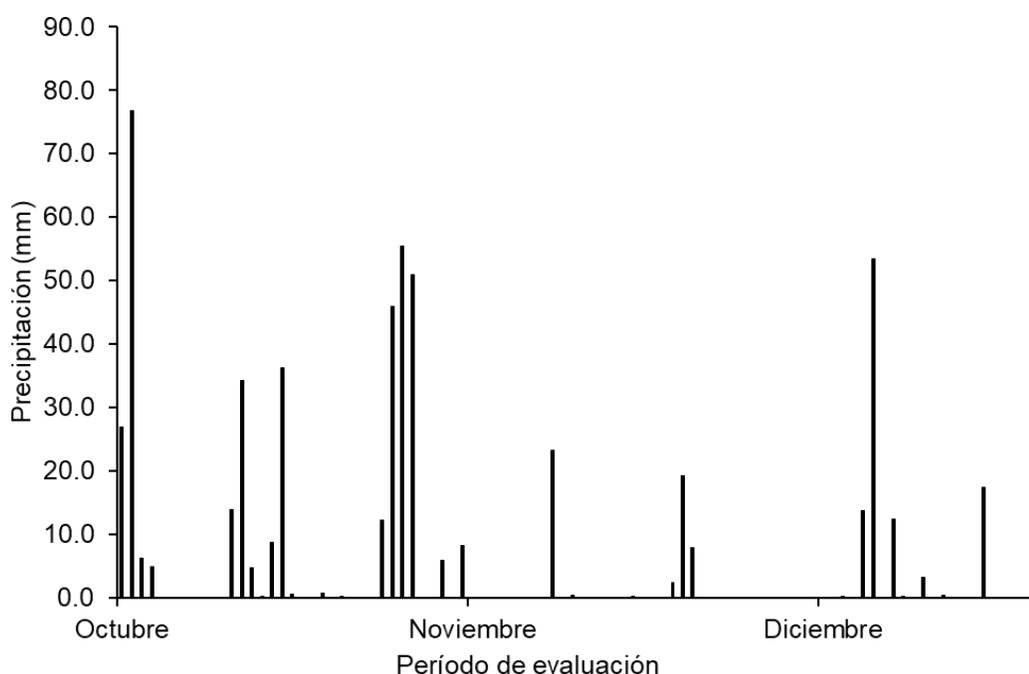


Figura No. 12. Registro de los valores de precipitaciones de la zona para el período octubre (2019) hasta diciembre (2019)

El mes de noviembre registró la menor cantidad de eventos (8 días) y además, los mismos fueron de poca significancia en lo que a volumen respecta (67 mm), el evento que más aporte tuvo fue de unos 25 mm aproximadamente. En cuanto al último mes del período, solamente un evento registró importancia, con un aporte de 55 mm aproximadamente. En comparación con noviembre, llovió más; el acumulado fue de 113 mm, distribuidos en 9 días.

Los datos de precipitaciones corresponden al experimento control, no fueron recabados en el sistema silvopastoril, aun así se cuenta con bibliografía para tener una caracterización. Munka (2017), afirma que parte de la precipitación

es interceptada por la cubierta forestal pudiendo ser evaporada o precipitada desde el dosel al suelo. Otra porción de esta precipitación escurre por el tronco y otra parte atraviesa sin obstáculos el dosel llegando como precipitación directa. Por ende se asume que bajo el dosel la colecta de precipitación es por lo general menor que la registrada en áreas sin árboles. Dichas características son de importancia, ya que determinarán el contenido de humedad del suelo en el sistema.

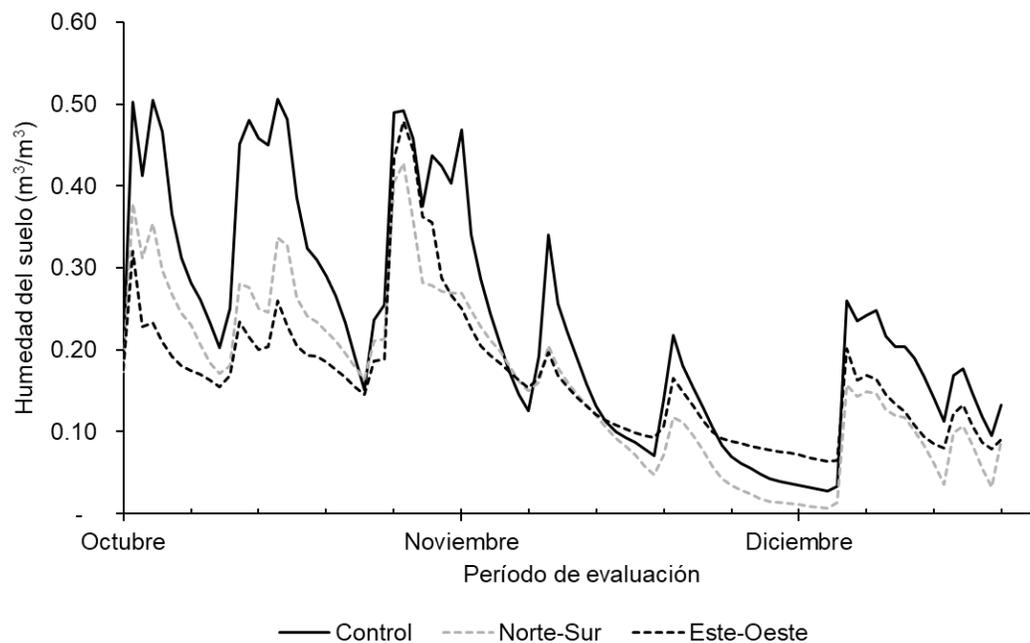
4.1.5 Contenido de humedad del suelo

Los valores de humedad del suelo fueron superiores a pleno sol para los tres meses evaluados con respecto a N-S y E-O. Los resultados obtenidos confirman con la hipótesis antes mencionada, ya que se determinan modificaciones en el microclima del sotobosque de los sistemas silvopastoriles. Dichos resultados coinciden con Munka (2017), donde parte de la precipitación es interceptada por la cubierta forestal pudiendo ser evaporada o precipitada desde el dosel al suelo, lo cual determinará que el contenido de humedad debajo del dosel sea menor respecto a áreas sin presencia arbórea. La tendencia de esta variable fue disminuir hacia los meses más cálidos para las tres condiciones. En diciembre E-O presentó valores similares a la condición de pleno sol.

En lo que respecta al contenido de humedad, independiente de la orientación, los resultados concuerdan con Munka (2010), la cual afirma que los árboles pueden modificar la dinámica del agua en el suelo, con tendencia a la disminución de su disponibilidad subterránea.

Considerando la edad de los árboles del sistema silvopastoril, los cuales son adultos, los resultados coinciden con lo afirmado por Karki y Goodman (2014). Los autores indican que estos árboles tienen una mayor demanda y un sistema radicular más extenso para poder absorber y utilizar el agua disponible en el suelo. De esta manera concluyen que a pesar de una menor evapotranspiración por la vegetación del sotobosque, en comparación con la vegetación a cielo abierto, la demanda de agua será mayor en sistemas silvopastoriles con árboles maduros.

La radiación directa y la temperatura del aire son algunos de los principales parámetros microclimáticos que explican en gran parte la evapotranspiración (Allen et al., 2006). Dichos parámetros aumentaron progresivamente desde octubre hasta diciembre, explicando de esta manera una mayor ET un menor contenido de humedad del suelo para este último mes.



Los datos se encuentran discriminados según la orientación de los experimentos: control (línea negra continua), Norte-Sur (20 m) (línea gris punteada) y Este-Oeste (20 m) (línea negra punteada)

Figura No. 13. Registro de los valores de humedad del suelo para el período octubre (2019) hasta diciembre (2019)

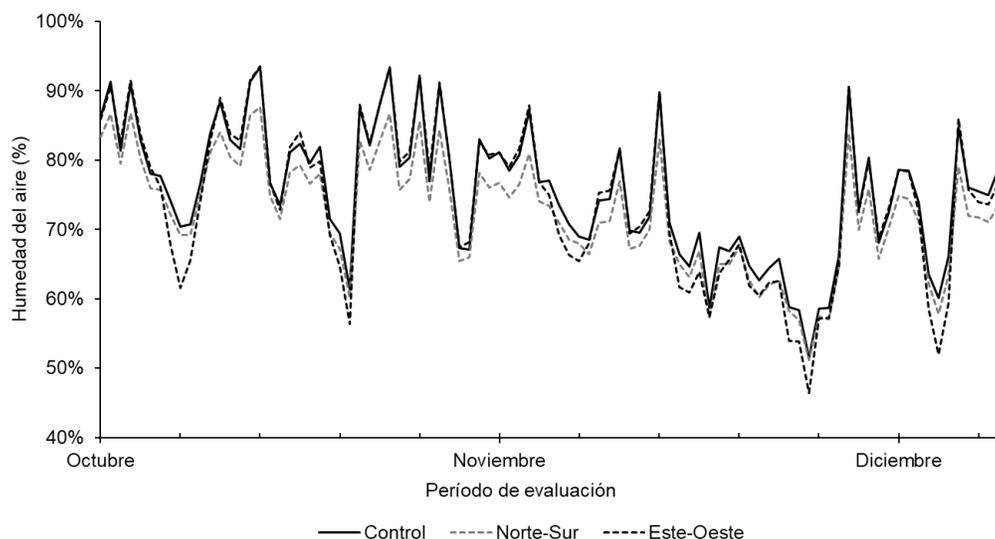
Cuadro No. 6. Valor promedio, error estándar y rangos mensuales de contenido de agua del suelo (m^3 / m^3) en tres condiciones diferentes: sin árboles (control (C)) y con hileras de árboles (*E. grandis* x *tereticornis*) con callejones de 20 m en dos orientaciones diferentes (Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EW))

Variable	Condición	Mes		
		Octubre	Noviembre	Diciembre
Contenido de agua del suelo (m^3/m^3)	C	0,35 ± < 0,01 (0,15-0,51)	0,22 ± < 0,01 (0,07-0,47)	0,12 ± < 0,01 (0,03-0,26)
	N-S	0,26 ± < 0,01 (0,16-0,43)	0,16 ± < 0,01 (0,05-0,28)	0,06 ± < 0,01 (0,01-0,16)
	E-O	0,22 ± < 0,01 (0,14-0,48)	0,17 ± < 0,01 (0,09-0,36)	0,1 ± < 0,01 (0,06-0,20)

4.1.6 Humedad relativa del aire

En el período de evaluación las tres condiciones compartieron una tendencia similar. Este-Oeste presentó valores mínimos respecto al control y a Norte-Sur. La humedad del aire para el período presenta cierta variación y también distinto comportamiento dentro de cada mes (Figura 14). En octubre se obtuvieron los valores superiores de humedad con registros de 90% aproximadamente, lo cual concuerda con los eventos de lluvia presentados anteriormente; aunque es observable, períodos de baja humedad relacionados a la ausencia de precipitación. En noviembre la humedad del aire presentó un comportamiento con tendencia a la baja, registrándose el valor mínimo para los tres meses, 45% aproximadamente; esperable debido a la poca ocurrencia de precipitación del mes. Hacia los días finales de noviembre, se logra observar el aumento exponencial de la humedad del aire, correspondiendo a la ocurrencia de precipitaciones para dichos momentos.

En control el contenido de humedad del aire fue mayor respecto a los demás; sin embargo por momentos puntuales, el ensayo Este-Oeste obtuvo registros de humedad superiores que este. Dicho comportamiento no acompaña la afirmación de Munka (2017), quien menciona que en sitios sin árboles el microclima es menos húmedo que bajo el dosel forestal.



Los datos se encuentran discriminados según la orientación de los experimentos: control (línea negra continua), Norte-Sur (20 m) (línea gris punteada) y Este-Oeste (20 m) (línea negra punteada)

Figura No. 14. Registro de los valores de humedad del suelo para el período octubre (2019) hasta diciembre (2019)

4.2 EVALUACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA

De manera general, los distintos ambientes generaron cambios significativos sobre las variables estudiadas. La interacción entre ambiente y especie demuestra que los genotipos forrajeros presentan distintos comportamientos bajo las condiciones generadas por la presencia arbórea, siendo que la mayor productividad observada en cada ambiente es alternada entre los genotipos. Por otra parte, la interacción entre ambiente y mes determina que la presencia arbórea en distintas densidades puede generar condiciones que promueven un retraso o anticipación de la curva de producción de forraje.

Cuadro No. 7. Análisis de varianza (ANOVA) para las variables producción de forraje, altura del pasto, en función del ambiente, especie forrajera, mes de evaluación y sus interacciones.

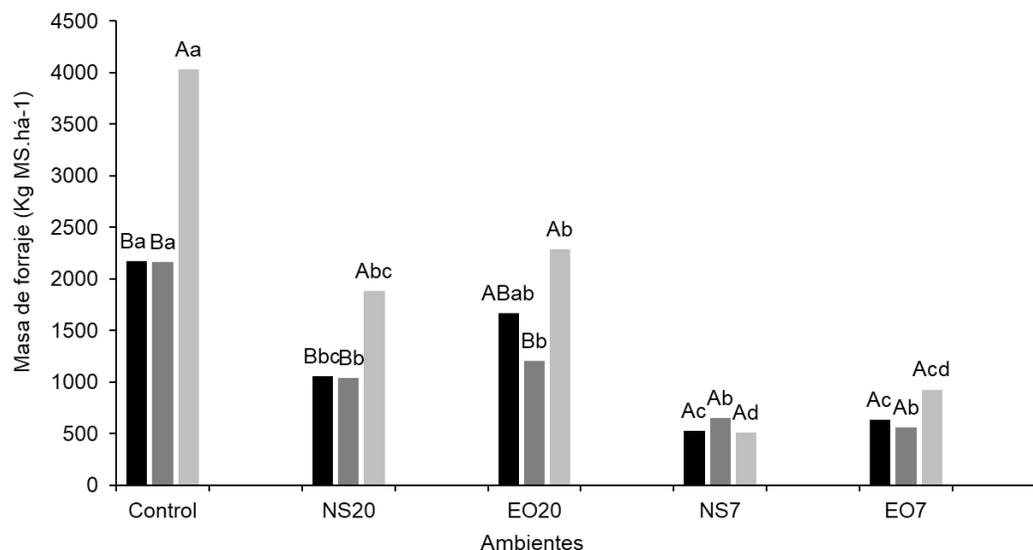
Efecto	Pr>F	
Variable	kgMS.há ⁻¹	Altura de regla
Ambiente	<.0001	<.0001
Especie	0.0002	<.0001
Ambiente*Especie	0.0615	0.4398
Mes	<.0001	<.0001
Especie*Mes	<.0001	<.0001
Ambiente*Mes	<.0001	<.0001
Ambiente*Especie*Mes	0.4445	<.0001

4.2.1 Producción de forraje

4.2.1.1 Interacción entre ambiente*especie

Todas las especies presentaron mayor producción en control. *Dactylis glomerata* presentó 48.4% en N-S 20 m y 76.75% en E-O 20 m, en relación al control. En el caso de *Festuca arundinacea* la producción en N-S 20 m y E-O 20 m fue 48.16% y 55.63% con respecto al control. Por último, *Holcus lanatus*, presentó en relación al control valores de 46.5% en N-S 20 m y 56.71% en E-O 20 m (Figura 15).

Holcus lanatus presentó una producción superior a las demás especies en control (85.63% y 86,49%), Norte-Sur 20 m (78.55% y 80.27%) y Este-Oeste 20 m (37.16% y 90.10%). En el caso de 7 m, independientemente de la orientación, la producción es igual (Figura 15).



Los datos se encuentran discriminados según especie: *Dactylis glomerata* (barra negra), *Festuca arundinacea* (barra gris oscura), *Holcus lanatus* (barra gris clara). Letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas entre las especies estudiadas dentro de cada tratamiento. Letras minúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas para una misma especie para los distintos tratamientos. $p < 0,05$

Figura No. 15. Producción de forraje (kgMS.há^{-1}) en función de la interacción ambiente*especie

Según Monteith (1977) siempre y cuando factores como nutrientes, agua y temperatura no sean limitantes, la radiación fotosintéticamente activa es el principal factor determinante para el crecimiento de la pastura. Todas las especies presentaron mayor producción en control, resultado que afirma lo dicho por el autor, dado que ninguno de los factores fue limitante, permitiendo una mayor expresión del potencial de cada especie. Los mayores contenidos de humedad del suelo obtenidos en control, respaldan los resultados de una mayor producción.

Según Gallo (2006), las plantas que se desarrollan bajo los árboles disponen de menores cantidades de luz debido al efecto de la copa que intercepta radiación y hace que esta llegue en menor cantidad al suelo. Esto se evidenció, en los sistemas silvopastoriles Norte-Sur y Este-Oeste.

Al comparar los sistemas silvopastoriles, se observó que en aquellos de mayor espaciamiento (20 metros), la producción fue mayor que en aquellos de menor espaciamiento (7 m). Los resultados obtenidos coinciden con Dupraz et

al. (2018), quienes observaron que una gran distancia entre las líneas de árboles aumentó la intensidad y disminuye la heterogeneidad de la irradiancia de los cultivos. Las líneas de árboles más espaciadas aumentaron de manera constante la radiación relativa que llega a los cultivos.

Holcus lanatus fue la especie que presentó mayor producción en control, Norte-Sur 20 m y Este-Oeste 20 m. Devkota et al. (1997) demostraron que a menor nivel de RFA, es decir mayor sombreado, en lo que respecta a peso seco de brote por planta, *Holcus lanatus* presentó el mayor; en sombra densa (menor nivel de RFA) fue *Holcus* quien presentó el mayor área foliar; por último en lo que respecta a la cantidad de macollos, *Holcus lanatus* y *Dactylis glomerata* fueron las especies con una mayor cantidad a mayor sombreado (menor nivel de RFA) comparativamente con las especies *Poa trivialis*, *Lolium perenne*, y *Festuca arundinacea*.

Belesky et al. (2011) determinaron que *Dactylis glomerata*, pero no *Festuca arundinacea*, mantuvo producción de hojas y tallos en los lugares sombreados, lo que sugiere que la primera especie es adecuada para su uso en silvopastoreo. No se encontraron diferencias significativas entre las dos especies mencionadas para ninguno de los sistemas silvopastoriles.

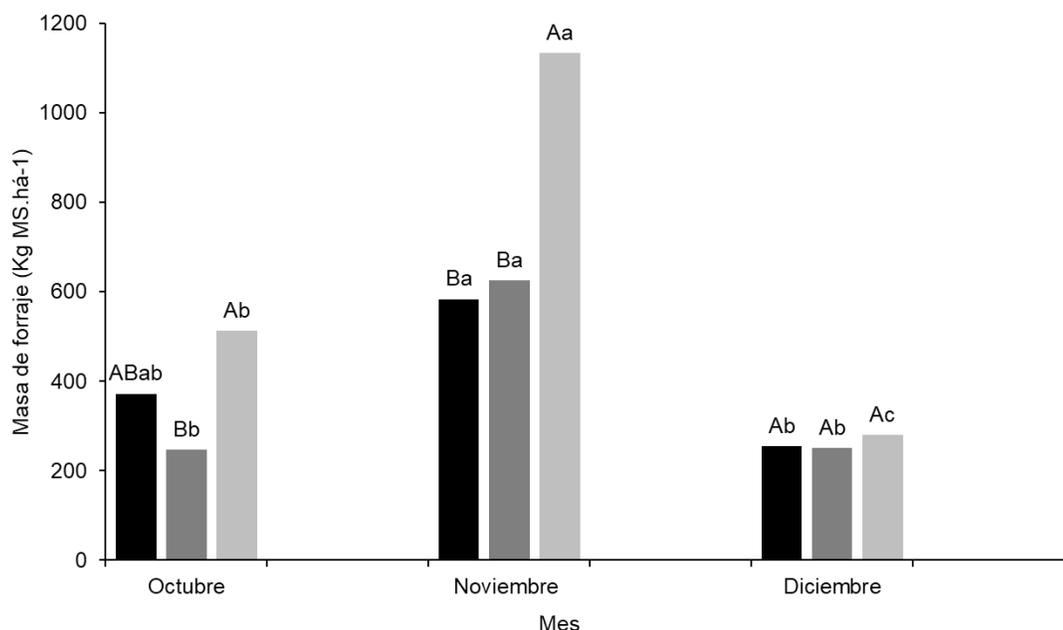
4.2.1.2 Interacción entre mes*especie

Los meses de octubre y noviembre produjeron más que diciembre, lo cual se corresponde o podría ser explicado por las precipitaciones que ocurrieron en dicho período, además de los incrementos de la temperatura lo cual generó que las tasas de acumulación de biomasa de las especies se aceleren generando mayor producción (Figura 16).

En el mes de octubre hubo una mayor producción de *Holcus lanatus*, sobre *Festuca arundinacea*; no se observaron diferencias significativas entre *Holcus lanatus* y *Dactylis glomerata* ni tampoco entre esta última y *Festuca arundinacea*. En cuanto a precipitaciones, los primeros días del mes acumularon los mayores registros, igualmente los valores mensuales en su totalidad fueron buenos sin presentar déficit hídrico.

En el mes de noviembre las tres especies lograron mayor acumulación de forraje, siendo *Holcus lanatus* quien presentó mayor producción en los dos primeros cortes (octubre y noviembre) en relación a las demás especies. Además para dicho mes *Dactylis glomerata* obtuvo el valor más alto de producción lo cual concuerda con Carámbula (2002) quien indica que se trata de una especie moderadamente resistente al frío, con buenas producciones a temperaturas elevadas con buen suministro hídrico. Finalmente en el mes de diciembre se

registró una caída de la producción de las tres especies, no registrándose diferencias significativas entre ellas.

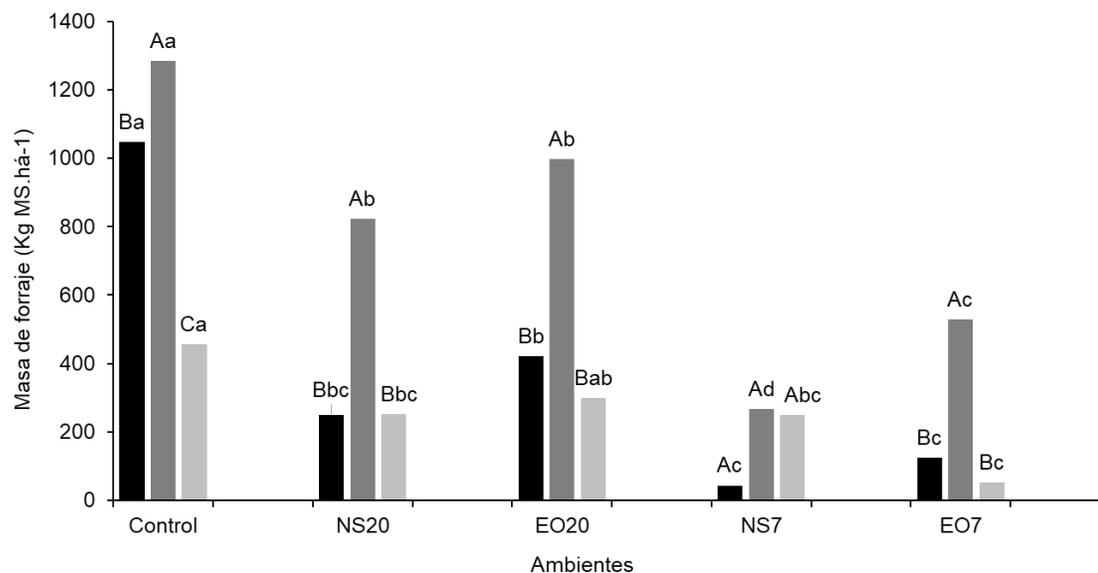


Los datos se encuentran discriminados según especie: *Dactylis glomerata* (barra negra), *Festuca arundinacea* (barra gris oscura), *Holcus lanatus* (barra gris clara). Letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas entre las especies estudiadas dentro de cada mes. Letras minúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas para una misma especie para los distintos meses. $p < 0,05$

Figura No. 16. Producción de forraje (kgMS.há^{-1}) en función de la interacción mes*especie

En cuanto a las variables microclimáticas, las lluvias registradas fueron normales, pero cabe destacar que las pérdidas por evapotranspiración son mayores debido a las altas temperaturas por lo que los requerimientos hídricos de las especies aumentan. Además las especies que fueron implantadas en el ensayo son de carácter invernal por lo tanto no soportan las condiciones de verano, disminuyendo así su producción. En lo que refiere a *Holcus lanatus*, la cual en los meses previos evaluados fue la de mayor producción, el pronunciado descenso en el último período es un comportamiento esperado según Carámbula (2002), debido a que *Holcus lanatus* presenta un buen establecimiento con crecimiento inicial lento y un buen potencial de producción de forraje otoño-invierno-primavera, teniendo problemas en verano.

4.2.1.3 Interacción entre ambiente*mes



Los datos se encuentran discriminados según mes: octubre (barra negra), noviembre (barra gris oscura), diciembre (barra gris clara). Letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas entre los meses estudiados dentro de cada tratamiento. Letras minúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas para un mismo mes para los distintos tratamientos. $p < 0,05$

Figura No. 17. Producción de forraje (kgMS.há⁻¹) en función de la interacción ambiente*mes

Se registró en noviembre una mayor producción de forraje en todas las condiciones. Octubre presentó una alta producción de forraje en control, registrándose una disminución hacia diciembre.

En octubre, el mayor valor de producción se obtuvo en control, mientras que la menor producción fue obtenida en las condiciones de E-O 7 y N-S 7 para dicho mes. El mes en el que se puede indicar que en todas las condiciones se obtuvo mayor producción de forraje fue noviembre, lo cual se explica por el contenido de agua disponible por efecto de las precipitaciones ocurridas. Las lluvias acumuladas del período octubre - noviembre, acompañadas de un aumento de las temperaturas justifican las altas producciones en el último mes mencionado. Así mismo el ambiente que obtuvo el mayor valor de producción fue control, lo cual concuerda con Miah et al. (1995) quienes indican que específicamente, en los sistemas silvopastoriles, las plantas del sotobosque experimentan frecuentes fluctuaciones en irradiancia de pleno sol a sombra causada por el dosel de los árboles. También Matthew et al. (2001) indicaron que la luz solar y la temperatura afectan la tasa de crecimiento de las especies forrajeras así como la tasa y tiempo de desarrollo de los estados fenológicos, es

por esta razón y como logra observarse que, control al no tener la influencia de los árboles logra producir más forraje.

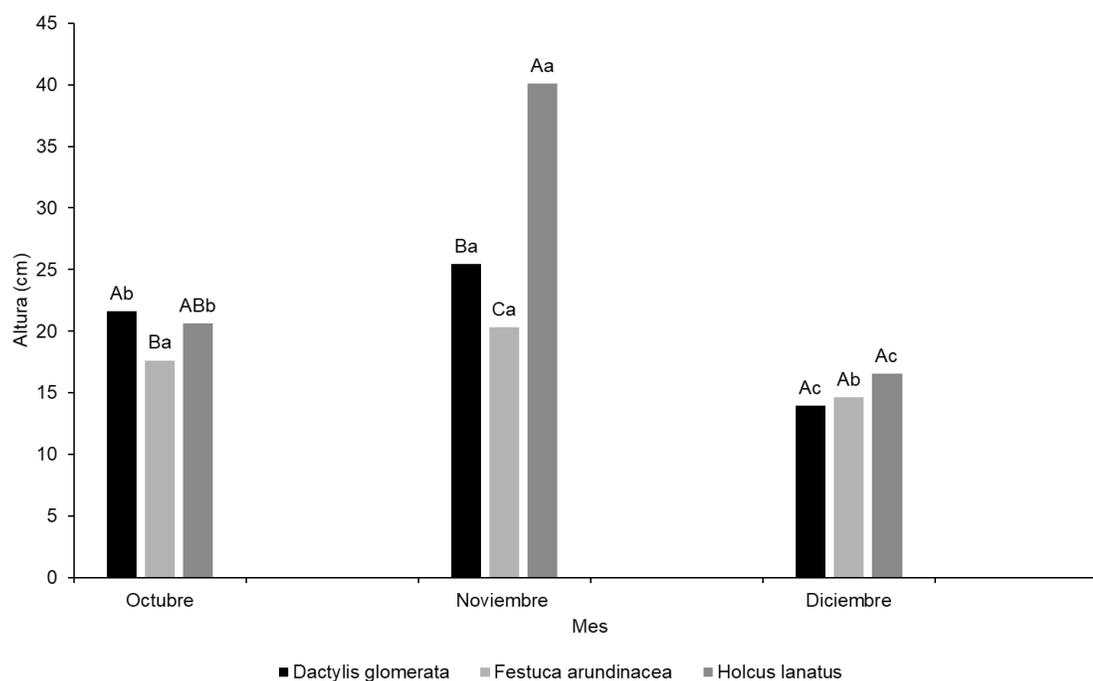
Los ambientes que menor producción obtuvieron fueron las condiciones de callejones de 7 metros tanto orientación N-S como E-O sin importar el mes de evaluación, esto podría deberse a la poca radiación fotosintéticamente activa que es interceptada por las pasturas, debido a que la presencia de los árboles genera no solo fluctuaciones en cantidad sino en calidad de luz. Sin embargo los callejones de 20 metros lograron mejores valores de producción, con valores en diciembre por encima de los obtenidos en octubre y esto se explica por un mayor RFA.

En general el mes que menor producción obtuvo sin discriminar ambiente fue diciembre lo cual es esperable, ya que como indicaron Wang et al. (2003) altas temperaturas del suelo inhiben la fotosíntesis y la síntesis de citocinina, hormona responsable de la producción de nuevas hojas y macollos y del retraso en la senescencia. Además de la alta temperatura del suelo, el contenido de humedad del mismo fue bajo, ya que las precipitaciones fueron escasas.

4.2.2 Altura del pasto

4.2.2.1 Interacción entre especie*mes

En los meses de octubre y diciembre no se registraron diferencias significativas entre las especies. En el mes de noviembre se registraron diferencias significativas, donde *Holcus lanatus* presenta una superioridad en relación a las demás especies. *Dactylis glomerata* presentó una clara preponderancia sobre *Festuca arundinacea*.



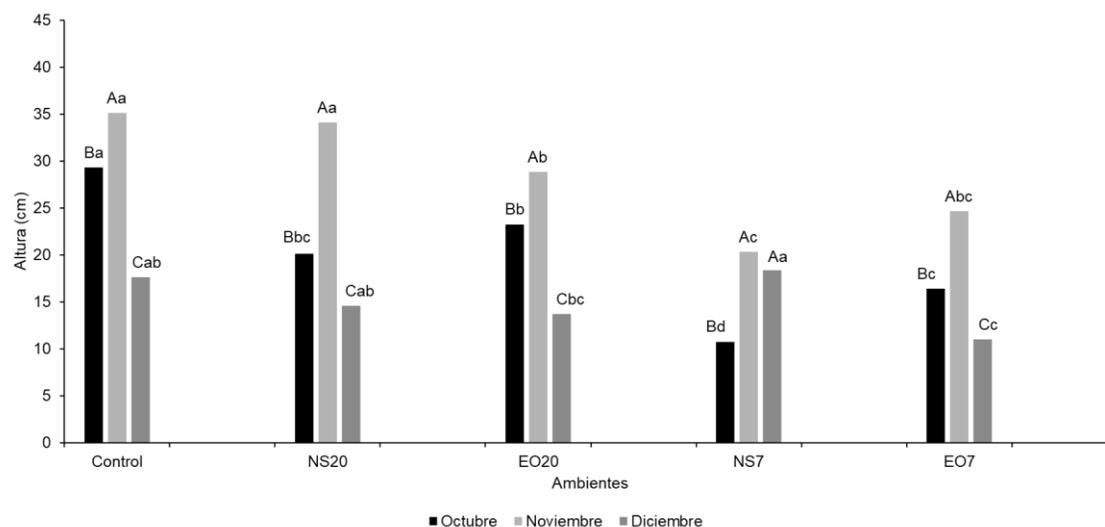
Los datos se encuentran discriminados según especie: *Dactylis glomerata* (barra negra), *Festuca arundinacea* (barra gris clara), *Holcus lanatus* (barra gris oscura). Letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas entre las especies estudiadas dentro de cada mes. Letras minúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas para una misma especie para los distintos meses. $p < 0,05$

Figura No. 18. Altura del pasto (cm) en función de la interacción especie*mes

Holcus lanatus y *Dactylis glomerata* por su parte, registraron menores valores de altura en el mes de octubre y aún menores en el mes de diciembre; registrándose diferencias significativas en los tres meses dentro de las especies. En discrepancia con las especies anteriores, *Festuca arundinacea* no registró diferencias significativas entre los meses de octubre y noviembre. Su comportamiento en el mes de diciembre fue similar a las demás especies, registrando su valor mínimo de altura.

El comportamiento de las especies dentro de cada mes determinó que los resultados obtenidos compartan una tendencia similar a los de kgMS.há^{-1} , donde las mayores producciones de forraje se obtuvieron en el mes de noviembre y fue *Holcus lanatus* quien presentó valores superiores. Las características de las especies evaluadas interactuando con la caracterización ambiental de cada mes, determinaron los resultados obtenidos.

4.2.2.2 Interacción entre ambiente*mes



Los datos se encuentran discriminados según mes: octubre (barra negra), noviembre (barra gris clara), diciembre (barra gris oscura). Letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas entre los meses estudiados dentro de cada tratamiento. Letras minúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas para un mismo mes para los distintos tratamientos. $p < 0,05$

Figura No. 19. Altura del pasto (cm) en función de la interacción ambiente*mes

En todos los ambientes predominó en altura el mes de noviembre alcanzando valores de entre 30 - 35 cm, es decir, que las condiciones del mes promovieron el crecimiento en altura en todos los experimentos; además esto se vio reflejado en las variables anteriormente descritas. En referencia a E-O 20 y E-O 7 presentaron un comportamiento similar entre ambos (Figura 19).

Octubre fue quien obtuvo valores aproximados de 30 cm en control, registrándose diferencias significativas con las demás condiciones, en las cuales la altura registrada fue de entre 15 - 20 cm, aunque cabe destacar que la condición N-S 7 registró el menor valor para el mes con 10 cm de altura. En contraposición control fue el ambiente en el cual se obtuvieron los valores superiores.

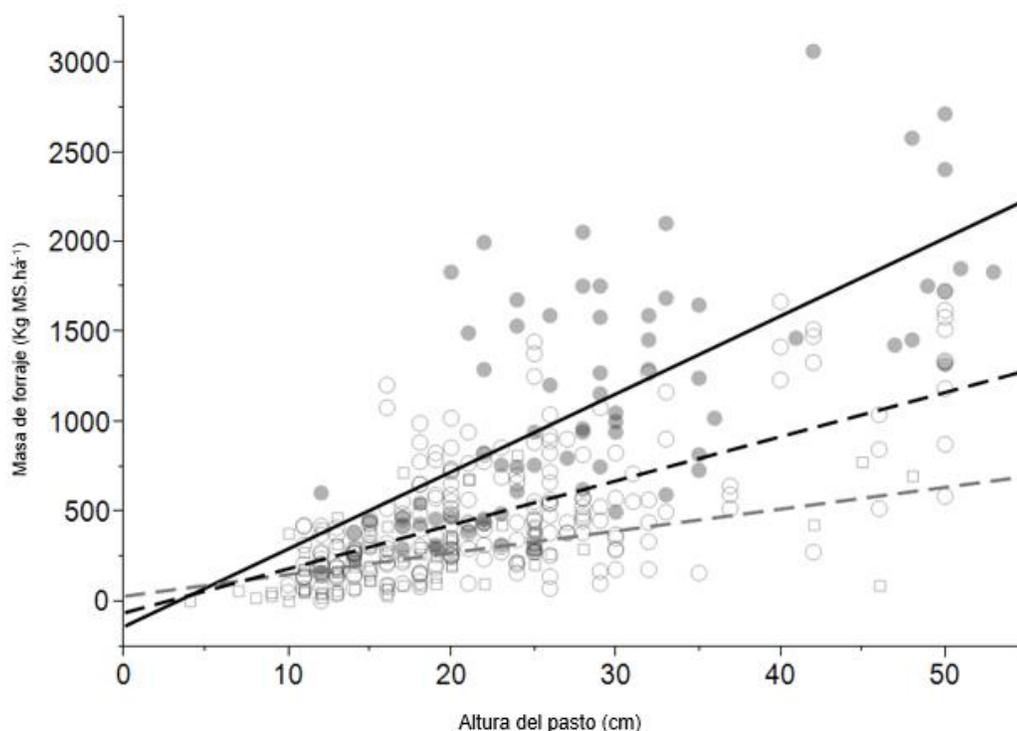
Diciembre obtuvo los valores inferiores para todos los ambientes, únicamente compartiendo podio con noviembre en N-S 7 con un valor de aproximadamente 18 cm. En los demás ambientes sus registros fueron inferiores al indicado. Dentro de mes nombrado anteriormente, N-S 7 presentó los valores más bajos de altura, en comparación a los demás ambientes.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos para las variables que fueron indicadas con anterioridad, ya que realizando un ranking con las condiciones de cada mes y su efecto en el crecimiento y producción de las pasturas se puede indicar a noviembre como el mes que contribuyó con los requerimientos de las pasturas de mejor manera que octubre y diciembre, aunque entre estos dos últimos el mejor comportamiento se observó en octubre.

4.2.3 Densidad volumétrica

El estudio de la relación entre la altura del pasto (cm) y la masa de forraje (kgMS.há⁻¹) fue basado en criterios de intervalos de confianza. Mediante este criterio se demostró que no existen diferencias significativas para las especies.

En relación a los ambientes, control es distinto a todos los demás, por lo que se realizó una ecuación de regresión para este caso. Norte-Sur 20 m y Este-Oeste 20 m son iguales entre sí, pero se diferencian de control y de los mismos en la condición de 7 m; es así que a 20 m le corresponde una ecuación de regresión. Norte-Sur 7 m y Este-Oeste 7 m fueron iguales entre sí y diferentes significativamente con el resto, de esta manera se asume que para 7 m hay otra ecuación de correlación.



Los datos se encuentran discriminados según la densidad de los experimentos: control o densidad 0 (línea negra continua), densidad 20 m (línea negra punteada) y densidad 7 m (línea gris punteada)

Figura No. 20. Correlación entre altura del pasto y masa de forraje

Según el criterio de selección de modelos estadísticos AIC, el modelo que mejor se correspondía a los datos fue el lineal. Basado en los intervalos de confianza, fueron seleccionadas las tres situaciones con intervalos de confianza distintos; correspondiéndole a cada una de ellas, una ecuación de regresión. Para el caso de densidad = 0 y densidad = 20 el modelo determinó valores de intercepción con el eje de las ordenadas negativos, pero para la estimación y datos utilizados, el modelo fue altamente significativo.

La ecuación de correlación correspondiente al control o densidad = 0 fue la siguiente: $\text{kgMS.há}^{-1} = -136,6 + 43,2 \cdot \text{altura}$, esto significa que por cada cm de altura tengo 43,18 kgMS.há^{-1} . El R^2 fue igual a 0,46, mientras que el p-valor fue menor a 0,01 siendo altamente significativo.

En lo que respecta a densidad = 20 m la ecuación de correlación fue la siguiente: $\text{kgMS.há}^{-1} = -60,7 + 24,5 \cdot \text{altura}$, por lo que para cada cm de altura de

tengo 24,5 kgMS.há⁻¹. El R² fue igual a 0,40, mientras que el p-valor fue menor a 0,01 siendo altamente significativo.

Para el caso de densidad = 7 m la ecuación de correlación fue la siguiente: kgMS.há⁻¹ = 31,3 + 12,1*altura, por lo que para cada cm de altura tengo 12,11 kgMS.há⁻¹. El R² fue igual a 0,26, mientras que el p-valor fue menor a 0,01 siendo altamente significativo.

A medida que la densidad de árboles aumenta, disminuye la densidad volumétrica. Esto significa que a menor distancia de callejón o menor entre fila, también serán menores los kgMS.há⁻¹ correspondientes a cada cm de altura de pasto. Esta reducción en la densidad volumétrica puede ser explicado por efecto en la cantidad y calidad de luz (relación rojo/rojo lejano), y esto puede promover un alargamiento del tallo inhibiendo el macollaje (Casal et al., 1987). Garnier y Roy (1988) han informado que la intensidad de la luz reducida y los cambios en la calidad de la luz reducen el macollamiento y por lo tanto es probable que reduzcan el IAF. Generalmente en pastos, altos niveles de sombra alentarán a las plantas a estar más etioladas donde el crecimiento más alto es un esfuerzo por obtener un mayor acceso a la luz disponible en la competencia con plantas vecinas (Peri, 2002). Por lo tanto al generar modificaciones de distanciamiento entre filas y que esto provoque a su vez disminución en los niveles de luz, provoca los cambios en la estructura de la pastura y por ende se remite a modificaciones en la densidad volumétrica del forraje, lo cual se afirma con los resultados que se obtuvieron.

4.3 CONSIDERACIONES FINALES

Los experimentos fueron realizados en montes con una edad de ocho años, por lo cual se los considera como adultos. Esto implicó que las variables microclimáticas afectaran de determinada manera el desempeño de las especies en el sotobosque. Es de suma importancia considerar que al realizar el experimento en montes donde los árboles sean más jóvenes, se podrían obtener resultados diferentes.

Cabe destacar que el período de evaluación fue de un año y que las especies estudiadas son perennes (*Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea*) y bianuales (*Holcus lanatus*), por lo tanto es importante conocer el desempeño de las mismas en los años subsecuentes. Dichas especies son también de carácter invernal por lo que resulta clave un correcto manejo para asegurar una buena persistencia y macollamiento en el verano, y así lograr buenos niveles de productividad en el siguiente ciclo.

Para lograr una correcta recomendación técnica o perspectiva práctica al productor se necesitará de más años de estudios e investigación, en los cuales se podrá evaluar además variables como, macollamiento, NDVI, LAI, relación hoja:tallo, contenido proteico, etc.

5. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones evaluadas la radiación fotosintéticamente activa (RFA), fue la variable microclimática que presentó las mayores variaciones. La RFA se vio disminuida en los experimentos silvopastoriles con respecto a pleno sol, con una diferencia más acentuada en el mes de diciembre.

En Norte-Sur la RFA fue poco variable entre meses, aunque presentó mayor variabilidad diaria. El comportamiento en Este-Oeste fue el contrario.

En los meses de octubre y noviembre, Norte-Sur presentó mayor RFA que Este-Oeste, mientras que en el mes de diciembre la condición se invierte.

Los experimentos silvopastoriles amortiguaron los cambios bruscos de temperatura tanto del suelo como del aire, resultando en una menor amplitud térmica con respecto al control. En lo que respecta a temperatura del aire promedio, no se encontraron diferencias entre los ensayos.

La humedad del suelo fue superior a pleno sol durante todo el período de evaluación. La misma disminuyó en todas las condiciones hacia el verano.

En lo que a humedad del aire respecta, tanto el experimento Norte-Sur como el Este-Oeste y el control tuvieron un comportamiento similar a lo largo del período de evaluación, fue este último quien por lo general registró valores superiores.

La producción de forraje (kgMS.há⁻¹) fue superior en el experimento a pleno sol para todas las especies. *Holcus lanatus* presentó mayor producción en relación a las otras especies en todas las condiciones, a excepción de los silvopastoriles de 7 metros. *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea* no presentaron diferencias significativas entre ellas en términos de productividad.

Distancias de callejones mayores, 20 metros versus 7 metros, determinaron niveles de productividad más altos.

El mes de noviembre presentó un pico de producción y altura de pasto en todas las condiciones, donde *Holcus lanatus* fue superior a las demás especies. Caso contrario ocurrió en el mes de diciembre donde se registraron los valores mínimos en todas las especies, sin diferencias significativas entre ellas.

La variable altura de pasto fue mayor en el experimento control para todos los meses de evaluación.

La densidad volumétrica presentó diferencias significativas para la distancia entre hileras y no para la orientación de los experimentos. A menor densidad de plantación, por cada cm de pasto, hay mayor producción de forraje (kgMS.há^{-1}).

6. RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron determinar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones microclimáticas (radiación fotosintéticamente activa, temperatura y humedad del aire, temperatura y humedad del suelo) resultante de la presencia de árboles del género *Eucalyptus sp* en distintos marcos de plantación; determinar la productividad primaria de las especies *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* y *Holcus lanatus* en sotobosques silvopastoriles en distintos marcos de plantación; y estudiar las modificaciones estructurales (altura, densidad volumétrica) de las especies antes mencionadas cultivadas bajo distintos marcos de plantación arbóreos. El experimento se realizó en la localidad de Fraile Muerto, departamento de Cerro Largo, Uruguay; en un predio forestal correspondiente al padrón 11249. El período de evaluación fue desde octubre hasta diciembre del año 2019 mientras que la misma se realizó en cinco condiciones de interferencias de componente arbóreo: 1. En el sotobosque de árboles con hileras de 20 m de callejón y orientación Norte-Sur (NS20); 2. En callejones de 7 m y orientación Norte-Sur (NS7); 3. En callejones de 20 m y orientación Este-Oeste (EO20); 4. En callejones de 20 m y orientación Este-Oeste (EO7); y sin la interferencia del componente arbóreo (control). Las unidades experimentales en control fueron de parcelas con dimensiones de 3 metros de ancho y 5 metros de largo, mientras que para las demás intervenciones las parcelas que se sembraron tenían 3,4 metros de ancho y con largo de 7 o 20 metros; para determinar la productividad de las especies se efectuaron cortes dentro de cada bloque con un cuadro de dimensiones conocidas (50 cm x 50 cm) de manera que su ubicación dentro de la parcela sea la más representativa. En cada ensayo se realizaron tres cortes dentro de la parcela correspondiente a cada especie y dos cortes en control. Con esta metodología se buscó simular una situación de pastoreo con un remanente de 10 cm. Con los datos recabados se obtuvieron los kilogramos de materia fresca y a posteriori (secado en horno) de materia seca; para lograr estudiar las variaciones estructurales se procedió a realizar mediciones de altura del forraje y mediante la construcción y selección de modelos de regresión con base en los alores de AIC y agrupando con criterio en los intervalos de confianza se obtuvo la densidad volumétrica. Con lo que respecta a resultados, la radiación fotosintéticamente activa (RFA) fue la variable microclimática que presentó las mayores variaciones entre las diferentes condiciones, se registraron disminuciones en presencia de árboles con callejones de 20 metros tanto en este oeste como Norte-Sur para todos los meses y en los experimentos silvopastoriles con respecto a pleno sol, con una diferencia más acentuada en el mes de diciembre. En Norte-Sur la RFA fue poco variable entre meses, aunque presentó mayor variabilidad diaria. El comportamiento en Este-Oeste fue el contrario, en los meses de octubre y noviembre, Norte-Sur presentó mayor RFA que Este-Oeste, mientras que en el mes de diciembre la condición se invierte. La temperatura del suelo registró un aumento para las tres

condiciones conforme avanza la primavera, control presentó temperaturas superiores a las registradas en los sistemas silvopastoriles, en los cuales N-S presentó valores superiores respecto a E-O. Se concluye así que el componente arbóreo amortigua cambios bruscos en la temperatura del suelo. La temperatura del aire presentó valores similares para las tres condiciones con una misma tendencia de fluctuaciones en el tiempo, la proximidad física entre los distintos tratamientos fueron factores que impactaron en la ausencia de diferencias. El contenido de humedad del suelo presentó valores superiores a pleno sol para los meses evaluados con respecto a N-S y E-O; el componente arbóreo donde se realizaron los experimentos presentaban una edad avanzada por lo que la demanda de agua fue mayor. La humedad del aire presentó una tendencia similar, en octubre los valores superiores concuerdan con eventos de lluvia mientras que en noviembre se obtuvo el valor mínimo asociado a ausencia de precipitaciones; tanto el experimento Norte-Sur como el Este-Oeste y el control tuvieron un comportamiento similar a lo largo del período de evaluación, fue este último quien por lo general registró valores superiores. La producción de forraje (kgMS.há^{-1}) fue superior en el experimento a pleno sol para todas las especies, en el período de evaluación el mes de noviembre fue quien presentó un pico de producción, caso contrario ocurrió para el mes de diciembre donde se registraron los valores mínimos en todas las especies sin diferencias significativas. La especie que mejor comportamiento demostró fue *Holcus lanatus* en relación a las otras especies en todas las condiciones, a excepción de los silvopastoriles de 7 metros. *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea* no presentaron diferencias significativas entre ellas en términos de productividad. Se encontró como patrón de comportamiento que distancias de callejones mayores, 20 metros versus 7 metros, determinaron niveles de productividad más altos. Para altura del pasto en los meses de octubre y diciembre no se registraron diferencias significativas entre las especies; en noviembre, *Holcus lanatus* presentó superioridad, mientras que en todos los ambientes predominó en altura el mes de noviembre alcanzando valores entre 30-35 centímetros. Con lo que respecta a densidad volumétrica, se observó que a medida que la densidad de plantación aumenta, disminuye la densidad volumétrica, esto significa que a menor distancia de callejón o menor entre fila también serán menores los kgMS.há^{-1} correspondientes a cada centímetro de altura de pasto. El estudio analítico arrojó que para control, por cada cm de altura de la regla se obtienen 43 kgMS.há^{-1} , $24,5 \text{ kgMS.há}^{-1}$ para 20 metros y para distanciamiento de 7 metros por cada cm se corresponden 12 kgMs.há^{-1} .

Palabras clave: Silvopastoreo; Sistema agroforestal; Radiación fotosintéticamente activa; Temperatura del suelo; Temperatura del aire; Humedad del suelo; Humedad del aire; Producción materia seca; *Holcus lanatus*; *Dactylis glomerata*; *Festuca arundinacea*; Densidad volumétrica.

7. SUMMARY

The aims of this work were to determine the spatial and temporal variability of the microclimatic conditions (photosynthetically active radiation, air temperature and air humidity, soil temperature and soil humidity) due to the presence of *Eucalyptus* sp trees in different silvopastoral designs; and to determine the primary productivity and structural variations (height, volumetric density) of *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* and *Holcus lanatus* grass species in understory conditions. The experiment was conducted in Fraile Muerto, department of Cerro Largo, Uruguay; in a forest plot which is registered with the number 11249. The period of evaluation was from October to December 2019, and the experiment was performed under five environments established by arboreal component interferences: 1. In the understory environment from tree rows of 20 m of alley and North-South orientation; 2. In alleys of 7 m and North-South orientation (NS7); 3. In alleys of 20 m and East-West orientation (EO20); 4. In alleys of 20m and East-West orientation (EO7); and without the arboreal component interference (control). The experimental units in the control were plots with 3 meters wide and 5 meters long, while for the understory the plots 3,4 meters wide and 7 or 20 meters long. To determine the productivity of the species, cuts were made inside each plot with a frame of known dimensions (50 cm x 50 cm) in order to have the most representative location in the parcel. Three cuts were made inside every plot in understory conditions and two cuts in control. With this methodology, it was strived to simulate a grazing with a remanent of 10 cm. With the gather data, the kilograms of fresh matter and then (by drying it in an oven) of dry matter were obtained. To study the structural variations, measurements of forage height were performed. And, through the construction and selection of regression analysis models based on AIC values and compiling them with criterion in the confidence intervals, volumetric density was obtained. With respect to results, the photosynthetically active radiation was the microclimate variable that had more variations between the different conditions. In presence of trees with alleys of 20 meters, lower radiation were registered both in East-West so as in North-South for all months in relation to full sun, with a more marked difference in December. In North-South, the photosynthetically active radiation had little variations between months, it had more daily variations, however. The behavior in East-West was the opposite, in October and November, North-South had more photosynthetically active radiation than East-West, while in December the condition was reversed. The soil temperature registered growth for the three conditions while spring get passed, control had higher temperatures than the ones registered in the silvopastoral systems, in which N-S had superior values than E-O. Taking this into consideration, it is concluded that the arboreal component cushions the abrupt changes in soil temperature. The air temperature registered similar values for the three conditions with same tendency of fluctuations through time; the physical proximity between the different treatments were factors that

impacted on the absence of differences. The soil humidity showed superior values when in full sun within the evaluated months regarding to N-S and E-W; the arboreal component where the experiments were made, was old so the water demand was higher. The air humidity shown a similar tendency. In October, the superior values were concordant with rain events. While in November, the minimum value was obtained due to the absence of precipitations. Both, the North-South experiment and the East-West one, and control had a similar behavior through all the evaluation period. It was the latter that, generally, registered higher values. The pasture production ($\text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$) was higher in the full sun experiment for all the species. In the evaluation period of November, a peak of production was seen. On the contrary, in December were registered the minimum values in all the species without significant differences. The specie that shown the best behavior was *Holcus lanatus* in comparison with the others species in all conditions, with the exception of the understory condition of 7 meters. *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* did not shown significant productivity differences between them. It was found as a pattern of behavior that larger alley distances (20 meters vs 7 meters) determined higher levels of productivity. For the grass height, no significant differences were registered between the species in October and December. In November, *Holcus lanatus* presented superior height. Also, in all the environments, November was the month with higher values regarding to height, reaching 30-35 centimeters. With regard to volumetric density, it was observed that when the plantation density increases, the volumetric density decreases. This means that when closer to the alley or when closer distance between rows, the $\text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ of each centimeter of grass height will also be lower. The analytical analysis shown that, for control, for each cm of height of the ruler 43 $\text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ were obtained. 24,5 $\text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ were obtained for 20 meters and 12 $\text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ for 7 meters distance.

Key words: Silvopastoral systems; Photosynthetically active radiation; Soil temperature; Air temperature; Soil humidity; Air humidity; Dry matter production; *Holcus lanatus*; *Dactylis glomerata*; *Festuca arundinacea*; Volumetric density.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Allard, G.; Nelso, C. J; Pallardy, S. G. 1991. Shade effects on growth of tall fescue: I. Leaf Anatomy and Dry Matter Partitioning. *Crop Science*. 31 (1):163-167.
2. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO, 298(0).
3. Allison, C. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *Journal of Range Management*. 38(4):305-311.
4. Almonacid, M. 2018. Evaluación de preferencia de forraje en ovinos, entre pradera de achicoria-plantago y una pradera polifítica. Tesis Ing. Agr. Valdivia, Chile. Universidad Austral. Facultad de Ciencias Agrarias. 34 p.
5. Alonso, J. 2011. Modelación de procesos hidrológicos asociados a la forestación con *Eucalyptus* en el Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 129 p.
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. Ammour, T. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CATIE. 244 p. (Manual técnico no. 109).
8. Arévalo, L. 1994. Definición y clasificación de sistemas agroforestales. (en línea). In: I Curso regional de agroforestería en la amazonia peruana (1994, Lima, Perú). Trabajos presentados. Lima, Congreso de la República del Perú. s.p. Consultado: 28 mar. 2020. Disponible en <http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/inia/inia-i4/inia-i4-02.htm#TopOfPage>
9. Atencio, L.; Tapia, J. J.; Mejía, S. L.; Cadena, J. 2014. Comportamiento fisiológico de gramíneas forrajeras bajo tres niveles de humedad en condiciones de casa malla. (en línea). *Temas Agrarios*. 19

(2):244-258. Consultado 25 jul. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.1194>

10. Awal, M.; Ikeda, T.; Itoh, R. 2003. The effect of soil temperature on source-sink economy in peanut (*Arachis hypogaea*). *Environmental Experimental Botany*. 50(1):41-50.
11. Bahamonde, H.; Peri, P.; Martínez, G.; Lencinas, M. 2009. Variaciones microclimáticas en bosques primarios y bajo uso silvopastoril de *Nothofagus antarctica* en dos Clases de Sitio en Patagonia Sur. (en línea) In: Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles (1°. 2009, Posadas). Trabajos presentados. Rio Gallegos, INTA. pp.1-7. Consultado 8 ago. 2020. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-variaciones_microclimaticas_en_bosques_primarios.pdf
12. Barnhart, S. 1998. Estimating available pasture forage. Ames, IA, Iowa State University Extension. College of Agriculture. Agronomy Department, Extension Programs. 4 p.
13. Barrera, P. 1977. Determinación de tasa de crecimiento y otros parámetros productivos de una pradera permanente en producción de leche I. otoño invierno. Tesis Lic. Agr. Valdivia, Chile, Universidad Austral. Facultad de Ciencias Agrarias. 70 p.
14. Belesky, D.; Burner, D.; Ruckle, J. 2011. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. (en línea). *Grass and Forage Science*. 66(3):370 - 380. Consultado 15 oct. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00796.x>
15. Bernal, J. 2003. Pastos y forrajes tropicales producción y manejo. 4ª. ed. Bogotá, Colombia, Ideagro. 691 p.
16. Bustos, A. 2009. Ensayo de calidad lumínica en plantas de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata* bajo cobertura de malla raschel y papel celofán de colores. Tesis Ing. For. Valdivia, Chile. Universidad Austral. Facultad de Ciencias Forestales. 82 p.
17. Camarao, A. P.; Simao Neto, M.; Serrao, E. A. S.; Rodrigues, I. A.; Lascano, C. E. 1990. Identificação e composição química de espécies invasoras de pastagens cultivadas e consumidas por bovinos em Paragominas, Pará. In: Reunión Red Internacional de

Evaluación de Pastos Tropicales (1º, 1990, Lima) Trabajos apresentados. Cali, CIAT. pp. 906-908.

18. Cantero, E.; Montero, R. s.f. Métodos directos e indirectos para la medición de fitomasa de una pradera. (en línea). Temuco, Universidad de la Frontera. 25 p. Consultado 4 dic. 2020. Disponible en https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5cc1c62c7cf6f.pdf
19. Carámbula, M. 2002. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forrajes. Montevideo, Hemisferio Sur. t.1, 357 p.
20. Carella, A.; De Mello, M. 2015. Evaluación de la implantación de mezclas forrajeras en un sistema silvopastoril y a cielo abierto. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 157 p.
21. Carrillo, L. 2004. Fotobiología vegetal. (en línea). Salta, Universidad Nacional de Salta. 31 p. Consultado 12 nov. 2020. Disponible en <http://www.microbiota.com.ar/sites/default/files/Fotobiolog%C3%A9.pdf>
22. Carvalho, M.; Xavier, D. 2005. Sistemas silvipastoris para recuperação e desenvolvimento de pastagens. In: de Aquino, A.; Linhares de Assis, R. eds. Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, EMBRAPA Informação Tecnológica. pp. 499-517.
23. Casal, J.; Deregibus, V.; Sánchez, R. 1987. Tillering responses of *Lolium multiflorum* plants to changes of red/far-red ratio typical of sparse canopies. *Journal of Experimental Botany*. 38(9):1432-1439.
24. Chacón, E. 2011. Comportamiento ingestivo del vacuno a pastoreo. *Mundo Pecuario*. 7(3):130-144.
25. Chilibroste, P. 2002. Evaluación de modelos detallados de rumen para reducir disponibilidad de nutrientes en sistemas intensivos de producción de leche bajo pastoreo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 10(3):232-240.
26. Church, P. 1987. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. México, D. F., Limusa. 630 p.

27. Cabbage, F.; Balmelli, G.; Bussoni, A.; Noellemeyer, E.; Pachas, A.; Fassola, H.; Colcombet, L.; Rossner, B.; Frey, G.; Dube, F.; de Silva, M.L.; Stevenson, H.; Hamilton, J.; Hubbard, W. 2012. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforestry System* 86(3):303-314.
28. Devkota, N.; Kemp, P.; Hodgson, J. 1997. Screening pasture species for shade tolerance. (en línea). Palmerston North, NZ, Massey University. Department of Plant Science. 10 p. Consultado 15 set. 2020. Disponible en <https://www.semanticscholar.org/paper/Screening-pasture-species-for-shade-tolerance-Devkota-Kemp/a7cec878fadedfb64abff6f5a863f4742bad15b6e?p2df>
29. Du, Y.; Tachibana, S. 1994. Effect of supraoptimal root temperature on the growth, root respiration and sugar content of cucumber plants. (en línea). *Scientia Horticulturae*. 58(4):289–301. Consultado 15 set. 2020. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90099-X](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90099-X)
30. Dupraz, C.; Blitz-Frayret, C.; Lecomte, I.; Molto, Q. 2018. Influencia de la latitud en la disponibilidad de luz para cultivos intercalados en un sistema agroforestal de cultivos en callejones. (en línea). *Agroforestry Systems*. 92(4):1019-1033. Consultado 11 nov. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0214-x>
31. Estrada, J. 2002. Pastos y forrajes para el trópico colombiano. Manizales, Colombia, Universidad de Caldas. 511 p.
32. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2001. Protección de los recursos naturales en sistemas ganaderos: los sistemas agroforestales pecuarios en América Latina. Roma. 38 p.
33. Farley, K.; Jobbágy, E.; Jackson, R. 2005. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*. 11(10):1565-1576.
34. Fedrigo, J.; Santa Cruz, R.; Benítez, V.; Posse, J.; Viñoles, C.; Courdin, V.; Ferreira, G. 2017. Forraje, temperatura y producción animal en un sistema silvopastoril en Uruguay. In: Congreso Internacional Sistemas Silvopastoriles (9º., 2017, Manizales, Colombia). Trabajos presentados. Montevideo, Veterinaria. pp. 130-135.

35. _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; Santiago, R.; Hernández, J.; Mantero, C.; Morales, V.; Silveira, E. 2018. Oportunidades y desafíos para los sistemas silvopastoriles en Uruguay. (en línea). *Veterinaria*. 54(209):20-30. Consultado 16 abr. 2020. Disponible en <http://www.scielo.edu.uy/pdf/vet/v54n209/1688-4809-vet-54-209-26.pdf>
36. Feldhake, C.; Belesky, D. 2009. La eficiencia de uso de radiación fotosintéticamente activa de *Dactylis glomerata* y *Schedonorus phoenix* a lo largo de un gradiente de luz inducido por árboles de madera dura. (en línea). *Agroforestry Systems*. 75(2):189-196. Consultado 16 abr. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9175-9>
37. Fernández, A. 2018. Silvopastoreo: árbol-pastura-animal. (en línea). In: Ediciones INTA. Producción de carne y leche bovina en sistemas silvopastoriles. Buenos Aires, INTA. pp. 17-28. Consultado 30 ago. 2020. Disponible en <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/silvopastoreo-arbol-pastura-anima-t41842.htm>
38. Gallo, L. 2006. Sistemas silvopastoriles. (en línea). *Revista del Plan Agropecuario*. no. 119:30-35. Consultado 25 ago. 2020. Disponible en https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R119/R119_30.pdf
39. Garnier, E.; Roy, J. 1988. Modular and demographic analysis of plant leaf area in sward and woodland populations of *Dactylis glomerata* and *Bromus erectus*. (en línea). *The Journal of Ecology*. 76(3):729-743. Consultado en 18 set. 2020. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/2260570?origin=crossref>
40. Giolo de Almeida, R. 2017. Integración agrícola–ganadera–forestal con enfoque al ganado de carne. In: Congreso CEA: Praderas y Forrajes. (25º., 2017, Asunción). Trabajos presentados. Asunción, PY, pp. 117-144.
41. Grantz, D. 1990. Plant response to atmospheric humidity. *Plant, Cell & Environment*. 13(7):667-679.
42. Houghton, D. 1984. Trees and erosion control. *Queensland Agricultural Journal*. 110(1):9-12.

43. Iglesias, N.; Muñoz, A. 2007. Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. *Horticultura Argentina*. 26(60):10-16.
44. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). s.f. Algunos conceptos sobre calidad de forraje. (en línea). INIA. Ficha técnica no. 33. s.p. Consultado 30 oct. 2020. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11188/1/Ficha-tecnica-33-Algunos-conceptos-sobre-calidad-de-forrajes.pdf>
45. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Condón, F.; Cotro, B.; Cuitiño, M.; Docanto, J.; García, J.; Gutierrez, F.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J.. 2017. Catálogo de cultivares INIA de especies forrajeras. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado 21 jul. 2020. Disponible en <https://pasturas.inia.org.uy/catalogo/index.php>
46. Jacques, W. 1962. Yorkshire fog as a pasture grass. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 24(1):139-150.
47. Jimenez, F.; Muschler, R.; Köpsell, E. 2001. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. (en línea). Turrialba, Costa Rica. 194 p. (Materiales de Enseñanza no. 46). Consultado 21 abr. 2020. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2202/Funciones_y_aplicaciones_de_sistemas_agroforestales.pdf;jsessionid=570F44E171B0820124996C11C14BF265?sequence=1
48. Joshi, M. 2000. Shading effects of *Pinus radiata* on productivity and feeding value of orchardgrass pasture in an agroforestry system. Thesis PhD. Pennsylvania, USA. Lincoln University. 156 p.
49. Karki, U.; Goodman, M. 2014. Microclimatic differences between mature loblolly-pine silvopasture and open-pasture. (en línea). *Agroforestry Systems*. 89(2):319- 325. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en <https://www.google.com/url?q=https://sci-hub.se/10.1007/s10457-014-9768-4&sa=D&source=editors&ust=1614798328595000&usq=AOvVaw3qTeh8tHIMMBv471VrjqcN>

50. Matthew, C.; Van Loo, E.; Thom, E.; Dawson, L.; Care, D. 2001. Understanding shoot and root development. (en línea). In: International Grassland Congress (19th., 2001, Sao Paulo). Proceedings. Aberdeen, s.e. pp. 19-27. Consultado 23 set. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/288858499_Understanding_shoot_and_root_development
51. MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY). 2020. Descripción de los grupos CONEAT. (en línea). Montevideo. 62 p. Consultado 3 oct. 2020. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/coneat#:~:text=Los%20grupos%20CONEAT%20no%20son,%20de%20la%20Ley%2013695>
52. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2020. Anuario estadístico agropecuario 2020. Montevideo. 270 p.
53. _____. RENARE (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, UY). 2020. Visualizador: padrón 11249. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 4 oct. 2020. Disponible en <http://web.renare.gub.uy/js/visores/coneat/>
54. Miah, M.; Garrity, D.; Aragon, M. 1995. Light availability to the understorey annual crops in an agroforestry system. (en línea). In: international Meeting of Ecophysiology of Tropical Intercropping (1995, Guadalupe). Proceedings. Guadalupe, INRA. pp. 99-107. Consultado 4 set. 2020. Disponible en https://www.google.com/url?q=https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19960705524&sa=D&source=editors&ust=1619033024298000&usq=AOvVaw2ldyo_wLzvBiSI18VXgtbl
55. MIEM. DINAMIGE (Ministerio de Industria, Energía y Minería. Dirección Nacional de Minería y Geología, UY). 2020. Visualizador Geológico Minero. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 30 set. 2020. Disponible en http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2/
56. Monteith, J. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. (en línea). Philosophical Transactions of the Royal Society of

- London. B, Biological Sciences. 281(980):277-294. Consultado 29 set. 2020. Disponible en <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.1977.0140>
57. Moore, K.; Dixon, P. 2015. Analysis of combined experiments revisited. *Agronomy Journal*. 107(2):763-771.
58. Munka, C. 2010. Variación del índice de área foliar y de la evapotranspiración en *Pinus taeda* debido al manejo silvicultural. Tesis de maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 88 p.
59. _____. 2017. Microclima en sistemas silvopastoriles. In: Viñoles, C.; Fedrigo, J.; Benitez, V.; Santa Cruz.; R. eds. Integración ganadería forestación. Melo, Polo Agroforestal. pp. 63-68.
60. Nair, P. 1989. *Agroforestry Systems in the Tropics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 665 p.
61. Ong, C; Corlett, J.; Singh, R.; Black, C. 1991. Above and below interactions in agroforestry systems. (en línea). *Forest Ecology and Management*. 45(1-4):45-57. Consultado 12 set. 2020. Disponible en <http://oar.icrisat.org/4592/>
62. Pastorini, V.; Acosta, P. 2011. Aportes del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca para la integración de la forestación en predios ganaderos. *Anuario OPYPA 2011*:283-297.
63. Pattarino, C. 2019. Vacas y árboles, dos rubros del agro uruguayo en un gran momento y más si se juntan. (en línea). *Diario El Observador*, Montevideo, UY, may. 30:s.p Consultado abr. 2020. Disponible en <https://www.iciforestal.com.uy/uruguay/19807-vacas-y-arboles-dos-rubros-del-agro-uruguayo-en-un-gran-momento-y-mas-si-se-juntan>
64. Percival, N. 1984. Effects of radiata pine on pasture yields, botanical composition, weed population and production of range of grasses. In: *Technical Workshop on Agroforestry*. (1°. , 1984, Dunedin). Proceedings. Dunedin, s.e. pp. 13-22.
65. Peri, P. 2002. Leaf and canopy photosynthesis models for cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) grown in a silvopastoral system. Thesis

PhD. en Agricultural Sciences. Lincoln, New Zealand. Lincoln University. 291 p.

66. _____; Dube, F.; Varella, A. 2016. Silvopastoral Systems in the subtropical and temperature zones of South America: an Overview. (en línea). In: Peri, P.; Dube, F.; Varella, A. eds. Silvopastoral Systems in Southern South America. New York, Springer. pp.1-9 (Advances in Agroforestry v. 11). Consultado en ago. 2020. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24109-8_1
67. Perrachón, J. 2013. Instalación de Pasturas perennes. (en línea). Revista del Plan Agropecuario. no. 146:48-53. Consultado 2 feb. 2021. Disponible en http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R146/R146_48.pdf
68. _____. 2020. ¿Qué gramínea perenne es mejor para Uruguay, dactylis o festuca? (en línea). Revista del Plan Agropecuario. no. 173:54-56. Consultado 24 set. 2020. Disponible en <https://www.planagropecuario.org.uy/web/188/revistas/-n%C2%B0173.html>
69. Qihua, S.; Liub, X.; Zhanga, J.; Chena, G.; Liuc, S.; Zhang, P.; Wang, Y. 2011. Analysis on the Tolerance of Four Ecotype Plants Against Copper Stress in Soil. In: International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (3rd., 2011, Zhejiang). Proceedings. Beijing, Elsevier. pp. 1802-1810.
70. Raffo, M.; Iglesias, N. 2004. Efecto de la interceptación y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. Fuji, bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 33(2):29-42.
71. Ribaski, J.; Dedecek, R.; Mattei, V.; Flores, C.; Vargas, A. 2005. Sistemas silvipastoris: estrategias para o desenvolvimento rural sustentável para a metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. (en línea). EMBRAPA Florestas-Comunicado Técnico. no 150:1-8. Consultado jul. 2020. Disponible en <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/312314/1/cottec150.pdf>

72. Rodríguez, J. 2008. Caracterización del proceso de hidrofobicidad en suelos afectados a la forestación con *Eucalyptus* sp. y *Pinus* sp.: primera aproximación. (en línea). Tesis Lic. Bioquímica. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Ciencias. 82 p. Consultado 15 set. 2020. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1661/1/uy24-13381.pdf>
73. Rojas, E. 2015. La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de tomate. Tesis Mtro. en Ciencias en Agroplasticultura. Saltillo, México. Centro de Investigación en Química Aplicada. 72 p.
74. Romero, L.; Aronna, M.; Cuatrin, A. 2002. Producción estacional de forraje y relación hoja - tallo de alfalfas multifoliadas. *In*: Congreso Argentino de Producción Animal (25º., 2002, Buenos Aires). Trabajos presentados. Rafaela, INTA. pp. 1-2.
75. Sánchez, P. 1972. A Review of Soil Research in Tropical Latin America. Tech. Bull. N. Carolina Agric. Exp. Stn., no. 219:46-59.
76. Sancho, L.; Arocena, I.; Ordeig, L. 2021. Definición, caracterización y cuantificación del área bajo sistemas silvopastoriles, para el seguimiento de las contribuciones establecidas en la Contribución Determinada a nivel Nacional de Uruguay. (en línea). Montevideo, MGAP, DGF. 66 p. Consultado jul. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/definicion-caracterizacion-cuantificacion-del-area-bajo-sistemas-silvopastoriles>
77. Savio, D.; Tavares C.; de Miranda, C.; de Fatima, M.; Dias, M. 2014. Potencialidades e desafios de silvipastoris. *In*: Congresso Brasileiro de Zootecnia (24th., 2014, Vitória). Trabalhos apresentados. Vitoria, Universidad Federal de Espírito Santo. pp. 2-3.
78. _____; Ismail, S. 2004. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*. 60(2):123-130.
79. Silveira, D.; Cadenazzi, M.; Zanoniani, R.; Boggiano, P. 2018. Estructura de las comunidades herbáceas en áreas con plantaciones forestales. (en línea). *Agrociencia* (Uruguay). 22(1):1-12.

Consultado 11 nov. 2020. Disponible en http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2301-15482018000100001&lng=pt&nrm=iso

80. Sotomayor, Á.; Teuber, O. 2011. Evaluación del efecto de los árboles manejados bajo ordenación silvopastoral en los parámetros climáticos del sitio, en relación a un manejo ganadero sin árboles. *Ciencia e Investigación Forestal*. 17(1):23-40.
81. Stadmuller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales medidas para mitigarlo: una revisión bibliográfica. (en línea). Turrialba, CR, CATIE. 73 p. Consultado jul. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0626>
82. Tamosiunas, M. 2015. La integración productiva de árboles y ganado en predios familiares: la visión del productor. *Agrociencia (Uruguay)*. 19(1):150-157.
83. Teuber, N.; Parga, J.; Balocchi, O. 2008. Mejores prácticas de pastoreo para el Sur de Chile. (en línea). *Tierra Adentro*. no. 78:7-10. Consultado 20 abr. 2020. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6363>
84. UNLP (Universidad Nacional de La Plata, AR). 2017. Aspectos climáticos de la temperatura del suelo. (en línea). *La plata*. pp.1-5 (Guía de Estudios no. 3). Consultado jul. 2020. Disponible en https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/52755/mod_resource/content/1/03%20-%20Temperatura%20del%20suelo.pdf
85. Varella, A. 2012. Características do ambiente luminoso em sistemas silvipastoris e recomendações para o manejo do componente forrageiro nas condições do sul do Brasil. In: *Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul (11°. , 2012, Nova Prata)*. Trabalhos apresentados. Rio Grande do Sul, s.e. s.p.
86. Vásquez Yanes, C.; Orozco , A.; Rojas, M.; Sánchez, M. E.; Cervantes, V. 1997. La reproducción de las plantas; semillas y meristemas. (en línea). México, D. F., Fondo de Cultura Económica. 170 p. Consultado 25 abr. 2020. Disponible en <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/157/htm/lcpt157.htm>

87. von Stackelberg, N.; Chescheir, G.; Skaggs, R.; Amatya, D. 2007. Simulation of the hydrologic effects of afforestation in the Tacuarembó River Basin, Uruguay. (en línea). Transactions of the ASABE. 50(2):455-468. Consultado 15 abr. 2020. Disponible en <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=22636>
88. Wang, Z.; Pot, J.; Huang, B. 2003. Responses of Cytokinins, Antioxidant Enzymes, and Lipid Peroxidation in Shoots of Creeping Bentgrass to High Root-zone Temperatures. (en línea). Journal of the American Society for Horticultural Science. 128(5):648-655. Consultado 29 jul. Disponible en <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.5.0648>
89. Wilson, J. 1996. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. Australian Journal of Agriculture Research. 47(7):1075-1093.
90. Xu, Q.; Huang, B. 2000. Growth and Physiological Responses of Creeping Bentgrass to Changes in Air and Soil Temperatures. (en línea). Crop Science. 40(5):1363-1368. Consultado 3 mar. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/229040256_Growth_and_Physiological_Responses_of_Creeping_Bentgrass_to_Changes_in_Air_and_Soil_Temperatures
91. Ziska, L. 1998. The influence of root zone temperature on photosynthetic acclimation to elevated carbon dioxide concentrations. (en línea). Annals of Botany. 81(6):717-721. Consultado 5 feb. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0626>

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable producción de forraje, en función del ambiente, especie forrajera, mes de evaluación y sus interacciones.

Test de tipo 3 efectos fijos				
Efecto	DF Num.	Den. DF	Valor F	Pr>F
Amb.*esp.	8	28,4	2,17	0,0615
Esp.*mes	4	154	8,18	<0,0001
Amb.*mes	8	158	7.67	<0,0001

Anexo No. 2. Análisis estadístico de la producción de materia seca (kg MS.há⁻¹) para la interacción ambiente*especie

kg MS.há ⁻¹ (amb.*especie)	Control	NS20	EO20	NS7	EO7
<i>Dactylis glomerata</i>	2173,38 Ba	1052,1 Bbc	1668,21 Abab	527,25 Ac	630,18 Ac
<i>Festuca arundinacea</i>	2163,42 Ba	1042,05 Bb	1203,63 Bb	646,86 Ab	561,66 Ab
<i>Holcus lanatus</i>	4034,58 Aa	1878,54 Abc	2288,13 Ab	506,04 Ad	927 Acd

Anexo No. 3. Análisis estadístico de la producción de materia seca (kg MS.há⁻¹) para la interacción especie*mes

kg MS.há ⁻¹ (especie*mes)	Octubre	Noviembre	Diciembre
<i>Dactylis glomerata</i>	372,29 Abab	583,58 Ba	254,26 Ab
<i>Festuca arundinacea</i>	246,54 Bb	625,3 Ba	251,68 Ab
<i>Holcus lanatus</i>	513,41 Ab	1132,62 Aa	280,83 Ac

Anexo No. 4. Análisis estadístico de la producción de materia seca (kg MS.há⁻¹) para la interacción ambiente*mes

kg MS.há ⁻¹ (amb.*mes)	Control	NS20	EO20	NS7	EO7
Octubre	1048 Ba	249,63 Bbc	422,37 Bb	43,61 Ac	123,62 Bc
Noviembre	1285,31 Aa	823,48 Ab	997,41 Ab	267,04 Ad	529,26 Ac
Diciembre	457,15 Ca	251,11 Bbc	300,22 Bab	249,4 Abc	53,39 Bc

Anexo No. 5. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura del pasto, en función del ambiente, especie forrajera, mes de evaluación y sus interacciones.

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num.	Den. DF	Valor F	Pr>F
Amb.*esp.	8	29,7	1,02	0,4398
Esp.*mes	4	137	20,7	<0,0001
Amb.*mes	8	148	12,7	<0,0001

Anexo No. 6. Análisis estadístico de la altura de pasto (centímetros) para la interacción ambiente*mes

Altura de pasto (amb.*mes)	Control	NS20	EO20	NS7	EO7
Octubre	29,3151 Ba	20,1481 Bbc	23,2593 Bb	10,7477 Bd	16,3773 Bc
Noviembre	35,1299 Aa	34,1111 Aa	28,8148 Ab	20,3403 Ac	24,6736 Abc
Diciembre	17,6299 Cab	14,5926 Cab	13,6667 Cbc	18,3403 Aa	11,007 Cc

Anexo No. 7. Análisis estadístico de la altura de pasto (centímetros) para la interacción especie*mes

Altura de pasto (especie*mes)	Octubre	Noviembre	Diciembre
<i>Dactylis glomerata</i>	21,62 Ab	25,42 Ba	13,93 Ac
<i>Festuca arundinacea</i>	17,63 Ba	20,32 Ca	14,62 Ab
<i>Holcus lanatus</i>	20,64 Abb	40,08 Aa	16,57 Ac

Anexo No. 8. Experimento 20 metros, orientación Este-Oeste



Anexo No. 9. Experimento 7 metros, orientación Este-Oeste



Anexo No. 10. Experimento 20 metros, orientación Norte-Sur



Anexo No. 11. Producción de noviembre de *Holcus lanatus* en el experimento Norte-Sur, 20 metros

