

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE
INVIERNO/PRIMAVERAL DE DOS MEZCLAS PERENNES DE PRIMER AÑO

por

Nicolás BRANCATO FIGUEREDO

Francisco LENGUAS HOUNIE

Pedro PONS PAIVA

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2019

Tesis aprobada por:

Director: _____

Ing. Agr. MSc. Ramiro Zanoniani

Ing. Agr. PhD. Pablo Boggiano

Ing. Agr. Nicolás Caram

Fecha: 13 de septiembre de 2019

Autores: _____

Nicolás Brancato Figueredo

Francisco Javier LenguasHounie

Pedro Pons Paiva

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía por permitirnos acceder a nuestra formación académica.

Al director de tesis Ing. Agr. MSc. Ramiro Zanoniani y al Ing. Agr. PhD. Pablo Boggiano por permitirnos la oportunidad de elaborar este trabajo de tesis y el apoyo brindado durante la realización de dicho trabajo

A las familias por el apoyo brindado durante toda la carrera.

A Sully Toledo, por su guía en los aspectos formales de la presentación de la tesis.

A la barra de la EEMAC y amigos que compartimos a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1 <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2 <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES Y CULTIVARES Y COMPONENTES DE LAS MEZCLAS	3
2.1.1 <u>Festuca arundinacea</u>	3
2.1.2 <u>Medicago sativa</u>	5
2.1.3 <u>Lolium perenne</u>	7
2.1.4 <u>Trifolium pratense</u>	8
2.2 MEZCLAS FORRAJERAS.....	10
2.2.1 <u>Importancia de la mezcla de especies</u>	11
2.2.2 <u>Componentes de la mezcla</u>	11
2.2.3 <u>Dinámica de las mezclas</u>	12
2.2.4 <u>Composición botánica</u>	13
2.3 CRECIMIENTO	13
2.3.1 <u>Índice de área foliar</u>	14
2.3.2 <u>Eficiencia fotosintética</u>	15
2.3.3 <u>Dinámica del crecimiento</u>	17
3 <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	18
3.1 CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES GENERALES	18
3.1.1 <u>Lugar y período experimental</u>	18
3.1.2 <u>Información meteorológica</u>	18
3.1.3 <u>Descripción del sitio experimental</u>	18
3.1.4 <u>Antecedentes del área experimental</u>	18
3.1.5 <u>Tratamientos</u>	19

3.1.6	<u>Diseño experimental</u>	19
3.2	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES	20
3.2.1	<u>Disponibilidad de materia seca</u>	20
3.2.2	<u>Altura</u>	21
3.2.3	<u>Composición botánica</u>	21
3.2.4	<u>Tasa de crecimiento medio</u>	21
3.2.5	<u>Tasa de crecimiento instantánea</u>	21
3.2.6	<u>Índice de área foliar</u>	22
3.2.7	<u>Balance hídrico</u>	22
3.3	HIPÓTESIS.....	22
3.3.1	<u>Hipótesis biológicas</u>	22
3.3.2	<u>Hipótesis estadísticas</u>	22
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	23
3.4.1	<u>Modelo estadístico</u>	23
4	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	24
4.1	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	24
4.1.1	<u>Precipitaciones</u>	24
4.1.2	<u>Temperatura</u>	25
4.1.3	<u>Balance hídrico</u>	26
4.2	PRODUCCIÓN DE FORRAJE SEGÚN TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN.....	27
4.2.1	<u>Precipitaciones</u>	27
4.2.3	<u>Temperatura</u>	29
4.3	PRODUCCIÓN DE FORRAJE.....	33
4.3.1	<u>Forraje disponible promedio en el período invernal</u>	33
4.3.2	<u>Forraje disponible promedio en el período primaveral</u>	34
4.3.3	<u>Forraje disponible promedio en el período experimental</u>	35
4.3.4	<u>Altura del forraje disponible</u>	36
4.3.5	<u>Tasa de crecimiento</u>	39

4.4	INTERCEPCIÓN Y USO DE LA RADIACIÓN.....	50
4.4.1	<u>Relación entre radiación PAR absorbida y altura del forraje</u>	50
4.4.2	<u>Relación entre IAF y altura de forraje</u>	52
4.4.3	<u>Relación entre radiación PAR absorbida e IAF</u>	53
4.4.4	<u>Relación entre PAR absorbido y biomasa acumulada</u>	56
4.4.5	<u>Relación entre radiación PAR absorbida y días de crecimiento</u>	59
4.5	COMPOSICIÓN BOTÁNICA	64
4.5.1	<u>Composición botánica promedio del forraje disponible en el período invernal</u>	65
4.5.2	<u>Composición botánica promedio del forraje disponible en el período primaveral</u>	66
4.5.3	<u>Composición botánica promedio del forraje disponible en el total del período experimental</u>	67
4.6	SUELO DESNUDO.....	68
4.6.1	<u>Porcentaje de suelo desnudo en la estación de invierno</u>	68
4.6.2	<u>Porcentaje de suelo desnudo en la estación de primavera</u>	68
4.6.3	<u>Porcentaje de suelo desnudo en el total del período experimental</u>	69
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	71
6.	<u>RESUMEN</u>	72
7.	<u>SUMMARY</u>	72
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	74

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1.Producción de materia seca por hectárea por estación y total acumulada de <i>Lolium perenne</i> cultivar Horizont.	8
2.Producción de materia seca por hectárea por año <i>Trifolium pratense</i> cultivar LE116.	10
3.Resumen del balance hídrico (mm) para el período experimental.	26
4.Producción promedio de forraje en el período invernal (kg de MS/ha), según tratamiento.	33
5.Disponibilidad promedio de forraje (kg de MS/ha) para cada componente de cada tratamiento en el período invernal.	34
6.Disponibilidad promedio de forraje en el período primaveral (kg de MS/ha), según tratamiento.	34
7.Disponibilidad promedio de forraje (kg de MS/ha) para cada componente de cada tratamiento en el período primaveral.	35
8.Disponibilidad promedio de forraje (kg de MS/ha) en el período experimental, según tratamiento.	35
9.Disponibilidad promedio de forraje (kg de MS/ha) para cada componente de cada tratamiento en el período experimental.	36
10.Altura (cm) promedio del forraje disponible en el período invernal según tratamiento.	37
11.Altura (cm) promedio del forraje disponible en el período primaveral según tratamiento.	37
12.Altura promedio del forraje disponible en el período experimental.	38
13.Composición botánica invernal del experimento para cada tratamiento.	65
14.Composición botánica primaveral del experimento, para cada tratamiento.	66
15.Composición botánica promedio del experimento, para cada tratamiento.	67
16. Suelo desnudo en el período invernal del experimento, para cada tratamiento.	68
17.Suelo desnudo en el período primaveral del experimento, para cada tratamiento.	69
18. Suelo desnudo promedio del experimento, para cada tratamiento.	69

Figura No.

1. Producción de forraje por hectárea y año de los cv. Typhoon, Tacuabé y Rizomat, expresado en kg/ha/año de MS.....	5
2. Esquema ilustrativo de los bloques y tratamientos del experimento	20
3.Registro mensual de precipitaciones (mm) del período experimental comparado con la serie histórica 2002-2014.....	24
4.Registro mensual de temperatura (°C) del período experimental comparado con la serie histórica 2002-2014	25
5. Distribución de las precipitaciones (mm) y acumulación de materia seca (kg de MS/ha) durante el período invernal para ambos tratamientos.....	28
6. Distribución de las precipitaciones (mm) y acumulación de materia seca (kg de MS/ha) durante el período primavera para ambos tratamientos.....	29
7. Temperatura media (°C) y crecimiento acumulado de materia seca (kg MS/ha) durante el período invernal para ambos tratamientos.....	30
8. Temperatura media (°C) y crecimiento acumulación de materia seca (kg MS/ha) durante el período primaveral para ambos tratamientos	32
9.Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio y tasa de crecimiento instantáneo según días post emergencia para el tratamiento FS + ALF en el período invernal	40
10. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio y tasa de crecimiento instantáneo según días post emergencia para el tratamiento RG + TR en el período invernal	41
11. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según días post pastoreo para el tratamiento FS + ALF para el período primaveral.....	43
12.Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según días post pastoreo para el tratamiento RG + TR para el período primaveral.....	45
13.Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según grados días acumulados para el tratamiento RG + TR en el período invernal	47
14.Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según grados días acumulados para el tratamiento FS + ALF en el período invernal.....	48

15. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según grados días acumulados para el tratamiento RG + TR en el período primaveral	49
16. Relación entre la radiación interceptada y la altura de ambos tratamientos a lo largo de todo el período experimental	50
17. Relación entre altura del forraje e IAF para ambos tratamientos en conjunto	52
18. Relación entre IAF y radiación PARa para el tratamiento FS + ALF	53
19. Relación entre IAF y radiación PARa para el tratamiento RG + TR	54
20. Relación entre IAF y radiación PARa para ambos tratamientos en invierno	55
21. Relación entre radiación PAR absorbido y acumulación de materia seca para el tratamiento FS + ALF a lo largo del experimento	57
22. Relación entre radiación PAR absorbido y acumulación de materia seca para el tratamiento RG + TR a lo largo del experimento	57
23. Relación entre radiación PAR absorbido y acumulación de materia seca para ambos tratamientos en conjunto a lo largo del experimento	58
24. Relación entre días post emergencia y radiación PAR absorbida para ambos tratamientos en el período invernal	60
25. Relación entre días post emergencia y IAF para ambos tratamientos en el período invernal	61
26. Relación entre días post pastoreo y radiación PAR absorbida para el tratamiento FS + ALF durante el período primaveral	62
27. Relación entre radiación PAR absorbida y suma térmica para ambos tratamientos en el período invernal	63
28. Relación entre IAF y suma térmica para ambos tratamientos en el período invernal	64

1 INTRODUCCIÓN

En Uruguay, la producción animal ha sido históricamente a base pastoril. En las últimas décadas se ha incrementado el uso de pasturas sembradas como forma de incrementar la producción. Estas incluyen; gramíneas puras, leguminosas puras, verdes y mezclas forrajeras, las cuales pueden ser simples o complejas. Las pasturas son la fuente más económica de alimentación para los rumiantes, por lo que aumentar la productividad y la calidad de estas permite así aumentar la producción animal sin descuidar el aspecto económico.

El campo natural en Uruguay se caracteriza por ser predominantemente de especies gramíneas, notándose una gran ausencia de especies leguminosas. Esto reduce la calidad del alimento. Esta escasez de leguminosas se puede percibir como una limitante del campo natural. Otra limitante de este es su marcada estacionalidad en función del tipo de suelo, donde se evidencia una disminución de la producción de materia seca tanto en invierno como en verano. A modo de resumir, el campo natural debido a su estacionalidad y ausencia de especies leguminosas presenta un bajo potencial de producción y baja calidad.

Las mezclas forrajeras son habitualmente de especies gramíneas y leguminosas variando en la complejidad de la mezcla. La siembra de estas especies por sí solas no se traduce en una buena pastura mas la mezcla de estas conlleva a una complementación permitiendo explotar el potencial de ambas especies. Las gramíneas aportan alta productividad, perennidad y una fuerte resistencia al pisoteo. Por otro lado, las leguminosas son dadoras de nitrógeno a través de la fijación biológica y aportan el componente de proteína a la dieta mejorando la calidad de esta. Por lo que las mezclas forrajeras permiten aumentar la producción de materia seca por hectárea y el uso de especies complementarias estabiliza la producción estacional y mitigan las deficiencias de producción observadas en verano e invierno en campo natural.

Cabe destacar ciertas limitantes que presentan las pasturas sembradas. Estas suelen tener problemas de implantación, enmalezamiento temprano y una baja estabilidad y perennidad si se lo compara con el campo natural. También suelen aparecer problemas cuando se siembran dos o más pasturas consociadas. Por lo que una adecuada siembra, control de malezas tempranas y un acorde manejo del pastoreo son de gran importancia para asegurar el éxito de estas.

El trabajo realizado fue con el objetivo de cuantificar la producción invierno-primaveral de dos mezclas de gramíneas y leguminosas, *Lolium perenne* cv. Horizon más *Trifolium pratense* cv. E116 y *Festuca arundinacea* cv. Typhoon más *Medicago sativa* cv. Chana, en su primer año de vida, comparando sus tasas de crecimiento en las

distintas estaciones evaluadas. A su vez se busca analizar la composición botánica de las mismas en función de control de malezas y cobertura del suelo.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES Y CULTIVARES Y COMPONENTES DE LAS MEZCLAS

2.1.1 *Festuca arundinacea*

La festuca es una gramínea perenne invernada, de porte cespitoso a rizomatoso (rizomas muy cortos). Se adapta bien a un amplio rango de suelos, tolerando alcalinos y ácidos, presentando un buen comportamiento en suelos medios a pesados. Crece bien en suelos húmedos, tiene una moderada resistencia a sequías y no es muy afectada por las heladas (García, 2003).

La festuca se establece con lentitud y por lo tanto es vulnerable a la competencia ejercida por otras especies (Langer, 1981). El lento establecimiento se debería a la baja movilización de las reservas de la semilla y en consecuencia el crecimiento lento de la raíz (Carámbula, 2007), esta característica podría ser mejorada con siembras en línea (García, 2003). Como consecuencia, la producción durante el primer año es baja, pero si se maneja en forma adecuada, la festuca puede persistir muchos años (Langer, 1981).

Su crecimiento se da durante todo el año, por lo que se reduce el enmalezamiento en el verano. Para esto se deben evitar pastoreos intensos en esta estación, ya que estos pueden afectar la producción posterior y la persistencia (García, 2003). Presenta una buena precocidad otoñal, rápido rebrote a fines de invierno, floración temprana (Carámbula, 2007) y un excelente crecimiento primaveral (Langer, 1981). En etapas avanzadas del crecimiento, disminuye la apetecibilidad, tornándose un forraje tosco y despreciable (Carámbula, 2007). Se deben realizar pastoreos frecuentes e intensos con el fin de no permitir el encañado y así reducir la calidad del forraje (García, 2003). Este manejo es posible debido no solo porque las sustancias de reserva se encuentran en las raíces y rizomas cortos que forman la corona de las plantas, sino también porque por lo general, las plantas presentan áreas foliares remanentes altas luego de los pastoreos (MacKee, citado por Carámbula, 2007).

Para favorecer la productividad y persistencia, se debe insistir en un manejo a fines de invierno y primera mitad de primavera, que permita un buen desarrollo radicular previo al verano para lograr una buena exploración radicular y extraer agua de horizontes más profundos, prestando también especial cuidado en el manejo estival (Carámbula, 2007).

Debido a su alta producción y a su rápido rebrote, necesita importantes cantidades de nitrógeno, ya sea a través de fertilización o mediante siembras con leguminosas. La compatibilidad de esta mezcla es buena debido a que posee hojas relativamente erectas que le permiten coexistir con las mismas, sobre todo con *Trifolium repens* (Carámbula, 2007).

Una característica de interés es la presencia del hongo endófito *Neotyphodium coenophialum*. Este hongo forma un mutualismo con la festuca, donde el mismo recibe de la planta los nutrientes, protección y una vía para diseminarse; y le confiere a la planta ventajas como mayor tolerancia a la sequía, insectos y nematodos. A su vez aumenta el macollaje, la persistencia y el rendimiento potencial. Por otro lado, tiene efectos negativos de toxicidad en los animales. Existe una relación directa entre los hongos y los problemas de festucosis, por lo que se pone especial cuidado en comercializar cultivares libres de estos hongos (Ayala et al., 2010).

Los cultivares de festuca se pueden agrupar en dos grandes tipos, mediterráneos y continentales. Los primeros tienen un muy buen potencial de crecimiento invernal, pero reposan en verano, son de hojas finas y hábito erecto. Los segundos, los continentales, tienen la capacidad de crecer en todas las estaciones del año y son en general de hojas anchas y hábito de crecimiento intermedio. Por el régimen de precipitaciones del Uruguay, los cultivares de mayor adaptación son en general los continentales, siendo estos de una producción un 20% superior a los mediterráneos. Otro aspecto que las aventaja a las continentales sobre las mediterráneas es no presentar latencia estival, esta conlleva a una menor competencia de las malezas sobre la pastura (Ayala et al., 2010).

Festuca arundinacea cv. Typhoon es una variedad creada por Pyne Gould Guinness Ltd., empresa de origen neozelandés. Es una festuca de tipo continental con floración temprana, de los primeros días de octubre. La misma fue seleccionada buscando además de buena producción y persistencia, hojas flexibles y alta relación lámina-vaina. Tiene una muy buena capacidad de macollaje, lo que le permite persistir muy bien en las condiciones del Uruguay, inclusive en el norte. Es especialmente pensada como componente de praderas perennes con leguminosas (Procampo, 2018).

En el siguiente cuadro se muestran los datos de producción de forraje por hectárea y año de festuca de los cv. Typhoon, Tacuabé y Rizomat.

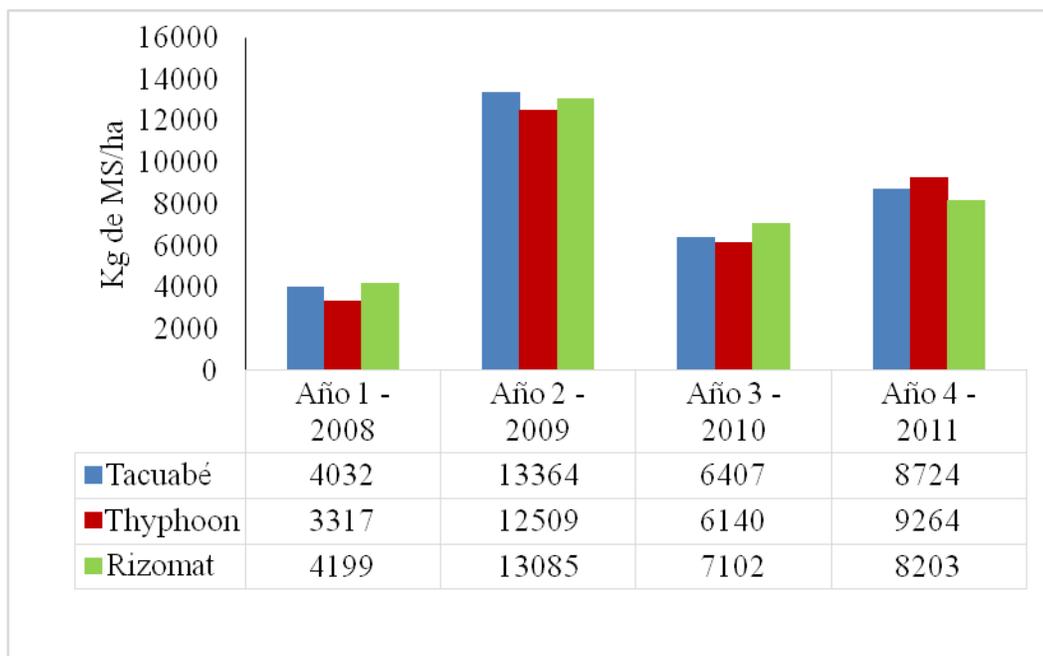


Figura No. 1. Producción de forraje por hectárea y año de los cv. Typhoon, Tacuabé y Rizomat, expresado en kg/ha/año de MS

2.1.2 *Medicago sativa*

Es una especie perenne estival, con crecimiento erecto a partir de la corona, con alto potencial de producción primavero-estival independientemente del grado de latencia del cultivar, siendo esta característica determinante de la producción otoño-invernal. Los cultivares con latencia producen 6-10% y los sin latencia 16-20% de la producción total en dicho período respectivamente (Rebuffo et al., 2000).

El sistema radicular de la alfalfa consta de una raíz principal que penetra en el suelo si se dan las condiciones, sin embargo, no es raro que el sistema radicular se encuentre extremadamente ramificado. La masa de raíces disminuye significativamente en la medida que se desciende en el perfil del suelo, encontrándose el 60-70% de la masa total de las raíces en los primeros 15 cm del suelo. Las raíces fibrosas que proliferan en los primeros 20 cm de suelo son las que tienen la mayoría de los nódulos (Barnes y Scheaffer, 1995).

Requiere suelos fértiles, profundos y bien drenados. Presenta buen vigor inicial y establecimiento, gran potencial de producción primavero-estival y una alta capacidad de fijar nitrógeno (Carámbula, 2007).

El pH del suelo es un factor muy importante en el crecimiento de esta especie, pudiendo afectar la fijación simbiótica de N₂ y la disponibilidad de elementos esenciales

(Barnes y Scheaffer, 1995). La alfalfa es una leguminosa sensible a la acidez, con un pH óptimo de entre 6,0 y 6,5; y un rango crítico de entre 5,5 y 7,5 donde fuera de estos rangos pueden ocurrir desbalances nutricionales y disminuir la disponibilidad de micronutrientes (Rebuffo et al., 2000).

Según Carámbula (2002a) aporta la mayor parte de su producción en primavera, época en que las condiciones de temperatura y disponibilidad hídrica favorecen su crecimiento. Sin embargo, en verano su comportamiento es más variable debido a las condiciones climáticas menos favorables, dependiendo en especial de la profundidad del suelo y de las reservas de agua del mismo. Durante el otoño su producción es relativamente baja, por lo que se debe hacer un manejo cauteloso, que le permita acumular reservas y así cuidar su persistencia

La edad de la pastura tiene un marcado efecto en la producción de materia seca. El primer año corresponde a los menores valores diarios de producción, mientras que en el segundo año alcanzan los máximos valores, 68 kg/MS/día. A partir de ahí, la producción empieza a descender, ocupando valores intermedios de producción, pasturas de tercer y cuarto año (Díaz Lago et al., 1996).

La alfalfa es compatible con gramíneas perennes y anuales, muy apropiada para la henificación y siembras consociadas (Carámbula, 2007). Su densidad de siembra en praderas puras es de 15 a 20 kg/ha y en mezclas se recomienda una densidad de 6 a 9 kg/ha. La utilización de alfalfa en mezclas con festuca, dactylis o cebadilla es una alternativa muy difundida. Dicha alternativa tiene ventajas desde el punto de vista del enmalezamiento y riesgo de meteorismo (Formoso, 2000).

Las variedades de alfalfa se clasifican de acuerdo a su reposo invernal o latencia, característica que le permite mantenerse en estado latente durante el período invernal, previa acumulación de reservas que facilitarán el posterior rebrote en la primavera (Rebuffo et al., 2000).

El grado de latencia indica el período en el que la alfalfa no produce, ya que las variedades de diferentes grupos inician y finalizan el reposo con distintos umbrales de temperatura y longitud del día. Este es uno de los aspectos más relevantes de las características varietales, ya que determina la distribución estacional de forraje y en particular el potencial de crecimiento con bajas temperaturas. Las variedades que se comercializan en Uruguay se clasifican en tres grupos de acuerdo a su grado de reposo invernal: sin reposo, con reposo corto y con reposo largo. El mayor contraste entre los grupos se observa en la estacionalidad de la producción de forraje, la arquitectura de la planta y la persistencia (Rebuffo et al., 2000).

El cultivar Estanzuela Chaná es del tipo intermedio de latencia, seleccionada por persistencia sobre alfalfares de origen italiano. Se caracteriza por plantas de porte

erecto, coronas de gran tamaño y tallos largos, con un reposo invernal corto y con floración poco abundante, que se extiende de noviembre a marzo (Ayala et al., 2010).

2.1.3 *Lolium perenne*

Esta gramínea es de hábito perenne, ciclo invernal y con un comportamiento en el crecimiento de manera cespitosa. Tiene buen comportamiento en climas templados y húmedos, pero se ve afectada frente a sequías. Su producción de forraje se ve afectada en suelos arenosos y es máxima en suelos fértiles bien drenados (Carámbula, 2007).

El raigrás perenne es de rápida implantación y resiste el pastoreo intenso. A pesar de esto, dadas las condiciones de altas temperatura y baja disponibilidad hídrica de Uruguay en verano, esta gramínea se comporta como bianual con una buena producción en el primer año mientras que en el segundo desaparece (García, 2003).

“Se desarrolla mejor entre los regímenes de temperatura de 16°C diurnos/10°C nocturnos y 23°C/17°C, declinando su producción y habilidad competitiva a temperaturas mayores (31°C/25°C)” (Cook et al., 1976).

“De incluirse esta especie en el rol de gramínea de una mezcla, el forraje disponible durante el verano será completamente desbalanceado a favor de la o las leguminosas asociadas en la mezcla. Por consiguiente, resulta fundamental realizar manejos que doten al raigrás perenne de sistemas radiculares vigorosos y activos” (Carámbula, 2002a).

Con respecto a su producción en el primer año, esta fluctúa entre 4 a 10 toneladas por hectárea de materia seca. Llegando así, en condiciones favorables, a una producción parecida a la del raigrás anual (Betín, 1975).

Según Langer (1981) los cultivares tetraploides, a pesar de tener un menor contenido de materia seca, han presentado una serie de ventajas sobre los diploides.

Ventajas:

- Semillas más grandes.
- Hojas y macollos de mayor tamaño.
- Mejor palatabilidad y consumo por parte del animal debido a mayor concentración de carbohidratos solubles.

El cultivar Horizont presenta un pico de producción de materia seca durante la primavera que es esencial para sistemas agrícolas de alto rendimiento. Seguidamente se

presentan los datos de producción de este cultivar en cada estación presentados por la empresa semillerista importadora de este cultivar.

Cuadro No. 1. Producción de materia seca por hectárea por estación y total acumulada de *Lolium perenne* cultivar Horizont

Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Total
2533	5635	1917	353	10438

Fuente: PGG Wrightson Seeds South America¹

2.1.4 *Trifolium pratense*

Es una especie que presenta excelente comportamiento productivo, con un ciclo predominantemente otoño invierno primaveral, con posibilidades de producción estivales en veranos húmedos (Carámbula, 2007). Se trata de una especie perenne de vida corta, que proveniente de regiones templadas, con un crecimiento aéreo muy ramificado, semi erecto que surge de una corona situada por encima del suelo (Langer, 1981).

Calificada como una especie perenne, pero normalmente se considera bianual, a causa de que en el primer verano muchas plantas mueren por el efecto de una o más enfermedades de raíz y corona y una resiembra natural muy poco eficiente (Carámbula, 2007).

Sus partes aéreas son pubescentes, aunque la cara superior de la hoja no presenta tantos pelos como la inferior (Langer, 1981).

Respecto a sus exigencias en suelos, requiere suelos predominantemente fértiles de texturas medias y pesadas con buena profundidad, pero bien drenados. Tolera bien la humedad en invierno y responde de manera excepcional al riego en verano, siendo menos resistente a la sequía que el lotus y la alfalfa. En los suelos ácidos, presenta mejor adaptación que la alfalfa, por lo que puede ocupar el lugar de la misma (Carámbula, 2007).

Necesita de una siembra temprana en el otoño ya que es una especie sensible al frío en sus primeras etapas. En siembras que se realizan oportunamente tiene la capacidad de competir fuertemente con otros pastos y leguminosas, y además de lograr una muy buena producción de forraje en el primer año. La recomendación de densidad de siembra en mezcla está en un rango que va desde 4 a 8 Kg por hectárea. Siendo una especie muy apropiada para siembras asociadas a causa de su alta tolerancia a la sombra (Carámbula, 2007).

¹Darino, E. 2014. Evaluación de raigrás perenne Base. Kiyú, PGG Wrightson Seeds. 9 p. (sin publicar)

No tolera el pastoreo intenso y frecuente, siendo el primero el causante de la reducción de rendimiento. Cuando se pastorea de manera prolongada y frecuente ocasiona una rápida muerte de las plantas, probablemente por agotamiento de las reservas almacenadas en la raíz para el rebrote (Langer, 1981). Para pastoreo es beneficioso sembrarla asociada a una gramínea como *Lolium multiflorum*. De esta manera se controlará mejor el alto poder para producir meteorismo de esta especie, así como su actividad estrogénica, como consecuencia de su riqueza de isoflavonas (Carámbula, 2007).

En Uruguay se evalúan tres tipos de cultivares de *Trifolium pratense* que tienen muy diferentes tasas de crecimiento invernal y fechas de floración. Se encuentran en primer lugar los cultivares sin latencia, tradicionalmente utilizados en Uruguay, con un muy buen desarrollo en invierno. Son definidos también como cultivares de floración temprana o “doble corte”. Le sigue los cultivares de latencia intermedia que presentan un reposo invernal corto y una floración intermedia. En último grupo se encuentran aquellos cultivares que presentan latencia o de floración tardía, se nominaron como tipos de “corte simple”. El período de reposo invernal puede ser muy largo (Ayala et al., 2010).

Los cultivares adaptados a climas fríos son de floración tardía y se comportan como perennes, pero en climas templados y más cálidos son de floración intermedia y temprana, ya que el ciclo vital de la planta suele reducirse de tal forma que se comporta respectivamente como bianual e incluso anual (Carámbula, 2007).

Una de las variedades más utilizada en Uruguay es el cultivar LE 116. El mismo proviene de materiales introducidos de Nueva Zelanda. Posee un porte erecto a semierecto, de floración temprana, bianual y sin latencia invernal. Presenta una mejor adaptación a suelos de texturas medias y pesadas con buena profundidad. Cuenta con excelente implantación tanto en siembras puras como también asociada a cultivos. Densidades de siembra altas lo apropian de un carácter agresivo. Con respecto a otros cultivares se destaca por su precocidad, producción total e invernal, con un pico de máxima producción en el mes de noviembre (García et al., 1991).

A continuación, se presentan los datos de producción promedio (2011, 2012, 2013, 2014) según año de vida del *Trifolium pratense* cultivar LE 116, expresado en kg/ha/año de MS.

Cuadro No. 2. Producción de materia seca por hectárea por año *Trifolium pratense* cultivar LE 116

Año	1er. año 2011	1er.año 2012	1er.año 2013
kg/ha de MS	8154	7552	10295
Año	2°. año 2012	2°. año 2013	2°. año 2014
kg/ha de MS	10419	12627	4873

Fuente: INASE (2014)

2.2 MEZCLAS FORRAJERAS

Una mezcla forrajera es una población artificial integrada por dos o más especies con diferentes características morfo-fisiológicas. Como resultado, se produce un complejo de interferencias que puede tener como resultado: mutua depresión de una especie en beneficio de otra, mutuo beneficio, y por último ninguna interferencia (Carámbula, 2007).

Según Santiñaque y Carámbula (1981), las mezclas forrajeras están compuestas por especies gramíneas y leguminosas perennes generalmente. El objetivo de éstas es producir alto rendimiento de materia seca con alto valor nutritivo, durante varios años. Es fundamental que esta producción esté uniformemente distribuida en el año.

La relación que se obtiene normalmente frente a siembra de dos especies en conjunto es la competencia. También puede ser de complementación. Sobre la producción anual y estacional, depende de las especies sembradas y del ambiente en que se encuentren. Además de esto también toma importancia el manejo de la defoliación y el uso de insumos tales como fertilizantes, herbicidas y riego (Scheneiter, 2005).

Al instalar una pastura el propósito es lograr una mezcla mixta bien balanceada de gramíneas y leguminosas, por lo general se acepta que idealmente debería estar compuesta por 60-70 % de gramíneas, 20-30 % de leguminosa y 10 % malezas (Carámbula, 2007).

Existen tres tipos de mezclas. Las ultras simples se conforman de una leguminosa y una gramínea. Las simples se forman a partir de una mezcla ultra simple sumando una gramínea o leguminosa. Por último, las mezclas complejas son formadas por cuatro especies. Estas pueden ser tres gramíneas y una leguminosa o bien dos gramíneas y dos leguminosas (Carámbula, 2007).

2.2.1 Importancia de la mezcla de especies

Existen autores que afirman que no hay evidencias de una mayor producción de forraje de las mezclas frente a pasturas puras (Rhodes, citado por Carámbula, 2007). Otros afirman que la combinación de especies forrajeras debería ser más eficiente para el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles (Jones et al., Rhodes, Harris y Lazenby, citados por Carámbula, 2007). Estos autores argumentan que la evidencia de que no haya un incremento en el rendimiento de las mezclas proviene de estudios de mezclas de gramíneas templadas creciendo en ambientes templados y de mezclas de gramíneas tropicales creciendo en un ambiente subtropical las cuales fueron más competitivas que complementarias (Jones et al., citados por Santiñaque y Carámbula, 1981).

Las mezclas de especies estivales e invernales pueden resultar más productivas que mezclas simples estacionales (Carámbula, 2002a). Según Santiñaque y Carámbula (1981) la producción total de las mezclas complementarias supera significativamente la de las mezclas invernales y estivales.

Por lo tanto, la ventaja de la mezcla frente a la especie sembrada pura no necesariamente implica que las especies rindan más dentro de la mezcla, sino que las mezclas utilizan de manera más eficientes los recursos del medio ambiente (Fariña y Saravia, 2010).

2.2.2 Componentes de la mezcla

Las especies que componen una mezcla deben ser de distintas familias. Por un lado, están las gramíneas, que se adaptan muy bien a la mayoría de los suelos, no producen meteorismo, presentan muy pocos ataques de plagas y enfermedades, proveen alta persistencia a las pasturas, permiten controlar las malezas de hoja ancha más fácilmente y proveen materia seca a las pasturas a lo largo del año. Por otro están las leguminosas que son proveedoras de nitrógeno a las gramíneas, presentan un alto valor nutritivo para la dieta animal y promueven la fertilidad en suelos naturalmente pobres y degradados por mal manejo, mejorando la estructura del suelo, particularmente en profundidad. En situación donde se quiere implementar el uso de leguminosas puras como bancos de proteína, la presencia de una gramínea perenne permite aumentos de un 10 a 20 % en la oferta de forraje sobre la leguminosa pura (Carámbula, 2007).

La inclusión de una leguminosa permite alcanzar durante primavera – verano valores mayores de digestibilidad, amortiguando el descenso de calidad que presentan las gramíneas puras en esta época del año (Scheneiter, 2000).

Es importante destacar que mientras una pastura alta en proteínas y baja en carbohidratos solubles (mayor proporción de leguminosas) favorece la producción de leche o el engorde de corderos, un forraje con pasturas “maduras” es más apropiado para la producción de carne vacuna (Carámbula, 2007).

Sin embargo, la inclusión de mezclas en base a alfalfa en la cadena forrajera de los sistemas de invernada aporta una alta producción de forraje de calidad en verano, época del año donde la mayoría de las forrajeras templadas disminuyen sus tasas de crecimiento y/o pierden calidad permitiendo una terminación eficiente de los animales a campo con buenas ganancias de peso (Otondo et al., 2008).

2.2.3 Dinámica de las mezclas

Según Carámbula (1991) la mayoría de las mezclas forrajeras presentan un desequilibrio a favor de las leguminosas desde el momento de la implantación. Este desequilibrio se acentúa cuando se trata de suelos pobres o degradados, donde la sola fertilización fosfatada y la deficiencia de nitrógeno conducen a una mala implantación de las gramíneas.

Uno de los principales focos de inestabilidad de las pasturas es la invasión de malezas en el verano. Éstas encuentran las mejores condiciones para su crecimiento, en los espacios de suelo descubierto que aparecen en el verano como consecuencia de la desaparición de las leguminosas invernales sensibles a las sequías, constituyendo los nichos ideales para las especies invasoras. La presencia de una gramínea perenne es de mucha importancia ya que éstas tienen la tendencia de ocupar esos espacios vacíos mientras la pastura envejece y reduce los riesgos de erosión por suelo descubierto (Carámbula, 2007).

También es importante la inclusión de una leguminosa de ciclo estival, ya que puede lograr incrementos importantes en producción de materia seca y un lapso de tiempo mayor de producción. Formoso et al. (1982) afirman que un ejemplo de esto es la mezcla de festuca, trébol blanco y lotus, de gran adaptación y difusión, ya que es indicada para rotaciones de larga duración por su buen comportamiento en el largo plazo. Por lo contrario, en suelos fértiles, las mezclas se presentan generalmente bien balanceadas (Bautés y Zarza, citados por Carámbula, 2007).

Sobre la dinámica de mezclas, Rosengurtt (1979) reafirma la idea de que los animales castigan las especies que se encuentran exageradamente en minoría dentro de la pastura. Esto es así, aunque sean de menor calidad y más acentuado en praderas artificiales.

Exclusivamente en gramíneas, existe un trabajo donde se vio que las mezclas que contienen *dactylis* presentan una tendencia a producir menos forraje por año que las

mezclas que contienen festuca o falaris. Esta tendencia se acentúa durante el tercer y cuarto año de la pastura y se relaciona con el cambio de la composición botánica, donde a medida que disminuye el contenido de leguminosa, la producción total se hace dependiente de la producción de la gramínea (Bautes y Zarza, 1982).

2.2.4 Composición botánica

La composición botánica es un factor importante a la hora de obtener buenos consumos y producción por parte de los animales. Las leguminosas pueden presentar mayores consumos y ganancias si la oferta no es limitante comparando con gramíneas (Poppi et al., citados por Cangiano, 1996).

Cuando la composición botánica es modificada, en consecuencia, la distribución de la producción a lo largo del año se ve alterada, pero la producción total anual tiene menor variación (Escuder, 1996).

Cambios en la composición botánica debidos a cambios en el manejo son lentos en ocurrir, mientras cambios en la estructura vertical de la pastura son evidentes en menor tiempo (Barthram et al., 1999).

Según Carámbula (2004), un manejo eficiente de la luz a través de la defoliación puede hacer variar las proporciones de las diferentes especies que contribuyen a la pastura.

Jones, citado por Barthram et al. (1999) afirma que el tiempo de recuperación luego de una defoliación y la intensidad de la misma, puede alterar la composición de la pastura. Para cada especie hay un período crítico y en general defoliaciones poco intensas en momentos de activo crecimiento de una especie, puede favorecer la predominancia de ésta en la pastura.

Es importante la interacción entre manejo y fertilizante. Jones, citado por Carámbula (2002b) concluye también que gran parte del descenso en la productividad y el deterioro de la composición botánica de las pasturas sembradas es el resultado de manejos incorrectos.

2.3 CRECIMIENTO

El índice más representativo para caracterizar el crecimiento de una pastura es la acumulación de materia seca por unidad de superficie por unidad de tiempo, denominado tasa de crecimiento del cultivo (Pagliaricci y Saroff, 2008).

Esta es producto de dos funciones: capacidad fotosintética o índice de área foliar (IAF) y la eficiencia fotosintética representada por la tasa de asimilación neta

(TAN). Esta está relacionada con la cantidad de luz interceptada, la distribución de la luz en los diferentes estratos de la planta y con la eficiencia fotosintética del tejido foliar (Olivares, s.f.).

2.3.1 Índice de área foliar

El índice de área foliar es la relación entre el área de hojas y el área cubierta de suelo por ella, expresa la densidad de hojas de una pastura (Carámbula, 1977). El IAF óptimo de una pastura se alcanza donde el punto de crecimiento es máximo y a partir del cual comienza el decrecimiento (Brown y Blaser, citados por Carámbula, 1977).

Especies de gramíneas perennes con hojas semierectas requieren índices más elevados de IAF que las leguminosas con hojas horizontales. Las gramíneas pueden interceptar casi la totalidad de la radiación incidente (95%) entre un IAF de 6 a 9, mientras que las leguminosas templadas lo harán a un rango de IAF de 2,5 a 4 (Pearson e Ison, citados por Carlevaro y Carrizo, 2004).

A igual área foliar remanente, debido a la disposición de sus hojas, las leguminosas (trébol blanco) interceptan más luz que las gramíneas (raigrás) y en consecuencia se recuperan más fácilmente. Las gramíneas erectas tienen, por tanto, mayor producción con más tiempo de descanso (manejos aliviados) que las leguminosas y especies postradas. No solo es importante la cantidad remanente de hojas, sino también la eficiencia de las mismas, es decir, el tipo y su estado (Carámbula, 1977).

Es importante mencionar que el área foliar y las sustancias de reserva afectan el comportamiento de las diferentes especies, ambas están íntimamente relacionadas entre sí ya que la acumulación de sustancias de reservas depende del proceso de fotosíntesis y éste a su vez del área foliar de las plantas (Carámbula, 2004).

El proceso de formación de hoja puede ser descrito en base a tres parámetros morfogénéticos básicos: tasa de aparición foliar, vida media foliar y tasa de elongación foliar (Pezzani y Lezama, 2011)

2.3.1.1 Número de hojas por macollo

El número de hojas por macollo está dado por la tasa de aparición de hojas y por la vida media de estas. El intervalo de aparición de dos hojas sucesivas depende de la longitud del pseudotallo y de la tasa de expansión foliar. Por lo que a medida que las plantas crecen, la longitud del pseudotallo aumenta y así disminuye la tasa de aparición de hojas (Skinner y Nelson, 1995). Esta tasa, medida en grados días, varía según la

estación. Al aumentar la temperatura la tasa de aparición de hojas aumenta más y en mayor medida que la tasa de expansión foliar por lo que aumenta el número de hojas por macollo (Matthew et al., 2000).

La vida media foliar aumenta con la longitud del pseudotallo, por lo que está negativamente relacionada con la tasa de aparición de hojas, lo que lleva a que el número de hojas por macollo sea relativamente constante (Skinner y Nelson, 1995).

2.3.1.2 Tamaño de hoja

El tamaño de hoja depende de la tasa de expansión foliar. Esta refiere al incremento en longitud de lámina verde en un intervalo de tiempo o suma térmica. Esta aumenta exponencialmente con la temperatura (Colabelli et al., 1998)

Según Tumer y Begg, citados por Colabelli et al. (1998), la elongación foliar se ve más afectada por un déficit hídrico que la división celular. Esto lleva a un menor tamaño de hojas en plantas desarrolladas sobre estos ambientes. A su vez, la elongación foliar es la actividad que demanda en mayor cantidad elementos minerales. Esta es la que determina en mayor medida el crecimiento aéreo de la planta, y comparado con otros componentes de crecimiento, es la que mayor sensibilidad muestra frente a diferentes niveles de nutrición con nitrógeno (Gastal et al., citados por Colabelli et al., 1998).

2.3.2 Eficiencia fotosintética

La eficiencia fotosintética depende de tres componentes; el ambiente en que se realiza, la edad de la hoja y las condiciones ambientales que las hojas experimentaron durante la formación del aparato fotosintético.

2.3.2.1 Ambiente donde se realiza la fotosíntesis

La planta intercepta radiación solar directa o difusa. El estrato superior de la planta recibe radiación tanto directa como difusa, sin embargo, la parte inferior recibe principalmente radiación difusa. Esto se debe a que aumenta la radiación transmitida por el follaje y la reflejada por hojas y suelo. Por lo que, en estos estratos, no solo disminuye la cantidad de luz que se intercepta, sino que también lo hace la calidad de la misma (Pagliaricci y Saroff, 2008).

El factor de mayor importancia en la fotosíntesis luego de la radiación es la temperatura. Cuando la radiación no es limitante, la tasa fotosintética aumenta con el aumento de la temperatura. Cuando la radiación es limitante la fotosíntesis aumenta con

la temperatura, pero esta tiene menor importancia relativa (Pagliaricci y Saroff, 2008). Sin embargo, las altas temperaturas suelen estar acompañadas de baja humedad relativa, esto puede provocar que no aumente la fotosíntesis ya que un descenso en la humedad del aire genera un aumento en la demanda atmosférica provocando un cierre estomático y así inhibiendo la fotosíntesis (Robson et al., 1988).

2.3.2.2 Edad de la hoja

Al aumentar la edad de una hoja disminuye la capacidad fotosintética de la misma, esto comienza poco después de haber completado la expansión (Jewiss y Woledge, Treharne y Eagles, Woledge, citados por Robson et al., 1988). Esta disminución está relacionada con una menor actividad estomática y una menor actividad de las enzimas carboxilasa/oxigenasa RuBP (Robson et al., 1988).

2.3.2.3 Ambiente en el que se formó la hoja

Según Robson et al. (1988) la capacidad fotosintética de la hoja se ve afectada por la irradiancia, temperatura, el suministro de nitrógeno y el estrés hídrico. De estas, según los autores, probablemente la más importante sea la irradiancia.

Las hojas que se desarrollaron en baja irradiancia tienen una menor tasa fotosintética por unidad de área foliar en saturación lumínica, una similar o mayor tasa a baja irradiancia y una menor tasa respiratoria en oscuridad (Treharne y Eagles, Wilson y Cooper, Prioul, Woledge, citados por Robson et al., 1988).

Autores como Wilson y Cooper, Prioul, Woledge, Prioul et al., Woledge, Prioul et al., Woledge y Dennis, citados por Robson et al. (1988), establecen que esto es debido a una serie de características estructurales y bioquímicas que conducen a estas diferencias en la tasa fotosintética por unidad de área de hoja. En hojas formadas en alta irradiancia, tanto las estomas como su conductancia son mayores. Las hojas son más gruesas y tienen más células del mesófilo por unidad de área, más grandes cloroplastos y mayor actividad de RuBP carboxilasa/oxigenasa.

Cuando una pradera crece durante semanas sin interrupción, el IAF aumentará y la luz será progresivamente menor en su base. Así los macollos producen hojas con menor capacidad fotosintética de modo que cuando luego de un pastoreo o corte emerjan a la luz brillante, no son capaces de hacer un gran uso de ella (Woledge, Woledge y Leafé, Sheehy, citados por Robson et al., 1988). Si el período sin interrupción es de 12 semanas, el déficit de fijación de carbono podría ascender a 30% (Robson, citado por Robson et al., 1988).

2.3.3 Dinámica del crecimiento

Según Nabinger (1996) el crecimiento bruto vegetal está determinado por la cantidad de carbono fijado diariamente. Esta depende de la radiación incidente y del índice de área foliar. A su vez, este índice está determinado por la cantidad de carbono fijado anteriormente y de la utilización del mismo para el crecimiento foliar.

Brougham (1957) diferencia tres fases en el crecimiento de las especies forrajeras, habiendo un número determinado de factores que interactúan en cada una de estas etapas.

La primera fase presenta incrementos exponenciales de crecimiento. Un factor determinante que destaca el autor sobre el crecimiento es la movilización de reservas de la pastura luego del corte. A su vez, este crecimiento no sólo depende de la planta, sino que del contenido de humedad en el suelo. Esta toma más importancia cuanto más severo es el corte que se realiza a las plantas, ya que son incapaces de compensar la fuerza de retención de agua ejercida por las partículas del suelo.

Otro factor que destaca Brougham (1957) para el crecimiento de las pasturas es la agregación de plantas. Cuando los macollos se encuentran muy juntos entre sí, la pastura tarda más en cubrir el suelo y en generar hojas para alcanzar altas tasas de crecimientos.

Según Brougham (1957) la fase dos comienza cuando la materia seca crece a tasa constante. También nombra dos factores complementarios: el efecto de la competencia inter e intraespecífica y la descomposición de los tejidos.

Ambas competencias se dan por luz cuando las plantas alcanzan su IAF óptimo o están próximas a hacerlo. Brougham (1957) cita como ejemplo una pastura que contiene raigrás y trébol blanco, donde el alto crecimiento de la gramínea genera una alta competencia provocando un descenso marcado en la producción de la leguminosa.

En la fase 3, la tasa de crecimiento decae hasta hacerse cercana a cero o incluso negativa (Brougham, 1957). Esto es debido a una reducción de la fotosíntesis que puede ser debido al ataque de insectos, hongos y bacterias, así como también la senescencia natural de las hojas. Esta última es muy importante en la fase 3 según Brougham (1957).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES GENERALES

3.1.1 Lugar y período experimental

El presente trabajo fue realizado en la Estación Experimental Dr. Mario Alberto Cassinoni (Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay), en los potreros No. 32 (32°22'27.37" S / 58°3'35.93" O) y No. 35 (32°22'25.39" S / 58°3'43.58" O), en el período comprendido entre el 7 de mayo y el 7 de octubre del año 2017, sobre dos mezclas forrajeras de primer año.

3.1.2 Información meteorológica

Según Durán (1985), Uruguay presenta un clima templado a subtropical con un promedio de precipitaciones de 1200 mm anuales. Con una distribución isohigro de 30% en verano, 28% en otoño, 18% en invierno y el 24% restante en primavera.

Las temperaturas medias oscilan entre 16 °C para el sureste y 19 °C para el norte. Para el mes de enero, mes más cálido, las temperaturas oscilan entre 22 °C y 27 °C y para julio, mes más frío del año, las temperaturas varían desde 11 °C a 14 °C respectivamente para cada región (Berreta, citado por Gallo et al., 2015)

3.1.3 Descripción del sitio experimental

Según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, escala 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976) el área experimental se encuentra sobre la Unidad San Manuel, correspondiente a la formación geológica Fray Bentos, los suelos dominantes son Brunosoles Éutricos típicos (Háplicos), superficiales a moderadamente profundos de textura limo-arcillosos. En asociación con estos se encuentran BrunosolesÉutricosLúvicos de textura limosa y Solonetz solodizados melánicos de textura franca.

3.1.4 Antecedentes del área experimental

Las mezclas fueron evaluadas en su primer año de vida y fueron sembradas sobre un rastrojo de *Setaria italica*.

La fecha de siembra de las mezclas fue el 12 de marzo de 2017. Las densidades de siembra para la primera mezcla fueron de *Lolium perenne* cv. Horizon 20 kg/ha y para *Trifolium pratense* cv. La Estanzuela 116 fue de 6 kg/ha. Para la segunda mezcla compuesta por *Festuca arundinacea* cv. Typhoon fue de 15 kg/ha y *Medicago sativa* cv. Chana de 12 kg/ha.

Ambas mezclas fueron fertilizadas de igual manera a razón de 120 kg/ha de fertilizante 7-40-0, lo que equivale a 8,4 kg de NO₃ y 48 kg de P₂O₅. Se realizó toda la fertilización a la siembra.

3.1.5 Tratamientos

El experimento consistió en evaluar dos mezclas diferentes, ambas compuestas por una gramínea y una leguminosa. Estas fueron:

- Lolium perenne* y *Trifolium pratense* (RG + TR)
- Festuca arundinacea* y *Medicago sativa* (FS + ALF)

3.1.6 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar generalizados. El área experimental abarcó un total de 6,81 hectáreas que se dividieron en 4 bloques, que a su vez estos fueron divididos en 4 parcelas, teniendo cada bloque dos repeticiones de cada tratamiento. La razón de esta disposición fue la de aumentar la aleatoriedad del experimento y reducir el error experimental.

I	RG + TR	RG + TR	FS + ALF	FS + ALF
II	RG + TR	FS + ALF	FS + ALF	RG + TR
III	FS + ALF	RG + TR	RG + TR	FS + ALF
IV	FS + ALF	FS + ALF	RG + TR	RG + TR

RG + TR = *Lolium perenne* + *Trifolium pratense*
 FS + ALF = *Festuca arundinacea* + *Medicago sativa*

Figura No. 2. Esquema ilustrativo de los bloques y tratamientos del experimento

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

3.2.1 Disponibilidad de material seca

Se denomina forraje disponible a la cantidad de materia seca presente en las parcelas y se expresa como kg de MS/ha.

El método utilizado para medir disponibilidad fue el de doble muestreo con relación disponible/altura de forraje, siendo una medición objetiva (Haydock y Shaw, 1975). Este método está basado en un corte reducido de muestras cuyas características de rendimiento son relacionadas por apreciación visual a un número determinado de muestras en las parcelas.

Por parcela se realizaron ocho mediciones de disponibilidad mediante una escala del 1 al 8, donde el 1 por apreciación visual representaba la menor disponibilidad de forraje de la parcela y el 8 la de mayor cantidad de forraje de la misma. Las mediciones se realizaban utilizando un rectángulo 0,2 m*0,5 m cortando el forraje a 1 cm del suelo. Previo al corte se realizaba la medición de altura en 3 puntos del rectángulo, una en el medio y luego en cada extremo del mismo para relacionar tanto la escala como la altura con la biomasa presente.

Las muestras de forraje obtenidas en cada una de las parcelas se pesaron en fresco y posterior a haber estado en la estufa durante 48 horas a 60 °C determinando el peso seco. De esta manera se procedió al cálculo de la disponibilidad de forraje, mediante el ajuste de una ecuación de regresión obtenida entre escala y altura de la pastura en cm y MS en kg/ha. La ecuación que se forma a partir de la regresión logra determinar la relación entre la cantidad de forraje disponible por hectárea y la altura del mismo. Para llegar a este último valor es necesario sustituir el factor x del b de la regresión con la altura promedio de las parcelas a partir de 40 mediciones de altura.

3.2.2 Altura

La altura del forraje de cada parcela se obtuvo del promedio obtenidas a través de la medición de cuarenta repeticiones con una regla de manera totalmente al azar por cada parcela, donde el criterio que primó para determinar la altura era el punto más alto de contacto de la hoja con la regla (Barthram, 1986)

3.2.3 Composición botánica

Representa la participación porcentual de cada fracción (leguminosas, gramíneas y malezas) presente en la mezcla. Estas son determinadas mediante el promedio de cuarenta observaciones por parcela al azar con el rectángulo de dimensiones ya mencionadas.

Esta variable es realizada a través de la apreciación visual, donde se estimaron la proporción de los componentes de la mezcla en la biomasa disponible dentro del rectángulo (Brown, 1954).

3.2.4 Tasa de crecimiento medio

La tasa de crecimiento medio se calculó como la acumulación de MS entre un corte de una determinada medición con respecto al corte de origen, dividido la cantidad de días de crecimiento totales. La cantidad de días corresponde desde la realización del corte de todas las parcelas que se marcó como punto de origen para la medición hasta la realización del corte de evaluación de cada parcela.

3.2.5 Tasa de crecimiento instantánea

La tasa de crecimiento instantánea corresponde al cálculo del crecimiento de materia seca en un período determinado de tiempo. Se calculó como la acumulación de

materia seca entre el corte a correspondiente a la medición menos el acumulado hasta el corte anterior, siendo dividido por la cantidad de días transcurridos entre ambos cortes sucesivos.

3.2.6 Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) se define como la superficie foliar por unidad de superficie de suelo (Watson, citado por Gardner et al., 1985). En el trabajo de campo se llevó a cabo a través de un ceptómetro (AccuPAR LP-80), el cual es instrumento de medidas instantáneas de IAF estimada mediante la relación de lecturas a cielo abierto y bajo canopia de la pastura. El mismo mide la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA o PAR por su sigla en inglés) a través de sensores.

3.2.7 Balance hídrico

Se llevó a cabo un balance hídrico con datos brindados por la estación meteorológica que se encuentra en la estación experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC). El mismo fue realizado basado en la metodología de Thornthwaite y Mather que se encuentra en el manual de agrometeorología (Pedocchi, 2013) para el período experimental que se desarrolló el trabajo práctico.

Según Molfino y Califra (2001) la Capacidad de Almacenaje de Agua Disponible (“CAAD”) en el suelo para la unidad San Manuel ubicado en la Unidad Cartográfica de Suelos escala 1:1000000 toma valores de agua potencialmente disponible neta (mm) de 117,3. Con referencia a este valor fue tomado para determinar la magnitud de la lámina para realizar el balance.

3.3 HIPÓTESIS

3.3.1 Hipótesis biológicas

Existen diferencias significativas en la producción de forraje en las estaciones de invierno y primavera entre las distintas mezclas compuesta por especies.

3.3.2 Hipótesis estadísticas

Ho: $T_1 = T_2 = 0$

Ha: al menos un efecto del tratamiento es diferente de cero

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis de varianza entre tratamientos mediante el paquete estadístico INFOSTAT, en el caso de existir diferencias entre tratamientos se estudió las mismas mediante análisis de media a través de Tukey con una probabilidad del 10%.

3.4.1 Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + E_j + T_i * E_j + \beta_k + e_{ijk}$$

Donde,

Y: corresponde a la variable de interés.

μ : efecto de la media general.

T_i : efecto del i-ésimo tratamiento $i=1,2$.

E_j : efecto de la j-ésima estación $j=1,2$.

$T_i * E_j$: interacción tratamiento, estación $ij= 1, 2, 3,4$.

β_k : efecto del k-ésimo bloque $k=1,2,3,4$.

e_{ijk} : error experimental

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

4.1.1 Precipitaciones

A continuación, se presentan los registros de precipitaciones correspondientes al período de marzo a noviembre del año 2017, meses que se ubica el período experimental. Se realiza la comparación con los datos de la serie histórica 2002-2014 del mismo período.

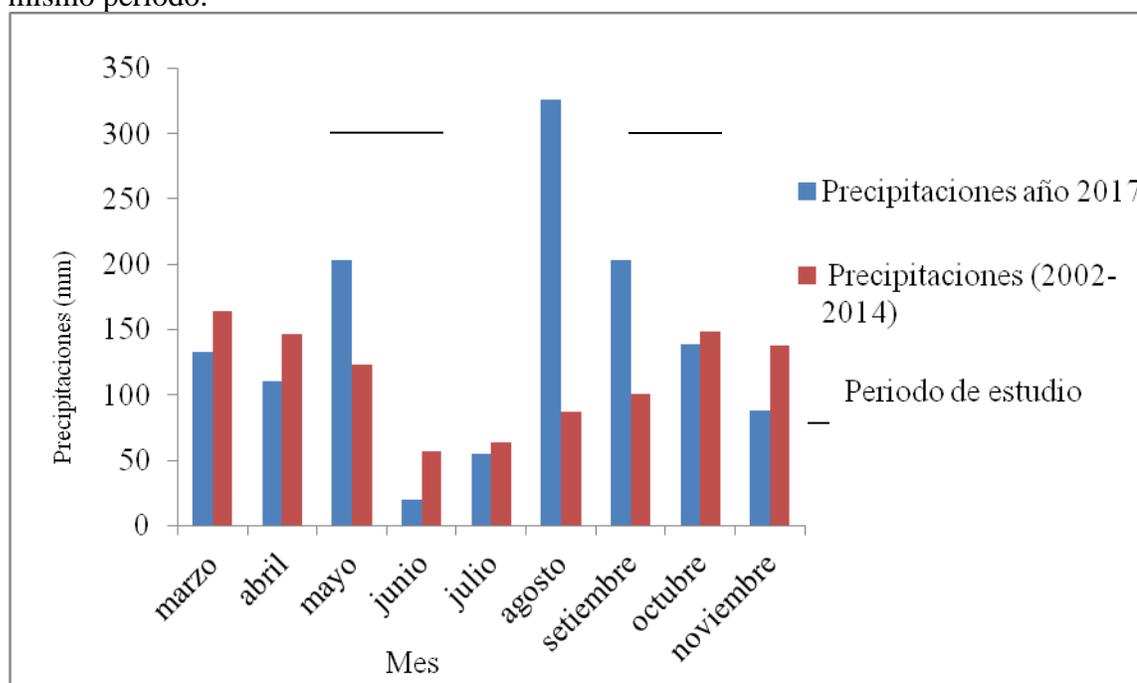


Figura No. 3. Registro mensual de precipitaciones (mm) del período experimental comparado con la serie histórica 2002-2014

Como se observa en la figura No. 3 existen diferencias entre las precipitaciones del año de estudio con respecto a la serie histórica. Para los meses de marzo y abril, período de implantación y establecimiento de las pasturas, las lluvias en el año experimental presentaron una inferioridad acumulada de 67 mm. Dentro del período de estudio (mayo a octubre) se observan meses con precipitaciones mayores a la media histórica como lo son mayo (80 mm), agosto (239 mm), setiembre (101 mm). Los meses de junio, julio y octubre presentaron menores precipitaciones que el promedio de la serie histórica de 37 mm, 9 mm y 9 mm respectivamente, pero de manera menos relevante

que los meses que estuvo por encima en el período de estudio. En total en el período experimental se presenciaron un total de 365 mm por encima de la serie histórica.

En cuanto a las especies sembradas, las mismas tienen diferentes comportamientos frente al déficit hídrico pudiendo afectar su producción. Sin embargo, en los dos períodos del experimento no hay indicios de déficit hídrico que pueda haber afectado la producción de las pasturas como se muestra en el capítulo “balance hídrico”.

4.1.2 Temperatura

La siguiente figura muestra la comparación de las temperaturas promedio mensuales del año 2017 con respecto al promedio de la serie histórica 2002 al 2014 ambas obtenidas de la estación experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”.

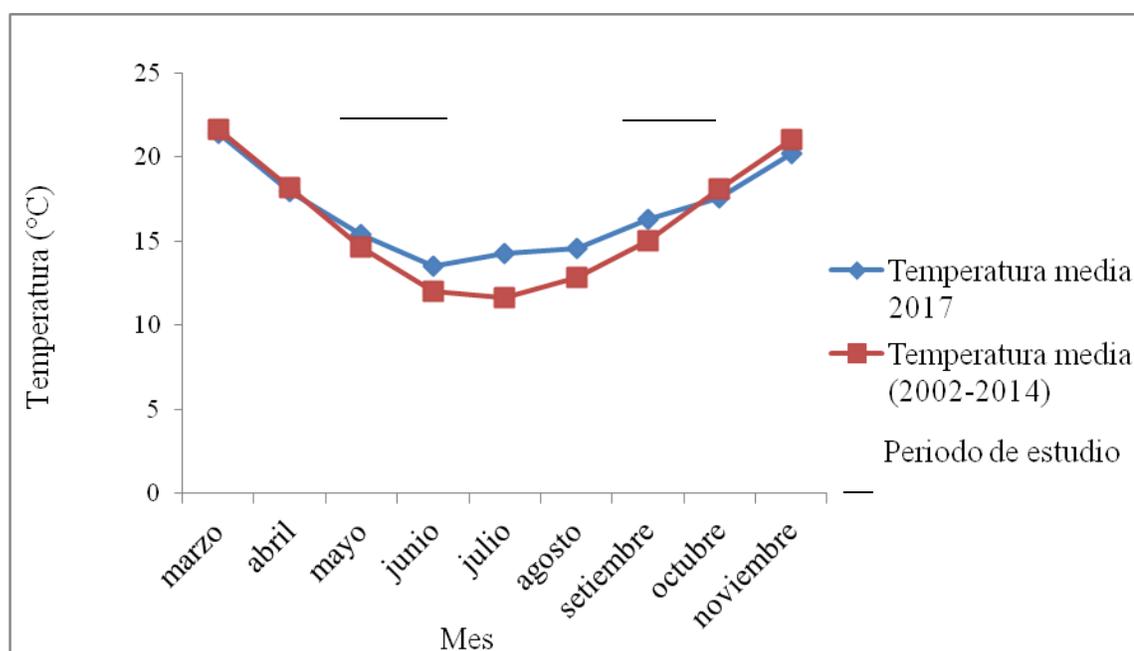


Figura No. 4. Registro mensual de temperatura (°C) del período experimental comparado con la serie histórica 2002-2014

Con respecto a la temperatura en el período de estudio, se presentan diferencias entre las medias de la temperatura del año experimental con respecto al promedio de la serie histórica. Tanto para marzo como abril las temperaturas medias no variaron con el promedio histórico. A partir del mes de mayo la temperatura del 2017 se separó de la histórica con una media superior de 0,7 °C hasta el mes de octubre donde comienzan a estar por debajo del histórico 0,5 °C. En el período donde las temperaturas del año 2017

fueron superiores, la mayor diferencia fue en el mes de julio con 2,7 °C superiores al promedio de la serie.

Según Carámbula (2002a), las especies con metabolismo tipo C3 como *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne*, *Trifolium pratense* y *Medicago sativa* presentan un óptimo de crecimiento y desarrollo con temperaturas entre los 15 a 20 °C. Por lo tanto, dentro del primer período de estudio para los meses de junio, julio las temperaturas medias se ubicaron por debajo del óptimo, siendo en junio el mes que se ubicó más debajo de la óptima con un valor de 13,5 °C promedio. Para el restante de los meses del experimento las temperaturas se ubicaron en el óptimo. Por lo tanto, estas temperaturas medias superiores a la histórica reflejan condiciones más favorables para la producción de las mezclas, siendo en el caso de la alfalfa la que se vería más favorecida ya que es la que presenta menor crecimiento a temperaturas bajas.

4.1.3 Balance hídrico

El cuadro No.3 muestra el resultado del balance hídrico para el año de estudio correspondiente a los meses del período experimental.

Cuadro No. 3. Resumen del balance hídrico (mm) para el período experimental

Mes	mayo		junio		julio		agosto		setiembre		octubre	
Quincena	1 ^a .	2 ^a .										
Déficit	-	-	0,4	4,3	-	4,1	-	-	-	-	0,4	-
Exceso	39,1	111	-	-	0,7	-	121,8	111,9	119,6	9	-	25,9

Cabe destacar que el cuadro No. 3 muestra el resultado final del balance hídrico meteorológico. El mismo arroja un período de exceso hídrico ocurrido a fines de invierno primavera como era de esperar ya que como se mostró en la figura No. 3 en estos meses para el año experimental las precipitaciones se ubicaron muy por encima de la serie histórica 2002-2014.

Los excesos de precipitaciones pueden haber incidido de alguna manera sobre la producción de las pasturas. Según Carámbula (2004) en los suelos saturados de agua y pobremente aireados, la falta de oxígeno a nivel de las raíces provoca decrementos en el movimiento del agua dentro de las plantas y en su crecimiento. Además, el mismo hace referencia a que el oxígeno es vital para las forrajeras para poder absorber los nutrientes disueltos en el agua del suelo.

Otras de las consecuencias mencionadas por Carámbula (2004) con respecto al exceso hídrico son las pérdidas de nitrógeno en los suelos, que pueden llegar a ser muy importantes.

Es de recalcar que en el cuadro No. 3 se observa que los meses de junio y julio presentan leve déficit hídrico, coincidiendo con la figura No. 3 donde muestra que para el año experimental las lluvias estuvieron por debajo del promedio histórico.

4.2 PRODUCCIÓN DE FORRAJE SEGÚN TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN

En el siguiente capítulo se pretende analizar las curvas de crecimiento acumulado de forraje para ambos tratamientos con respecto a las variables climáticas medidas por la estación meteorológica de la EEMAC para el período de estudio.

4.2.1 Precipitaciones

A continuación, se muestra la cantidad y distribución de precipitaciones para cada estación junto con el crecimiento acumulado de ambos tratamientos.

4.2.1.1 Invierno

En la siguiente figura se presentan las precipitaciones ocurridas para el período invernal del ensayo en conjunto con las curvas de crecimiento. Las mediciones comienzan el 16/05 y culminaron para este período el día 13/06.

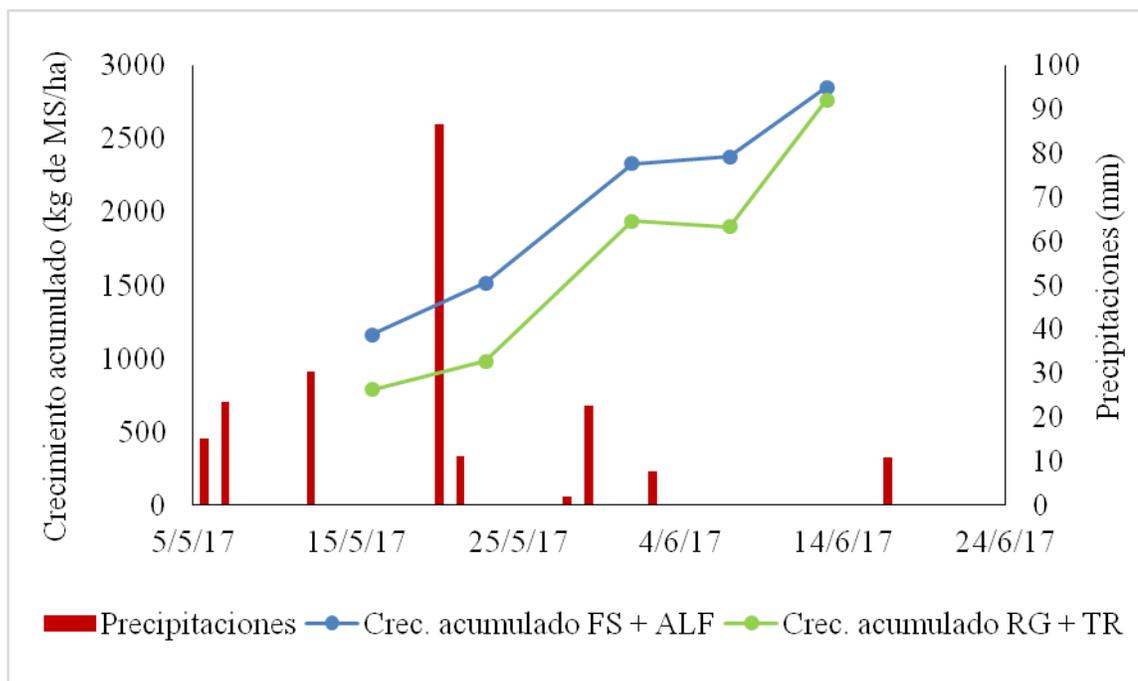


Figura No. 5. Distribución de las precipitaciones (mm) y acumulación de materia seca (kg de MS/ha) durante el período invernal para ambos tratamientos

Como se puede observar en la figura No. 5 desde el inicio de las mediciones hasta el 1/06 hubo un crecimiento acumulado continuo. Este crecimiento puede estar explicado por varios factores climáticos, uno de ellos podría haber sido las precipitaciones que ocurrieron hasta dicha fecha. Además, como se observó en el cuadro No. 3 correspondiente al balance hídrico se observa que no ocurrieron deficiencias hídricas que puedan haber limitado el crecimiento de la pastura en sus primeros estadios. Posteriormente se aprecia un estancamiento en el crecimiento acumulado en el mes de junio coincidiendo con un pequeño déficit hídrico como se observa en el cuadro No. 3.

En la figura anterior se observa como en la primera medición de forraje del experimento el tratamiento FS + ALF presentó una mayor producción que el tratamiento RG + TR en el entorno de 375 kg de MS/ ha. Sin embargo, se aprecia que al final del período de mediciones en invierno alcanzan crecimientos acumulados similares.

4.2.1.2 Primavera

En la siguiente figurase puede observar las mismas variables que la figura anterior, pero en este caso para la estación primavera.

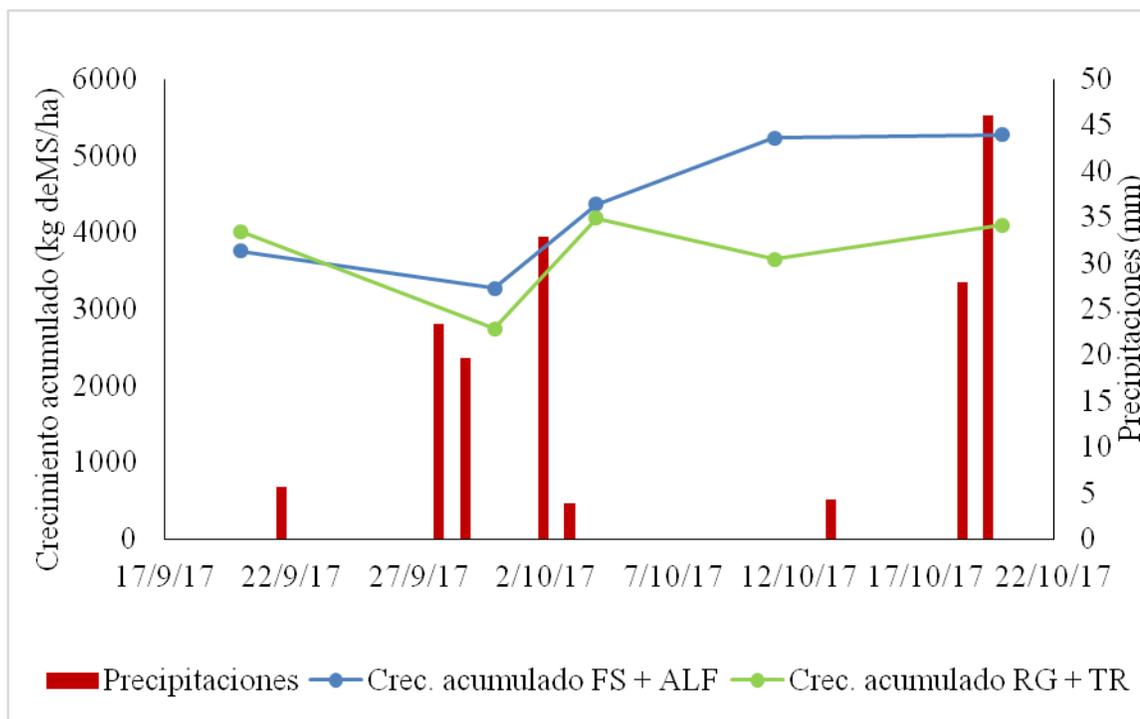


Figura No. 6. Distribución de las precipitaciones (mm) y acumulación de materia seca (kg de MS/ha) durante el período primavera para ambos tratamientos

En el segundo período de mediciones que comenzó el 20/09/2017 no se observan diferencias entre ambos tratamientos en cuanto al crecimiento acumulado al inicio. Se nota una caída de las curvas en la siguiente medición y es causado por el ingreso de bloques los cuales se retiró el pastoreo más tarde, por lo tanto, tenían menos tiempo de descanso, por lo que incide en el promedio de los tratamientos tirándolo a la baja.

En estos dos meses de medición (setiembre y octubre) no presentaron deficiencias hídricas como se muestra en el cuadro No.3 del balance hídrico.

4.2.2 Temperatura

A continuación, se presenta las temperaturas que ocurrieron durante el experimento junto con los crecimientos acumulados que presentaron ambos tratamientos.

4.2.2.1 Invierno

Se presentan las temperaturas que ocurrieron en el período invernal del experimento y las curvas de crecimiento acumulado para el mismo período. A su vez se puede visualizar el rango de temperaturas óptimo de crecimiento para las especies utilizadas.

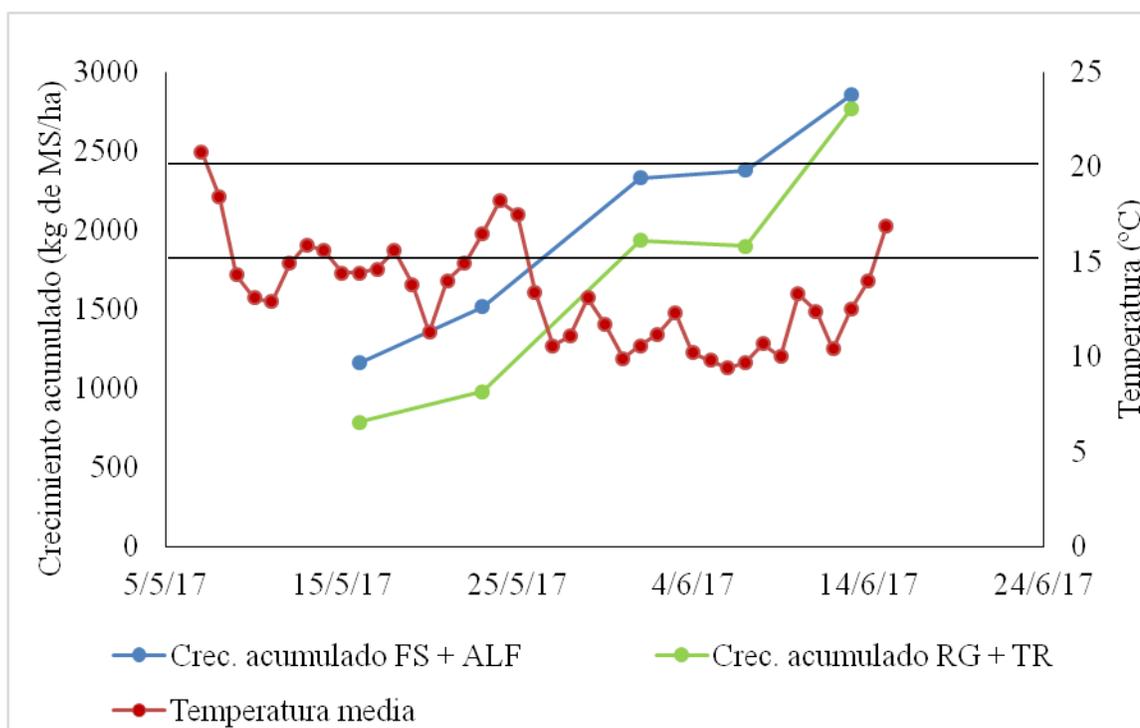


Figura No. 7. Temperatura media (°C) y crecimiento acumulado de materia seca (kg MS/ha) durante el período invernal para ambos tratamientos

Como se mencionó anteriormente en el capítulo de caracterización climática las especies con metabolismo tipo C3 como las utilizadas en el experimento, tienen óptimos de crecimiento y desarrollo cuando estas se encuentran entre 15 y 20°C.

Observando la figura es notorio que hasta fines de mayo se presentaron temperaturas que se encuentran dentro del rango óptimo antes mencionado. Por lo tanto, junto con la figura No. 7 y el cuadro No. 3 correspondiente al balance hídrico se puede concluir que se presentaron condiciones adecuadas para el crecimiento de las pasturas. Esto podría explicar el crecimiento que ocurre en dicho período mostrado por las curvas de crecimiento acumulado.

Se puede apreciar como ya en el mes de junio las temperaturas descienden ubicándose por debajo del rango óptimo, que junto con un leve déficit hídrico mostrado en el cuadro No. 3 puede haber provocado el leve estancamiento del crecimiento acumulado como se observa en la figura anterior.

En mayo al haber encontrado temperaturas por encima de la media del histórico como se observa en la figura No. 4 y al corroborar que estas se encuentran dentro de un rango óptimo, se puede pensar que la diferencia que muestran las curvas de los distintos tratamientos a favor de la FS + ALF podría haber sido causado por estas temperaturas, ya que la alfalfa Chaná presenta una corta latencia invernal con temperaturas bajas, no así el trébol rojo La Estanzuela 116. Por lo tanto, las mayores temperaturas en el año experimental y ubicadas en la zona óptima de crecimiento podrían haber provocado un beneficio a ambas mezclas con respecto a otros años, pero con una magnitud más grande sobre el tratamiento FS + ALF que en el de RG + TR. A su vez se aprecia que a fines de mayo las temperaturas comienzan a descender por debajo del óptimo, las curvas de crecimiento continúan ascendiendo, pero el tratamiento RG + TR al final del primer período de medición logra a tener valores similares de forraje que el tratamiento FS + ALF.

4.2.2.2 Primavera

En la figura No. 8 se presentan las temperaturas junto con las curvas de crecimiento acumulado de ambos tratamientos para la estación primavera.

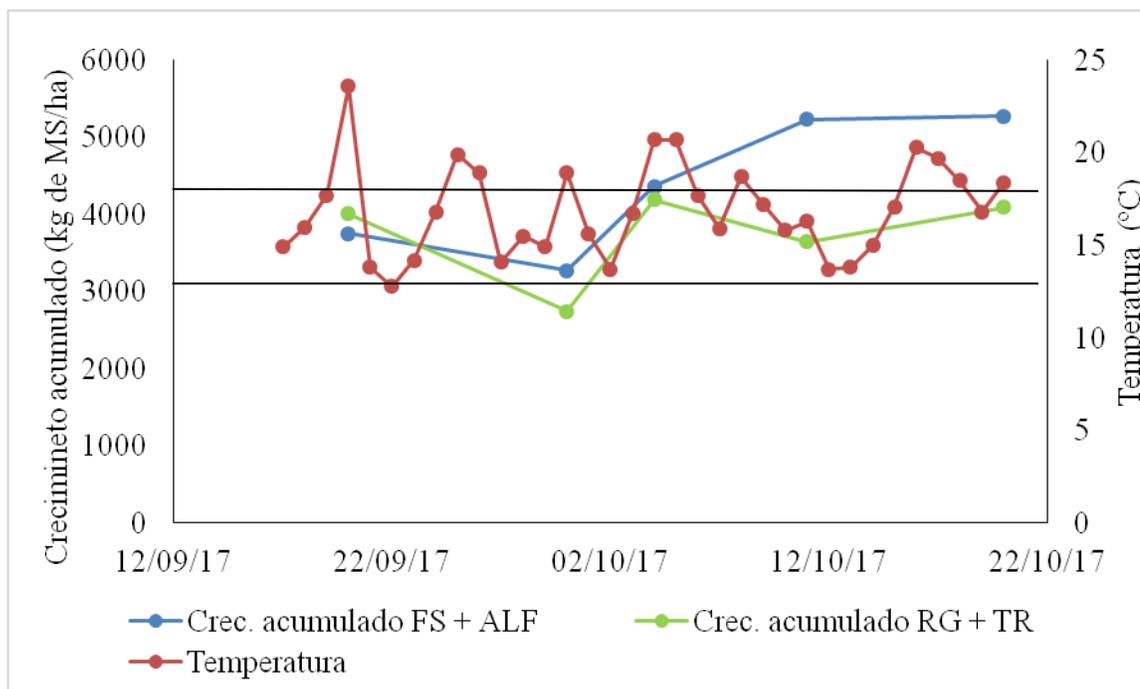


Figura No. 8. Temperatura media (°C) y crecimiento acumulación de materia seca (kg MS/ha) durante el período primaveral para ambos tratamientos

Las temperaturas en esta estación se encuentran a lo largo del período en su mayoría dentro del rango óptimo marcado salvo algunas que se escapan de dicha zona.

No se registraron temperaturas por debajo del límite inferior durante la primavera, pero sí temperaturas por encima del superior. Al ser la alfalfa una especie que concentra su mayor producción durante las estaciones de primavera y verano, esta responde mejor al aumento de la temperatura que el trébol rojo. Esto podría explicar las diferencias encontradas en los crecimientos acumulados.

4.3 PRODUCCIÓN DE FORRAJE

4.3.1 Forraje disponible promedio en el período invernal

Observando los datos del cuadro No. 4 del período invernal, se concluye que FS + ALF presentó mayor disponibilidad promedio de manera significativa que RG + TR.

Cuadro No. 4. Producción promedio de forraje en el período invernal (kg de MS/ha), según tratamiento

Tratamiento	Disponibilidad promedio kg de MS/ha
FS+ALF	2005,6A
RG+TR	1616,3 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$).

Al analizar los datos se observó que la mezcla FS + ALF obtuvo una mayor tasa de crecimiento siendo la misma de 29,9 kg de MS/ha/día y para RG + TR de 23,3 kg de MS/ha/día. La diferencia en cantidad de forraje pudo ser debida principalmente a la mayor producción de la alfalfa sobre el trébol rojo. El rendimiento del trébol rojo pudo verse afectado debido a la rápida implantación que tiene el raigrás perenne (García, 2003). Además, observando los datos de la temperatura, el promedio en marzo fue 21,4 °C, siendo así óptimo para la alfalfa en crecimiento (Rebuffo et al., 2000) que creció con una menor competencia comparado con el trébol rojo, dado el bajo vigor inicial de la festuca. Esta temperatura no deja de ser óptima para el trébol rojo, sino que la alfalfa al presentar latencia invernal por bajas temperaturas cesa su crecimiento. Por lo tanto, el beneficio de temperaturas más altas como ocurrió en el período experimental comparado con la serie histórica se expresa en una producción de forraje mayor de la alfalfa.

Para ambos tratamientos en la producción de materia seca de gramíneas no hubo diferencias significativas como se observa en el siguiente cuadro. Esto no coincide con la bibliografía que según Langer (1981) la festuca es de lento establecimiento. Dicho esto, vale destacar que en el tratamiento FS + ALF se encontró mucho *Lolium multiflorum* proveniente de resiembra natural, teniendo así valores más elevados de producción.

Cuadro No. 5. Disponibilidad promedio de forraje (kg de MS/ha) para cada componente de cada tratamiento en el período invernal

Tratamiento	Disponibilidad promedio kg de MS/ha	
	Gramínea	Leguminosa
FS + ALF	1220,6 A	533,8 A
RG+TR	1101,7 A	189,7 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$).

Según Zanoniani (2015) la alfalfa presenta un crecimiento mayor que el trébol rojo durante los primeros 51 días post siembra medidos como peso de 100 plantas. Esto explicaría la diferencia de producción de leguminosas en invierno, además de lo mencionado según Saldanha (2016) que el vigor de la planta está influenciado por el tamaño de semilla y factores genéticos, mostrando que la alfalfa presenta mayor vigor que el trébol rojo.

4.3.2 Forraje disponible promedio en el período primaveral

En el cuadro No. 6 correspondiente al período primaveral, se observan diferencias significativas entre los tratamientos a favor del tratamiento FS + ALF.

Cuadro No. 6. Disponibilidad promedio de forraje en el período primaveral (kg de MS/ha), según tratamiento

Tratamiento	Disponibilidad promedio kg de MS/ha
FS + ALF	4284,8 A
RG+TR	3690,6 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$).

Ambos tratamientos presentaron mayor disponibilidad de biomasa que en invierno debido a mayores tasas de crecimientos siendo para FS + ALF de 93,8 kg de MS/ha/día y para RG + TR de 63,8 kg de MS/ha/día. Esto coincide con lo mencionado por Hopkins (2000) donde asegura que las mejores condiciones climáticas y el estado fisiológico de la pastura donde comienza a pasar a reproductivo se traducen en una mayor acumulación de biomasa.

Al igual que en invierno, se observan diferencias significativas en el disponible de forraje. Como se aprecia en el cuadro No. 7 la diferencia está explicada por el componente leguminosa de las mezclas.

Cuadro No. 7. Disponibilidad promedio de forraje (kg de MS/ha) para cada componente de cada tratamiento en el período primaveral

Tratamiento	Disponibilidad promedio kg de MS/ha	
	Gramínea	Leguminosa
FS + ALF	2936,2 A	939,3 A
RG + TR	2853,1 A	494,3 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$).

Los datos presentados en el cuadro anterior muestran como la producción de las leguminosas es mayor que en el período invernal. Esto coincide con Díaz et al. (1996) quienes afirman que la producción del trébol rojo es importante en primavera, al igual que la alfalfa según Carámbula (2007).

Según Díaz et al. (1996) la producción de trébol rojo es ampliamente mayor que la producción de alfalfa en la primera primavera de vida. Esto no concuerda con los resultados presentados en el cuadro anterior donde muestra una mayor producción promedio de la alfalfa sobre el trébol rojo. Esto puede deberse a lo mencionado anteriormente sobre la competencia ejercida del raigrás perenne frente al trébol rojo en mayor medida que la competencia que ejerció la festuca frente a la alfalfa. A su vez esto se ve reflejado en capítulos siguientes de composición botánica, donde los niveles de trébol rojo fueron inferiores a los teóricamente ideales de una mezcla.

4.3.3 Forraje disponible promedio en el período experimental

Observando los datos del cuadro No. 8 del período total de estudio, se concluye que el tratamiento FS + ALF presentó mayor producción de forraje de manera significativa.

Cuadro No. 8. Disponibilidad promedio de forraje (kg de MS/ha) en el período experimental, según tratamiento

Tratamiento	Disponibilidad promedio kg de MS/ha
FS + ALF	2887,8 A
RG + TR	2419,3 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$).

Los resultados muestran que la mezcla más productiva (festuca y alfalfa) presentó durante todo el experimento una mayor tasa de crecimiento promedio siendo esta de 61,9 kg de MS/ha/día mientras que para RG + TR fue de 43,6 kg de MS/ha/día. Vale destacar que esta diferencia se debe a la mayor disponibilidad de la alfalfa sobre el trébol rojo, dado que entre festuca y raigrás no se observaron diferencias significativas a lo largo del período estudiado como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 9. Disponibilidad promedio de forraje (kg de MS/ha) para cada componente de cada tratamiento en el período experimental

Tratamiento	Disponibilidad promedio kg de MS/ha	
	Gramínea	Leguminosa
FS + ALF	1884,7 A	690,8 A
RG + TR	1779,7 A	306,6 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$).

Según los datos observados de Díaz et al. (1996), la producción de alfalfa y trébol rojo fue ampliamente menor en esta evaluación. Esto es debido a la competencia de sus respectivas gramíneas en cada tratamiento, como lo afirma Carámbula (2002a) las leguminosas tienen menos capacidad de competir por nutrientes y radiación.

Sobre la festuca se compararon los resultados obtenidos de García (2003) donde la producción fue significativamente menor. Vale destacar que dicho trabajo también presenta un coeficiente de variación de producción alrededor de 50%.

Para el tratamiento RG + TR la comparación de los resultados con los datos obtenidos por Grolero y Rodríguez (2015) de 2001 kg de MS/ha siendo significativamente menor. Esto puede deberse a bien como dice su trabajo, las precipitaciones pudieron haber limitado el crecimiento ya que algunos meses no alcanzaron el nivel histórico.

4.3.4 Altura del forraje disponible

A continuación, se presentan las alturas del forraje disponible promedio para cada tratamiento en los distintos períodos del experimento, expresados en cm.

4.3.4.1 Altura promedio del forraje disponible en el período invernal

Con respecto a la altura disponible en el período invernal, en el cuadro No. 10 se aprecian diferencias estadísticamente significativas, siendo el tratamiento FS + ALF el que presentó mayor altura.

Cuadro No. 10. Altura (cm) promedio del forraje disponible en el período invernal según tratamiento

Tratamiento	Altura del forraje (cm)
FS + ALF	19,1 A
RG + TR	16,2 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.1$).

Tanto el raigrás como la festuca son de porte cespitoso, por lo que no explicarían las diferencias presentadas. La principal causa de estas se debe al hábito de crecimiento de las leguminosas, siendo la alfalfa de porte erecto (Ayala et al., 2010), que, comparada con el trébol rojo, semierecto (García et al., 1991), tiene un mayor aporte en la altura de la pastura.

Los resultados que se observan en el cuadro se coinciden con lo mencionado en el capítulo de forraje disponible, donde en el período invernal hay una mayor disponibilidad de materia seca del tratamiento FS + ALF que el tratamiento RG + TR. Por lo que esa producción significativamente mayor del tratamiento se traduce en una mayor altura del forraje. Para dicho período hubo una relación entre altura (cm) y disponible (kg de MS/ha) de 106,6 kg de MS/ha al incrementar un cm para el tratamiento FS + ALF y de 94,1 para el tratamiento RG + TR. Estos valores son similares a los encontrados por García (1995) donde indica que para la misma estación los valores para pasturas mezclan gramíneas con leguminosas presenta un valor de 104 kg de MS/ha por incremento por centímetro de altura.

4.3.4.2 Altura promedio del forraje disponible en el período primavera

Con respecto a la altura disponible en el período primaveral, en el cuadro No.11 no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Cuadro No. 11. Altura (cm) promedio del forraje disponible en el período primaveral según tratamiento

Tratamiento	Altura del forraje (cm)
FS + ALF	19,4 A
RG + TR	18,3 A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.1$).

Al igual que como se vio en el capítulo anterior de producción de forraje, en la estación de primavera no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la altura.

Se encuentra en primavera una relación entre disponibilidad de materia seca (kg de MS/ha) y altura (cm) mayor que la encontrada en el período invernal. Siendo en primavera para el tratamiento FS + ALF de 220,2 kg de MS/ha para el incremento en cm, en tanto para el tratamiento RG + TR fue de 201,3 kg de MS/ha por cada cm. Estos valores son superiores a los establecidos por García (1995) indicando un valor de 166 kg de MS/ha por cada cm de incremento en altura para mezcla de gramíneas y leguminosas.

“Las pasturas muestreadas en primavera tuvieron un mayor coeficiente de regresión por su mayor contenido de gramíneas y también por un efecto estacional de cambio en la arquitectura de las plantas, ambos factores tendiendo a aumentar la densidad en estratos superiores.” (García, 1995)

Estas diferencias que se presentan entre las estaciones pueden estar explicadas por un ambiente más prosperó para el crecimiento, ya que hay una mayor temperatura y radiación y a su vez las especies comienzan a pasar a estado reproductivo donde hay mayor acumulación de biomasa de menor calidad (Hopkins, 2000).

4.3.4.3 Altura promedio del forraje disponible en el período experimental

Observando los datos del cuadro No.12, se concluye que la mezcla FS + ALF presentó una mayor altura del forraje disponible que la mezcla RG + TR, mostrando diferencias significativas.

Cuadro No. 12. Altura promedio del forraje disponible en el período experimental

Tratamiento	Altura del forraje (cm)
FS + ALF	19,2 A
RG + TR	17,2 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.1$).

Ambos tratamientos muestran la misma tendencia entre altura del forraje disponible promedio del período experimental y forraje disponible en (kg de MS/ha) promedio del período, donde la mezcla FS + ALF se encuentra por encima del tratamiento RG + TR. Estos resultados coinciden con los presentados por Hodgson (1990), donde expresa que la altura del forraje está relacionada con la cantidad de materia seca disponible. Además, en el total del período experimental se encuentra una

relación kg de MS/cm promedio para todo el período de 148,1 y 135,7 para los tratamientos FS + ALF y RG + TR respectivamente.

En el período estudiado (como se verá en el siguiente capítulo) las tasas de crecimiento promedio para la totalidad del período fueron superior para el tratamiento FS + ALF en comparación con el RG + TR. Por lo tanto, esa diferencia en tasas de crecimiento se traslada a la mayor altura del tratamiento FS + ALF.

Si se comparan los resultados obtenidos en el presente trabajo con los logrados por Grolero y Rodríguez (2015) para el tratamiento RG + TR, el cual fue de 18,3 cm, se puede observar que no difieren en gran medida. En el caso del tratamiento FS + ALF, al ser la alfalfa la principal responsable de la altura del forraje se compararon los resultados obtenidos con tratamientos similares donde se incluyeron mezclas de dactylis y alfalfa. Los resultados obtenidos fueron 23,9 cm y 15 cm, según Álvarez et al. (2013), Grolero y Rodríguez (2015). Por lo que los valores presentados en este trabajo experimental se ubican en el promedio de los otros dos trabajos anteriores.

La altura que alcanzó el tratamiento FS + ALF permite tener una altura de pastoreo para festuca óptimo, ya que el ingreso recomendado es de una altura de 15 cm. Sin embargo, para cultivos de alfalfa pura se recomiendan ingresos a pastorear entre 35 - 45 cm o 10% de floración, lo que indica la activación de las yemas basales de la corona (Ayala et al., 2010). Una altura de 15 cm de ingreso de pastoreo podría generar una caída en los niveles de reservas de la corona perjudicando las producciones futuras (Rebuffo et al., 2000).

Si se comparan las alturas obtenidas con las recomendadas para el ingreso de pastoreo, ambas mezclas concuerdan con lo establecido por Zanoniani et al. (2006), que recomienda para mezcla de raigrás con trébol rojo un ingreso de pastoreo con una altura de entre 15 a 20 cm y para el caso de mezclas de gramíneas con alfalfa se recomienda una entrada de pastoreo de 20 cm valor que se encuentra muy cercano al promedio de altura del experimento.

4.3.5 Tasa de crecimiento

A continuación, se presentan figuras mostrando la evolución de acumulación de forraje, tasa de crecimiento medio e instantáneo para ambos tratamientos en los dos períodos de estudio.

Cabe destacar que se obtuvo una amplia variabilidad en los datos del eje Y por unidad del eje X. Se evaluó hacer una homogeneidad de varianza por regresión y se concluyó que no es posible realizarla. El motivo es que no se puede probar estadísticamente ya que hay pocos datos por combinación entre días o grados días y

acumulación de forraje o tasas de crecimientos. Si bien observando las figuras da la sensación de heterogeneidad en la varianza, no hay datos constantes para probarlo.

4.3.5.1 Crecimiento invernal según días post emergencia

A continuación, se presentan las tasas de crecimiento y el crecimiento acumulado para ambos tratamientos en el período invernal, según los días post emergencia. Se asumió que la emergencia ocurrió doce días posteriores a la siembra, esto equivale al día "0" presentado en las siguientes figuras.

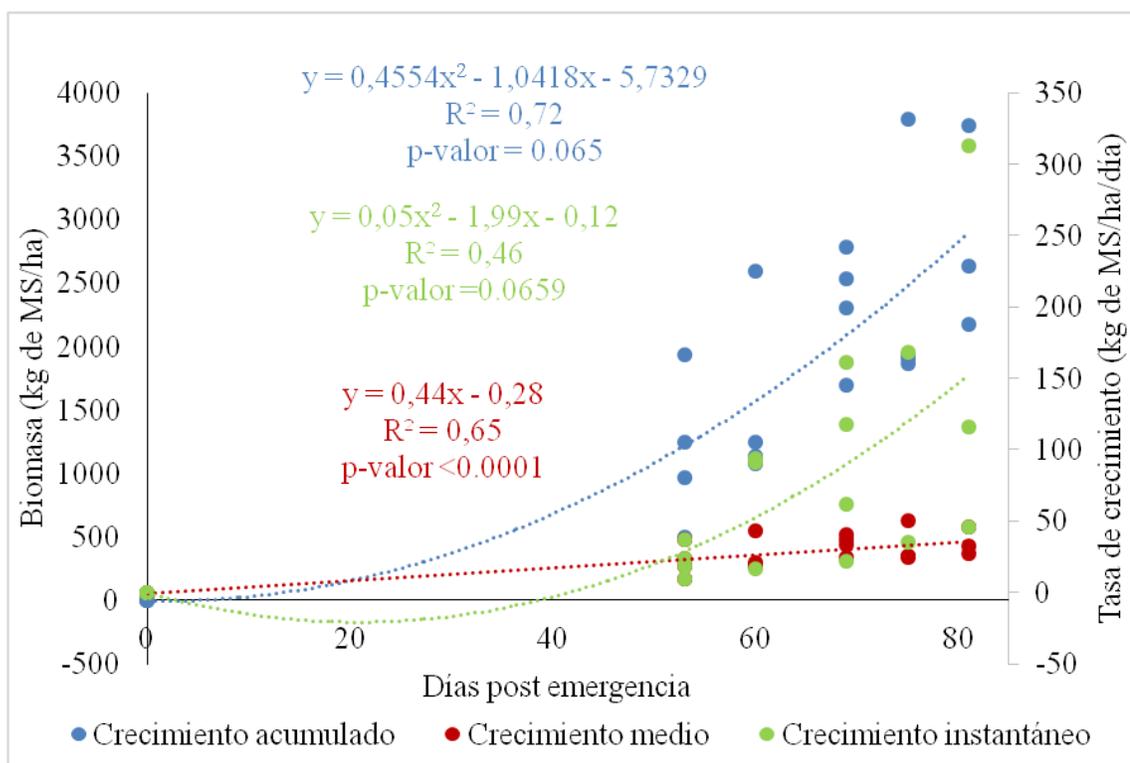


Figura No. 9. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio y tasa de crecimiento instantáneo según días post emergencia para el tratamiento FS + ALF en el período invernal

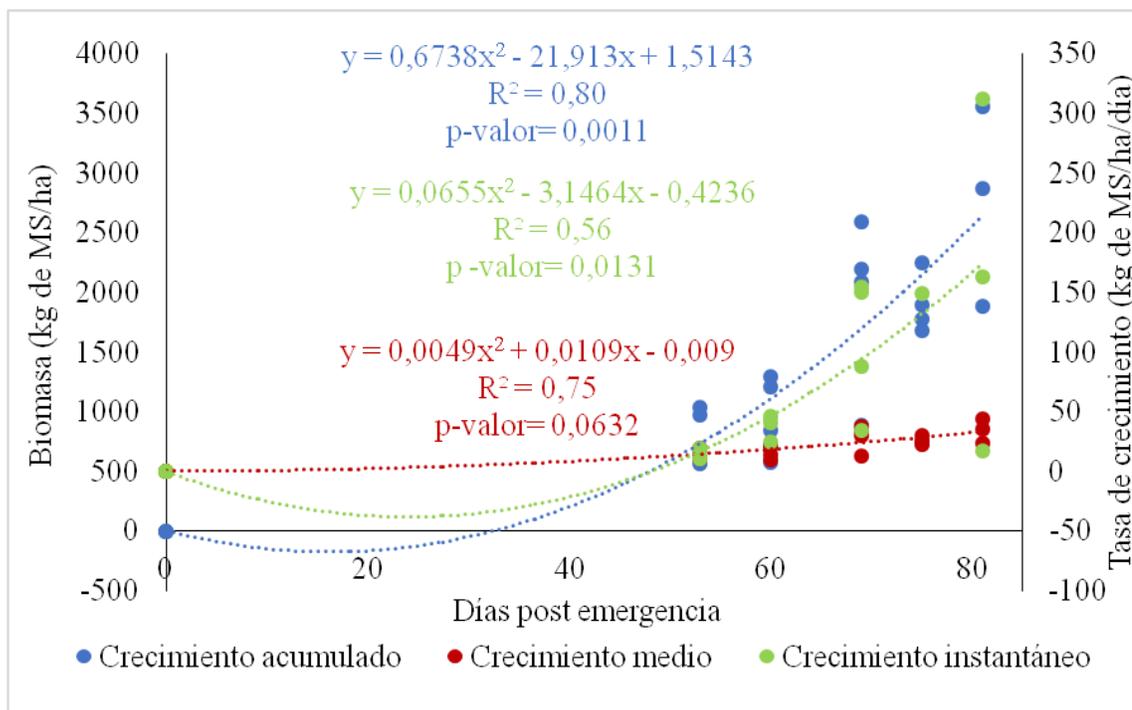


Figura No. 10. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio y tasa de crecimiento instantáneo según días post emergencia para el tratamiento RG + TR en el período invernal

La fotosíntesis comienza a incrementarse a medida que aparece nueva área foliar de alta capacidad fotosintética, esta nueva área foliar más eficiente hace que las tasas de crecimiento aumenten.

El crecimiento acumulado final promedio fue de 2850 y 2760 kg de MS/ha para FS + ALF y RG + TR respectivamente. García (2003) revela producciones menores sobre gramíneas puras comparadas con este experimento. Estas son para festuca de 1200 kg de MS/ha y para raigrás perenne de 2500 kg de MS/ha. Se observa una amplia diferencia sobre los rendimientos de festuca, pero como fue dicho anteriormente, en las parcelas de festuca de los diferentes bloques se presenció *Lolium multiflorum* pudiendo así afectar la producción, ya que según García (2003), esta especie presenta una producción de 3200 kg de MS/ha en invierno.

Se puede observar que la tasa de crecimiento instantánea aumenta al aumentar las semanas de acumulación, esto es explicado por varios factores, pero el más importante es explicado a través del IAF, que cuantas más semanas de crecimiento tiene la pastura mayor intercepción de luz tendrá por parte de las hojas. Como es posible observar en capítulos siguientes donde se detalla la relación entre radiación PAR absorbida e IAF, las mediciones no llegaron a captar el momento de IAF óptimo donde

se intercepta el 95% de la radiación incidente. Por lo tanto, tiene sentido que las figuras anteriores no hayan llegado al punto de inflexión el cual las tasas de crecimiento decrecen.

Según McMeekan, citado por Carámbula (2004) en un ambiente sin limitaciones de radiación, disponibilidad hídrica del suelo y temperaturas, la curva teórica de acumulación de forraje en función del tiempo tiene un comportamiento sigmoide. Crece en una primera instancia a tasas crecientes para luego llegar a un punto de inflexión en donde las tasas decrecen cada vez más y alcanzan un valor máximo. Éste suele coincidir con el momento en el que el IAF óptimo es alcanzado. Esta cota en la acumulación está íntimamente relacionada con las especies contenidas en la mezcla y la estación del año considerada, entre otros factores referentes al manejo y la sanidad de las pasturas (Nabinger, 1996).

Comparando entre los tratamientos se puede observar una mayor acumulación de biomasa por parte de FS + ALF. Observando las tasas de crecimiento instantáneo se puede justificar lo anteriormente mencionado debido a que principalmente en las dos primeras mediciones este tratamiento presentó mayores valores sobre RG + TR obteniendo así una mayor producción.

La tasa de crecimiento medio promedio de los tratamientos fue de 29,9 y 23,4 para FS + ALF y RG + TR respectivamente. Sobre el tratamiento RG + TR similares valores encontró Gómez (2000) sobre *Lolium multiflorum* de 24,8 kg de MS/ha/día. Datos de García (2003) revelan que la festuca presenta un amplio rango de tasa de crecimiento comenzando en el invierno con 10 kg de MS/ha/día y terminando el mismo con 33 kg de MS/ha/día. El raigrás perenne presenta más producción a fin de invierno, comenzando con 10 kg de MS/ha/día y finalizando con 56 kg de MS/ha/día.

4.3.5.2 Crecimiento primaveral según días post pastoreo

En las siguientes figuras No. 11 y 12 se presenta para cada tratamiento correspondiente al período primaveral del experimento la curva de crecimiento acumulado junto con las curvas que muestran las tasas de crecimiento instantáneo y medio.

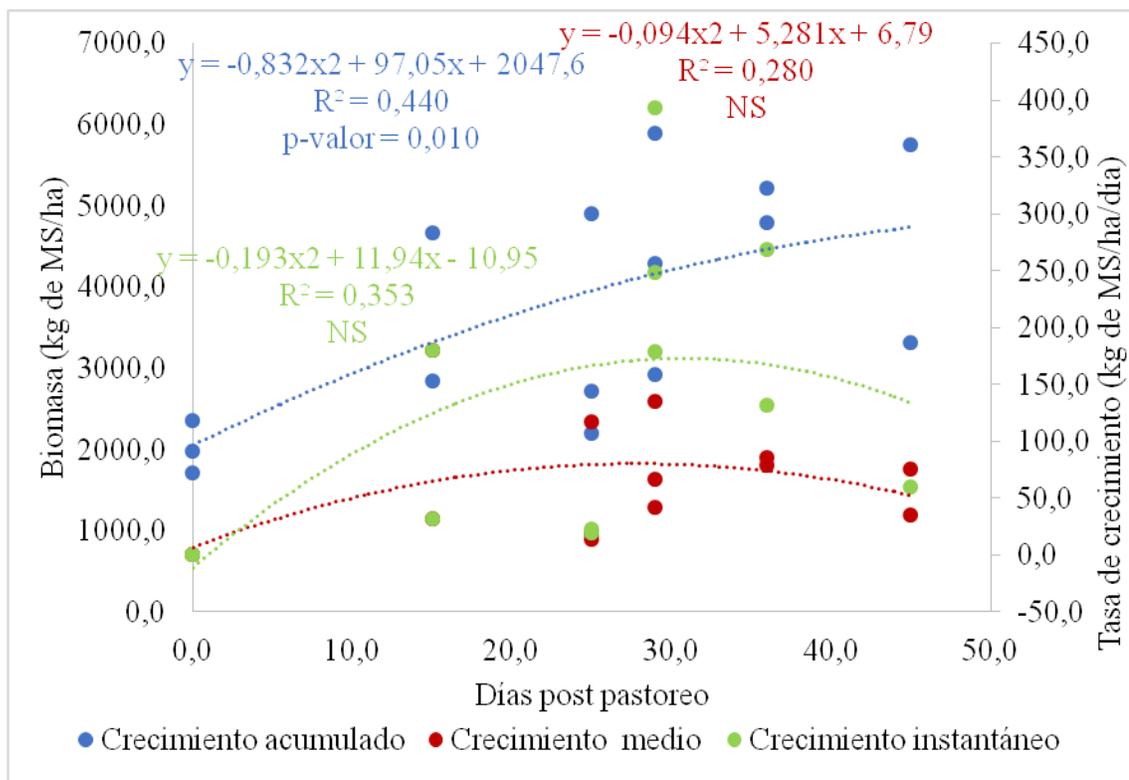


Figura No. 11. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según días post pastoreo para el tratamiento FS + ALF para el período primaveral

Como se puede observar en la figura anterior los días post pastoreo no explican ambas curvas de tasas de crecimiento, ya que para el tratamiento FS + ALF no mostraron significancia de los modelos ajustados. La curva de crecimiento acumulado sí se explica a través del incremento de los días post pastoreo.

Sobre esta, se puede ver que la ecuación presenta una correlación positiva, donde los días post pastoreo explicaron en un 65% el crecimiento acumulado por el tratamiento FS + ALF.

A medida que pasan los días se logra un mayor crecimiento acumulado de MS total. El bloque que tuvo más días de acumulación post pastoreo presentó un promedio de las dos parcelas de producción de 5887 kg de MS/ha. García (2003) presentó valores de festuca pura en primavera de 3982 kg de MS/ha. Sin embargo, dentro de ese promedio el máximo valor obtenido fue 7503 kg de MS/ha. También presenta datos de raigrás anual con un máximo de 5146 kg de MS/ha acercándose a los valores obtenidos. Este último dato es comparable ya que como fue anteriormente dicho, había mucha presencia de *Lolium multiflorum* en las parcelas de FS + ALF.

Como se observará en capítulos siguientes donde se trata la relación entre la radiación PAR absorbida con el IAF se aprecia como la mezcla hasta la última medición no llega a alcanzar el IAF óptimo en primavera. Por lo tanto, cobra tiene sentido que no se haya llegado a cierto nivel donde la línea de tendencia deja de aumentar y luego comienza a decrecer.

Entre el 5 de setiembre del año experimental al 20 de octubre del mismo, la tasa de crecimiento medio promedio arrojó un valor de 81 kg de MS/ha/día. Con el fin de comparar resultados se encontró que Maciel et al. (2015) midieron la tasa de crecimiento promedio en el período primaveral para una mezcla compuesta por dactylis y alfalfa dándole como resultado un valor de 23 kg de MS/ha/día. Es de aclarar que dicho trabajo experimental fue sembrado en época tardía, por lo tanto "*Siembras en fecha tardía o avanzada la estación de otoño, pueden estar provocando menores crecimientos en las plantas, porque las oportunidades son inferiores a las anteriores*" (Maciel et al., 2015). Además de las siembras tardías en el ensayo, los autores hacen referencia que en los meses de agosto y octubre presentaron déficit de precipitaciones que pueden haber condicionado el crecimiento de las pasturas al inicio de primavera. Por lo tanto, la gran diferencia encontrada con los resultados puede ser causa tanto de las siembras tardías como de la ausencia de precipitaciones.

López et al. (2012) obtuvieron valores de tasa de crecimiento para mezclas de alfalfa y dactylis entre 30 y 46 kg de MS/ha/día. Valores que siguen estando por debajo de los datos que se obtuvieron en este experimento, pero no tanto como los revelados por Maciel.

Según Leborgne (1995) las tasas de crecimiento de un cultivo de alfalfa puro en su primer año de vida para los mismos meses que se evaluaron en este experimento se encuentran en valores de 31 kg de MS /ha/día. Siendo valores que se encuentran acordes a los mencionados por Díaz López et al.(2012). Por ende, comparando los resultados obtenidos en este experimento y las diferentes fuentes de información presentadas, es notorio que en el presente trabajo encontrar tasas de crecimiento medio por encima de los demás. Pudiendo ser causantes las óptimas temperaturas y condiciones hídricas que ocurrieron en la primavera del año experimental que se llevó a cabo.

La tasa de crecimiento instantánea promedio para el período primaveral fue de 115 kg de MS/ha/día, pero como fue anteriormente dicho, el modelo que explica evolución de esta no es significativo.

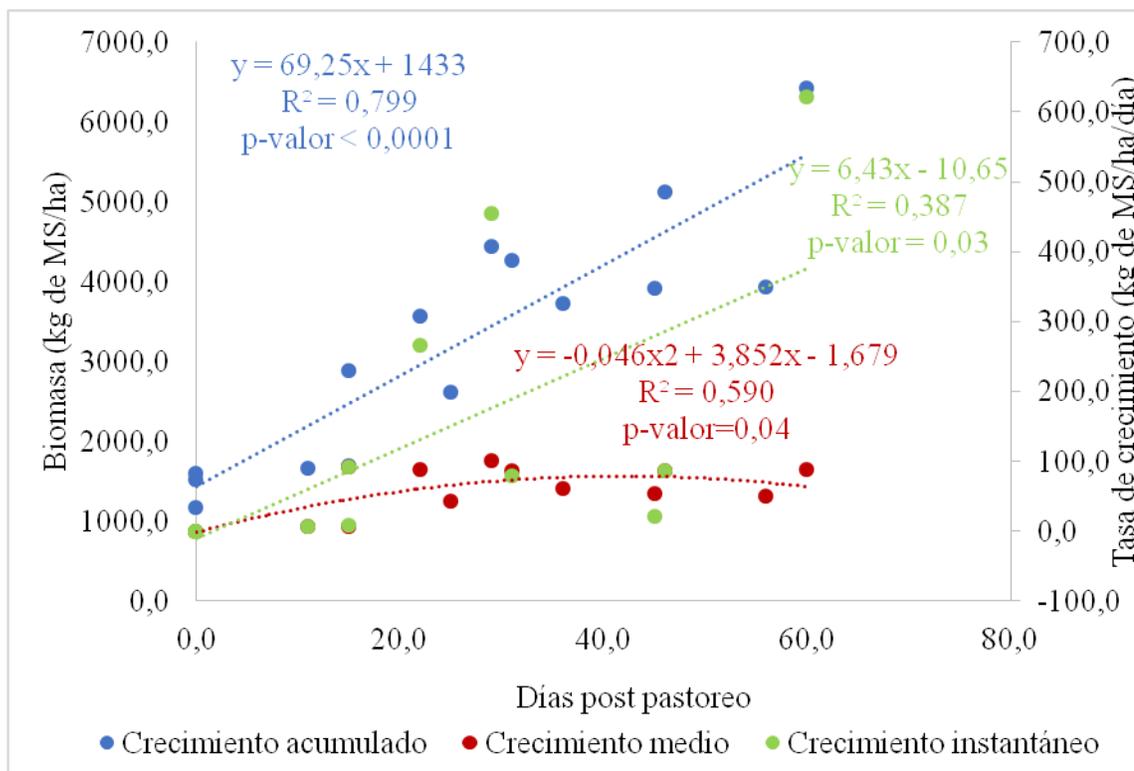


Figura No. 12. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según días post pastoreo para el tratamiento RG + TR para el período primaveral

Sobre el crecimiento acumulado, el bloque que presentó mayores días post pastoreo presentó un máximo promedio de 6426 kg de MS/ha. Observando los datos de García (2003) el resultado promedio de producción es ampliamente menor con 4391 kg de MS/ha. Sin embargo, este resultado promedio tiene un máximo de 6638 kg de MS/ha.

Como se puede observar en esta figura con respecto a la anterior correspondiente al tratamiento FS + ALF, las ecuaciones que modelan tanto el crecimiento acumulado como la tasa de crecimiento instantáneo pasaron a ser lineal de primer orden, mostrando que no hay caída.

La tasa de crecimiento medio promedio fue de 63,8 kg de MS/ha/día siendo inferior a la del tratamiento FS + ALF y concordando con los resultados de disponibilidad de forraje promedio para el período primaveral, ya que el tratamiento FS + ALF presentó mayor disponibilidad con diferencias significativas.

La tasa de crecimiento medio revelada por Díaz Lago et al. (1996) para una pastura de trébol rojo fue de 72 kg de MS/ha/día. Comparando con el presente experimento, esta tasa fue mayor. Vale destacar que esta tasa anteriormente

mencionada se ve calculada por mayor tiempo llegando al mes de noviembre donde la tasa de crecimiento tuvo un pico máximo. Por lo tanto, los valores presentados anteriormente se ubican por encima del obtenido por este ensayo experimental, pero teniendo en cuenta que en este ensayo no se midió en el mes de mayor tasa de crecimiento como se mencionó anteriormente.

Según Maciel et al. (2015) con la misma mezcla de raigrás y trébol rojo, pero con una siembra tardía realizada el 1 de junio presentaron una tasa de crecimiento medio de 24 kg de MS/ha/día siendo notoriamente inferior al dato revelado por este trabajo.

La tasa de crecimiento instantáneo promedio fue de 124,8 kg de MS/ha/día que en comparación con la tasa instantánea de FS + ALF (115 kg de MS/ha/día) alcanzó valores un poco por encima. Esto puede relacionarse a que la mezcla de raigrás y trébol rojo se encontraba más lejos de llegar al IAF óptimo que la mezcla de festuca y alfalfa con valores de intercepción de radiación de 87 % y 94 % respectivamente. En el momento que ocurre el IAF óptimo es donde la tasa de crecimiento instantáneo comienza a decrecer, por ende, la diferencia encontrada en las tasas instantáneas entre ambos tratamientos se puede deber a tal motivo.

4.3.5.3 Crecimiento invernal según suma térmica post emergencia

Nabinger (1966) afirma que existe una relación positiva entre la acumulación de materia seca y la suma térmica acumulada. A partir de esto se estudió la relación entre estas variables y a su vez la relación entre las tasas de crecimiento media e instantánea y la suma térmica

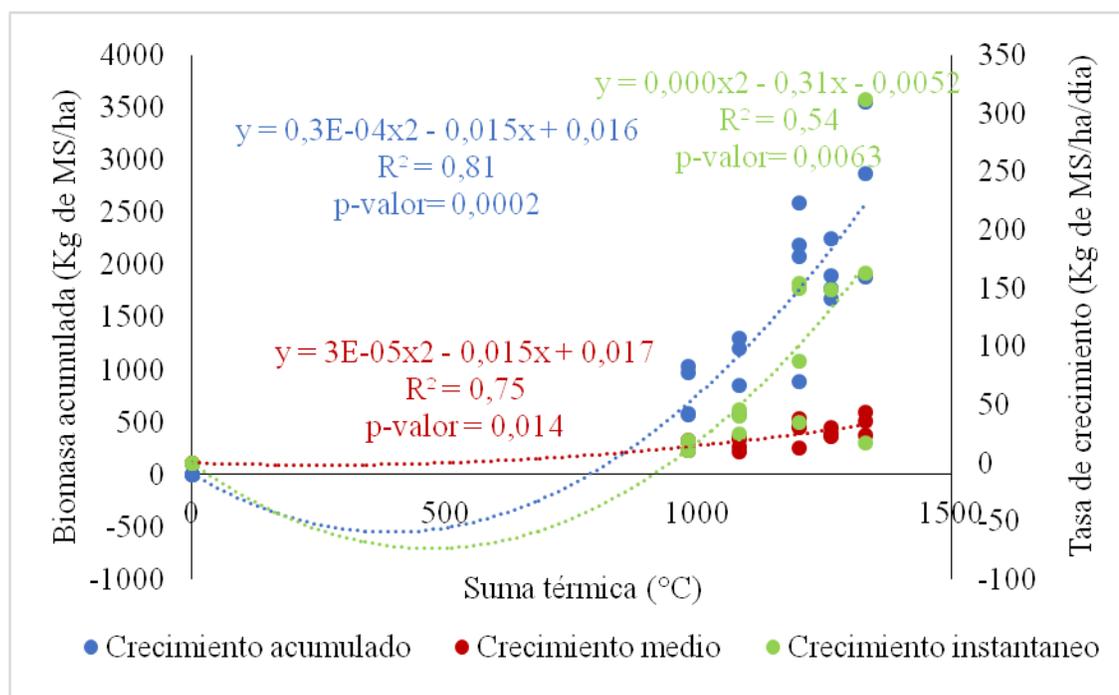


Figura No. 13. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según grados días acumulados para el tratamiento RG + TR en el período invernal

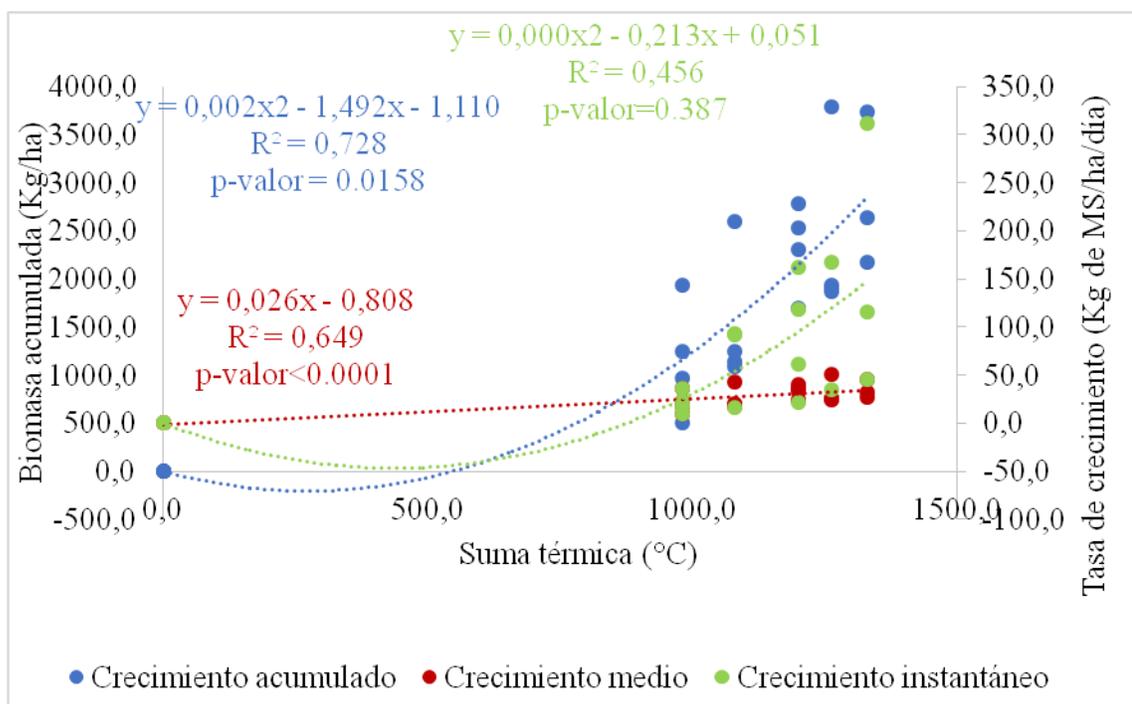


Figura No. 14. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según grados días acumulados para el tratamiento FS + ALF en el período invernal

Como se aprecia en las figuras 13 y 14, en ambos tratamientos se observa una relación positiva entre el la biomasa acumulada y la suma térmica. Esto coincide con lo mencionado anteriormente. Cuando se analiza los R^2 de las regresiones se aprecia que estos son de 0,72 y 0,82 para FS + ALF y RG + TR respectivamente, por lo que se puede afirmar que la temperatura es gran responsable de la acumulación de materia seca.

4.3.5.4 Crecimiento primaveral según suma térmica post emergencia

A continuación, se presenta la relación entre la suma térmica y las variables anteriormente mencionadas para el período de primavera.

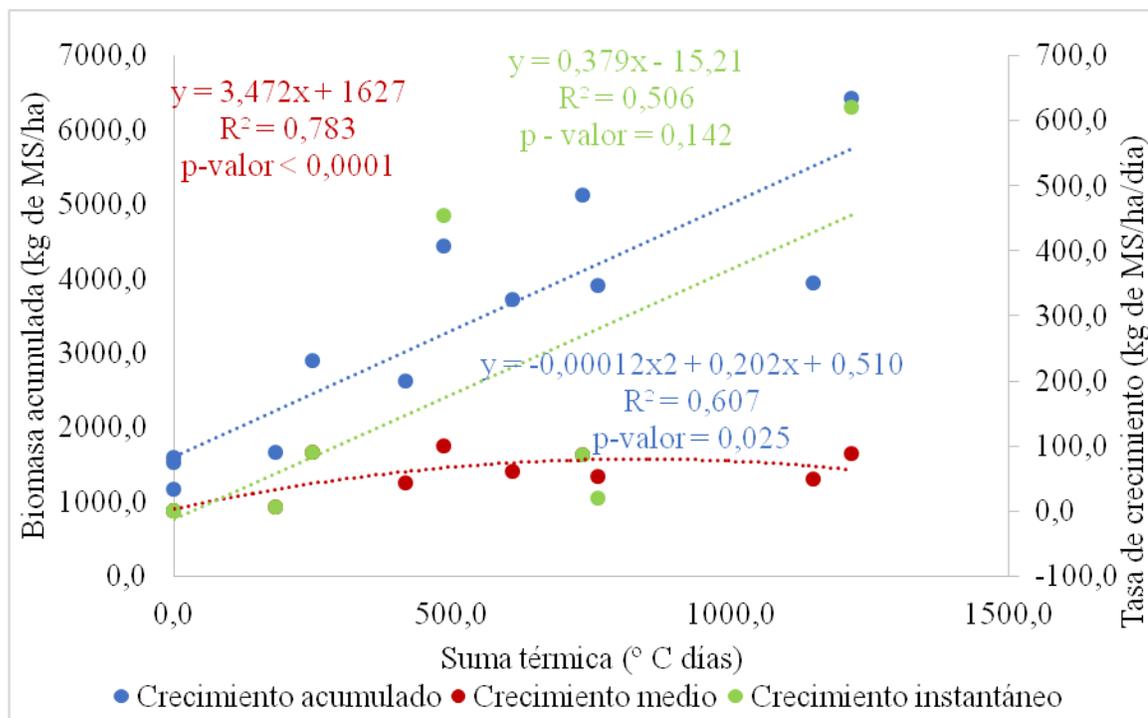


Figura No. 15. Relación entre acumulación de biomasa, tasa de crecimiento medio, tasa de crecimiento instantáneo, según grados días acumulados para el tratamiento RG + TR en el período primaveral

Al igual que en invierno, se observa una relación positiva y directa entre la acumulación de biomasa y la temperatura. Sin embargo, en este período la producción de materia seca fue ampliamente superior al período invernal. Uno de los factores es la mayor temperatura diaria del ambiente que permite una mayor tasa de fotosíntesis, por lo tanto, una mayor tasa de crecimiento. A su vez, en este periodo sucede el pasaje de estado vegetativo a reproductivo, donde la estructura de las plantas cambia, aumentando así la intercepción de luz y de esta forma aumenta la producción de biomasa de estas.

Se realizó a su vez el análisis para el tratamiento FS + ALF, pero este no dio significativo, por lo que no es presentado.

4.4 INTERCEPCIÓN Y USO DE LA RADIACIÓN

4.4.1 Relación entre radiación PAR absorbida y altura del forraje

En la siguiente figura se muestra la relación entre la altura del forraje y los cambios en la radiación interceptada medida como porcentaje del total de la radiación incidente. Cabe destacar que para el cálculo de esta se incluyó la radiación reflejada siendo esta un 10% de la radiación incidente.

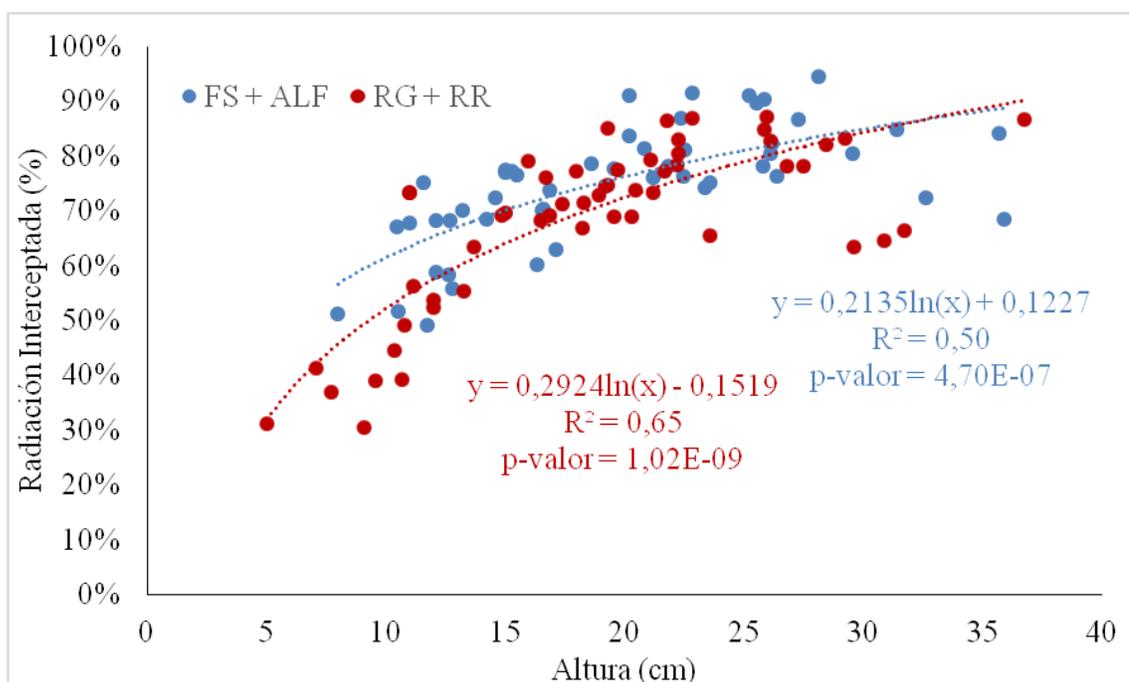


Figura No. 16. Relación entre la radiación interceptada y la altura de ambos tratamientos a lo largo de todo el período experimental

Según Carámbula (2002b), cuando la pastura alcanza a interceptar un 95 % de la radiación incidente, se logra la máxima tasa de producción de materia seca. Allí también, como fue antes mencionado, se encuentra el IAF crítico. Diversos estudios afirman que existe una gran relación entre éste y la altura del pasto (Carnevali 2003, Barbosa2004). Se denomina altura crítica a aquella que intercepta un 95% de la radiación incidente.

Observando la figura se puede apreciar la tendencia asintótica que presentan ambos tratamientos. Esto concuerda con Pedrozo (2013) donde la pastura toma esa posición debido al auto sombreado. Si bien en ningún tratamiento se llega al 95% de

intercepción como marca la bibliografía, se observó que las gráficas hay una tendencia a alcanzarlo. Hay una primera etapa donde los crecimientos son lineales y una segunda etapa donde los crecimientos van decreciendo y se va tornando plató, donde un aumento en la altura no incrementa en gran medida un aumento en la radiación interceptada.

Se aprecia en el inicio del gráfico que para alturas entre 5 y 20 cm los tratamientos presentaron diferentes valores de radiación interceptada. La diferencia de intercepción de luz en función de la altura podría estar relacionada con la arquitectura de la canopia de las especies presentes en las mezclas y también la proporción que ocupan los componentes gramíneas y leguminosas en los respectivos tratamientos.

Según Gardner et al. (1985) “*la inclinación de las hojas afecta la intercepción y distribución de la radiación dentro del canopeo*” distinguiendo dos tipos según el ángulo con el que están insertadas las hojas, pudiendo ser planófilas o erectófilas. Por otra parte, Pezzani et al. (2011) caracterizan a *Medicago sativa* como una especie planófila y en tanto a la *Festuca arundinacea* y *Lolium perenne* presenta hojas más erectas. Gardner et al. (1985) hablan de un canopeo tipo planófilo para *Trifolium pratense*.

Las especies planófilas interceptan en mayor cantidad la radiación en los estratos superiores del canopeo que las especies erectófilas que permiten una mejor distribución de la radiación en los diferentes estratos de la planta como lo son ambas gramíneas utilizadas según Gardner et al. (1985). Sumado a esta característica y adelantando lo que se analizará en capítulos siguientes, existe una mayor proporción significativa de leguminosas en el tratamiento FS + ALF que en el tratamiento RG + TR. Siendo para el primero de un valor promedio de 25,7 % A y para el segundo de 13,0 % B respectivamente. Se podría concluir que tanto la estructura, la inserción de las hojas, como su mayor proporción en la mezcla, la alfalfa estaría explicando los resultados que se pueden observar en la figura anterior.

No solo la altura pudo haber afectado la intercepción de radiación sino también una diferencia en proporción de suelo descubierto haciendo que parte de la luz que llegara a la superficie no fuera interceptada por las hojas. Para el tratamiento FS + ALF los valores promedios del experimento fueron de 8,1% B y para el tratamiento de RG + TR se ubicaron en 13,1 % A mostrando diferencias estadísticamente significativas. Estas diferencias se debieron principalmente a una menor producción de materia seca del tratamiento RG + TR, afectada principalmente por una baja proporción del trébol rojo en la mezcla, que incidió en un mayor valor de suelo descubierto.

Como se puede observar en las ecuaciones presentes en la figura anterior los coeficientes “b” de las líneas de regresión son diferentes. Se aprecia un valor numéricamente mayor para el tratamiento RG + TR. Esto es debido a que dicho tratamiento presentó valores más bajos de altura (5 a 10 cm) que el tratamiento FS + ALF. Al presentar alturas menores lleva a plantas de menor tamaño, con menos auto

sombreado, aumentando más la radiación interceptada por unidad de aumento de altura. Además, como fue mencionado antes, este tratamiento presentó mayor porcentaje promedio de suelo descubierto a lo largo del período estudiado incidiendo también en los coeficientes “b” de las ecuaciones.

Los límites inferiores y superiores de los coeficientes “b” de ambas curvas no comparten valores dentro de los rangos que se encuentran cada uno con un 90% de confianza. Por este motivo no se puede ajustar una única función para ambos tratamientos.

4.4.2 Relación entre IAF y altura de forraje

Como fue mencionado anteriormente, existe una gran relación entre el IAF y la altura de las especies. Tal es así que se llega a mencionar una altura crítica para cada una de ellas como se mencionó en el capítulo anterior.

Al realizarse el estudio sobre la relación entre estas dos variables, se pudo constatar que los límites inferiores y superiores de ambos tratamientos se solapaban, por lo tanto, se hizo un solo modelo incluyendo estos.

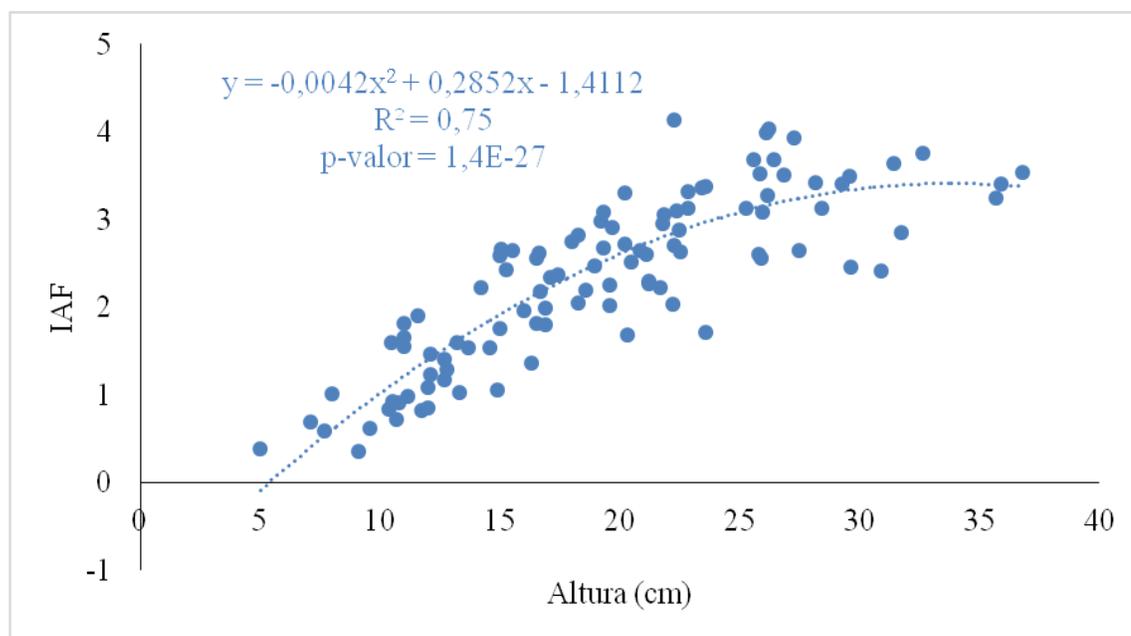


Figura No. 17. Relación entre altura del forraje e IAF para ambos tratamientos en conjunto

Se puede observar la alta relación entre estas dos variables con un R^2 alto. También es apreciable como en los primeros valores de altura e IAF, la línea de

tendencia toma una forma lineal y a medida que aumenta la altura se va haciendo asintótica. Esta última parte de la figura adopta esta forma debido a que la pastura en determinado momento de altura comienza la senescencia de hojas y así se detiene el aumento del IAF.

Vale destacar que a partir de los 25 cm de altura los valores en la figura son sólo de primavera. Esto tiene sentido debido a la elongación de los tallos como se verá en el siguiente capítulo que a un mismo IAF, entre invierno y primavera, tienen más altura los valores de esta última estación.

4.4.3 Relación entre radiación PAR absorbida e IAF

Díaz López et al. (2011) hallaron una relación positiva y directa ($R^2 = 0,85$) entre el IAF y la radiación interceptada. Similares registros obtuvieron Parsons et al. (1983) trabajando sobre pasturas.

Por lo tanto, sería esperable encontrar una relación directa entre IAF y PARa. Cabe destacar que ambas medidas son arrojadas por el ceptómetro a partir de lo medido en campo, por lo que deberían mantener una relación.

A continuación, se muestran las correlaciones obtenidas entre estas medidas para cada tratamiento y estación por separado.

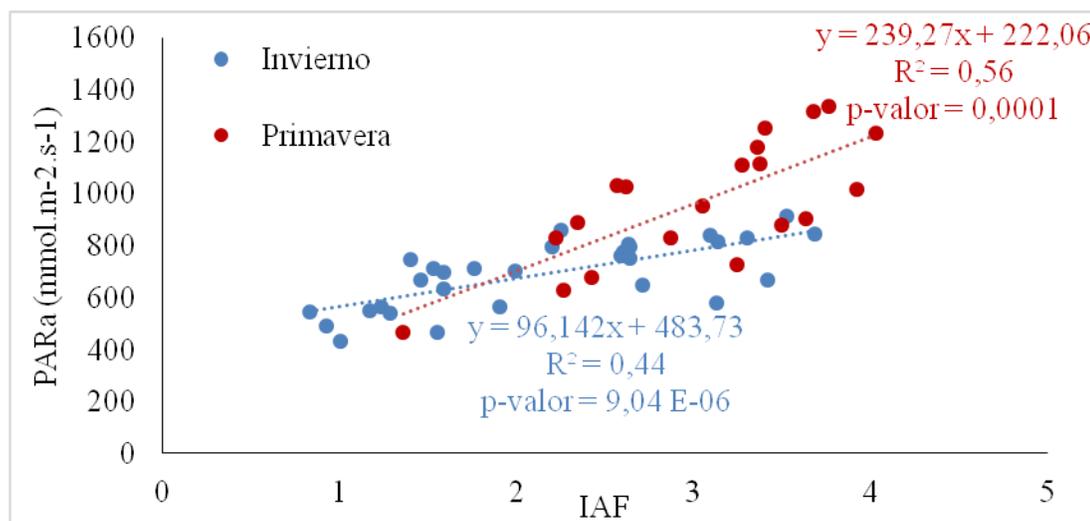


Figura No. 18. Relación entre IAF y radiación PARa para el tratamiento FS + ALF

Se puede observar que los resultados obtenidos concuerdan con los autores anteriormente citados, donde se muestra una relación lineal significativa ($p \leq 0,10$). Si bien son significativas, tienen una correlación menor a la mencionada por Díaz López et al. (2011).

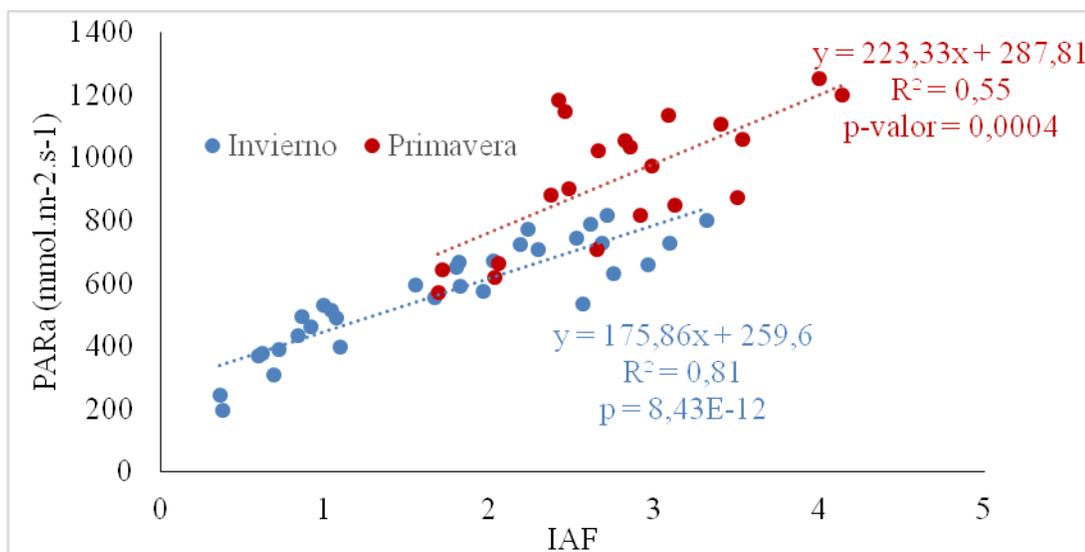


Figura No. 19. Relación entre IAF y radiación PARa para el tratamiento RG + TR

Los resultados concuerdan nuevamente con los citados por Díaz López et al. (2011), pero más marcado en el caso del invierno, donde se encontró un valor de R^2 de 0,81.

Comparando los datos entre estación, hay una notoria diferencia a favor de los períodos de primavera, donde un aumento de un punto en el índice de IAF equivale a una suba de 257 y 219 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de radiación interceptada para los tratamientos FS + ALF y RG + TR respectivamente. Mientras que en invierno estos valores son de 108 y 167 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. A su vez, a un mismo valor de IAF ambos tratamientos presentaron un valor de radiación absorbida mayor en el período de primavera. Esta diferencia se explica por dos motivos, los cambios en la estructura de la pastura y la cantidad de radiación que incide sobre la superficie. Taylor y Rudman (1966) pusieron en manifiesto los cambios ocurridos en las pasturas con el cambio de estación. En primavera, las pasturas sufren el cambio del ápice vegetativo a reproductivo, donde comienza el alargamiento de entrenudos adquiriendo así, un hábito erecto. Esto produce un cambio en la distribución de la densidad de biomasa, disminuyendo la proporción de biomasa acumulada en los estratos inferiores si se compara con el período invernal (García, 1995). Esto lleva a que durante este período disminuya el sombreado en estos estratos, por lo que la cantidad de radiación absorbida a un mismo valor de IAF es mayor.

En cuanto a la radiación incidente, los valores arrojados por el ceptómetro mostraron que esta fue mayor en promedio durante el período de primavera comparado con el de invierno, 1485 y 1076 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ respectivamente.

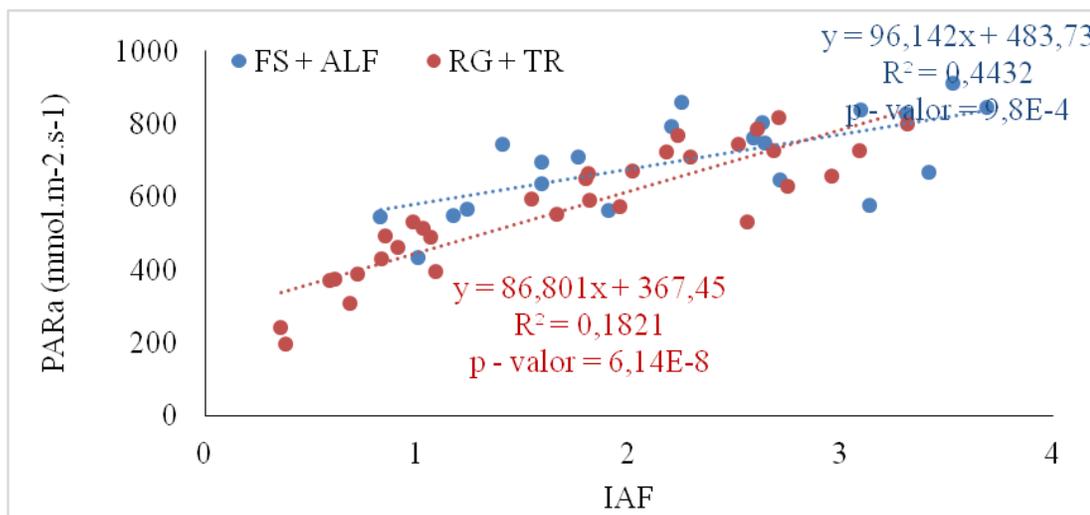


Figura No. 20. Relación entre IAF y radiación PARa para ambos tratamientos en invierno

Pagliariacci y Saroff (2008) afirman que a bajos valores de IAF hay poco sombreado entre hojas, y por lo tanto una pastura con hojas planófilas tiene ventaja frente a hojas verticales en la intercepción de radiación. Mientras que, a valores altos, las hojas verticales permiten una distribución de la radiación más uniforme en la canopia debido al menor sombreado de las hojas superiores sobre las inferiores. Esto concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde se observa que el tratamiento FS + ALF a valores bajos de IAF, presentó mayor radiación absorbida, el cual tenía una mayor proporción de leguminosas como se observa en el capítulo “Composición botánica”. A medida que aumenta el IAF esta diferencia se ve disminuida hasta el punto de que el tratamiento RG + TR tiende a superarlo en cantidad de radiación absorbida.

En el caso de primavera, los tratamientos no difieren entre sí en radiación absorbida. Esto se debe a que, si bien el tratamiento FS + ALF tenía aun una mayor proporción de leguminosas, el pasaje a estado reproductivo de las pasturas hizo que, como se mencionó anteriormente, aumente la cantidad de radiación interceptada por los estratos inferiores.

En la figura 20 se puede apreciar que el valor de regresión del tratamiento RG + TR es superior al del tratamiento FS + ALF. Esto puede deberse a que al inicio de la evaluación el tratamiento RG + TR parte de plantas más chicas, un IAF menor y mayor suelo descubierto, por lo que un aumento en el IAF indicaría que intercepte más radiación. Por otro lado, el tratamiento FS + ALF parte de plantas más grandes, con mayores valores de cobertura e IAF, por lo que un aumento en el IAF significaría que aumente el sombreado y no aumente tanto la radiación absorbida. Esto coincide con lo mencionado por Nabinger (1996), donde afirma que a bajos valores de IAF los

incrementos en intercepción son de forma exponencial, mientras que a medida que el IAF sube, los incrementos en intercepción se van tornando lineales.

En cuanto al IAF crítico, aquel que intercepta el 95 % de la radiación incidente (Brougham, 1957), en ninguno de los dos tratamientos se pudo alcanzar. Sin embargo, el tratamiento FS + ALF alcanzó un valor máximo de 94 % de radiación interceptada con un IAF de 3,3, mientras que el tratamiento RG + TR, alcanzo sus máximos valores de intercepción también con un IAF de 3,3 pero siendo estos de 87 %. Esto se debe a la mayor producción de materia seca del tratamiento FS + ALF y a su mayor proporción de leguminosas en la mezcla.

Según Nin et al. (2014) en pasturas dominadas por gramíneas erectas, se maneja un IAF óptimo entre 9 a 10.

4.4.4 Relación entre PAR absorbido y biomasa acumulada

Según Laguna Cerda (2015), el crecimiento del cultivo está determinado por la fotosíntesis, por ello existe una relación lineal entre la biomasa total acumulada y la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada (aquella radiación a la que responde la fotosíntesis, entre 400 y 700 nm). Por lo tanto, la producción de biomasa puede ser explicada de forma simple a través de la cantidad de radiación interceptada y la eficiencia con que dicha radiación es transformada en biomasa.

A continuación, se presentan los gráficos de las relaciones entre acumulación de biomasa y la radiación PAR absorbida durante el período experimental para ambos tratamientos.

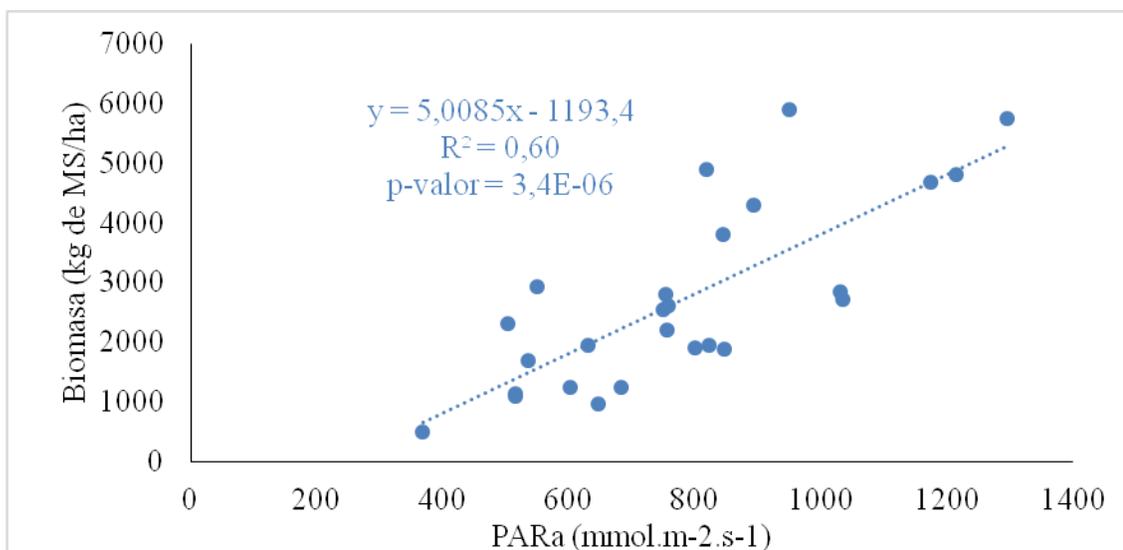


Figura No. 21. Relación entre radiación PAR absorbido y acumulación de materia seca para el tratamiento FS + ALF a lo largo del experimento

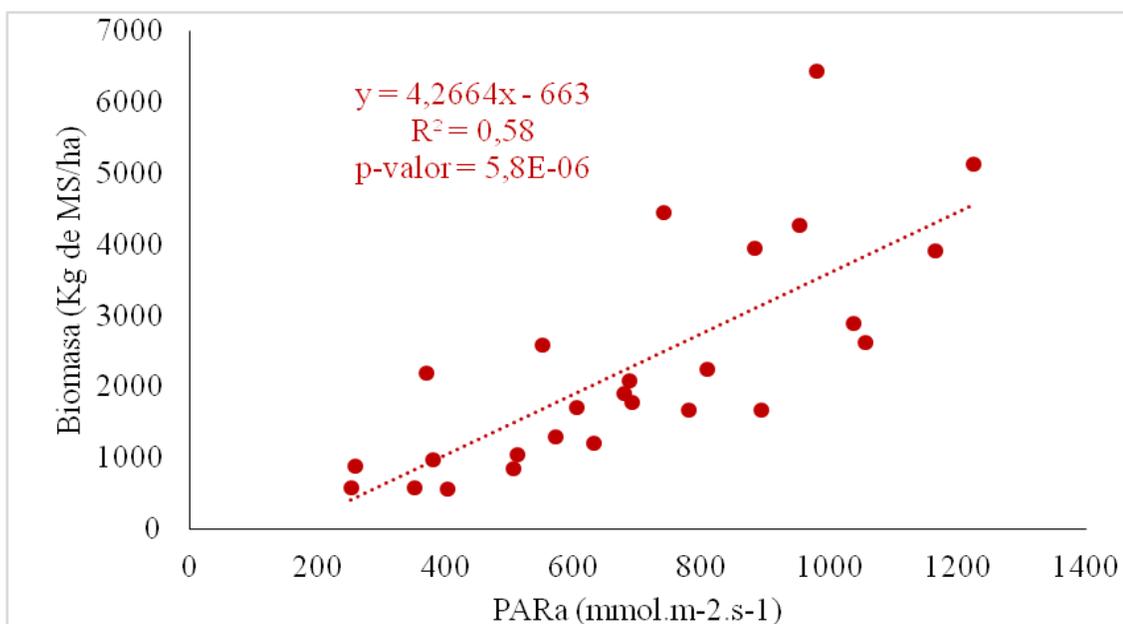


Figura No. 22. Relación entre radiación PAR absorbido y acumulación de materia seca para el tratamiento RG + TR a lo largo del experimento

La relación entre PAR absorbido y acumulación de materia seca en el tratamiento FS + ALF es directa y significativa, por lo que se corresponde con lo reportado por Cruz et al. (1991).

Al igual que en el tratamiento FS + ALF los resultados obtenidos son directos y significativos. Similares resultados encontraron Cruz et al. (1991), Bélanger et al. (1992) en trabajos sobre praderas de festuca con distintas leguminosas.

Sinclair y Muchow (1999) señalan que la única forma confiable de estimar la eficiencia de uso de radiación es ajustando una recta a una serie de puntos tomados secuencialmente dentro de la fase lineal de acumulación de forraje. A partir de esto se estimó las eficiencias de ambos tratamientos y se concluyó a partir del análisis de varianza que estos no difieren significativamente. Los límites inferiores y superiores de estos se solapan, por lo que no se pueden considerar distintos. A partir de esto se fabricó un solo modelo para analizar estas eficiencias.

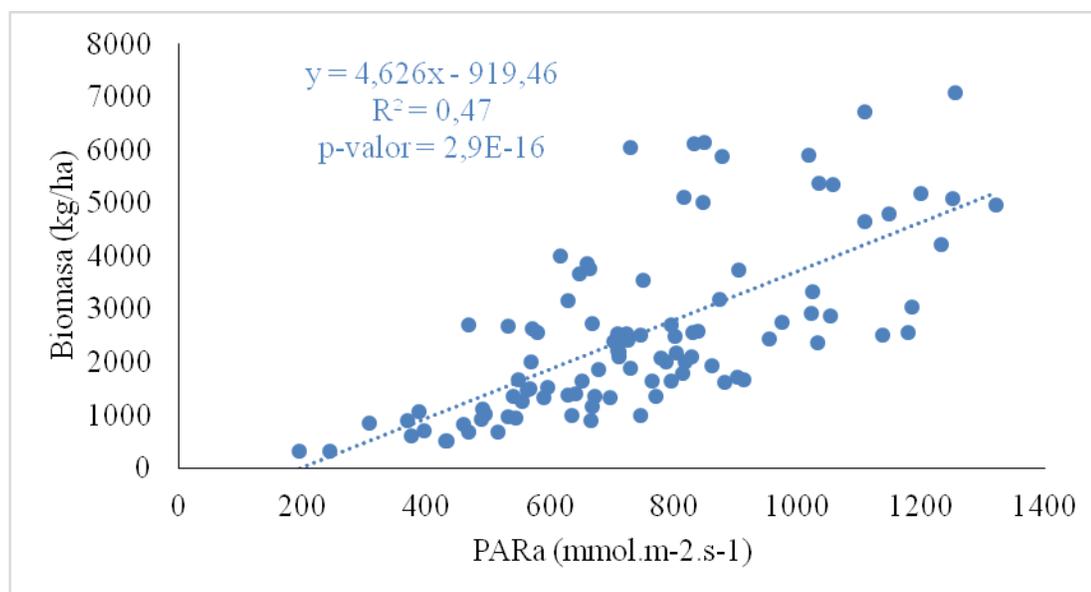


Figura No. 23. Relación entre radiación PAR absorbido y acumulación de materia seca para ambos tratamientos en conjunto a lo largo del experimento

Comparando la eficiencia en el uso de radiación obtenida en el experimento con las obtenidas por Mocchi y Regueiro (2016), se puede apreciar que esta es ampliamente superior, 4,26 Kg MS/mmol.m⁻². s⁻¹ contra 2,55 y 1,37 Kg MS/mmol.m⁻². s⁻¹. Cabe destacar que los resultados obtenidos por Mocchi y Regueiro (2016) corresponden a un período netamente invernal, mientras que en el presente trabajo se abarca también el período primaveral.

En cuanto a las eficiencias de uso de radiación de los tratamientos, la razón por la que estas no difieren radica en que ambas mezclas están compuestas por una gramínea y una leguminosa, ambas de metabolismo C3, lo que determina que estas se encuentren dentro del mismo rango de eficiencia fotosintética. Además, vale destacar que las gramíneas son de ciclo invernal. Por otro lado, las leguminosas difieren en cuanto al ciclo, *Trifolium pratense* de ciclo invernal y *Medicago sativa* de ciclo estival. Sin embargo, no se encontraron diferencias en las eficiencias de uso de radiación debido principalmente a las altas temperaturas que presentó el invierno, como se vio en el capítulo “Caracterización climática”, factor que favorece a la alfalfa y tiende a igualar sus producciones. A su vez, ambas leguminosas se caracterizan por tener una importante producción primaveral.

Si se comparan las figuras 21 y 22, se puede apreciar que, si bien las eficiencias son similares, el tratamiento FS + ALF tiene en promedio una mayor acumulación de biomasa. Esto coincide con lo presentado en los capítulos “Forraje disponible en el período invernal” y “Forraje disponible en período primaveral” donde tanto para invierno como para primavera, este tratamiento fue superior al tratamiento RG + TR. Esto sucede no por una mayor eficiencia de conversión, sino por una mayor interceptación de la radiación debido a una mejor implantación de la alfalfa, la cual es muy eficiente interceptando radiación.

4.4.5 Relación entre radiación PAR absorbida y días de crecimiento

La cantidad de radiación absorbida aumenta a medida que transcurren los días. Esto se debe al crecimiento de las pasturas aumentan su área foliar. En la siguiente figura se muestra la relación entre los días post emergencia de los tratamientos y la radiación PAR absorbida.

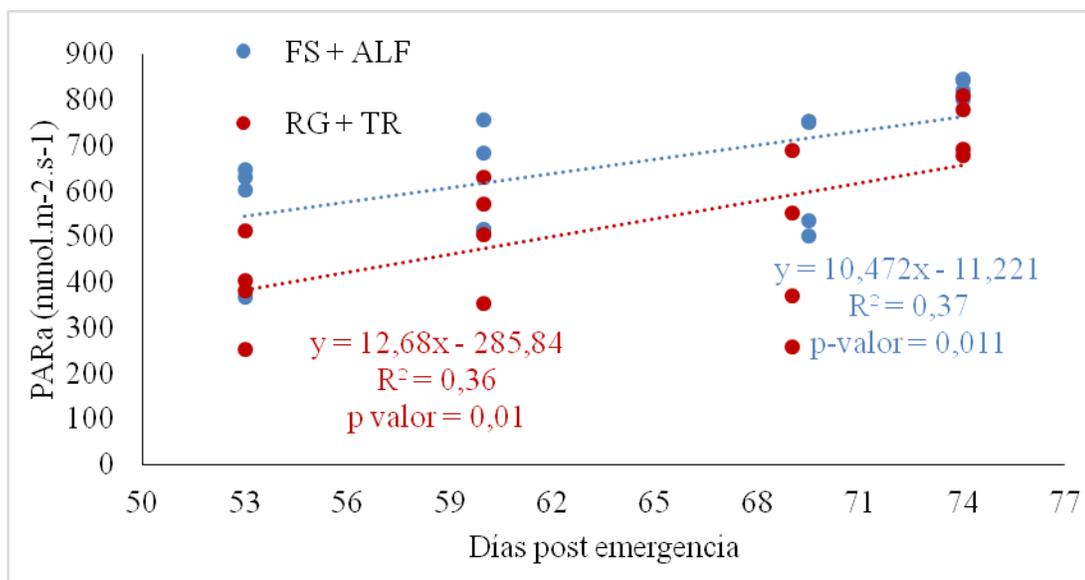


Figura No. 24. Relación entre días post emergencia y radiación PAR absorbida para ambos tratamientos en el período invernal

Como se aprecia en la figura, ambos tratamientos tienen comportamientos similares en cuanto al aumento de radiación absorbida a medida que transcurren los días. A partir del análisis de varianza se pudo determinar que estos no difieren significativamente, por lo que se pueden considerar iguales. Sin embargo, se puede apreciar que, si bien las pendientes son iguales, en promedio, el tratamiento FS + ALF absorbe más radiación por día que el tratamiento RG + TR.

Para determinar la causa de esto se graficó el avance del IAF en función de los días post emergencia.

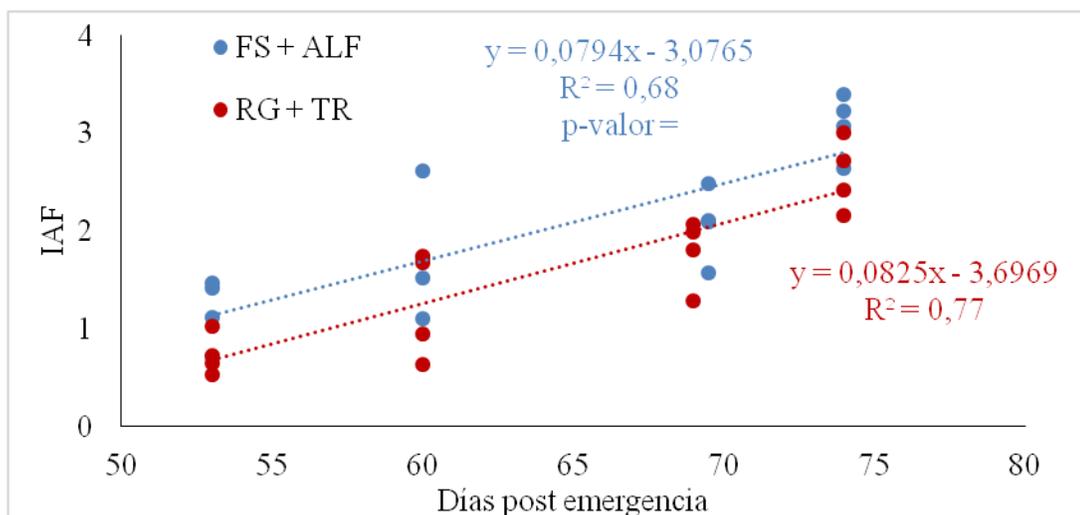


Figura No. 25. Relación entre días post emergencia y IAF para ambos tratamientos en el período invernal

El tratamiento FS + ALF mantuvo en promedio un mayor IAF que el tratamiento RG + TR. Esto puede deberse a una mayor implantación de la componente leguminosa de la mezcla. Esto podría explicar las diferencias en radiación absorbida evidenciadas en la figura 24.

La diferencia en radiación absorbida tiene un efecto directo en la producción de forraje de los tratamientos. Como se vio en el capítulo “Forraje disponible promedio en el período invernal”, el tratamiento FS + ALF tuvo en promedio durante el período invernal, mayor disponibilidad promedio de forraje que el RG + TR. Esto se debe a la cantidad de radiación que absorbieron a lo largo de este período ya que las eficiencias con las que transformaban esta radiación eran iguales.

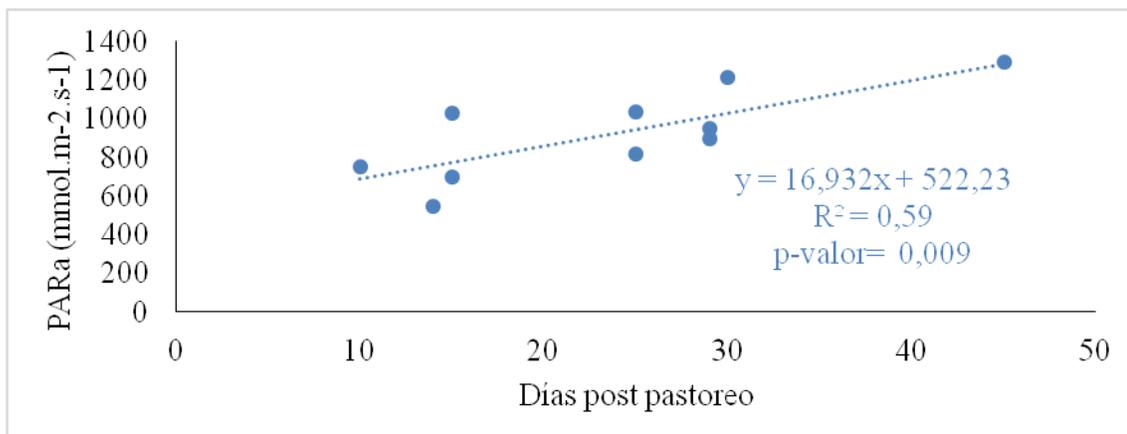


Figura No. 26. Relación entre días post pastoreo y radiación PAR absorbida para el tratamiento FS + ALF durante el período primaveral

En cuanto al período primaveral, se puede observar que la pendiente de la figura es similar a las del período invernal. Sin embargo, se aprecia que la cantidad de radiación absorbida es en promedio mayor a la del anterior período, debido a una mayor radiación PAR incidente y al cambio de estructura de la pastura durante la primavera como ya se mencionó en el capítulo “Relación entre radiación PARa absorbida e IAF”.

Cabe destacar que para este período se estudió también el comportamiento del tratamiento RG + TR, pero este no dio significativo, por lo que no se presentan los resultados.

4.4.6 Relación entre radiación PAR absorbida y suma térmica

Según Hopkins(2000), hay una relación directa entre la temperatura y la producción de materia seca por parte de las pasturas. A partir de esto, se estudió la relación entre la cantidad de radiación absorbida por las plantas y los grados días acumulados a lo largo del experimento.

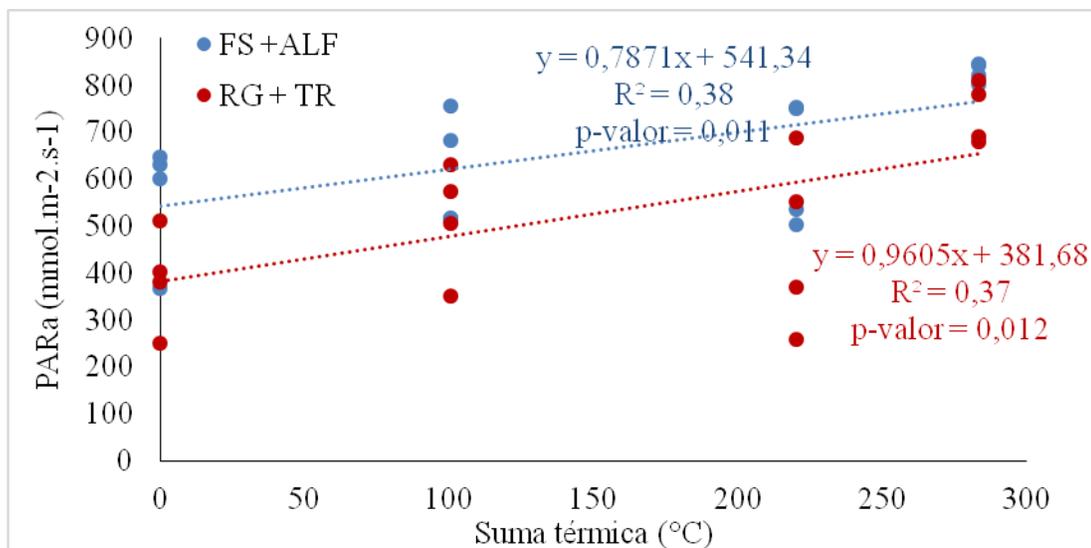


Figura No. 27. Relación entre radiación PAR absorbida y suma térmica para ambos tratamientos en el período invernal

En la anterior figura se puede apreciar que existe una relación lineal y directa entre los grados días acumulados y la cantidad de radiación PAR absorbida por las plantas. Al igual que en el capítulo anterior “Relación entre radiación PAR absorbida y días de crecimiento”, ambos tratamientos tuvieron el mismo comportamiento en cuanto al aumento de la radiación absorbida y la acumulación de temperatura en °C/día. A través del análisis de varianza se constató que estas no son distintas estadísticamente. Sin embargo, el tratamiento FS + ALF tuvo en promedio una mayor captación de radiación por cada grado día acumulado.

Para determinar la causa de esta mayor absorción de radiación, se estudió como varió el IAF con la acumulación de temperatura.

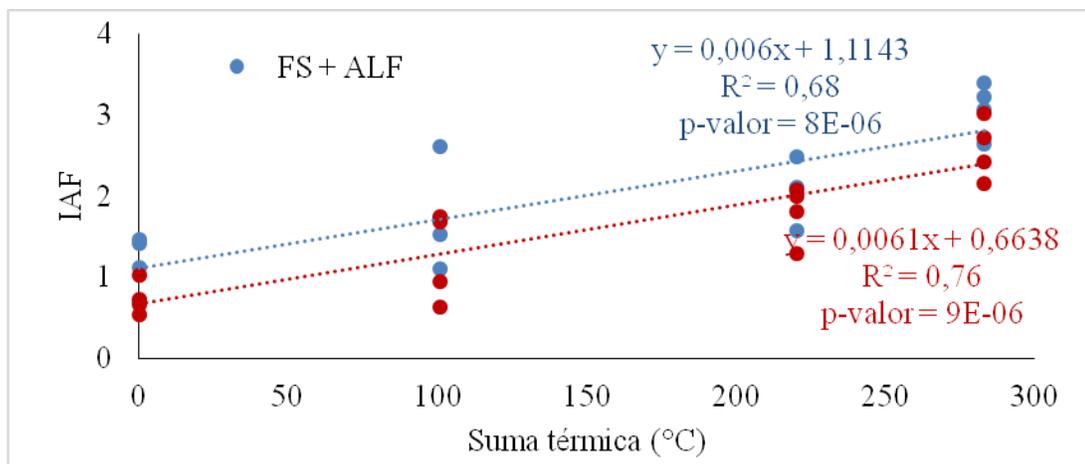


Figura No. 28. Relación entre IAF y suma térmica para ambos tratamientos en el período invernal

Se puede observar que el tratamiento FS + ALF tuvo a lo largo del período invernal un mayor IAF, lo que puede explicar lo mencionado anteriormente donde este tratamiento fue en promedio el que mayor radiación absorbió por cada grado día acumulado.

En el período invernal los resultados obtenidos a partir de este análisis no dieron significativos por lo que no son presentados en el trabajo.

4.5 COMPOSICIÓN BOTÁNICA

A continuación, se presentan los datos estadísticos correspondientes a la contribución de gramíneas, leguminosas y malezas promedio para cada tratamiento, expresados como porcentaje a través de la apreciación visual.

4.5.1 Composición botánica promedio del forraje disponible en el período invernal

En el siguiente cuadro se presentan los datos estadísticos de la composición botánica promedio para el período invernal.

Cuadro No. 13. Composición botánica invernal del experimento para cada tratamiento

Tratamiento	Gramíneas (%)	Leguminosas (%)	Malezas (%)
FS + ALF	57,7 B	28,4 A	13,9 B
RG + TR	64,2 A	13,1 B	22,6 A

Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada columna ($p \leq 0.10$).

En el cuadro No. 13 se observa que para el período invernal en todos los componentes hay diferencias significativas entre tratamientos. Además, se aprecia, cómo era esperable una amplia contribución de las gramíneas en las mezclas frente a los otros dos componentes. Carámbula (2007) hace referencia a que una mezcla mixta bien balanceada de gramíneas y leguminosas debería estar compuesta por 60-70% de gramíneas, 20-30% de leguminosas y 10% de malezas. Esto coincide con lo observado en el capítulo forraje disponible donde el tratamiento de mayor producción fue el de FS + ALF, pudiendo ser explicado por ser la mezcla que estuvo acorde con lo planteado por Carámbula, en referencia al balance de la mezcla.

En el componente gramíneas se observa una diferencia estadísticamente significativa a favor del tratamiento RG + TR. Sin embargo, si se analiza el forraje disponible de este componente, no se observan diferencias en kg de MS/ha entre los tratamientos como se vio en el cuadro No. 5. Esto lleva a suponer que debido a que el raigrás presenta una mayor facilidad de establecimiento, mayor precocidad y mayor capacidad de macollaje (Carámbula, 2002a), haya competido más con la leguminosa y de esa forma aumentar su relevancia en la mezcla.

Como se mencionó anteriormente, en el tratamiento FS + ALF se observó presencia de *lolium multiflorum* que podría haber perjudicado el establecimiento de la alfalfa. Sin embargo, esto no ocurrió ya que la gramínea que predomina en el tratamiento FS + ALF es la festuca. Esta presenta un crecimiento más lento que el raigras como se mencionó anteriormente, pudo no haber incidido en la contribución de alfalfa en la mezcla y así encontrarse dentro de lo establecido por Carámbula (2007).

Con respecto al componente leguminosa se observa una contribución significativamente mayor de la alfalfa frente al trébol rojo en la apreciación visual en cada mezcla correspondiente, que observando el cuadro No. 5 se traduce en una diferencia de disponibilidad de forraje equivalente a 344 kg de MS/ha. Esta diferencia

marcada entre ambas especies puede ser explicada por lo anteriormente mencionado sobre la mejor capacidad en establecimiento y competencia del raigrás en comparación con la festuca, haciendo más favorable a la alfalfa. Se puede observar que la alfalfa se encuentra dentro de los rangos óptimos establecidos por Carámbula (2007) para obtener una mezcla bien balanceada, mientras que en el tratamiento RG + TR la leguminosa está por debajo del rango deseado, esto puede deberse a factores climáticos que no ayudaron a la producción de trébol rojo o como se dijo anteriormente a una mayor competencia ejercida por el raigrás en la mezcla.

En cuanto al componente maleza, se observa una diferencia estadísticamente significativa a favor del tratamiento RG + TR. Si se analiza en cuanto a disponibilidad de materia seca del mismo, se aprecia una diferencia de en torno a 80 kg de MS/ha entre los tratamientos. Esta diferencia puede atribuirse a una menor competencia por parte del trébol rojo, dejando así más espacio para el establecimiento de las malezas. Algunas de las malezas presentes en el área experimental son especies de hoja ancha anuales invernales, tales como *Ammi visnaga*, *Acicarpa tribuloides*, *Echium plantagineum*, *Raphanu sraphanistrum*, *Anthemis cotula*, *Bowlesia incana*, *Cerastium glomeratum*, *Stellaria media* entre otras especies., enmalezamiento característico de las estaciones otoño, invierno y primaveral en pasturas de primer año, coincidiendo con el experimento realizado.

4.5.2 Composición botánica promedio del forraje disponible en el período primaveral

A continuación, se presenta el cuadro con los datos estadísticos de la composición botánica promedio para el período primaveral.

Cuadro No. 14. Composición botánica primaveral del experimento, para cada tratamiento

Tratamiento	Gramíneas (%)	Leguminosas (%)	Malezas (%)
FS + ALF	68,3 B	21,5 A	10,2 A
RG + TR	76,9 A	12,8 B	10,0 A

Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada columna ($p \leq 0,10$).

Al igual que en invierno, el tratamiento RG + TR se encuentra desbalanceado presentando un nivel superior de gramíneas a lo ideal e incidiendo en la contribución de leguminosas por debajo del mismo. Se puede apreciar que el raigrás continúa siendo superior estadísticamente a la festuca en proporción dentro de la mezcla, pero no así en la contribución de kg de MS/ha, ya que no hay diferencias significativas entre ambas gramíneas como se vio en el cuadro No. 7 en el capítulo “Forraje disponible promedio en el período primaveral”.

En el caso de las leguminosas el aporte de alfalfa continuó siendo superior al trébol rojo, tanto en proporción visual en la mezcla como en su aporte en kg de MS/ha, con una diferencia de 445 kg de MS/ha como lo muestra el cuadro No. 7. Comparado con invierno se puede apreciar que en el tratamiento RG + TR no hay variación del componente leguminosa entre estaciones, con valores entorno al 13%. En tanto para el tratamiento FS + ALF se puede apreciar una disminución de la alfalfa en esta estación comparado con invierno, esto se puede explicar debido al ingreso del pastoreo. Según Carámbula (2004) los animales concentran su actividad de pastoreo sobre las leguminosas descartando el resto del forraje ofrecido, pudiendo provocar la disminución del nivel de alfalfa en la mezcla. Además, al haber sido manejada con pastoreos poco frecuentes en primavera, Carámbula (2004) determina una mejor competencia por luz del componente gramínea sobre las leguminosas, mientras que en invierno se revierte la situación, donde la escasez de luz favorece las leguminosas.

En cuanto al componente malezas no se encontraron diferencias significativas en dicha estación y si se observó una disminución de las mismas en proporción comparada con la estación anterior. Esto refleja una mejor competencia de las especies sembradas en primavera que en invierno. Esto se traduce en que el nivel de enmalezamiento cae a niveles adecuados según Carámbula (2007). Además de lo mencionado ocurre que el pastoreo ejercido tiempo antes de las mediciones lleva a la desaparición de ciertas malezas que son apetecibles por el bovino.

4.5.3 Composición botánica promedio del forraje disponible en el total del período experimental

A continuación, se presentan los datos correspondientes a los niveles de cada componente de las mezclas en la totalidad del período de evolución.

Cuadro No. 15. Composición botánica promedio del experimento, para cada tratamiento

Tratamiento	Gramíneas (%)	Leguminosas (%)	Malezas (%)
FS + ALF	61,8 B	25,7A	12,4 B
RG + TR	69,1A	13,0 B	17,7A

Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada columna ($p \leq 0,10$).

Como se puede apreciar en el cuadro, existieron diferencias significativas en la contribución de las gramíneas, leguminosas y malezas para los dos tratamientos del experimento. En cuanto a las gramíneas se nota una mayor contribución del raigrás frente a la festuca al igual que lo visto en invierno y primavera. Lo mismo ocurre con la alfalfa en comparación con el trébol rojo. En el caso del componente malezas en la totalidad del experimento fue mayor para el tratamiento RG + TR debido al nivel

alcanzado en invierno, ya que en primavera se pudo observar que el mismo fue de igual nivel significativo.

4.6 SUELO DESCUBIERTO

A continuación, se presenta la información correspondiente al porcentaje de suelo descubierto por estación y para el período total bajo estudio según tratamiento. Dicha variable en estudio toma relevancia ya que se relaciona con la producción de la pastura, influye en la compactación del suelo, erosión, etc.

4.6.1 Porcentaje de suelo descubierto en el período invernal

Como se observa en el cuadro No.16 el tratamiento FS + ALF presentó el menor valor de suelo descubierto para este período, presentando diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento RG + TR.

Cuadro No. 16. Suelo descubierto en el período invernal del experimento, para cada tratamiento

Tratamiento	Descubierto (%)
FS + ALF	8,9 B
RG + TR	14,3 A

Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada columna ($p \leq 0,10$).

Este dato estadístico se asocia con la mayor producción de dicho tratamiento en el período invernal, lo que expresaría que fue una mezcla que colonizó mejor los espacios, pudiendo haber sido explicado por una mejor implantación de las especies del tratamiento de FS + ALF que el de RG + TR.

4.6.2 Porcentaje de suelo descubierto en el período primaveral

En el siguiente cuadro se encuentran los mismos datos que el anterior, pero en este caso haciendo referencia a primavera.

Cuadro No. 17. Suelo descubierto en el período primaveral del experimento, para cada tratamiento

Tratamiento	Descubierto (%)
FS + ALF	6,9 B
RG + TR	11,2 A

Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada columna ($p \leq 0,10$).

Tanto para invierno como para primavera, se observa que el tratamiento RG + TR dejó espacios sin colonizar. Esta mezcla no fue capaz de compensar esa menor ocupación de suelo en el periodo invernal en el período primaveral. En comparación con los datos presentados por Gallo et al. (2015) donde para el mismo período y tratamiento presentaron un valor de 6,9%. Vale aclarar que los valores de descubierto presentados son adecuados ya que el sistema de siembra utilizado es para cultivos, sembradoras con líneas de 19 cm, por lo que la colonización de espacios por la pastura podría ser menor o durar más tiempo en lograrlo. En ambos períodos se mantiene una diferencia que ronda en los cuatro a cinco puntos porcentuales, con la diferencia que en los valores en el período invernal alcanzaron un mayor valor para ambos tratamientos comparado con la primavera.

4.6.3 Porcentaje de suelo descubierto en el total del período experimental

A continuación, se presentan los datos del porcentaje de suelo descubierto de ambos tratamientos en el total del período experimental.

Cuadro No. 18. Suelo descubierto promedio del experimento, para cada tratamiento

Tratamiento	Descubierto (%)
FS + ALF	8,1 B
RG + TR	13,1 A

Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada columna ($p \leq 0,10$).

Como se puede observar, el tratamiento RG + TR presenta mayor cantidad de suelo descubierto estadísticamente frente al tratamiento FS + ALF, mostrándose así a lo largo del período en estudio. Esto puede deberse a que el raigrás tiende a ser más erecto que la festuca.

Se puede apreciar vinculando esta variable en estudio con las anteriores, de que el tratamiento RG + TR presentó, menos disponibilidad en kg de MS/ha en la totalidad del período en estudio comparado con FS + ALF. Esta menor cantidad de materia seca puede ser causa de una menor altura como se vio en capítulos anteriores, como también la presencia de mayor cantidad de suelo descubierto del tratamiento RG + TR. Contribuyendo en un todo a que su producción fue menor. Al relacionar la composición botánica con esta variable de estudio, es factible adjudicarle a la escasez de trébol rojo la causa del aumento del suelo descubierto, ya que las producciones de las gramíneas no presentaron diferencias estadísticas y si lo hicieron las leguminosas. Sin embargo, cuando se analizó el componente leguminosa, se observó que en el tratamiento FS + ALF la misma estuvo acorde en los niveles adecuados de una mezcla, no así el trébol rojo.

5. CONCLUSIONES

En primer lugar, se observa que se cumple con la hipótesis alternativa de que existen diferencias entre los tratamientos tanto a nivel de producción de materia seca, como también en la composición botánica de las mismas.

La productividad primaria de los distintos tratamientos mostró diferencias significativas a favor del tratamiento FS + ALF. Sin embargo, se pudo observar que la diferencia en producción se debe principalmente al componente leguminosa de la mezcla, donde la alfalfa tuvo una producción considerablemente mayor a la del trébol rojo. En la fracción gramínea no se observaron diferencias en producción.

En cuanto a la composición botánica, el tratamiento FS + ALF mostró una mayor cantidad relativa del componente leguminosa debido mayoritariamente a una baja implantación del trébol rojo, que se vio disminuido debido a una gran competencia por parte del raigrás.

Durante el experimento el tratamiento FS + ALF presentó tanto en invierno como en primavera mayor tasa de crecimiento medio que el tratamiento RG + TR. Estas fueron de 29,9 y 81 kg de MS/ha/día para invierno y primavera respectivamente para el tratamiento FS + ALF y de 23,4 y 63,8 kg de MS/ha/día para el tratamiento de RG + TR. Para el caso de la mezcla compuesta por festuca alfalfa los valores de primavera se ubicaron por encima de los encontrados en anteriores experimentos, esta diferencia radica principalmente en las óptimas condiciones de temperatura e hídricas que favorecieron el crecimiento del actual experimento.

Se constato que las relaciones entre las variables analizadas; altura, IAF, biomasa acumulada, suma térmica y días de crecimiento con la radiación PAR absorbida fueron directos y positivos, coincidiendo con los patrones normales que detalla la bibliografía.

6. RESUMEN

El principal objetivo del presente trabajo fue analizar la producción y acumulación de materia seca de dos mezclas forrajes durante el período invernal y primaveral y su relación con la radiación fotosintéticamente activa incidente. Se evaluó también la composición botánica de las mezclas. Las mezclas evaluadas fueron: *Festuca arundinacea* cv. Typhoon, *Medicago sativa* cv. Chaná por un lado, y *Lolium perenne* cv. Horizon, *Trifolium pratense* cv. LE 116 por otro. El experimento se llevó a cabo sobre praderas en su primer año de vida, abarcando los períodos de 16 de mayo al 13 de junio, y 20 de setiembre al 20 de octubre del año 2017, en los potreros No. 32 y 35 de la Estación Experimental “Mario A. Cassinoni” (Facultad de Agronomía, Universidad de República; Paysandú, Uruguay). El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar generalizados. El área experimental abarcó un total de 6.81 hectáreas que se dividieron en 4 bloques, que a su vez estos fueron divididos en 4 parcelas, teniendo cada bloque dos repeticiones de cada tratamiento. Los resultados arrojados indicaron que hubo diferencias significativas en la acumulación de forraje, siendo el tratamiento con festuca y alfalfa el superior, así como diferencias en cuanto a la captación y uso de la radiación. Las condiciones ambientales durante el período experimental, altas temperaturas y precipitaciones durante el invierno, fueron favorables para el crecimiento de las pasturas, pudiéndose obtener resultados elevados de producción de materia seca, siendo estos superiores a trabajos similares realizados en la estación.

Palabras clave: Mezclas forrajeras; Composición botánica; Producción de materia seca; Radiación interceptada.

7. SUMMARY

The main purpose of the present work was to evaluate the dry matter production and accumulation of two fodder mixtures during the period of winter and spring, and its relation with the photosynthetically active radiation. Also, it was studied the floristic composition of the mixture. The assessed mixtures were: *Festuca arundinacea* cv. Typhoon, *Medicago sativa* cv. Chaná in one hand, and *Lolium perenne* cv. Horizon, *Trifolium pratense* cv. LE 116 in the other. The research took place over first year grasslands, in paddocks No. 32 and 35 at the Estacion Experimental “Mario A. Cassinono” (Facultad de Agronomía, Universidad de República; Paysandú, Uruguay), between May 16th. and June 13th. and between September 20th. and October 20th. 2017. The research was designed as generalized complete random blocks. The experimental area covered a total of 6.81 hectares, divided into 4 blocks, which were divided into 4 “parcelas”, having each block two repetitions of each treatment. The results obtained showed significant differences between the treatments in dry matter production, and in the capture and use of the radiation. The environmental conditions during the experiment, high temperatures and rainfall during winter, were favorable for grassland’s growth, allowing to obtain high results of dry matter production, being superior to similar studies in this experimental station.

Keywords: Fodder mixtures; Floristic composition; Dry matter production; Radiation interception.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echevarría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: clasificación de suelos del Uruguay. Montevideo, MAP. DSF.t.1, 96 p.
2. Álvarez, M.; López, L.; Zerbino, J. 2013. Evaluación de dos mezclas forrajeras de segundo año en la producción de forraje y carne en el período invierno-primaveral. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 153 p.
3. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, B.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Forrajeras: catálogo de cultivos 2010. Montevideo, Uruguay, INIA. 131 p.
4. Barbosa R. A. 2004. Características morfofisiológicas e acúmulo de forragem em capim-tanzânia (*Panicum máximum* Jacq. cv. Tanzânia) submetido a frequências e intensidades de pastejo. Tese Doutorado em Zootecnia. Viçosa, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 122 p.
5. Barnes, D. K.; Scheaffer, C. C. 1995. Alfalfa. In: Barnes, R. F.; Miller, D. A.; Nelson, C. J. eds. Forages: an introduction to grassland agriculture. 5th. ed. Ames, IA, Iowa State University Press. v.1, cap. 16. pp. 206-211.
6. Barthram, G. T. 1986. Experimental techniques: the HFRO swardstick. In: Penicuik, M. M. ed. The Hill Farming Research Organization Biennial Report 1984-85. Edinburgh, GB, Alock. pp. 29-30.
7. _____; Bolton, G. R.; Elston, D. A. 1999. The effects of cutting intensity and neighbour species on plants of *Lolium perenne*, *Poa annua*, *Poa trivialis* and *Trifolium repens*. *Agronomie*. 19 (6): 445-456.
8. Bautes, C. D.; Zarza, A. 1982. Comportamiento de tres mezclas forrajeras en suelos desarrollados sobre Libertad, Fray Bentos y Cretácico. *Investigaciones Agronómicas*. 3 (1): 41-45.
9. Bélanger, G.; Gastal, F.; Lemaire, G. 1992. Growth analysis of a tall fescue sward fertilized with different rates of nitrogen. *Crop Science*. 32: 1371-1376.
10. Betin, M. 1975. Perennial ryegrass and its cultivars. *Fourrages*. no. 64: 167-172.

11. Brougham, R. W. 1957. Pasture growth studies in relation to grazing management. (en línea). Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production. 17: 46-52. Consultado ene. 2019. Disponible en <http://www.nzsap.org/system/files/proceedings/1957/ab57008.pdf>
12. Brown, D. 1954. Methods of surveying and measuring vegetation. Hurley, Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. 223 p.
13. Cangiano, C. 1996. Consumo en pastoreo. Factores que afectan la facilidad de cosecha. In: Cangiano, C.; Escuder, C.; Galli, J.; Gómez, P.; Rosso, O. eds. Producción animal en pastoreo. Buenos Aires, INTA Balcarce. s.p.
14. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 464 p.
15. _____. 1991. Aspectos relevantes para la producción forrajera. Montevideo, Uruguay, INIA. 46 p. (Serie Técnica no. 19).
16. _____. 2002a. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.1, 357 p.
17. _____. 2002b. Pasturas y forrajeras: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 2, 371 p.
18. _____. 2004. Pasturas y forrajes: manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 3, 413 p.
19. _____. 2007. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producción de forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 1, 357 p.
20. Carlevaro, P.; Carrizo, J. 2004. Comparación de la producción de mezclas forrajeras bajo manejos de defoliación basados en la cobertura del suelo y altura del tapiz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 165 p.
21. Carnevalli, R. A. 2003. Dinâmica da rebrotação de pastos de capim-mombaças submetidos a regimes de desfolhação intermitente. Tese Doutorado. São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 136 p.
22. Colabelli, M.; Agnusdei, M.; Mazzanti, A.; Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. SAGP y A. Boletín Técnico no. 148. 12 p.

23. Cook, S. J.; Lazenby, A.; Blair, G. J. 1976. Comparative responses of *Lolium perenne* and *Bothriochloa macra* to temperature, moisture, fertility and defoliation. Australian Journal of Agricultural Research. 27 (6): 769-778.
24. Cruz, P.; Sinoquet, H.; Gastal, F.; Moulia, B.; Varlet-Grancher, C.; Lemaire, G. 1991. Efecto del nitrógeno y de la presencia de trébol blanco sobre festuca alta. Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas. 41(4): 475-481.
25. Díaz Lago, J.; García, J.; Rebuffo, M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. Montevideo, Uruguay, INIA. 12 p. (Serie Técnica no. 71).
26. Díaz Lopez, E.; Morales-Rosales, E. J.; Franco-Mora, O.; Domínguez-López, A. 2011. Atenuación de luz, radiación interceptada y rendimiento en maíz en función del fósforo. Terra Latinoamericana. 29 (1): 65-72
27. Durán, A. 1985. Los suelos del Uruguay. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 47-64
28. Escuder, C. 1996. Manejo de la defoliación. Efecto de la carga y métodos de pastoreo. In: Cangiano, C.; Escuder, C.; Galli, J.; Gómez, P.; Rosso, O. eds. Producción animal en pastoreo. Buenos Aires, INTA Balcarce. s.p.
29. Fariña, M. F.; Saravia, R. 2010. Evaluación de la productividad de mezclas forrajeras bajo pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 83 p.
30. Formoso, F. A.; Arocena, M.; Allegri, M. 1982. Evaluación de mezclas forrajeras en la zona noreste. Investigaciones Agronómicas. 3 (1): 47-52.
31. _____. 2000. Manejo de la alfalfa para la producción de forraje. In: Rebuffo, M.; Risso, D.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 75-94 (Boletín de Divulgación no. 69)
32. Gallo, J.; Godoy, E.; Toneguzzo, M. 2015. Evaluación de la producción de forraje y carne de tres mezclas forrajeras de segundo año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 152 p.
33. García, J. A.; Rebuffo, M.; Formoso, F. 1991. Las forrajeras de la Estanzuela. Montevideo, Uruguay, INIA. 15 p. (Boletín de Divulgación no. 7).

34. _____.1995. Estructura del tapiz de praderas. Montevideo, Uruguay, INIA. 14 p. (Serie Técnica no. 66)
35. _____.2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela. Montevideo, Uruguay, INIA. 40 p. (Serie Técnica no. 133).
36. Gardner, F.; Brent Pearce, R.; Mitchel, R. 1985. Physiology of Crop Plants. Ames, Iowa State University. 327 p.
37. Gómez, I. 2000. Evaluación de la productividad de diferentes verdeos de invierno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 79 p.
38. Grolero, I.; Rodríguez, F. 2015. Evaluación de la producción animal de tres mezclas forrajeras de primer año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 96 p.
39. Haydock, K. P.; Shaw, N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 15: 663-670.
40. Hodgson, J. 1990. Grazing management: science into practice. New York, Longman. 203 p.
41. Hopkins, A. 2000. Grass: its production and utilization. Oxford, Blackwell. 440 p.
42. Laguna Cerda, A. 2015. Fotosíntesis a nivel dosel foliar: intercepción de la radiación solar. (en línea). México, Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. 39 diapositivas. Consultado 3 may. 2019. Disponible en <http://ri.uaemex.mx/bitstream/20.500.11799/34595/1/secme-18888.pptx>
43. Langer, R. H. M. 1981. Las pasturas y sus plantas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 514 p.
44. Leborgne, R. 1995. Antecedentes técnicos y metodologías para presupuestación en establecimientos lecheros. 2ª ed. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 53 p.
45. Lemaire, G.; Hodgson, J.; Chabbi, A. eds. 2011. Grassland productivity and ecosystem services. Wallingford, UK, CABI. 287 p.

46. López, G.; Pastorini, J. M.; Vázquez, F. J. 2012. Efecto de la fecha de siembra y mezcla forrajera sobre la producción invierno-primaveral para praderas de primer año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 90 p.
47. Maciel, P.; Tucci, A. 2015. Evaluación de la producción de forraje de tres mezclas de primer año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 120 p.
48. Matthew, C.; Assuero, S. G.; Black C. K.; Sackville Hamilton, N.R. 2000. Trillerdynamics of grazed swards. *In*: Lemaire, G.; Hodgson, J.; De Moraes, A.; Nabinger, C.; Carvalho, P. C. de F. eds. Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. Oxford, CABI. pp. 127-150.
49. Mocchi, C.; Regueiro, S. 2016. Evaluación del crecimiento de dos mezclas forrajeras en el período otoño invernal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 118 p.
50. Molfino, J.; Califra, A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay. (en línea). Montevideo, INIA. 13 p. Consultado may. 2019. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807174344.pdf>
51. Nabinger, C. 1996. Aspectos ecofisiológicos do manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidades de pesquisa. *In*: Reunião do Grupo Técnico Regional do Cone Sul em Melhoramento e Utilização de Recursos forrageiros das Áreas Tropical e Subtropical (16a., 1996, Porto Alegre, Brasil). Relatórios. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. pp. 25-55.
52. Nin, E.; Posada, J.; Tuneu, R. 2014. Efecto de la dotación animal sobre la producción estivo otoñal de una pastura de *festuca arundinacea*, *trifolium repens* y *lotus corniculatus* de cuarto año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 104 p.
53. Olivares, A. s.f. La morfofisiología de especies como base del manejo de pastizales. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de CienciasAgronómicas. 13 p.
54. Otondo, J.; Cicchino, M.; Calvetty, M. 2008. Mezclas base alfalfa en un sistema de invernada de la Cuenca del Salado. (en línea). s. l., Sitio Argentino de Producción Animal. 6 p. Consultado ene. 2019. Disponible en

http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/115-Alfalfa.pdf

55. Pagliaricci, H.; Saroff, C. 2008. Morfofisiología de plantas forrajeras. Río Cuarto, Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria. 34 p.
56. Parsons, A. J.; Leafe, E. L.; Collett, B.; Stiles, W. 1983. The physiology of grass production under grazing. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously grazed swards. *Journal of Applied Ecology*. 20: 117-136.
57. Pezzani, F.; Lezama, F. 2011. Módulo de pasturas: selección de lecturas y prácticos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 79 p.
58. Procampo Uruguay. s.f. Raigrás perenne tetraploide: Horizon. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 20 ene. 2019. Disponible en <http://www.procampouruguay.com/wp-content/uploads/2012/03/Raigras-horizon.pdf>
59. _____. 2018. Typhoon. Montevideo. s.p.
60. Rebuffo, M. 2000. Adopción de variedades en Uruguay. *In*: Rebuffo, M.; Risso, D. F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 5-13 (Boletín de Divulgación no. 69)
61. Robson, M. J.; Ryle, G. J. A.; Woledge, J. 1988. The grass plant: its form and function. *In*: Jones, M. B.; Lazenby, A. eds. The grass crop: the physiological basis of production. London, UK, Chapman and Hall. pp. 25-83.
62. Rosengurtt, B. 1979. Tabla comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República. Dirección General de Extensión Universitaria. 83 p.
63. Saldanha, S. 2016. Mezclas forrajeras (en línea). *In*: Curso de Pasturas 4°. Año (2016, Salto). Trabajos presentados. Salto, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. EEFA. 81 diapositivas. Consultado 16 may. 2019. Disponible en <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/11%20-%20Mezclas%20forrajeras.pdf>

64. Santiñaque, F.; Carámbula, M. 1981. Productividad y comportamiento de distintas mezclas forrajeras. *Investigaciones Agronómicas*. 1: 16-21.
65. Scheneiter, O. 2000. Mezclas de especies forrajeras templadas. *Forrajes y Granos*. *Agribusiness Journal*. 5 (53): 185–192.
66. _____. 2005. Mezclas de especies forrajeras perennes templadas. (en línea). In: Jornada de Actualización Técnica de Pasturas Implantadas (19ª., 2005, Pergamino). Generación y evaluación de cultivares de especies forrajeras. s.l., INTA Pergamino. pp. 1-5. Consultado 1 ene. 2019. Disponible en http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/33mezclas_forrajeras_perennes_templadas.pdf
67. Sinclair, R.T.; Muchow, R.C. 1999. Radiation Use Efficiency. *Advances in Agronomy*. 65: 215-265.
68. Skinner, R.H.; Nelson, C.J. 1995. Role of leaf appearance rate and the coleoptile tiller in regulating tiller production. *Crop Science*. 34: 71-75.
69. Tayler, J.; Rudman, J. 1966. The distribution of herbage at different heights in grazed and dung patch areas of a sward under two methods of grazing management. *Journal of Agricultural Science*. 66:29-39.
70. UdelaR. FA (Universidad de la República. Facultad de Agronomía, UY). 2013. Curso práctico de agrometeorología 2013. Montevideo, Facultad de Agronomía. 138 p.
71. Waston, D. 1974. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*. 11:41-76.
72. Zanoniani, R.; Boggiano, P.; Cadenazzi, M.; Silveira, D. 2006. Producción otoño – invernal del segundo año de raigrás según intensidad de pastoreo. In: Reunião do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul. Grupo Campos (21ª., 2006, Pelotas). Trabajos presentados. Pelotas, EMBRAPA. s.p.
73. _____. 2015. Implantación pasturas sembradas. In: Curso de Pasturas 4º. Año (2015, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. EEMAC. 52 diapositivas.