

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE DOS MEZCLAS FORRAJERAS EN  
EL PERÍODO OTOÑO INVERNAL**

**por**

**Gerardo MOCCHI CAVELLI  
Santiago REGUEIRO CANDIA**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2016**

Tesis aprobada por:

Director:

---

Ing. Agr. MSc. Ramiro Zanoniani

---

Ing. Agr. PhD. Pablo Boggiano

---

Ing. Agr. David Silveira

Fecha:

31 de octubre de 2016

Autores:

---

Gerardo Mocchi Cavelli

---

Santiago Regueiro Candia

## AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, sin cuyo apoyo nada de esto sería posible.

A los amigos, incondicionales hasta en los momentos en que la perseverancia flaquea.

A nuestros tutores Ing. Agr. Msc Ramiro Zanoniani e Ing. Agr. PhD Pablo Boggiano, por el apoyo brindado cuando el viento venía en dirección opuesta.

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

A Andrés Montandón y Mario Martínez, compañeros durante el trabajo experimental.

A Pierino Giloca, Alejandro Canén e Ignacio Gari por su ayuda durante la etapa de campo. A Roy Cooper por su asistencia en el manejo de las herramientas informáticas.

A Santiago Martino por su solidaria hospitalidad en Paysandú.

A la Barra de la Agronomía, por todos esos días repletos de buenos momentos.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1 <u>OBJETIVOS</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1 <u>CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES QUE COMPONEN LA MEZCLA</u> .....	3
2.1.1 <u><i>Festuca arundinacea</i></u> .....	3
2.1.2 <u><i>Dactylis glomerata</i></u> .....	6
2.1.3 <u><i>Lotus corniculatus</i></u> .....	7
2.1.4 <u><i>Medicago sativa</i></u> .....	9
2.1.5 <u><i>Trifolium repens</i></u> .....	13
2.2 <u>CULTIVARES</u> .....	16
2.2.1 <u><i>Dactylis glomerata</i> (cv. Perseo)</u> .....	16
2.2.2 <u><i>Trifolium repens</i> (cv. Zapicán)</u> .....	17
2.2.3 <u><i>Festuca arundinacea</i> (cv. Tacuabé)</u> .....	18
2.2.4 <u><i>Lotus corniculatus</i> (cv. San Gabriel)</u> .....	18
2.2.5 <u><i>Medicago sativa</i> (cv. Estanzuela Chaná)</u> .....	19
2.3 <u>MEZCLAS</u> .....	20
2.3.1 <u>Clasificación de las mezclas</u> .....	20
2.3.2 <u>Importancia de las mezclas forrajeras</u> .....	22
2.3.3 <u>Dinámica de las mezclas</u> .....	23
2.3.4 <u>Dinámica del crecimiento de las pasturas</u> .....	26
2.4 <u>MORFOFISIOLOGÍA DE LAS ESPECIES FORRAJERAS</u> .....	27
2.4.1 <u>Morfología de las gramíneas</u> .....	27
2.4.2 <u>Morfología de las leguminosas</u> .....	28
2.4.3 <u>Morfogénesis de las especies forrajeras</u> .....	29
2.4.4 <u>Efecto de la defoliación sobre la morfogénesis</u> .....	34
2.4.5 <u>Efecto de los factores ambientales sobre la morfogénesis</u> .....	36
2.4.5.1 <u>Efecto de la temperatura</u> .....	36
2.4.5.2 <u>Efecto del contenido hídrico del suelo</u> .....	38
2.4.6. <u>Intercepción de radiación y producción de forraje</u> .....	43
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	45
3.1 <u>CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES GENERALES</u> .....	45
3.1.1 <u>Lugar y período experimental</u> .....	45
3.1.2 <u>Descripción del sitio experimental</u> .....	45

3.1.3	<u>Información meteorológica</u>	45
3.1.4	<u>Antecedentes del área experimental</u>	46
3.1.5	<u>Tratamientos</u>	46
3.1.6	<u>Diseño experimental</u>	46
3.2	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES	48
3.2.1	<u>Forraje disponible (kg.ha<sup>-1</sup>)</u>	48
3.2.2	<u>Altura de forraje</u>	48
3.2.3	<u>Producción de forraje</u>	48
3.2.4	<u>Producción de MS.ha<sup>-1</sup> acumulada total</u>	49
3.2.5	<u>Composición botánica o gravimétrica de la pastura</u>	49
3.2.6	<u>Intercepción de luz</u>	49
3.2.7	<u>Balance hídrico</u>	50
3.2.8	<u>Suma térmica</u>	51
3.3	HIPÓTESIS	52
3.3.1	<u>Hipótesis biológica</u>	52
3.3.2	<u>Hipótesis estadística</u>	52
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	53
3.4.1	<u>Modelo estadístico</u>	53
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	54
4.1	DATOS METEOROLÓGICOS	54
4.1.1	<u>Temperaturas y precipitaciones</u>	54
4.1.2	<u>Balance hídrico</u>	56
4.2	PRODUCCIÓN DE FORRAJE	58
4.2.1	<u>Producción de MS del tratamiento festuca - trébol blanco - lotus</u>	58
4.2.1.1	<u>Evolución de la producción de MS.ha<sup>-1</sup></u>	58
4.2.2	<u>Producción de MS del tratamiento alfalfa-dactylis</u>	64
4.2.2.1	<u>Evolución de la producción de MS.ha<sup>-1</sup></u>	64
4.2.3	<u>Relación entre suma térmica y producción de MS.ha<sup>-1</sup></u>	68
4.2.3.1	<u>Tratamiento FBL</u>	68
4.2.3.2	<u>Tratamiento AD</u>	69
4.2.4	<u>Intercepción de luz</u>	71
4.2.5	<u>Relación entre PAR absorbido y la producción de forraje</u>	72
4.2.6	<u>Relación entre PAR absorbido e IAF</u>	76
4.3	ALTURA DEL FORRAJE	77
4.4	COMPOSICIÓN GRAVIMÉTRICA	78
4.4.1	<u>Biomasa presente a medida que transcurre el tiempo</u>	78
4.4.2	<u>Peso de láminas y hojas</u>	82
4.4.3	<u>Relación lámina/vaina (L/V)</u>	87
4.4.4	<u>Índice de Área Foliar (IAF)</u>	88
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	91
6.	<u>RESUMEN</u>	92

7. <u>SUMMARY</u> .....	93
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	94
9. <u>ANEXOS</u> .....	104

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Figura No.	Página
1. Disposición de los bloques y tratamientos del experimento con las diferentes repeticiones y su respectiva nomenclatura.....	47
2. Croquis de las parcelas .....	47
3. Precipitaciones y temperaturas durante el período experimental y la serie 2002-2014.....	54
4. Temperaturas medias, mínimas y precipitaciones el 20 de mayo al 19 de julio inclusive.....	55
5. Contenido de agua en el suelo de diciembre 2014 a julio de 2015.....	56
6. Producción de forraje (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) del tratamiento festuca – trébol blanco - lotus y temperaturas (C°) .....	59
7. Producción de forraje (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) del tratamiento festuca – trébol blanco-lotus y contenido de agua en suelo (mm) .....	60
8. Estado de la parcela 10 (FBL) al 16/6.....	61
9. Estado de la parcela 1 (FBL) al 26/6.....	62
10. Evolución del peso de los crecimientos semanales (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) .....	63
11. Producción de forraje (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) del tratamiento alfalfa-dactylis y temperaturas (C°) .....	64
12. Producción de forraje (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) del tratamiento alfalfa-dactylis y contenido de agua en suelo (mm). .....	65
13. Peso seco de los crecimientos semanales (kg.ha <sup>-1</sup> de MS).....	67
14. Relación entre suma térmica acumulada y rebrotes semanales acumulados (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) en el tratamiento festuca - trébol blanco - lotus. ....	68
15. Relación entre suma térmica acumulada y producción de MS.ha <sup>-1</sup> en el tratamiento alfalfa-dactylis .....	69
16. Relación entre suma térmica acumulada y recortes semanales acumulados (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) en el tratamiento mezcla alfalfa-dactylis. ..	70
17. Relación entre PAR <sub>a</sub> y cortes (acumulación y recortes semanales) de ambos tratamientos en conjunto .....	72
18. Relación entre PAR <sub>a</sub> y cortes de acumulación (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) en tratamiento festuca-trébol blanco-lotus.....	73
19. Relación entre PAR <sub>a</sub> y cortes de acumulación (kg.ha <sup>-1</sup> de MS) en tratamiento alfalfa-dactylis .....	73
20. Relación entre PAR <sub>a</sub> y cortes de acumulación en ambos tratamientos conjuntamente .....	74

21. Relación entre PAR <sub>a</sub> y rebrotes semanales en ambos tratamientos conjuntamente. ....	75
22. Relación entre PAR <sub>a</sub> e IAF para ambos tratamientos conjuntamente....	77
23. Peso fresco promedio (kg.ha <sup>-1</sup> ) determinado mediante corte de cuadros en el tratamiento FBL.....	79
24. Peso fresco promedio (kg.ha <sup>-1</sup> ) determinado mediante corte de cuadros en el tratamiento AD .....	81
25. Evolución del peso seco de láminas y hojas en todas las repeticiones (tratamiento FBL).....	84
26. Evolución del peso seco de láminas y hojas en todas las repeticiones (tratamiento AD) .....	86
27. Evolución del IAF en las repeticiones del tratamiento festuca-trébol blanco-lotus. ....	89
28. Evolución del IAF en las repeticiones del tratamiento alfalfa-dactylis ....	89

Tabla No.

1. Características de los sistemas radicales de las especies contenidas en los tratamientos .....	41
2. Superficie foliar específica de las especies contenidas en la mezcla. ....	71
3. Altura promedio y desvío por tratamiento .....	77
4. Altura del forraje promedio por fecha de corte.....	78
5. Biomasa presente promedio en los cuadros (g/m <sup>2</sup> BF) según fecha de muestreo.....	78
6. Peso promedio de los cuadros (g BF) según tratamiento.....	79
7. Porcentajes de tallos y restos secos (BF) durante los muestreos de composición gravimétrica en el tratamiento festuca-trébol blanco-lotus. ....	80
8. Porcentajes de tallos y restos secos (BF) durante los muestreos de composición gravimétrica en el tratamiento alfalfa-dactylis.....	82
9. Peso hojas promedio (g/m <sup>2</sup> de MS) para cada tratamiento .....	82
10. Peso de hojas promedio (g/m <sup>2</sup> de MS) según fecha de muestreo.....	83
11. Peso de láminas (g/m <sup>2</sup> de MS) según fecha de muestreo.....	83
12. Peso de láminas (g/m <sup>2</sup> de MS) para cada tratamiento. ....	83
13. Peso de láminas (g/m <sup>2</sup> de MS) según fecha y tratamiento.....	84
14. Relación L/V promedio según tratamiento.....	88
15. Relación L/V promedio según fecha de corte.....	88
16. IAF promedio en cada tratamiento .....	89
17. IAF promedio según fecha de corte.....	89

## 1. INTRODUCCIÓN

Las zonas típicamente ganaderas, tanto en la región como en el mundo, están caracterizadas por contar con todo un abanico de recursos de origen biótico a abiótico que les confiere una gran aptitud para la producción de carne y lana, entre otros subproductos, a base de las pasturas tanto naturales como artificiales.

Uruguay no es ajeno a esta situación. Desde incluso antes de la llegada de los primeros rumiantes a la región, algunos observadores constataron las aptitudes de éste territorio para la producción pecuaria, hecho que se confirmó tiempo después de que Hernando Arias de Saavedra (mejor conocido como Hernandarias) trajera desde Santa Fé lo que serían las primeras cabezas de ganado.

El pasaje de una región catalogada como “tierras sin ningún provecho” a “una mina de carne y cuero” no fue al azar. Este territorio tiene los recursos necesarios para lograrlo: suelos aptos, régimen de precipitaciones algo errático pero adecuado, radiación solar necesaria, especies de gran potencial genético para producir forraje de manera persistente a través de los años dentro de los distintos tapices vegetales naturales, entre tantos otros.

La historia siguió su curso, y conforme pasaron los años y con ellos los siglos, el Uruguay se consolidó como una economía basada en la producción ganadera, teniendo históricamente como principal sustento la producción de forraje del campo natural, y sumándose hace relativamente poco tiempo también las pasturas sembradas. Estas últimas se componen en su enorme mayoría de especies que no son originarias de la zona sino que se importaron desde otras regiones del planeta, y tienen según la especie y/o la variedad niveles diferenciales de adaptación a la región.

Diversos autores señalan a las pasturas como la opción alimenticia más económica para los rumiantes, y de su enorme contribución a la producción ganadera en el país se desprende el interés por estudiar cómo se comportan las especies forrajeras, y de qué manera es posible, a través del manejo, lograr pasturas más productivas y persistentes a lo largo de los años.

### 1.1 OBJETIVOS

En líneas generales, los objetivos del presente trabajo son los de estudiar la capacidad de producción de materia seca de dos mezclas forrajeras diferentes durante el período otoño-invernal de su segundo año de vida, así como también

analizar la dinámica morfogénica y de qué manera son capaces de absorber la radiación incidente. Las mezclas forrajeras son compuestas de *Medicago sativa* y *Dactylis glomerata* por un lado, y *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus* y *Festuca arundinacea* por otro. Las praderas en donde se realizaron los ensayos del presente trabajo se ubican en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, ubicada en el departamento de Paysandú (Uruguay), y el período experimental estuvo comprendido entre los meses de junio y julio del año 2015.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES QUE COMPONEN LA MEZCLA

#### 2.1.1 *Festuca arundinacea*

La festuca es indudablemente una de las gramíneas perennes más importantes utilizadas en la región y un componente esencial de las pasturas sembradas. Es una especie perenne invernal cespitosa a rizomatosa, poseyendo rizomas muy cortos (Carámbula, 2010a).

Su sistema radicular es vigoroso y extenso (Carámbula, 2010a). En este sentido, Wilman y Gao, citados por Cougnon et al. (2014) remarcan su amplia adaptación al estrés hídrico comparando con *Lolium perenne*, siendo una posible explicación de este hecho una mejor eficiencia en el uso del agua por parte de la festuca (Pardeller et al., 2014). Gastal y Durand (2000) también señalan que la festuca tiene una exploración radicular más profunda respecto al dactylis. Se adapta a una gran variedad de suelos: tolera ácidos y alcalinos, pero tiene mejor performance en los suelos medios a pesados. Condiciones de alta fertilidad son trascendentales para su óptimo desarrollo y productividad (Carámbula, 2010a).

De ciclo invernal, produce precozmente en otoño pudiendo rebrotar rápidamente a fin de invierno. Tiene una floración temprana, que puede abarcar desde setiembre a octubre, careciendo de reposo estival (Carámbula, 2010a).

De lento establecimiento, es en esta etapa en que las praderas de festuca tienen una considerable vulnerabilidad frente a la competencia con otras especies (Langer 1981, Muslera y Ratera 1984). Este hecho trae aparejada una regular producción de materia seca al año de siembra. Carámbula (2010a) señala a la baja movilización de las reservas en semilla y en consecuencia el lento crecimiento de la raíz como la principal causa de su menor vigor durante la implantación y el establecimiento.

No se resiembra naturalmente, pero de todas formas tiene una buena persistencia (Carámbula, 2010a). El macollaje es máximo durante la etapa vegetativa, durante el otoño y el invierno, siendo máximo en éste último y reduciéndose a partir de la primavera y durante el verano (Formoso, 1996).

Un aspecto de particular relevancia en esta especie es la rápida pérdida de palatabilidad que se produce en primavera, cuando las plantas comienzan a encañar. Como la mayoría de las gramíneas, la palatabilidad durante el estado reproductivo es baja, lo que limita su utilización en algunas zonas y producciones

del país. Este factor estaría explicado por la edad de las hojas, la fertilidad del suelo donde se desarrolla, el año, la variación genética y quizá la case de pastura que el animal recibió previamente (Maddaloni, citado por Carámbula, 2010a)

Diversos autores señalan la necesidad de controlar este proceso morfofisiológico mediante el corte o pastoreo durante la primavera. Carámbula (2010a) recomienda pastorear frecuentemente en dicho momento para cortar los puntos de crecimiento en ascenso, y de manera poco intensa para evitar un efecto perjudicial sobre el desarrollo radicular al mantener cierta cantidad de hojas verdes absorbiendo radiación solar. En el mismo sentido, Carámbula (2010a) establece que ante disponibilidades insuficientes de nitrógeno en suelo, las plantas cambian sustancialmente su comportamiento, se tornan amarillentas, tienen una baja capacidad de rebrote y se transforman en un forraje muy poco apetecido por los animales.

Insúa et al. (2013), en un trabajo cuyo objetivo era determinar la calidad nutritiva de láminas de festuca, determinaron una temperatura base de crecimiento de esta especie de 4°C. Esto quiere decir que a partir de dicha temperatura existe crecimiento/desarrollo de la especie, y a temperaturas menores la especie no crece.

Se mantiene verde durante todo el año en tanto haya un suministro adecuado de humedad por parte del suelo, y referente a este punto la falta de agua durante el período estival perjudica más su comportamiento que las altas temperaturas registradas en este período (Carámbula, 2010a). Si bien las características de su sistema radicular permiten sobrevivir sin problemas a un verano no extremadamente seco, Carámbula (2010a) señala como primordial el hecho de realizar un manejo que posibilite un desarrollo adecuado del sistema radicular desde fines del invierno y comienzos de la primavera. Pastoreos intensos durante el verano pueden afectar desfavorablemente los rebrotes de otoño, atributo por el cual esta especie es tan valorada dada su precocidad en dicho período.

Carámbula (2010a) asegura a su vez que el manejo conjunto de la defoliación y la fertilización es fundamental para determinar el éxito o el fracaso de esta especie como componente de la pastura. Debe existir un adecuado suministro de N que permita a la especie expresar todo su potencial de rebrote y producción, en tanto la especie se torna amarillenta y su palatabilidad baja cuando el suministro no es adecuado.

Esta especie admite pastoreos intensos y relativamente frecuentes, ya que no sólo las sustancias de reserva se ubican en raíces y rizomas cortos (alejados del horizonte de pastoreo) sino además que, luego de una defoliación,

las áreas foliares remanente son altas (McKee, citado por Carámbula, 1977). En tal sentido Burns, citado por Carámbula (1977) reportó que el 65% del forraje se encontraba en los primeros 5 centímetros del horizonte de pastoreo, teniendo esta porción una menor digestibilidad (30%) que el estrato inmediatamente superior. Langer (1981) reporta una altura de pastoreo de hasta 10 cm para obtener un exitoso manejo de la pastura. Sleper y Buckner, citados por Barnes y Scheaffer (1995) señalan que aún hasta los 5 cm de remanente post pastoreo se puede tener un buen manejo de la misma.

El alto valor de esta especie para cubrir requerimientos forrajeros en la región promueve la evaluación continua de numerosos cultivares de diferentes procedencias, e incentiva a los mejoradores a lograr cultivares mejor adaptados (Carámbula, 2010a).

Respecto al desempeño sanitario, es común en esta especie la incidencia de diversas enfermedades, como la roya de la hoja o la fusariosis. En referencia a la primera, la susceptibilidad es variable según el cultivar (Carámbula, 2010a).

Los cultivares de festuca se clasifican según su grado de latencia estival. Existen dos grandes grupos:

1. Mediterráneos: tienen latencia estival, por lo que resisten mucho más la sequía en esta etapa. Su potencial de producción durante el invierno es mayor, tienen en general hojas finas y hábito erecto. Indicados para ambientes más secos, con inviernos de mayor periodicidad de precipitaciones. Son más precoces en su rebrote primaveral, concentrando su producción en invierno-primavera (Ayala et al., 2010).
2. Continentales: no tienen latencia estival, son capaces de crecer en todas las estaciones del año. Son de hojas anchas y su hábito de crecimiento es más bien indeterminado. Son los más difundidos a nivel mundial (Ayala et al., 2010). El rebrote primaveral suele ser tardío y el grueso de la producción de materia seca se concentra durante la etapa primavero-estival.<sup>1</sup>

Por el régimen de precipitaciones de la región, los cultivares de mayor adaptación general en el Uruguay son los de tipo continental (Ayala et al., 2010). Como se verá más adelante, Estanzuela Tacuabé, el cultivar de festuca sembrado en los ensayos pertenecientes a este trabajo, corresponde a este tipo de materiales.

---

<sup>1</sup> Zanoniani, R. 2015. Com. personal.

### 2.1.2 Dactylis glomerata

Especie perenne invernada, cespitosa, de macollos comprimidos lateralmente y hojas glabras de color verde azulado. Ausencia de aurículas. Lígula blanca bien visible (Langer, 1981).

Se caracteriza por no formar rizomas ni estolones, distribuyéndose en forma de matas individuales formando un tapiz abierto. Resiste moderadamente a los fríos, y produce bien aún con temperaturas elevadas siempre que haya humedad suficiente (Carámbula, 2010a).

Tiene buen establecimiento, aún en suelos ácidos, y se implanta más rápido que la festuca. A su vez, su crecimiento inicial es más vigoroso produciendo un rápido aumento en el número de macollos. Esto favorece una buena implantación y generalmente, un mayor rendimiento en el año de siembra que festuca y *Phalaris aquatica* aunque, posteriormente, es aventajado por dichas gramíneas (Carámbula, 2010a). Presenta una destacable resistencia al sombreado, hecho por el cual es una especie indicada tanto para las mezclas forrajeras como para las siembras asociadas (Carámbula, 2010a).

Carámbula (2010a) establece que el dactylis se desarrolla notablemente en suelos fértiles y permeables, de texturas medias a pesadas. No obstante, la poca adaptabilidad a los excesos hídricos ha sido reportada por diversos autores (Carámbula 2010a, Ayala et al. 2010). Sumado a esto, el primero sostiene que su sistema radicular es particularmente superficial, por lo que es necesario promover un manejo tendiente a permitir un correcto desarrollo de raíces y manteniendo áreas foliares remanentes adecuados. Tanto García (1995) como Carámbula (2010a) caracterizan a *Dactylis glomerata* como la gramínea perenne mejor adaptada a suelos de moderada fertilidad y una de las pocas que se adaptan a diversas texturas de suelos, siempre que su permeabilidad no limite dicha adaptación.

Ramírez Fonseca (2011) determinó una temperatura óptima de crecimiento del dactylis en el entorno de 10-17°C, y añade que las heladas detienen su crecimiento. Villareal Gonzalez et al. (2014) señalan a las mismas como las causantes de pérdida de materia seca por muerte de hojas y acumulación de material muerto.

Las sustancias de reserva se ubican en la base de las macollas y en las vainas de las hojas; por consiguiente, tolera defoliaciones frecuentes pero no muy intensas. Si bien pastoreos racionales permiten que la planta mantenga áreas foliares remanentes aceptables, una intensa utilización puede resultar muy perjudicial para la pastura (Carámbula, 2010a). Ayala et al. (2010) proponen un

manejo otoñal que permita una buena acumulación de reservas, y en la etapa primaveral debería evitarse el manejo aliviado en pos de no propiciar la aparición de matas duras durante la encañazón.

Respecto a lo anterior, García (1995) asegura que la especie es muy versátil en lo que se refiera a morfofisiología del pastoreo, habiendo constatado que las plantas tienden a adoptar un hábito más postrado ante pastoreos más frecuentes, por lo cual, el manejo rotativo sería el más indicado si se desea maximizar la producción potencial de la pastura.

Las praderas mezcla de alfalfa y dactylis son muy comunes en los sistemas de producción de la región. García (1995) reporta una muy buena asociación de esta especie con diferentes tipos de leguminosas (trébol blanco, trébol rojo, lotus). Referente a esto, Carámbula (2010a) sostiene que, de mezclarse con alfalfa, ésta debe ser de un cultivar resistente a los fríos y de crecimiento temprano en primavera.

Ayala et al. (2010) reportan que en experimentos realizados en La Estanzuela, la incidencia de la gramilla (*Cynodon dactylon*) en praderas conteniendo dactylis se reduce notablemente. Dicho aspecto estaría explicado, entre otras razones, por la morfología de la hoja que al estar fuertemente plegada reduce la superficie a través de la cual las plantas transpiran; disminuyendo por consiguiente el consumo de agua en etapas críticas como la estival y aumentando por ende la competencia con esta muy invasiva maleza.<sup>2</sup> Este hecho hace de dactylis una especie especialmente indicada para situaciones donde la competencia de especies estivales puede ser un inconveniente a resolver, particularmente en chacras con antecedentes de engramillamiento.

### 2.1.3 *Lotus corniculatus*

Se trata de una leguminosa perenne de ciclo estival con crecimiento a partir de corona, de tallos normalmente erectos. Su sistema radicular, de profundidad intermedia entre *Medicago sativa* y *Trifolium pratense* (Carámbula, 2010a) está compuesto por una raíz pivotante ramificada lateralmente, que le confiere una destacada resistencia al déficit hídrico (Zanoniani y Ducamp, 2004).

Tiene un buen potencial de producción primavera-estivo-otoñal, aún incluso a fines del invierno en el caso de cultivares de ciclos más tempranos (Carámbula, 2010a).

---

<sup>2</sup> Zanoniani, R. 2015. Com. personal.

Está adaptada a un amplio rango de suelos (Formoso y Allegri, citados por Formoso, 1993). Se ha reportado su adaptación tanto en suelos arenosos como arcillosos, con contenidos de humedad variables, ácidos hasta ligeramente alcalinos (Langer, 1981). Está especialmente indicada para los suelos en donde la alfalfa no prospera, debido a sus mayores requerimientos de fertilidad, más específicamente al fósforo, nutriente limitante en la mayoría de los suelos del país (Carámbula, 2010a). Zanoniani y Ducamp (2004) no la recomiendan para suelos superficiales ya que desarrollaría un pobre sistema radicular. Langer (1981) hace referencia a su pobre desempeño en chacras de mal drenaje, pero también a su buen desempeño en aquellas con cierto grado de salinidad.

Destaca especialmente la nula incidencia de meteorismo en los animales que pastorean esta especie, explicado este hecho por la presencia de taninos condensados (Carámbula, 2010a). A su vez, Puig y Ferrando, citados por Formoso (1993) destacan sus menores requerimientos de fósforo que las especies del género *Trifolium* utilizadas en la región para obtener altas cantidades de forraje de buen valor nutritivo.

Aporta forraje durante la primavera, el verano y parte del otoño, con posibilidades de producir a fines de invierno en el caso de siembras más tempranas Carámbula (2010a). El autor resalta la disminución en el valor nutritivo del forraje a medida que envejece, más precisamente en el verano, aunque este descenso no es tan marcado como en el caso de la alfalfa. Es durante esta etapa, en donde las condiciones ambientales afectan de manera significativa el potencial de producción de las pasturas (y sobre todo de las leguminosas), que el lotus constituye una alternativa de gran valor conjuntamente con la alfalfa. De todas formas, al estar ésta última limitada a los suelos de mayor aptitud, el lotus cobra aún mayor relevancia. Según García, citado por Carámbula (2010a), es una especie cuya performance es altamente dependiente del manejo que se le realiza. Beneficiada generalmente por pastoreos controlados, el potencial productivo es máximo cuando se le permite alcanzar 20-25 cm de altura antes de la entrada de los animales, dejándose un remanente no menor a 6 cm (Carámbula, 2010a).

Zanoniani y Ducamp (2004) hacen referencia a la baja calidad del área foliar remanente que queda luego de un pastoreo, ya que son las hojas más nuevas junto a los meristemas apicales y axilares los que son retirados. A causa de ello, el rebrote depende en gran parte de las reservas previamente almacenadas, y por lo tanto el manejo debería considerar esta acumulación como un hecho prioritario. Un manejo rotativo, según Formoso (1993), contribuiría a lograr estos objetivos.

Referente a las enfermedades, esta especie presenta importante susceptibilidad a hongos de raíz y corona como *Fusarium oxysporum* y *Fusarium solani* (Altier, citado por Carámbula, 2010a). Estos agentes, dice Formoso (1993) son capaces de causar mermas en la producción a partir del segundo año al propiciar lesiones a nivel de las raíces y coronas, reduciendo así el número de plantas.

Los cultivares de *Lotus corniculatus* utilizados en el país son agrupados en dos grandes grupos:

- tipo europeo: materiales que no tienen latencia invernal mientras las temperaturas no sean demasiado bajas. Por tanto, son capaces de producir en los inviernos de la Región. San Gabriel, Draco, Baco, Cruz del Sur con algunos de los cultivares que pertenecen a este grupo (Ayala et al., 2010).
- Tipo Empire: tienen un largo período de reposo durante el invierno, confiriéndoles gran resistencia al frío. Este período de latencia en Uruguay se extiende desde abril a setiembre inclusive. En el Registro de Cultivares de INIA-INASE, sólo hay un cultivar registrado con estas características: Leo (Ayala et al., 2010).

Como se verá posteriormente, el material sembrado para la elaboración del presente trabajo pertenece al tipo europeo (cv. San Gabriel).

#### 2.1.4 Medicago sativa

Leguminosa perenne estival, de crecimiento a partir de corona, con hábito erecto o rastrero según el cultivar. Destacada particularmente por su gran capacidad de producción de forraje, concentrando el grueso de la misma durante el verano (Carámbula, 2010a).

Su alta producción, su correcta persistencia y su gran capacidad de resistir déficits hídricos gracias a su sistema radicular pivotante de profundidad considerable, hacen de esta especie una alternativa forrajera de gran importancia, sobre todo en predios lecheros e invernaderos intensivos (Ayala et al., 2010).

El sistema radicular consta de una raíz principal capaz de penetrar en el suelo hasta profundidades cercanas a los 8-9 metros bajo la superficie, sin embargo es común que éste se encuentre extremadamente ramificado (Heichel, citado por Barnes y Scheaffer, 1995). Dicho autor reportó que entre el 60 y el

70% de la masa total de raíces se encuentran en los primeros 15 centímetros del perfil de suelo. A su vez, establece que son estas raíces quienes contienen la mayor cantidad de nódulos fijadores de nitrógeno.

En la parte superior de la raíz se desarrolla una estructura denominada “corona”, órgano en donde la planta almacena las reservas durante el otoño y que alberga también a las yemas basales, estructuras a partir de las cuales se desarrollarán los rebrotes denominados “basales” o tallos principales, siendo éstos responsables, junto a los secundarios, del rebrote de la pastura conjuntamente con las yemas ubicadas en los propios tallos siempre y cuando se mantengan alturas remanentes suficientes (Morón, 2000).

Morón (2000) señala la especial atención que debe prestarse respecto a la calidad del suelo a la hora de sembrar esta especie. La alfalfa es muy exigente en esta materia: no tolera el anegamiento, y se desarrolla mejor en suelos de texturas medias (Ayala et al., 2010). Un subsuelo arcilloso y/o una capa ácida en el mismo impiden el desarrollo correcto de las raíces, que se expanden excesivamente hacia los costados, ocasionando mayor competencia entre plantas, menor vigor y producción de las mismas, mayor incidencia de malezas y menor resistencia a la sequía (Langer, 1981).

El pH es otra característica relevante que requiere particular atención. Ball et al. (1991) establecen que valores de pH menores a 6.5 son necesarios para obtener altos rendimientos en forraje. Barnes y Scheaffer (1995) reportan que el mismo afecta al crecimiento de la especie al incidir tanto sobre la fijación simbiótica de nitrógeno como en la disponibilidad de ciertos nutrientes. Al respecto, fósforo, potasio, azufre y boro son quienes limitan comúnmente la productividad de la pastura de alfalfa (Barnes y Scheaffer, 1995).

Niveles de 18 a 20 ppm de fósforo (determinados mediante el método de resinas catiónicas) o 20-25 ppm (Bray No.1) son reportados como críticos durante la implantación, mientras que aproximadamente 18 ppm (Bray No.1) serían necesarios para el mantenimiento (Morón, 2000).

La especie obtiene a través de la fijación simbiótica entre el 40% y el 80% del nitrógeno necesario para su crecimiento y desarrollo (Barnes y Scheaffer, 1995). Estos valores dependen, entre otros, de la edad de las plantas y de la cantidad de nitrógeno que potencialmente pueda aportar el suelo. Cuando éste es alto, la nodulación se reduce y la planta absorbe el nutriente directamente desde el perfil, por lo que la fertilización nitrogenada no es muy recomendable (Barnes y Scheaffer, 1995).

Según Carámbula (2010a), el pico de producción se da durante la primavera, cuando las temperaturas junto a un correcto aporte de humedad por parte del suelo favorecen su crecimiento. Entretanto, durante el verano su comportamiento es más errático al ser más dependiente del contenido hídrico del perfil de suelo. Durante el otoño, su producción es relativamente baja por lo que el manejo de la defoliación en este período debe ser cauteloso para no comprometer su performance a futuro. En líneas generales, según Morón (2000) la alfalfa entrega entre el 65 y 75% de su producción durante el período primavero-estival, produciendo sólo durante el verano un 30% del total anual. De todas formas, según reporta Carámbula (2010a) el comportamiento durante el verano es más errático, estando claramente influenciado por las condiciones de temperatura y fundamentalmente el aporte de agua del suelo durante dicho período.

Las temperaturas óptimas de crecimiento se ubican en el entorno de los 25-30°C (Brown y Radcliffe, citados por Quiroga Garza, 2013). Sharratt et al., citados por Quiroga Garza (2013) reportan una temperatura base diurna que va de 5-30°C, y nocturna de 10-20°C.

Morón (2000) subraya la alta sensibilidad de esta especie al manejo del pastoreo. Al defoliarse, debe tenerse primordial precaución en la cantidad de puntos de crecimiento que queden como remanentes ya que luego de un corte, los ubicados en los tallos altos suelen perderse, quedando el rebrote posterior a cargo de las yemas no dañadas ubicadas cerca de la corona. Éstas, según Leach et al., citados por Langer (1981), son los centros de regeneración de mayor importancia. Morón (2000) señala también el poco vigor que tiene el rebrote cuando es generado a partir de los tallos.

Las reservas almacenadas en la corona son el sustrato a través del cual se originan los rebrotes luego del corte o pastoreo. Cuando la altura remanente alcanza unos 25-30 cm, el nivel de reservas es mínimo, siendo los tallos y hojas ya generados por las pasturas suficientes para generar el crecimiento y comenzar nuevamente a acumular las reservas (Morón, 2000). Por tanto, es fuertemente desaconsejable pastorear cuando las plantas tienen una altura de 25-30 cm o menos, ya que a partir de esta altura las reservas pueden recuperarse rápidamente luego del corte. En general, pastoreos rotativos con alturas de entrada de 35-45 cm y alturas remanentes de 3 cm serían, según Morón (2000) manejos correctos para praderas de alfalfa.

El forraje producido tiene un alto valor nutritivo. Morón (2000) aclara que, durante el ciclo productivo, los valores de proteína cruda alcanzan un 27% en promedio, cantidad más que suficiente para cubrir los requerimientos de cualquier categoría animal. A su vez, este forraje no limita el consumo máximo

voluntario (a través de su bajo contenido de fibra detergente neutro), por lo tanto, siempre que la pastura se maneje correctamente, no habría limitantes para el logro de una buena performance animal.

Por otro lado, un aspecto negativo es la alta incidencia de meteorismo que ocasiona en los animales que la pastorean, fundamentalmente en etapas previas a su floración (Carámbula, 2010a). Referente a este aspecto, la utilización de alfalfa en mezclas con festuca, dactylis, bromus u otras especies más fibrosas y cuyo manejo se complementa con el de ella son apreciadas ya que permiten obtener un forraje balanceado y con mucho menor incidencia de meteorismo (Formoso, citado por Morón, 2000). Asimismo, la especie presenta una baja e impredecible producción de semilla, y nula resiembra natural, por lo que aspectos asociados a su siembra cobran mayor relevancia (Carámbula, 2010a, 2010b).

Desde el punto de vista del comportamiento sanitario, es destacable la incidencia de numerosas enfermedades y plagas. Se ha reportado su susceptibilidad a patógenos durante la implantación (*Phytium* y *Phytophthora*), enfermedades foliares (*Phoma*, *Cercospora*, *Uromyces*, *Peronospora*, *Stemphylium*, entre otras) y enfermedades de raíz y corona (*Fusarium*, *Colletotrichum*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* y *Sclerotinia*), muy dependientes de las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo, y que reducen el stand de plantas y disminuyen la persistencia de la pastura. En cuanto a las plagas, hay una gran variedad de insectos que pueden llegar a ocasionar daños. Gorgojos, pulgones, pulguitas, arañuelas, epinotias y chinches son los de mayor incidencia en la región (Morón, 2000).

Los cultivares de alfalfa son clasificados en base a su grado de reposo durante la etapa invernal, característica genética que le permite mantenerse latente cuando las temperaturas son bajas previo a la acumulación de reservas, las cuales son almacenadas en la raíz y corona (Morón, 2000). Evidentemente, los distintos grupos de materiales inician y finalizan su reposo al alcanzarse ciertos umbrales de temperatura de magnitud variable, determinando la distribución estacional de forraje, y más particularmente el potencial de crecimiento cuando las temperaturas son bajas. Hay numerosos grupos con diferentes grados de dormancia, pero en Uruguay generalmente sólo tres de ellos son utilizados. El mayor contraste entre los mismos se observa en la estacionalidad de la oferta de forraje, la morfología la de planta y la persistencia (Morón 2000, Ayala et al. 2010).

- Tipos sin latencia: pueden crecer durante todo el año. Es en primavera cuando crecen a mayores tasas, siendo las condiciones ambientales más favorables. Materiales especialmente indicados para pastoreo directo, su corona es más pequeña y su persistencia

tiende a ser menor. Algunos ejemplos de este tipo de cultivares: Monarca SP INTA, P30, Hybrid Force 600, Magna 804 (Ayala et al., 2010).

- Tipos con latencia intermedia (reposo corto): las tasas de crecimiento durante el invierno son menores, respecto a los que no tienen latencia. Su floración se da más tardíamente. Recomendados para pastoreo directo y/o henilaje. Coronas más grandes y mayor persistencia. Los cultivares de mayor incidencia en el país (Estanzuela Chaná, Crioula) pertenecen a este grupo. Otros ejemplos: Victoria SP INTA, Sutter (Ayala et al., 2010).
- Tipos con latencia (reposo largo): producen menos forraje durante el otoño, y su crecimiento invernal es casi nulo, concentrándose su producción en la etapa primavera-estival. Tienen respuesta fotoperiódica al día corto disminuyendo su crecimiento, con tallos más cortos y hojas más pequeñas, confiriendo a las plantas un hábito más postrado. Su corona es más grande aún, la etapa de floración es más tardía (Ayala et al., 2010). Su persistencia es la mayor de todas bajo corte o pastoreo, y tienden a tener mejor comportamiento frente a enfermedades foliares. Especialmente recomendadas para rotaciones largas y en especial para henificar dados los altos rendimientos obtenibles durante la primavera y el verano. Ejemplo: P 205 (Morón, 2000).

Como se observará posteriormente, el material utilizado para este experimento corresponde a uno con latencia intermedia (Estanzuela Chaná).

#### 2.1.5 Trifolium repens

El trébol blanco es una leguminosa perenne invernal, estolonífera, de hojas glabras y hábito postrado, con raíces adventicias en cada nudo (Langer 1981, Carámbula 2010a).

Según Carámbula (2010a), si bien es una especie perenne, puede comportarse como anual, bienal o de vida corta dependiendo a las condiciones ambientales que se den durante el verano y particularmente la ocurrencia de déficits hídricos, pudiendo éstos ocasionar muerte de plantas. Su sistema radicular es pivotante durante el primer año, pero una vez establecida la planta se pierde, quedando sólo un intrincado sistema radicular compuesto por las raíces fasciculadas adventicias.

Presenta mayor adaptación a suelos medianos a pesados, fértiles y húmedos, no tolerando los muy superficiales. Tolera suelos anegados por períodos no prolongados de tiempo. Responde a niveles crecientes de fósforo, y tiene una gran capacidad de fijación de nitrógeno (Carámbula, 2010a).

Este último factor, sumado a la posibilidad de suministrar dicho nutriente a las especies acompañantes cuando se siembra en mezclas, su morfología, su potencial de producción de materia seca de buena calidad nutricional (Carámbula, 2010a), su habilidad para persistir aún bajo manejos intensivos y la capacidad de competencia con gramíneas perennes hacen que sea una especie que contribuye a formar las mejores pasturas del mundo y/o una de las leguminosas perennes de mejor adaptación a las praderas con destino pastoreo directo en las zonas templadas de todo el planeta (Muslera y Ratera, 1984).

Formoso (1996) establece que el trébol blanco solamente eleva hojas e inflorescencias por encima del horizonte de pastoreo, por ende mantiene los meristemos axilares nodales, los primordios foliares y los meristemos apicales de estolones lejos del diente del animal. Este aspecto mantiene protegidos los puntos de crecimiento que permiten en una segunda instancia tanto el rebrote como la colonización de nuevos espacios por parte de la especie.

Carámbula (2010a) destaca la orientación planófila de las hojas, que se disponen horizontalmente respecto a la superficie del suelo. Este hecho, sumado a la capacidad de reorientación de las mismas respecto a la luz, permite una mayor capacidad de absorción de la radiación incidente y por consiguiente se reestablezca más rápidamente el balance de carbono en la planta.

Cabe destacar, a su vez, la alta eficiencia fotosintética del área foliar remanente, es decir las hojas que quedan luego de un corte o pastoreo. Generalmente, las hojas más viejas (por tanto, las menos eficientes al realizar la fotosíntesis) están ubicadas en estratos superiores del canopeo y son las primeras en desaparecer, dejando al descubierto hojas más nuevas y eficientes interceptando la radiación, permitiendo una rápida recuperación de la pastura (Carámbula, 2010a). Asimismo, la ubicación de los meristemas contra la superficie del suelo fuera del alcance del animal, su porte rastrero, su índice de área foliar bajo y su capacidad de sembrarse de manera natural hacen de la especie una alternativa notablemente adaptada al pastoreo intenso (Carámbula, 2010a). Los conceptos de eficiencia fotosintética y de área foliar remanente serán ampliados posteriormente en el presente trabajo.

Un aspecto muy negativo es la alta incidencia de meteorismo que causa en los animales que la pastorean, sobre todo durante la primavera. Una alternativa para contrarrestarlo es la siembra en mezclas con especies gramíneas

(Carámbula, 2010a), con el objetivo de brindar una dieta con mayor tenor en fibras y por consiguiente más balanceada. Según Carámbula (2010a), el trébol blanco produce un forraje de excepcional calidad y compite de buena manera con gramíneas perennes.

La persistencia del trébol blanco durante 2 o más años es muy dependiente de las condiciones ambientales durante el periodo estival, fundamentalmente el suministro de agua por parte del suelo. Cuando éste no es el adecuado, muchas praderas pueden comportarse como anuales, siendo este aspecto frecuentemente subsanado por su alta resiembra natural. De todas formas, aun cuando se comporta como anual, sus capacidades de sobrevivir tanto vegetativamente como a través de “semillas duras” hacen que su contribución sea muy valiosa (Carámbula, 2010a). Westbrooks y Tessar, citados por Carámbula (2010a), añaden que la vida productiva de la especie se condiciona a la posibilidad de formar de manera eficiente estolones hijos y permitir la aparición de plantas nuevas mediante la resiembra natural, siendo la importancia relativa de cada una de éstas dependiente, como se dijo, de las condiciones del ambiente y del manejo por las que la pastura ha atravesado.

Los cultivares son clasificados grosso modo en cuatro diferentes grupos teniendo como criterio general, entre otros, el tamaño de sus hojas (Ayala et al., 2010).

Según Caradus, citado por Carámbula (2010a), los criterios principales para la distinción entre grupos aparte del tamaño de hoja deben ser la cianogénesis (presencia de glucósidos que, hidrólisis enzimática mediante liberan ácido cianhídrico) que de todas formas se observan en materiales de ciertas procedencias en particular, y que de estar presentes no generan problemas para los animales. Según Ayala et al. (2010), la clasificación también tiene implícita características productivas que son importantes en la selección de cultivares para diferentes sistemas de producción en particular.

- Hoja pequeña: también denominados de “tipo silvestre”, tienen pecíolos muy cortos, estolones muy ramificados, plantas más postradas y compactas que confieren una excelente tolerancia al pastoreo directo. De supuesta elevada persistencia (Carámbula, 2010a), este tipo de materiales no se utilizan en Uruguay a causa de su bajo rendimiento forrajero a lo largo de todo el ciclo de producción (Ayala et al., 2010).
- Hoja intermedia: poseen una baja concentración de glucósidos, son postrados y estoloníferos. Algunos provienen de Nueva Zelanda y Australia, y no se han cultivado en Uruguay dado su menor

rendimiento en comparación con los de hojas más grandes (Ayala et al., 2010). Se usan principalmente en pasturas de vida corta a media (Carámbula, 2010a). Según Águila Castro, citado por Carámbula (2010a), estos materiales presentan mayor rusticidad al ser menos exigentes en fertilidad y humedad y más tolerantes al pastoreo directo. Ejemplos: Aquiles, Huía, White Irrigation.

- Hoja grande: se trata de los más ampliamente utilizados en el país. Su crecimiento invernal es aceptable, su floración temprana y abundante, su persistencia productiva promedio es de tres años (Ayala et al., 2010). Sus estolones son más gruesos, y la producción total es excelente en tanto se le realicen manejos más aliviados (Carámbula, 2010a). Ejemplos: Estanzuela Zapicán (el material estudiado en el presente trabajo), Churrinche, Haifa, El Lucero, Diabolo, Goliath.
- Tipo ladino: tienen hojas grandes, con bajo nivel de cianogénesis, estolones largos y escasamente ramificados, buen crecimiento en primavera-verano, floración escasa y tardía. Generalmente, tienen mayor persistencia que los tipos de hoja intermedia y grande. Ejemplo: INIA Kanopus (Ayala et al., 2010).

## 2.2 CULTIVARES

La parcela estudiada en la presente publicación fue sembrada con un cultivar por cada especie distinta incluida dentro de las mezclas. El propósito de este apartado es el de presentar las características generales de cada una de las variedades estudiadas.

Es pertinente anunciar que la información disponible de cada cultivar comúnmente utilizado en la región no es muy abundante. Para la elaboración de este capítulo, se creyó conveniente dejar de lado toda aquella bibliografía originada por empresas semilleras (una fuente importante de información referente a esta cuestión) cuyo propósito, a fin de cuentas y con todo lo que conlleva, es el de lucro económico. Este hecho determina por lo tanto que carezca del rigor científico necesario como para respaldar una publicación académica de estas características.

### 2.2.1 *Dactylis glomerata* (cv. Perseo)

Este cultivar fue desarrollado por INIA La Estanzuela a través de tres ciclos de selección, tomando como criterios principales el rendimiento en forraje

y la sanidad foliar. Su status varietal es protegido, teniendo a Procampo Uruguay SRL y la Sociedad de Fomento Rural de Tarariras como licenciarios (Ayala et al., 2010).

Se ha evaluado durante nueve años seguidos, habiéndose sembrado por última vez en 2011. Destaca por su floración temprana, durante la primera quincena de octubre, y por una mayor producción que INIA Oberón e INIA Porto durante el verano y el otoño. Tiene un hábito semierecto y una buena sanidad foliar, siendo éste último aspecto muy importante al tratarse de un material de floración temprana ya que suelen ser los más sensibles a las enfermedades. Respecto a éste último aspecto, Ayala et al. (2010) destacan la menor susceptibilidad de este material a roya y manchas foliares en comparación con INIA Oberón.

Se trata de un material adaptado a un amplio rango de suelos, siendo más productivos en los de texturas medias. Se recomienda sembrar superficialmente, a 1 cm máximo de profundidad. También, como se ha mencionado anteriormente, se aconsejan manejos rotativos de no excesiva intensidad (alturas remanentes de 5 cm) para que la especie aporte un forraje de calidad, con alto valor proteico y buena palatabilidad (Ayala et al., 2010).

Según INASE (2013), para los ensayos sembrados en 2011 las producciones de forraje ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{MS}\cdot\text{año}^{-1}$ ) fueron de 8409 en el primer año, 13635 para el segundo y 10961 para el tercero, arrojando un total en los tres años de  $33005 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MS. Si se observan con mayor detenimiento los datos arrojados en las evaluaciones publicadas desde el año 2011 hasta el 2014, la producción promedio de este cultivar es muy similar a la producción de la variedad Oberón (otro cultivar de gran uso en el país) no existiendo diferencias significativas en las producciones ya sea por corte, por año y por el total de los años evaluados.

### 2.2.2 *Trifolium repens* (cv. Zapicán)

Se trata del cultivar más difundido en el país de trébol blanco. Fue obtenido en La Estanzuela originario de Argentina, siendo en el presente una variedad de uso público mantenida por INIA. Su venta al público comenzó en la década de 1960 y aún hoy tiene una muy amplia difusión, lo cual es prueba fehaciente de su adaptación y más que probada performance productiva (Ayala et al., 2010).

Es de hoja grande, tipo erecto, con floración temprana y abundante permitiendo una buena resiembra cuando las condiciones lo permiten. Se

destaca además por establecerse rápidamente y su semillazón permite obtener muy buenas resiembras en años favorables (INASE, 2010).

Tiene más de 25 años de continua evaluación (INASE, 2014). Según INASE (2010, 2011, 2012, 2013, 2014), Zapicán produce en su primer año de vida unos 6842 kg.ha<sup>-1</sup> de MS, 11054 kg.ha<sup>-1</sup> de MS en el segundo, siendo el total en los dos primeros años unas 16 tt.ha<sup>-1</sup> de MS.

### 2.2.3 Festuca arundinacea (cv. Tacuabé)

Este cultivar de uso público mantenido por INIA pertenece al grupo de las festucas de tipo “continental”. Obtenido en La Estanzuela a partir de ciertos criterios tales como aporte otoño-invernal, persistencia y compatibilidad con el trébol blanco, contiene genotipos recolectados en praderas de diversos puntos del país, hecho que asegura una buena adaptación a las condiciones ambientales de la región (Ayala et al., 2010).

Su producción es más precoz que varios de los cultivares disponibles en plaza, comenzado su encañazón generalmente durante el mes de setiembre. En un boletín elaborado por Ayala et al. (2010), se afirma que Tacuabé tiene dos picos productivos durante el ciclo: uno en setiembre y otro, menor, durante el otoño.

Desde el punto de vista sanitario, presenta un buen comportamiento en general. Se ha reportado su resistencia a la roya de la hoja (agente causal: *Puccinia spp.*), a las manchas foliares (agente causal: *Pseudomonas syringae* y *Colletorichum graminícola*) y no habría incidencia de fusariosis (*Fusarium spp.*) (INASE, 2011, 2012).

Según INASE (2010, 2011, 2012, 2013, 2014) en su primer año produce 3623 kg.ha<sup>-1</sup>, 9690 kg.ha<sup>-1</sup> de MS en el segundo y 8019 kg.ha<sup>-1</sup> de MS en el tercero, contabilizando en el total de los tres años unos 25508 kg.ha<sup>-1</sup> promedio.

### 2.2.4 Lotus corniculatus (cv. San Gabriel)

Se trata de uno de los cultivares más conocidos e utilizados en la región. De uso público mantenido por INIA La Estanzuela desde la década de 1970, debe su nombre a la localidad de São Gabriel, Rio Grande do Sul (Brasil), desde donde se introdujo. Lleva más de 25 años evaluándose de manera permanente (Ayala et al., 2010).

Es un cultivar de tipo europeo, por lo que carece de latencia invernal y por tanto es capaz de producir aún en invierno mientras no hayan temperaturas muy bajas (Carámbula 2010a, Ayala et al. 2010).

De floración más bien temprana (a partir de noviembre) y prolongada, es un material muy adaptado a las condiciones ambientales y edáficas del país, habiéndose demostrado incluso su buen desempeño en siembras en cobertura sobre campos naturales de diferentes regiones. Su buena disponibilidad en el pastoreo deriva de una morfología de planta más bien erecta, con una correcta densidad de tallos. Tiene además un buen comportamiento sanitario, siendo sólo destacable su susceptibilidad a podredumbres de raíz y corona (*Fusarium* spp) que reducen su persistencia (Ayala et al., 2010).

Según INASE (2010, 2011, 2012, 2013, 2014) sus producciones de MS.ha<sup>-1</sup> son de 3950 kg en su primer año, 9346 kg en el segundo, y en el total de los dos años 13520 kg.ha<sup>-1</sup> de MS.

#### 2.2.5 *Medicago sativa* (cv. Estanzuela Chaná)

Estanzuela Chaná es un cultivar de alfalfa de status público ampliamente difundido en el Uruguay. Mantenido y multiplicado originalmente por el CIAAB (hoy INIA La Estanzuela) desde la década de 1970, es el resultado de varios ciclos de selección por persistencia a partir de materiales de origen italiano. En el presente, lleva más de veinticinco años de evaluación continua en el Registro Nacional de Cultivares (Ayala et al., 2010).

Son plantas de porte erecto, coronas de buen tamaño y tallos largos. Tiene latencia invernal intermedia, lo que le permite producir aún en el invierno. Su floración no es muy intensa, dándose la misma desde noviembre hasta marzo. Son más que destacables tanto su precocidad como el vigor inicial de la semilla, aspectos que posibilitan un elevado rendimiento en el año de siembra siempre que ésta se realice temprano en el otoño (Ayala et al., 2010).

En cuanto a las enfermedades, tiene buena resistencia al complejo de enfermedades foliares preponderantes en el país, característica que le permite tener una mayor vida media foliar, retener las hojas verdes por más tiempo y por ende mantener buenas producciones de forraje por más tiempo (Ayala et al., 2010).

Aparte de todas las características mencionadas, Estanzuela Chaná es conocido por su alto potencial de producción. En siembras puras, aplicando un manejo de defoliación criterioso que respete el ciclo de reservas de la planta y

sembrando en suelos adecuados, la vida productiva de la pastura alcanza fácilmente los cuatro años (Ayala et al., 2010).

Según INASE (2010, 2011, 2013, 2014) se producen en promedio 4590 kg.ha<sup>-1</sup> de MS en el primer año, 12485 kg.ha<sup>-1</sup> de MS en el segundo y 11646 kg.ha<sup>-1</sup> de MS en el tercero. En el total de los tres primeros años, se halló una producción promedio de 28516 kg.ha<sup>-1</sup>.

## 2.3 MEZCLAS

Carámbula (2010a) define a una mezcla como una población artificial formada por varias especies con diferentes características, tanto morfológicas como fisiológicas. El autor también sostiene que sembrar una pastura con diferentes especies compartiendo una misma área tiene como principal propósito maximizar la producción de materia seca de cada especie o cultivar.

La elección de las especies que forman la mezcla es un hecho trascendente, tanto para su productividad como para su longevidad. En dicha elección, Carámbula (2010a) afirma que es fundamental considerar tres factores fundamentales: propósito de la mezcla, clima y suelo en donde se desarrollará la misma. Correa (2003), agrega que es importante también tener en cuenta el destino del recurso, la duración de la pradera, el momento de utilización y el sistema de producción en el cual la pastura es destinada.

### 2.3.1 Clasificación de las mezclas

Carámbula (2010a) clasifica a las distintas mezclas según el siguiente criterio:

- ultra simple: formada por una gramínea y una leguminosa, ambas de igual ciclo productivo (invernal o estival).
- simple: una mezcla ultra simple más una gramínea o leguminosa de ciclo complementario. Según Langer (1981), si se siembran mezclas simples con especies compatibles el potencial de crecimiento individual es alcanzado más fácilmente por reducción de la competencia interespecífica, y por tanto el manejo se hace más sencillo.
- compleja: formada por gramíneas y leguminosas (del mismo ciclo ó similar) o por dos gramíneas y dos leguminosas de ciclos complementarios (Carámbula, 2010a). En este sentido, Langer (1981)

sostiene que en la práctica tanto el establecimiento como el manejo, este tipo de mezclas resulta más complejo al ser prácticamente imposible brindar las condiciones que permitan a todas las especies desarrollarse adecuadamente sin perjudicar a otras, y por consiguiente algunas desaparecen pronto.

Formoso (2011) establece que la contribución individual de cada especie se hace menor cuanto mayor es el número de especies dentro de la mezcla. De todas formas, mientras ciertas forrajeras merman su producción durante ciertos períodos de tiempo dentro del ciclo total de la pradera, son capaces de compensar esta reducción durante otros períodos gracias a las ventajas comparativas de crecimiento; ventajas que podrían derivar en un aumento en los rendimientos totales en materia seca de las praderas mezcla respecto a los rendimientos de praderas puras.

Lo más común es promocionar el uso de mezclas simples sobre las complejas. Esto se argumenta a través de la complejidad en el manejo inherente a buscar un régimen de defoliación que contemple la morfofisiología y las características agronómicas de cada especie dentro de una mezcla que contiene diferentes tipos de plantas forrajeras. En dicho contexto, la elección de las especies es un factor de mayor importancia frente a la complejidad de las mezclas cuando se busca maximizar los rendimientos de la pastura (Formoso, 2011).

Tanto las mezclas simples como las compuestas por pocas especies permiten ajustar las diferentes tasas de crecimiento que presentan las variedades a lo largo de las estaciones dentro del ciclo. Mientras se mezclen especies de similar porte y características morfofisiológicas, la utilización potencial de la pastura será aceptable. Cuando no se tienen en cuenta estas consideraciones, una de las especies de la mezcla corre el riesgo de desaparecer, convirtiendo a la pradera en un monocultivo con un bajo stand de plantas fácilmente colonizable por malezas. Por esta razón, es más fácil estropear mezclas simples que mezclas complejas (Carámbula, 1977).

Al elegir las especies que compondrán la mezcla, estas deberán tener ciclos complementarios, buscándose alargar el período de utilización y aportar forraje para todo el año. Lograr dicho objetivo puede ser más importante aún que maximizar la producción de forraje total de la pradera. A su vez, es aconsejable sembrar especies de similar palatabilidad en cualquier momento del ciclo para evitar la preferencia de una especie sobre otra por parte de los animales, deteriorando de esta manera la pastura (Carámbula, 1977).

### 2.3.2 Importancia de las mezclas forrajeras

Respecto a la justificación del uso de mezclas forrajeras en los sistemas productivos pastoriles, así como su importancia, la literatura científica es abundante. Diversos autores han publicado sus investigaciones sobre los efectos del uso tanto de las mezclas en sí, como de las diferentes especies y variedades que componen a las mismas.

Siguiendo con el razonamiento planteado por Carámbula (2010a) de que el propósito primero de incluir mezclas en los sistemas de producción es el de obtener los máximos rendimientos de materia seca por hectárea, Schneiter (2005) agrega que éstas uniformizan la producción en su distribución a lo largo del ciclo. Mientras la productividad de una especie cuando se siembra pura puede ser mayor a la misma cuando se realiza en mezclas, fundamentalmente a través de un manejo específico para dicha especie, la mezcla explota de manera más eficiente el ambiente (Carámbula 2010a, Fariña y Saravia 2010, Formoso 2011), siendo ésta eficiencia mayor cuanto más se complementen los ciclos de las especies involucradas (Carámbula, 2002) reduciendo los riesgos de enmalezamiento y obteniendo una pastura de mayor persistencia (Carámbula, 2010a). A modo de ejemplo, Hernandez Garay et al. (2015) reportan aumentos en la producción de materia seca del orden de 52-65% en el caso de mezclas de *Dactylis glomerata* y *Lolium perenne* con *Trifolium repens* respecto a los monocultivos puros.

La necesidad de formar asociaciones con especies de diferentes familias botánicas y orígenes tiene su fundamentación en el hecho de que ni las gramíneas puras ni las leguminosas puras proveen una buena pastura, y al mezclarse se logra una complementación que resulta en pasturas más productivas y rentables (García y Millot 1978, Carámbula 2010a). En este sentido, hay abundante evidencia experimental sobre los beneficios de la inclusión de leguminosas dentro de las mezclas, especialmente cuando hay gramíneas involucradas. El valor nutritivo de las pasturas aumenta (Schneiter 2005, Carámbula 2010a) y el riesgo de meteorismo disminuye (Schneiter 2005, Hall y Vough 2007). A su vez, incluir leguminosas aumenta el consumo voluntario de forraje contribuyendo a un mejor desempeño productivo (Minson y Milford, citados por Carámbula, 2010a), así como también se reduce la dependencia de la fertilización nitrogenada del suelo gracias a la fijación biológica de nitrógeno realizada por las fabáceas junto a los rizobios (Breazu et al., 2006). Según Carámbula (1977), al incluir leguminosas a las mezclas, la cantidad de nitrógeno que ingresa al sistema sólo se logra mediante la enmienda de una cantidad considerable de fertilizante, demostrando una vez más la importancia del factor mezcla en la ecuación económica de los sistemas productivos. Cougnon et al. (2014) se refieren a este hecho como “transgressive overyielding”, que podría

traducirse del inglés como el incremento en rendimiento intrínseco que tienen las pasturas mezcla frente a las simples

Hernandez Garay et al. (2015) reportan una menor intercepción de luz por parte de cultivos puros de *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* y *Trifolium repens* respecto a las pasturas mezcla de dichas especies, en un hecho que puede explicarse a través de las diferencias en la arquitectura del canopeo de ambos tipos de praderas. Al contener las mezclas especies que disponen de manera diferencial sus hojas, mayor cantidad de luz se filtra desde la parte más alta del canopeo hasta el suelo, haciendo posible una mayor absorción de radiación en una misma unidad de superficie de pastura. Este hecho sin lugar a dudas explica, al menos de manera parcial, el mayor rendimiento de forraje de las mezclas respecto a las pasturas monoespecíficas.

### 2.3.3 Dinámica de las mezclas

Carámbula (2010b) sostiene que en la práctica, al realizarse una mezcla forrajera conforme se avanza en el ciclo las leguminosas terminan predominando por sobre las gramíneas, explicando la mayor producción de materia seca de las praderas mezcla en el segundo y tercer año de vida. El mismo autor (2010a) sostiene que esta dominancia de las leguminosas sobre las gramíneas es originada mediante dos factores bien distintos y las diferentes combinaciones entre los mismos: la implantación y el manejo.

La predominancia de las fabáceas en las mezclas forrajeras en muchos casos se debe a la siembra sobre suelos degradados, en los que tanto la historia agrícola anterior como las prácticas culturales y de conservación inadecuadas junto a la sola fertilización fosfatada (en caso de realizarse) y/o la falta de nitrógeno conllevan a una incorrecta implantación de las gramíneas, y en consecuencia a un desajuste en el balance de especies (Carámbula, 2010a).

Bautes y Zarza, citados por Carámbula (2010b) observaron que la composición pastoril de las mezclas ha tenido una estrecha relación con la fertilidad del suelo: cuanto mejores desde el punto de vista nutricional, había una mayor presencia y persistencia de las gramíneas.

Respecto al factor “implantación” del que hablaba Carámbula (2010b), son diversos los aspectos que interactúan entre sí dando origen al desbalance estudiado. Niveles de fertilidad desbalanceados desde la siembra, densidades inadecuadas y métodos de siembra de eficiencia variable para cada tipo de especie, dificultades inherentes a las gramíneas para el establecimiento, siembra de especies anuales como único componente gramínea en una mezcla

constituida solo por leguminosas perennes, bajos niveles de nitrógeno disponibles para las gramíneas junto a la “autonutrición” de las fabáceas por fijación simbiótica, mejor capacidad para la germinación con inadecuados niveles de humedad en el suelo para el caso de las gramíneas, entre otros.

Referente al factor “manejo”, Carámbula (2010a) señala diversos factores que contribuyen al desbalance. En su publicación, establece que las leguminosas interceptan mayor cantidad de luz a igual Índice de Área Foliar (IAF), posiblemente explicado por la posición de las hojas dentro del canopeo y el coeficiente de extinción lumínica de las especies de esta familia (conceptos explicados en mayor profundidad más adelante en este trabajo). Asimismo, las defoliaciones frecuentes favorecen a las leguminosas y las poco frecuentes a las gramíneas, efecto que se acentúa cuando mayor sea la intensidad de la luz en la primavera y más alto sea el canopeo de las especies gramíneas (sobre todo cuando se encuentra en plena floración). También, habría mayor eficiencia por parte de la leguminosa en captar la luz cuando ésta incide en menor cantidad sobre el suelo (en invierno), hecho que resulta en una seria limitación para las poáceas. La fertilización y el manejo del pastoreo tienen a su vez sus implicancias: por un lado, si se aplica nitrógeno a la mezcla, es posible mantener un buen balance entre las especies de ambas familias botánicas mientras se pastoree a intervalos menores. Por otro lado, el momento en el cual se fertiliza con nitrógeno en otoño juega un rol importante en la dinámica, en tanto si se aplica temprano se suele favorecer a las leguminosas, mientras que al aplicarse tarde se favorecen a las gramíneas.

Carámbula (2010a) señala que, si bien la supremacía de las leguminosas tiene un rol importante y positivo, ésta conlleva a un aumento importante en el largo plazo de los niveles de nitrógeno en el suelo. Como resultado, junto a la vida corta de las leguminosas, se crea un ambiente propicio para la invasión de especies indeseadas con mayor capacidad de competencia y menor productividad que pueden terminar dominando las pasturas.

Bautes y Zarza, citados por Carámbula (2010a), observaron que las mezclas que contenían *dactylis* presentaron una tendencia a producir menor cantidad de forraje por año que las mezclas que contenían *festuca* o *falaris*. Dicho aspecto está relacionado con los cambios originados en la composición botánica: mientras paulatinamente desaparece la leguminosa, la producción total se debe fundamentalmente a lo que produzca la gramínea. Esta tendencia se hace más notoria en el tercer y cuarto año de la pastura.

Formoso (2000) reportó que en mezclas de alfalfa y gramíneas perennes, en general las segundas aportan menor cantidad de forraje durante los primeros dos a tres años, siendo la alfalfa la que más contribuye. De todas

formas, una vez que aumentan los niveles de nitrógeno provenientes de la fijación simbiótica, la gramínea suele ocupar los espacios vacíos dejados por la leguminosa. Dicha aseveración tiene concordancia con lo reportado por diversos autores consultados para la elaboración del presente trabajo.

En la misma línea, Morón (2000) añade que la sustitución del lotus por la alfalfa en mezclas conteniendo festuca y trébol blanco posibilitó la obtención de mayores rendimientos, tanto en el total de 1 a 3 años y en el de 1 a 5 años, y la supremacía productiva que deriva de dicha sustitución incrementó en magnitud, dada la persistencia productiva, con la edad de la pastura, siendo el aumento porcentualmente mayor en el caso de la pastura de 5 años frente a la de 3 años. Estos cambios, explican los autores, estarían asociados a la dinámica de las especies que integran la mezcla conforme aumenta la edad de la pastura: mientras que la alfalfa domina las mezclas a partir del segundo año, al cuarto año el trébol blanco prácticamente desaparece y el lotus, especie de mayor persistencia que el primero, se considera como no relevante en términos productivos a partir del quinto año (Morón, 2000).

Mitchell, citado por Barnes y Scheaffer (1995), sostiene que la diferencia en palatabilidad de las especies contenidas en una mezcla pueden afectar las proporciones de las mismas dentro de ella. Tanto el sabor de cada especie, como factores morfológicos (espinas, bordes de hojas ásperos, etc.) pueden reducir la preferencia de una especie en particular. Las especies menos preferidas tienen inherentemente una mayor cantidad de área fotosintéticamente activa remanente luego de un pastoreo, hecho que les permitiría aumentar su proporción dentro de una mezcla en particular. Asimismo, la presencia de compuestos químicos (alcaloides, taninos, entre otros) puede afectar el consumo de determinada variedad forrajera, incidiendo en la dinámica de la mezcla.

Brougham (1957b) analizó la dinámica del crecimiento en una mezcla raigrás-trébol blanco durante el otoño-invierno en Nueva Zelanda. La pastura fue cortada a una pulgada de altura, midiéndose la acumulación de materia seca total y la contribución de cada especie durante las posteriores semanas.

Ambas especies crecen a iguales tasas inicialmente, pero a medida que transcurre el tiempo las gramíneas dominan sobre las leguminosas a causa de una mayor adaptación por parte de éstas a las bajas temperaturas, así como también a una mejor capacidad de competencia por luz, factor que comienza a operar 3-4 semanas luego del corte dependiendo de las condiciones (Brougham, 1957a).

#### 2.3.4 Dinámica del crecimiento de las pasturas

El crecimiento bruto de una comunidad vegetal, según Nabinger (1996a) está determinado por la cantidad de carbono fijado diariamente, y esto se relaciona directamente con la cantidad de la energía interceptada, que depende de la radiación incidente por un lado, y del índice de área foliar por el otro. Éste IAF, a su vez, es dependiente de la fijación de carbono previa y de la utilización del mismo para el crecimiento de la superficie foliar. La radiación incidente, como es evidente, depende de la latitud en donde se ubica la pradera, la época del año (que determina entre otras cosas el fotoperiodo o las horas de luz solar por día) y la nubosidad (Nabinger, 1996a).

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

En una primera fase, el crecimiento se da a incrementos exponenciales. El autor señala a la movilización de reservas como el factor que determina el nivel de crecimiento de una pastura inmediatamente luego del corte. En segundo lugar, este crecimiento está altamente influenciado por el contenido de humedad en el suelo, siendo esta influencia mayor cuanto más severa es la defoliación ya que las plantas son incapaces de compensar la fuerza de retención del agua ejercida por las partículas del suelo.

La tasa de crecimiento está relacionada con la intensidad del corte y su efecto subsecuente en la actividad fotosintética de la pastura luego del mismo (Brougham, 1957a). En un experimento llevado a cabo sobre pasturas artificiales, cuando el corte se efectuaba a 5 pulgadas (12,7cm) bastaban 4 días para alcanzar el IAF óptimo (95% de intercepción de la radiación lumínica) conjuntamente con las máximas tasas de crecimiento, mientras que cuando se cortaba dejando 3" (7cm) y 1" (2,6cm) como remanente, las pasturas tardaban 16 y 24 días respectivamente para alcanzar las máximas tasas de crecimiento.

Brougham (1957a) también señala a la agregación de las plantas como un factor que incide en el lento crecimiento de las pasturas. Cuando los macollos se encuentran aglutinados, la pastura tarda más en cubrir el suelo y en generar el aparato fotosintético necesario para alcanzar altas tasas de crecimiento.

En la fase 2, en la cual según Brougham (1957a) la materia seca crece a tasa constante, aparte de los factores previamente mencionados el autor cita otros dos complementarios: el efecto de la competencia inter e intra-específica y la descomposición de los tejidos.

La competencia entre especies y entre plantas de la misma especie, en una mezcla forrajera, se da generalmente por luz cuando las plantas ya alcanzaron el IAF óptimo o están próximas a hacerlo. El autor cita el ejemplo de una mezcla de raigrás con trébol blanco, en la cual el alto crecimiento de la gramínea suscita a un descenso marcado en la producción de la leguminosa, hecho que en varios casos puede explicar pérdidas de rendimiento total en forraje (Brougham, 1957a).

En la fase 3, la tasa de crecimiento decae hasta hacerse cercana a cero o incluso negativa (Brougham, 1957a). Esto puede ser causado tanto por insectos del suelo, como también bacterias y/o hongos que atacan a las plantas impidiendo la fotosíntesis, así como también la senescencia natural de las hojas por parte de las plantas seguramente a causa del sombreado. La senescencia y/o la descomposición de los tejidos vegetales es un factor que influye de manera muy importante en la fase 3, aunque según Brougham (1957a) no es despreciable su influencia en la fase 2.

## 2.4 MORFOFISIOLOGÍA DE LAS ESPECIES FORRAJERAS

### 2.4.1 Morfología de las gramíneas

Carámbula (2010a) establece que, durante la etapa de desarrollo vegetativo de las gramíneas, son dos los procesos predominantes: la formación de hojas y la formación de macollas.

La unidad morfofisiológica básica de la gramínea es la macolla (Colabelli et al., 1998). Cada una de ellas está compuesta por unidades denominadas fitómeros, organizados de forma secuencial y conectados entre sí (Sharman, citado por Lemaire y Agnusdei, 2000).

El fitómero de una gramínea consiste de una hoja, nudo, entrenudo, meristema axilar y meristema intercalar. El número y longitud de los fitómeros determina variaciones en macollos individuales, y el arreglo espacial de macollos en una planta determina su estructura: los intravaginales generalmente dan una forma de crecimiento compacta, en tanto los extravaginales determinan mayor distancia entre macollos dando una forma de crecimiento esparcida (Briske, citado por Colabelli et al., 1998).

Los tallos de todas las plantas están compuestos por nudos y entrenudos. Las gramíneas no son la excepción, con la particularidad de que éstos entrenudos son extremadamente cortos. Recién cuando las plantas comienzan la fase reproductiva, estos entrenudos se alargan, confiriéndole a lo que antes

era un pseudo-tallo (un conjunto de vainas foliares enrolladas o envueltas unas contra otras) una apariencia más similar a la de un tallo verdadero (Langer, 1981).

El meristema apical es un altamente estructurado y coordinado grupo de células (Evans y Barton, citados por Lemaire y Agnusdei, 2000). Sin importar el patrón de emergencia (diferente según el tipo de gramínea), mientras la planta se encuentra en estado vegetativo, el meristema apical o terminal se mantiene por debajo o cercano a la superficie del suelo lejos del alcance del diente del animal así como de variaciones bruscas en la temperatura del aire (Lowell, citado por Barnes et al., 2007). Langer (1981) señala a ésta característica morfológica como la principal responsable de la gran adaptación que tienen las gramíneas al pastoreo, permitiendo que nuevas hojas se originen luego de cada corte. Este meristema apical, presente en el ápice de cada brote o macollo puede dar origen a nuevos fitómetros, así como también a los meristemas axilares que forman cada uno (Lemaire y Agnusdei, 2000).

Como dice Langer (1981), las hojas de cada macollo a su vez contienen yemas en sus axilas, formando en determinado momento un complejo entramado de macollos de distinto orden. El macollo principal origina macollos secundarios, éstos de igual manera desarrollan terciarios, y así sucesivamente. De todas formas, aun siendo todos estos estructuralmente idénticos, difieren en el momento en el cual han sido originados, en tamaño, y por consiguiente no tienen un igual comportamiento aún frente a una misma condición ambiental (Langer, 1981).

#### 2.4.2 Morfología de las leguminosas

Las leguminosas, en términos morfológicos, difieren significativamente de las gramíneas.

Las hojas están arregladas de manera alterna dentro del vástago, usualmente conectadas al mismo mediante el pecíolo. En el caso de la alfalfa y cierto tipo de tréboles, las hojas se distribuyen de manera pinnada, teniendo el folíolo central un pecíolo más largo que el de los folíolos acompañantes (Mitchell, citado por Barnes et al., 2007).

Los vástagos en las leguminosas tienen gran diversidad en longitud, diámetro, cantidad de ramificaciones y contenido de celulosa. La yema terminal siempre está ubicada en la punta, generalmente cerca del punto más alto del canopeo en las leguminosas erectas como la alfalfa, hecho que determina su remoción luego del pastoreo por lo cual este tipo de especies deben rebrotar desde las yemas axilares que se ubican en los estratos más bajos y

especialmente en los más cercanos al suelo (Mitchell, citado por Barnes et al., 2007). En el caso de especies más postradas como el trébol blanco, las yemas apicales se ubican más cercanas al suelo, hecho que permite a la especie seguir produciendo sin mayores retrasos luego de un pastoreo al permanecer estas estructuras intactas más frecuentemente.

En el caso de las especies erectas, dice Langer (1981), el tallo permanece corto hasta que los vástagos florales son producidos, de forma tal que las hojas se mantienen muy cerca unas de otras. Nuevos tallos son originados desde las yemas axilares formando la corona. En las especies rastreras, las yemas axilares de las hojas crecen expandiéndose de manera horizontal, formando los estolones. Estos contienen nudos de donde surgen nuevas hojas y raíces adventicias.

Las yemas axilares, ubicadas en la axila de cada hoja, pueden romper su dormancia contribuyendo así al crecimiento vegetativo de cada especie (Mitchell, citado por Barnes et al., 2007). Cuando la luz penetra al canopeo (luego de un pastoreo, por ejemplo), se puede estimular el crecimiento de estas yemas. En especies con crecimiento a partir de corona, al removerse las yemas apicales se rompe la dominancia apical, reactivando a las yemas axilares ubicadas dentro de esta estructura (Mitchell, citado por Barnes et al., 2007).

Las leguminosas estoloníferas poseen, al igual que las gramíneas, una yema en la axila de cada hoja. Esta axila tiene la facultad de originar nuevos vástagos (o estolones), expandiéndose espacialmente de esta manera el tapiz. Raíces adventicias son originadas desde los nudos (Cangiano, 1997).

Carámbula (2010a) hace especial referencia a la facultad que tienen los nudos de independizarse de las estructuras que le dieron origen una vez enraizados, lográndose de esta manera una menor incidencia de los aspectos relativos a la densidad de siembra para lograr un buen stand de plantas en la pastura.

#### 2.4.3 Morfogénesis de las especies forrajeras

Chapman y Lemaire (1993) definieron al término “morfogénesis” como los cambios en estructura producidos durante el desarrollo de un organismo, explicados a partir de los procesos de formación, expansión y muerte de los diferentes órganos del mismo. Chapman y Lemaire, citados por Lemaire y Agnusdei (2000) definen a la morfogénesis como la dinámica de la generación (“génesis”) y la expansión (“morph”) en el espacio.

Gastal y Durand (2000) establecen que la morfogénesis se basa en dos grandes pilares: el programa morfogenético, determinado genéticamente, y las condiciones ambientales locales (clima, suelo, cantidad/calidad de luz, temperaturas, disponibilidad de agua y nutrientes, entre otros).

Son varios los autores que señalan ciertos parámetros como primordiales a la hora de estudiar la morfofisiología de las plantas forrajeras. Por citar un ejemplo, Lemaire y Agnusdei (2000) definen:

- Plastocrón: el tiempo entre la iniciación de dos primordios de hoja sucesivos a nivel del meristemo apical.
- Filocrón (Ph): señalado como el tiempo transcurrido entre la aparición dentro de un mismo macollo de dos hojas sucesivas.

Ambas variables permiten definir la Tasa de Aparición Foliar (TAF), es decir la tasa de producción de hojas a nivel de un macollo individual. Esta variable es recíproca al filocrón, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{TAF (hojas/día)} = 1 / \text{Ph}$$

Para una determinada especie forrajera, el filocrón es un parámetro relativamente constante cuando es expresado en °C.día<sup>-1</sup>, permitiendo así el cálculo de una escala temporal básica para analizar la morfogénesis. A unos constantes 10 °C, *Lolium perenne* emite una hoja cada once días, mientras que a igual temperatura una planta de *Festuca arundinacea* lo hace cada 23 (Colabelli et al., 1998). Según Lemaire (2015), cuantas más hojas tenga un tallo o vástago, menor es la tasa de aparición de hojas (en el caso de *Lolium perenne*). Según Nabinger (1996b), la alfalfa emite una hoja cada 50°C.día<sup>-1</sup>, el lotus cada 83°C.día<sup>-1</sup>, y festuca precisa 220°C.día<sup>-1</sup>.

- Tasa de elongación foliar (TEF): se refiere al crecimiento en longitud de la lámina verde en cierto intervalo de tiempo o de suma térmica, generalmente expresada en mm.día<sup>-1</sup> (Lemaire y Agnusdei, 2000). Según Gastal y Lemaire (2015), a mayor cantidad de hojas, menor es la TEF.
- Vida media foliar (VMF): definida como el período de tiempo durante el cual cierta proporción de las hojas recientemente aparecidas se mantiene verde (Lemaire y Agnusdei, 2000). Colabelli et al. (1998) la definen como el tiempo transcurrido entre la aparición de una hoja y el comienzo de la senescencia de la misma.

Fernández Grecco, citado por Carámbula (2010c), señala que los parámetros morfogenéticos básicos, es decir la TAF, TEF y la VMF determinan las características estructurales de las pasturas en estado vegetativo. Estos caracteres estructurales pueden ser el número de hojas vivas/individuo, el tamaño de hojas, la densidad de macollos, entre otros. Su dinámica define en última instancia el Índice de Área Foliar de las pasturas (IAF), es decir la capacidad de absorber energía lumínica por parte de las mismas, determinando ésta en líneas generales el crecimiento potencial y la producción de materia seca (Colabelli et al., 1998).

Según Gastal y Lemaire (2015) la TAF, la TEF y la VMF son variables determinadas genéticamente pero bajo la continua influencia de la temperatura, el estado nutricional de la pastura, el contenido de agua en el suelo y, por último pero no menos importante, el régimen de defoliación. El mismo interfiere a través de los cambios que genera tanto en la cantidad como la calidad de la luz interceptada.

Diversos autores (Colabelli et al. 1998, Lemaire 2015, entre otros) señalan a la TAF como la variable morfogenética más importante en tanto controla en mayor o menor grado todas las variables estructurales citadas en este párrafo.

El tamaño foliar (TF) puede considerarse como la relación existente entre la TEF y la TAF, teniendo en consideración que para un determinado genotipo, la duración de la expansión foliar es proporcional a la TAF. Asimismo, el número máximo de hojas verdes por macollo/tallo se puede explicar a través del producto entre la TAF y la VMF (Colabelli et al., 1998).

El Índice de Área Foliar (IAF) hace referencia a la relación existente entre el área ocupada por las hojas en el suelo y el área de las mismas. Este parámetro expresa la densidad de hojas de determinada pastura. (Watson, citado por Carámbula, 2010c). Según Lemaire y Agnusdei (2000), el IAF indica tres variables: la densidad de tallos o macollos, el número de hojas/tallo y el área de cada hoja, pudiéndose simplificar mediante la siguiente ecuación:

$$\text{IAF} = \text{tallos.m}^{-2} \cdot \text{hojas.tallo}^{-1} \cdot \text{área.hoja}^{-1} \text{ (m}^2\text{)}$$

Lemaire (2015) establece que un mismo valor de IAF en determinada pastura puede obtenerse mediante diferentes combinaciones de estos tres componentes, siendo los mismos el resultado de la actividad morfogenética de la población de tallos.

A medida que el IAF aumenta, la intercepción de luz por parte de las hojas hace lo propio hasta que un valor denominado “IAF óptimo” ( $IAF_{\text{ópt.}}$ ) es alcanzado; valor que coincide con el 95% de la radiación incidente total interceptada por el canopeo (Lemaire y Agnusdei, 2000). Según Carámbula (2010c), cuando se alcanza dicho valor la fotosíntesis y por ende la producción de forraje son máximas ya que la cantidad de forraje es suficiente como para prevenir las pérdidas de energía, si bien generalmente en esta situación las hojas más basales pueden demandar más de lo que puedan generar por ellas mismas para mantenerse vivas.

El valor de  $IAF_{\text{ópt.}}$  es diferente para cada especie y pastura en particular. En líneas generales, suele ser más elevado en el caso de las gramíneas que en las leguminosas debido a la arquitectura del canopeo de cada especie: cuanto más planófila sea ésta, es decir, cuanto más horizontalmente se dispongan sus hojas, se interceptará igual cantidad de radiación con menor cantidad de tejido fotosintético (Colabelli et al., 1998). En este sentido, MacAdam, citado por Barnes et al. (2007), establece que al tener las gramíneas una arquitectura de canopeo con hojas que emergen de manera más o menos vertical en el sector más superior del mismo, la luz penetra a los estratos inferiores, y como consecuencia estas pasturas alcanzan el IAF óptimo con cantidades más elevadas de hojas respecto a una pastura de especies cuyas hojas se disponen de manera más horizontal. Mitchell, citado por Barnes et al. (2007) reporta valores de IAF óptimos entre 3 y 5 para el caso de especies planófilas como el trébol rojo, entre 5 y 6 para el caso de la alfalfa y entre 7 y 10 para el caso de gramíneas con hojas más bien erectas como puede ser *Lolium perenne*.

Mitchell, citado por Barnes et al. (2007) añade que una vez alcanzado este IAF, la falta de luz en los estratos más bajos del canopeo favorece la muerte de esas hojas por senescencia, hecho que determina la imposibilidad de aumentar la cantidad de biomasa cosechable por el animal una vez alcanzada esta cantidad de tejido fotosintéticamente activo dentro de una pastura. En el mismo sentido, establece que para maximizar la productividad de las pasturas, éstas se deben pastorear cuando se alcanza el IAF óptimo, siendo tanto el área foliar remanente como la cantidad de reservas orgánicas en las plantas quienes determinan el largo del período entre el último pastoreo y el rebrote de las especies.

El ángulo en el cual se disponen las hojas respecto a un eje horizontal se denomina coeficiente de extinción lumínica.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Zanoniani, R. 2015. Com. personal.

Otro concepto de gran importancia en este apartado es el del área foliar remanente, definida como el área foliar restante luego de un corte o pastoreo (Mitchell, citado por Barnes et al., 2007). Según Carámbula (2010c), éste depende de la intensidad de la defoliación, el hábito de crecimiento de la especie y la arquitectura de su canopeo. Asimismo, el crecimiento post corte de la pastura está íntimamente relacionado al IAF remanente, ya que las características que tenga el mismo (edad y posición de las hojas, grado de descomposición de las mismas) permitirá a la pastura crecer con mayor o menor eficiencia.

Como se mencionó anteriormente, las especies más postradas o con hojas de posición más planófila suelen interceptar mayor cantidad de luz a igual IAF remanente que las especies más erectas, lo que les permite recuperarse más rápidamente luego de un pastoreo intenso (Carámbula, 2010c). De todas maneras, las especies postradas alcanzan tienen un IAF óptimo más bajo que las erectas, hecho que generalmente limita su producción potencial de forraje respecto a las segundas y determinado empero que se realicen manejos diferenciales en los dos tipos de pasturas: las postradas requieren pastoreos más frecuentes, y las erectas requieren un manejo más aliviado y menos frecuente (Carámbula, 2010c).

Lemaire y Agnusdei (2000) establecen que las especies forrajeras, sobre todo gramíneas, optimizan el IAF modificando las variables que lo componen (citadas previamente) dependiendo la altura de corte. De esta manera, al dejarse una altura elevada la cantidad de tallos o macollos se reduce considerablemente, y por el contrario al dejarse un tapiz más bajo la cantidad de tallos aumenta de igual manera. En una publicación reciente, Gastal y Lemaire (2015) subrayan la negativa correlación existente entre densidad de tallos por unidad de área y área/hoja, siendo este mecanismo compensatorio definido como “SDC” (del inglés, “size-density compensation” - “compensación por tamaño – densidad” en español).

Según Lemaire y Agnusdei (2000), las gramíneas tienen una extendida adaptación, en gran parte gracias a la extensa diversidad de procesos fisiológicos y de crecimiento. Conocer las características del rebrote de las especies, principalmente las de ciclo perenne, es esencial para un manejo eficiente y el mejoramiento genético.

Según Carámbula (2010c), la heterogeneidad morfogenética de las plantas indicará que las mismas difieren en el tiempo necesario para alcanzar la máxima capacidad de acumulación de tejido foliar. En consecuencia, la frecuencia de defoliación que optimiza la cantidad de tejido que se pueda cosechar debe considerar primero a antedicha capacidad.

Como apunta Carámbula (2010c), en las gramíneas las hojas tienen diferente eficiencia fotosintética, siendo nuevas más eficientes que las hojas viejas. Este hecho, sumado a la posición que adoptan las mismas dentro del canopeo (las nuevas ocupan lugares más altos, recibiendo más cantidad de radiación) tienen grandes implicancias en la dinámica de las pasturas según el manejo. A sabiendas de que, por otro lado, las hojas que se forman recibiendo una mayor cantidad de luz son más eficientes aún que las que son desarrolladas recibiendo menor intensidad lumínica, el autor plantea la controversia de si apostar a una pastura de hojas formándose bajo luz difusa en un tapiz alto o a una pastura con un área foliar más eficiente por tener hojas formadas a plena luz en un canopeo más bajo.

De igual manera, en las gramíneas de hábito erecto, la luz penetra más alcanzando estratos inferiores del canopeo debido al arreglo en el que se disponen las hojas (Lemaire y Agnusdei, 2000) y/o la falta de continuidad de las mismas, las que al mismo tiempo se insertan en distintos ángulos y direcciones (Carámbula, 2010c).

#### 2.4.4 Efecto de la defoliación sobre la morfogénesis

Son diversos los trabajos en los cuales se señala el efecto sobre los caracteres morfogenéticos de las pasturas derivados de la defoliación de las plantas. En este sentido, Colabelli et al. (1998) establecen que el manejo que se le realice a una pastura respecto de la defoliación debe considerar implícitamente las características morfogenéticas de las plantas, que varían dependiendo de las especies.

La defoliación modifica la dinámica del crecimiento de las pasturas haciendo reajustes metabólicos que priorizan la recuperación del área foliar y por ende la capacidad fotosintética; su intensidad y frecuencia afectan diversas variables íntimamente relacionadas con la calidad del forraje tales como la relación hoja/tallo, la tasa de crecimiento y la TEF. Asimismo, mediante la defoliación se remueven meristemos apicales afectando considerablemente las características estructurales del canopeo (Carámbula, 2010c).

La defoliación tiene implicancias sobre la composición de la luz que recibe el canopeo, teniendo estos cambios espectrales un efecto sobre la morfogénesis de los tallos (Gastal y Lemaire, 2015).

Como es bien sabido en el campo de la fisiología vegetal, las plantas absorben las fracciones de rojo (R) y gran parte de la azul (B) de la luz solar incidente y tienden a reflejar y a transmitir las fracciones de rojo lejano (FR), por

lo que, para las plantas, gradientes de estos espectros podrían considerarse igualmente como gradientes de la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Consecuentemente, en la cercanía de las plantas, la relación R/FR desciende, habiéndose propuesto esto como un indicador de competencia por luz dentro del canopeo. Esta señal desencadena cierta respuesta morfogenética al anticipar el sombreado y reducir su impacto sobre la fotosíntesis (Demotes-Mainhard et al., 2015). Colabelli et al. (1998) reportan una mayor asignación de recursos a la parte aérea, un alargamiento de los órganos ya existentes, una reducción del macollaje y una eventual reducción de la aparición de hojas en condiciones de baja luminosidad y baja relación R/FR.

Según Gastal y Lemaire (2015) la defoliación parecería afectar negativamente la TAF, afectarla poco o incluso hacer que aumente. Según estos autores, la relación R/FR y el espectro de B no afectan significativamente la TAF tanto para *Festuca arundinacea* como para *Lolium perenne*. Según Robson et al. (1988), las hojas producidas con baja irradiación tienden a ser más largas y finas que las producidas a mayor radiación. Silsbury, citado por Robson et al. (1988), añade que la TAF es mucho menos sensible a la radiación que la morfología misma de las hojas, al menos que se experimenten largos períodos de baja radiación incidente y se reduzca de esta manera la producción de hojas.

Como indican Chapman y Lemaire, citados por Insúa et al. (2013), el tamaño potencial de la lámina en gramíneas es un carácter determinado genéticamente, pero muy plástico morfológicamente. Los primeros autores señalan que el corte permite reducir el tamaño de la lámina formada posteriormente a través del largo del tubo de vainas, y en el mismo sentido, este largo del tubo de vainas está altamente correlacionado al largo de la zona de crecimiento de la hoja, carácter que influye en la TEF sin tener efecto en la duración de la elongación. Según Gastal y Lemaire (2015), la relación R/FR hace que aumente la tasa a la cual crece la última hoja junto al número de hojas por macollo. Mientras una pastura permanece sin cortar o cortada a grandes intervalos, el IAF aumenta y el desarrollo ontogénico del tallo, conjuntamente con el descenso tanto del espectro azul como de la relación R/FR, permite que las hojas nuevas tengan un largo mayor. En el mismo sentido, y coincidiendo con la información presentada anteriormente, la defoliación conlleva a un descenso del largo final de hojas que fueron cortadas por debajo de la lígula pero no parecería tener un muy depresivo efecto en el largo de las hojas cuando el corte es realizado por encima de este punto.

Respecto a la producción de tallos ó macollos, la defoliación también tiene sus implicancias. A medida que una pastura crece, es bien sabido, tanto el IAF como la densidad de tallos aumentan hasta cierto punto, mientras que la TAF hace lo contrario. En determinado momento, esta producción de tallos nuevos no

logra compensar la muerte de los más viejos (por sombreado generalmente), produciéndose una caída de la densidad de tallos (Gastal y Lemaire, 2015). Un IAF alto regula negativamente la producción de tallos ó macollos independientemente del efecto que pueda tener la TAF. Asimismo, estos autores señalan el efecto de la calidad de luz sobre el macollaje: el mismo se reduce cuando hay abundancia de FR (al desarrollarse una pastura) y cuando el IAF alcanza valores de entre 2 y 3 unidades. Se ha señalado la ausencia de efecto del azul (B) sobre esta variable (Gastal y Lemaire, 2015).

#### 2.4.5 Efecto de los factores ambientales sobre la morfogénesis

Tanto el crecimiento como el desarrollo de las plantas están bajo el control permanente de las condiciones ambientales. Más particularmente la temperatura, la luz y la disponibilidad de nutrientes y agua han sido reportados en numerosas publicaciones científicas como determinantes en la dinámica de los mencionados procesos fisiológicos de las comunidades vegetales, no siendo las pasturas la excepción (Colabelli et al., 1998).

##### 2.4.5.1 Efecto de la temperatura

La temperatura es quizá el factor abiótico de mayor influencia en la dinámica del crecimiento y desarrollo de las pasturas (Carámbula, 2010a). Nabinger (1996b) establece que las plantas producen sus hojas a un ritmo determinado genéticamente pero en función directa con la temperatura ambiente sobre el meristema apical, entre otros factores. En tal sentido, Colabelli et al. (1998) establecen que a mayor temperatura en el ambiente, la velocidad de los procesos morfogénicos en las pasturas es también mayor y de manera directamente proporcional.

Colabelli et al. (1998) recopilaron los valores de filocrono (en °C.día<sup>-1</sup>) reportados por diferentes autores para distintas especies forrajeras. En esta publicación, se ve claramente que esta variable se comporta de manera diferencial según las condiciones del experimento, el material genético, el nivel de fertilización nitrogenada, entre otros.

Anslow, citado por Colabelli et al. (1998) añade que el filocrono es una característica genotípica estable en líneas generales a las variaciones ambientales cuando es expresada en suma térmica. De igual manera, la TEF y la TAF aumentan proporcionalmente junto a la temperatura. De todas formas, como señalan Robson et al. (1988), la temperatura no parecería afectar la organización morfológica de los tallos ni las relaciones jerárquicas entre las hojas en crecimiento y sus sucesoras o predecesoras. Según estos autores, las

óptimas temperaturas para la mayoría de las variables determinantes del desarrollo foliar de pasturas templadas del norte se ubica en torno a 20-25°C, siendo las temperaturas nocturnas iguales o ligeramente menores a las diurnas. Carámbula (2010a) afirma que la temperatura óptima de crecimiento para las especies de tipo metabólico C<sub>3</sub> se ubica en el entorno de los 25°C.

El comienzo de la etapa reproductiva de una pastura puede modificar la respuesta morfofisiológica de las plantas al factor temperatura. Peacock, citado por Colabelli et al. (1998) observó que, a igual temperatura, la extensión foliar era mayor en las plantas inducidas reproductivamente que en las que se mantenían vegetativas, posiblemente por las mejores condiciones para el crecimiento aéreo durante dicha fase. Trabajos presentados por Parsons y Penning (1988) reportaron una considerable diferencia según el mes del año en el potencial de extensión foliar a igual temperatura (15°C). Dicha respuesta diferencial se daba sólo cuando las plantas se encontraban vegetativas, hallándose casi invariable la respuesta una vez que las plantas pasaban a la fase reproductiva.

Según Nabinger (1996a) en la mayoría de las gramíneas templadas la TEF responde de manera exponencial a la temperatura media diaria cuanto ésta se encuentra entre 0°C y 12°C, y de forma lineal por encima de éstos hasta alcanzar las temperaturas óptimas, ubicadas entre 20°C y 25°C. A causa de esta respuesta lineal, el tamaño de hojas (relación TEF/TAF) se agranda a medida que aumentan las temperaturas y, como se vio anteriormente, de manera más pronunciada cuando las plantas se encuentran en estado reproductivo respecto a las que se encuentran en vegetativo.

Al alargarse los días hay mayor radiación incidente, teniendo esto normalmente aparejado un aumento en las temperaturas. Cuando es así, las hojas aparecen más rápido y tienden una superficie individual mayor. Estos aspectos, dicen Colabelli et al. (1998), son cruciales para entender los flujos de crecimiento de las pasturas. Siendo el número de hojas por macollo un carácter constante dentro de las especies, aumentos en la temperatura traen tasas mayores de aparición de hojas y de senescencia de las mismas.

Davidson (1968) establecía, de acuerdo a los resultados de experimentos sobre diferentes tipos de pasturas sometidas a temperaturas que variaban entre los 5°C y los 35°C, que el peso de raíces por peso de hojas (relación R/S) era bajo cuando las temperaturas del suelo eran las adecuadas, y se hacía progresivamente mayor cuando las temperaturas eran tanto más altas o bajas respecto a la óptima. Esto significa que las especies tienden a aumentar su exploración radicular cuando las condiciones de temperatura no son las adecuadas.

Las plantas sometidas a temperaturas bajas (menores a 5°C) ven disminuida tanto el contenido de clorofila (Borawska-Jarmulowicz et al., 2010) como la actividad del fotosistema II (PSII) (Borawska-Jarmulowicz et al., 2014), lo que se traduce en un menor crecimiento a causa de interferencias en los mecanismos fisiológicos de la fotosíntesis. Estos autores trabajaron con pasturas de *D. glomerata* y *L. perenne* y encontraron a su vez que había una alta correlación entre el nivel de actividad del PSII y la sobrevivencia de los macollos una semana luego de ser sometidos al estrés térmico. Harrison et al., citados por Borawska-Jarmulowicz et al. (2014) añaden la existencia de un marcado descenso en la eficiencia fotosintética de plantas de *Lolium perenne* junto a la muerte de meristemas apicales cuando las plantas se exponen a temperaturas menores a -5°C.

La relación entre la suma térmica y el número de hojas.macollo<sup>-1</sup> en gramíneas muestra una regresión lineal positiva y altamente significativa, es decir, a mayor suma térmica acumulada cada macollo tiene más hojas, y por consiguiente hay una mayor acumulación de forraje en una superficie determinada (Nabinger, 1996b).

A su vez, la regresión que modeliza esta relación entre acumulación de °C.día<sup>-1</sup> indica que el filocrón es constante (coeficiente “b” en la ecuación de la recta), lo cual coincide con los datos de Colabelli et al. (1998) y de Lemaire (2015). De todas maneras, Nabinger (1996b) afirma que hay varios factores interactuando en el modelo, como por ejemplo la densidad de plantas que incide en el número de prófilos diferenciados en un macollo durante los primeros estadios de crecimiento, reduciendo la absorción de radiación solar respecto a lo que puede absorberse potencialmente. De igual manera, otros factores que inciden en la producción, como las bajas temperaturas o los déficits hídricos del suelo, pueden empeorar la respuesta.

Villareal González et al. (2014) señalan que la ocurrencia de heladas (temperaturas alrededor de 0°C) son determinantes de la muerte de hojas, produciéndose de esta manera una pérdida en la materia seca cosechable a partir de los 5 cm de altura. Asimismo, determinaron que es en otoño cuando se acumula mayor material muerto o senescente en praderas de *Dactylis glomerata*, y que la contribución del mismo dentro del forraje total era mayor cuando mayor era el intervalo entre pastoreos, o en su defecto la edad del rebrote era mayor.

#### 2.4.5.2 Efecto del contenido hídrico del suelo

Es bien sabido el efecto que tiene el déficit hídrico en las especies vegetales. Hsiao y Acevedo, Turner y Begg, Jones, Nabinger, Santiñaque, Barker

y Caradus, citados por Carámbula (2010c) establecen en líneas generales los efectos que tiene el estrés hídrico en las pasturas:

- Reducción en la expansión de hojas
- Reducción en el macollaje
- Incrementos en la muerte de hojas y macollos
- Aumento en la relación raíz/tallo
- Aumento de la exploración radicular
- Disminución de la FBN
- Disminución del aporte de nutrientes
- Disminución en el tamaño de las células

Las plantas, ante deficiencias de agua en el suelo, suelen responder con cambios morfológicos y fisiológicos con el objetivo de reducir la pérdida de agua y mejorar su consumo (Passioura, citado por Colabelli et al., 1998).

Durand et al., citados por Nabinger (1996a) reportaron un marcado efecto del déficit hídrico, así como también de N, sobre la demanda por fotoasimilados que tienen las hojas, es decir, un efecto directo sobre la morfogénesis. En general, la carencia de agua reduce significativamente la expansión del área foliar de las pasturas. La elongación celular también se ve afectada negativamente, así como también se ha reportado una menor tasa de macollaje y una menor cantidad de hojas vivas por tallo (Colabelli et al., 1998). Asimismo, la tasa de senescencia foliar y de tallos se ha visto incrementada (Turner y Begg, citados por Colabelli et al., 1998).

Gastal y Durand (2000) establecen que la falta de agua tiene implicancias diferenciales según las especies que componen las pasturas, habiéndose constatado que ciertas especies pueden cambiar drásticamente la arquitectura del canopy ante un déficit hídrico. La festuca, por ejemplo, enrolla sus hojas cuando el aporte de agua escasea, afectando negativamente la interceptación de la radiación. De igual manera, cuando el IAF es menor a 3-4 unidades (caso común en condiciones de deficiencias hídricas), reducciones en la asimilación del C debido al enrollamiento de las hojas pueden ocurrir incluso antes que cualquier efecto adverso del déficit hídrico sobre la capacidad fotosintética de las hojas.

Li y Peng (2012) anuncian al estrés hídrico como el principal limitante de origen abiótico para alcanzar el potencial productivo de las pasturas de trébol blanco. Estos autores señalan a la inhibición fotosintética como el principal efecto negativo del bajo aporte de agua por parte del suelo. Las causas de esta baja capacidad fotosintética, además de las anteriormente nombradas, pueden estar relacionadas a una baja conductancia estomática, un descenso en la eficiencia de carboxilación o impedimentos asociados a la inhibición de las reacciones

fotoquímicas, induciendo una baja asimilación neta de CO<sub>2</sub> y causando acumulaciones de anhídrido carbónico en las paredes celulares. En sus experimentos (2012), en los que trabajaron sobre macetas con pasturas puras de trébol blanco de 6 meses de vida, Li y Peng (2012) observaron una reducción en la fotosíntesis neta ( $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de 10 (en plantas sin estrés hídrico) a 0,7 (en plantas estresadas durante 12 días). Asimismo la eficiencia en el uso de agua se reduce de manera significativa, así como también aumenta significativamente la concentración de anhídrido carbónico intercelular durante el mismo período sin aporte de agua.

Al analizarse las condiciones hídricas de la pastura durante el período experimental e incluso antes, es trascendental considerar las características de las especies que componen la mezcla, fundamentalmente el ciclo productivo y los hábitos de crecimiento tanto de parte aérea como sistema radicular.

En este sentido, se ha recopilado información internacional de diversos autores para cada una de las especies presentes en las mezclas, información que se resume en el siguiente cuadro.

Tabla 1. Características de los sistemas radiculares de las especies contenidas en los tratamientos.

<b>Especie</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Edad de pastura</b>	<b>Exploración rad.</b>	<b>Autor(es)</b>
<b><i>M. sativa</i></b>	Vermiculita	2 <sup>do.</sup> año	+ 100 cm prof. total • 0-15cm =60-70%*	Barnes y Sheaffer (1995), Fan et al. (2015).
<b><i>F. arundinacea</i></b>	Arcilloso	3 <sup>er.</sup> año	90cm prof. total • 0-30cm = 84,2%* • 75-90cm = 2,85%	Cougnon et al. (2013).
<b><i>D. glomerata</i></b>	Arenoso	3 <sup>er.</sup> año	32 cm prof. total (medida) • 0-8cm = 75%*	Deru et al. (2012).
<b><i>T. repens</i></b>	Arena	1 <sup>er.</sup> -2 <sup>do.</sup> año	60cm prof. total • 0-20cm = 80%*	Nichols et al. (2007).
<b><i>L. corniculatus</i></b>	Arenoso	1 <sup>er.</sup> año	40 cm prof. total (medida) • 0-10cm = 46%* • 10-20 cm = 28%* • 20-30cm = 19%*	Barnes y Sheaffer (1995), Boldt-Burisch et al. (2015).

\*: % de peso del total de raíces en la sección de suelo.

La recopilación de los datos presentados en el anterior cuadro es evidencia de la diferente capacidad de las especies para extraer agua de los suelos. Desde un punto de vista más bien global, se puede asumir que la festuca, la alfalfa y el lotus son las más resistentes a las sequías dentro de las especies contenidas en los diferentes tratamientos, siendo el trébol blanco y en menor medida el dactylis quienes suelen desarrollar sistemas radiculares menos

profundos y que por consiguiente debieran ser los primeros en ver su producción disminuida ante un estrés hídrico.

En experimentos realizados en 3 localidades de Suiza e Irlanda y utilizando cuatro especies de diferentes características respecto a sus sistemas radiculares, Hofer et al. (2014) simularon un período de nulo aporte de agua durante 10 semanas en el período estival, encontrando grandes diferencias respecto al descenso en el rendimiento de forraje según la especie.

Estos autores constataron que las especies de sistemas radiculares menos profundos (*Lolium perenne* y *Trifolium repens*) reducen su producción en un 62% en promedio frente a especies de mayor profundidad radicular (*Cichorium intybus* y *Trifolium pratense*), cuyo porcentaje de descenso en la producción fue del 46% (todos los resultados respecto a un control en cada ubicación recibiendo únicamente el aporte de las lluvias). Asimismo, en las localidades en donde el stress hídrico fue comparativamente menor, las especies que fijan nitrógeno son menos afectadas dada su independencia al aporte de N del suelo, y por tanto no afectándose su status nutricional al haber menor contenido de agua en los suelos. Las especies que no pueden fijar el N atmosférico (como las gramíneas) sí se ven afectadas en mayor medida ante un déficit hídrico.

Nabinger (1996b), analizando la producción y distribución de la materia seca en pasturas de *Lotus corniculatus* según disponibilidad hídrica en suelo (respecto al % de la CAAD), establece que hay una reducción del 69% de la MS de la parte aérea y un 65% en la MS total (aérea + raíces) con una disponibilidad del 50% de la capacidad de campo. Tanto parte aérea como raíces, anuncia el autor, ven su crecimiento afectado ante la falta de humedad del suelo, pero este porcentaje de disminución en la materia seca de las raíces es sensiblemente menor (50%) comparado al análogo de la parte aérea.

Más particularmente, Nabinger (1996b) encontró que el área foliar total de la planta descendía de 31,73 cm<sup>2</sup> a 7,72 cm<sup>2</sup> (76% menor), viéndose reducido tanto el número de hojas/planta así como también las ramificaciones/planta y el área foliar de cada hoja.

Por lo expuesto anteriormente, se puede concluir que las alteraciones del suministro de agua por parte del suelo pueden impactar negativamente en el desarrollo del IAF y de las pasturas consiguientemente. Según Nabinger (1996a), la reducción en la demanda de carbono por parte de las hojas ante un déficit de agua está acompañada a su vez una reducción en la oferta. Al haber una menor cantidad de tallos, menos hojas por macollo y a su vez hojas más pequeñas, hay una evidente reducción de la capacidad de intercepción de luz, afectando el crecimiento posterior de las especies forrajeras (Colabelli et al.,

1998). Sin embargo, retomando a Nabinger (1996a), la reducción en la oferta es generalmente menor a la reducción de la demanda, dejando una proporción mayor de asimilados disponibles tanto para el crecimiento radicular como para acumular dentro de las reservas.

En respuesta a las sequías, y contrariamente a lo acontecido con la parte aérea, las pasturas suelen aumentar la exploración radicular. Diversos autores (Langer 1981, Colabelli et al. 1998, Saab et al., citados por Gilgen y Buchmann 2009, Carámbula 2010b) reportan un aumento en la cantidad de raíces en respuesta a condiciones de deficiencia hídrica. Gales, citado por Colabelli et al. (1998) añade que hay una mayor exploración en profundidad respecto a en superficie para el caso de *Lolium perenne*, permitiéndole a estos autores inferir que las reducciones en la tasa de crecimiento de la parte aérea puede deberse tanto a una menor intercepción de luz como también a una menor extracción de nutrientes en el horizonte más fértil de los suelos, que es el primero en secarse cuando hay carencia de precipitaciones. Gilgen y Buchmann (2009) señalan al aumento en la producción de ácido absísico (ABA) como el responsable de aumentar la exploración radicular a expensas de inhibir el crecimiento de la parte aérea cuando las plantas detectan que el suelo se está secando.

Hablando en términos de producción, existe abundante evidencia experimental que permite estimar pérdidas en el rendimiento forrajero ante aportes insuficientes de agua. Steward, citado por Julander (1945), estimó un 20% de pérdida de producción de forraje en pasturas sin pastoreos/cortes, y de un 60% en pasturas pastoreadas/cortadas. Turner et al. (2012) estimaron reducciones en rendimiento del 66 y 32% en festuca; 52 y 22% en dactylis, en praderas bajo un aporte hídrico del 33 y 66% (respecto al aporte total de agua para el testigo considerado como suficiente para expresar el máximo potencial).

#### 2.4.6. Intercepción de radiación y producción de forraje

En anteriores apartados se ha descrito la dinámica de las especies forrajeras para interceptar la radiación incidente. Interesa saber cuál es la relación entre la radiación interceptada y la producción de forraje.

Gastal y Durand (2000), trabajando con praderas de festuca pura, reportan un aumento sostenido de la fotosíntesis neta a medida que la intensidad de la PAR aumenta, alcanzando un valor límite de  $0,8 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  cuando la intensidad es de  $800 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  aproximadamente

Cruz et al. (1991) señalan que, cuando se analiza la relación entre la producción de materia seca y la radiación fotosintéticamente activa ("PAR<sub>a</sub>" – del

inglés “Photosynthetic Active Radiation”) interceptada por el canopeo, la misma da como resultado una recta que es común a todas las especies de un mismo tipo metabólico ( $C_3$  o  $C_4$ ) siempre y cuando no existan limitaciones al crecimiento, ya sea agua, nutrientes y temperaturas sub-óptimas entre otros.

Dicha recta es positiva, y su pendiente es mayor en el caso de una mezcla de festuca y trébol blanco respecto a la festuca pura, explicándose por una mejor eficiencia de conversión en el caso de las mezclas. De todas formas, la diferencia entre las pendientes no resultaron ser significativas al 95% de confianza (Cruz et al., 1991).

En caso de existir limitaciones, se reduciría la cantidad de energía absorbida al momento del muestreo (menor desarrollo del área foliar), habría una disminución de la pendiente de la recta (menor eficiencia de conversión del  $PAR_a$ ) o ambas simultáneamente. Cheikh M'hamed et al. (2014) reportan similares resultados trabajando con cultivos de trigo, midiendo la intercepción de energía solar y su respuesta en rendimiento de  $MS.ha^{-1}$  a la fertilización nitrogenada, tanto en condiciones de agua en suelo no limitante como con déficit hídrico.

De Castro Santos et al. (2016) encontraron resultados similares trabajando con praderas de *Brachiaria brizantha*, obteniendo una línea de regresión ajustada ( $p=0,05$ ) con un  $R^2$  de 0,7 y un coeficiente de regresión cercano a  $2,6 kg.ha^{-1}$  de MS por  $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ .

A determinado nivel de IAF, la eficiencia de absorción de radiación depende de las propiedades del canopeo, particularmente la geometría. Ésta puede variar con las condiciones ambientales, sobre todo con el aporte de agua (Gastal y Durand, 2000). Por su parte, diversos autores han reportado el enrollamiento de las hojas en las especies forrajeras cuando el aporte de agua por parte del suelo escasea (Nabinger 1996b, Gastal y Durand 2000, Carámbula 2010b). En el caso de la festuca, Tournebize, citado por Gastal y Durand (2000) reporta hasta un 50% de reducción del área foliar y de la intercepción de radiación en caso de estrés hídrico.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES GENERALES

##### 3.1.1 Lugar y período experimental

El trabajo experimental fue realizado en la Estación Experimental “Mario A. Cassinoni” – EEMAC, perteneciente a la Facultad de Agronomía (Universidad de la República – Paysandú, Uruguay). Dicha estación se ubica sobre la ruta nacional No. 3 a la altura del kilómetro 363. Más precisamente, los ensayos se ubicaron en el potrero No. 34, sobre la latitud 32°22'33.37" S y longitud 58°03'40.44" O.

El período experimental abarcó desde el 27/5/2015, fecha en la que se demarcaron las parcelas y las repeticiones en el potrero estudiado, hasta el 14/07/2015, fecha en la que se cortaron por última vez las parcelas.

##### 3.1.2 Descripción del sitio experimental

Según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976), el lugar corresponde a la formación geológica Fray Bentos, en la cual dominan los suelos de tipo brunosoles éutricos típicos (háplicos), superficiales a moderadamente profundos, de texturas limo-arcillosa. Asociados a éstos, se encuentran suelos de tipo brunosoles éutricos lúvicos de textura limosa y solonetz solidizados melánicos, de textura franca.

##### 3.1.3 Información meteorológica

Según Berreta (2001) las temperaturas medias del Uruguay oscilan entre 16°C para el sudeste y 19°C para el norte. Durante enero (el mes más cálido del año) las temperaturas están comprendidas entre 22°C y 27°C, mientras que para julio (el mes más frío), éstas varían entre 11°C y 14°C respectivamente para cada región mencionada.

Uruguay presenta, según Durán (1985) un clima templado a sub tropical con un promedio de precipitaciones cercano a los 1200 mm anuales, distribuidos según un régimen isohigro, es decir, las precipitaciones se distribuyen de manera más o menos uniforme a lo largo de todo el año no habiendo estacionalidades marcadas.

#### 3.1.4 Antecedentes del área experimental

Las praderas sobre las cuales se realizaron los experimentos fueron sembradas el 23 de mayo de 2014, correspondiendo el presente estudio al segundo año de vida.

La siembra se realizó sobre rastrojo de praderas viejas a las que se les aplicó 4 l.ha<sup>-1</sup> de glifosato en enero de 2014 y 3 l.ha<sup>-1</sup> a principios de abril.

Las praderas sembradas se compusieron de las siguientes densidades: 10 kg.ha<sup>-1</sup> de *Dactylis glomerata* cv. INIA Perseo y 12 kg.ha<sup>-1</sup> de *Medicago sativa* cv. INIA Chaná para el caso de dicha pradera; 15 kg.ha<sup>-1</sup> de semilla de *Festuca arundinacea* cv. INIA Tacuabé, 8 kg.ha<sup>-1</sup> de *Lotus corniculatus* cv. INIA San Gabriel, y 2 kg.ha<sup>-1</sup> de *Trifolium repens* cv. INIA Zapicán.

Se fertilizó con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante binario 7-40-0 tanto en la siembra como en abril de 2015, así como también se aplicaron 100 kg.ha<sup>-1</sup> y 70 kg.ha<sup>-1</sup> de urea (46% de N) en agosto de 2015 y mayo de 2015 respectivamente.

Respecto al manejo de malezas, a mediados de agosto de 2014 se aplicó Preside (flumetsulam), con el objetivo de controlar a las especies de hoja ancha, a razón de 400 cc.ha<sup>-1</sup>.

#### 3.1.5 Tratamientos

El experimento cuenta con dos tratamientos, correspondiendo éstos a las dos mezclas forrajeras analizadas.

- *Medicago sativa* + *Dactylis glomerata* (AD)
- *Festuca arundinacea* + *Trifolium repens* + *Lotus corniculatus* (FBL)

#### 3.1.6 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar. El potrero No. 34 de la Estación Experimental "Mario A. Cassinoni", que totaliza un área de 5,12 ha, fue dividido en 4 bloques y cada uno de estos contiene 4 repeticiones, por lo que se divide en un total de 16 parcelas.

Para la elaboración del presente trabajo se analizaron 8 de las 16 repeticiones totales, correspondiendo 4 de ellas a cada una de los tratamientos.



Figura 1. Disposición de los bloques y tratamientos del experimento con las diferentes repeticiones y respectiva nomenclatura.

La siguiente figura muestra el arreglo de las parcelas y la ubicación de las franjas en las que se midieron las diferentes variables.

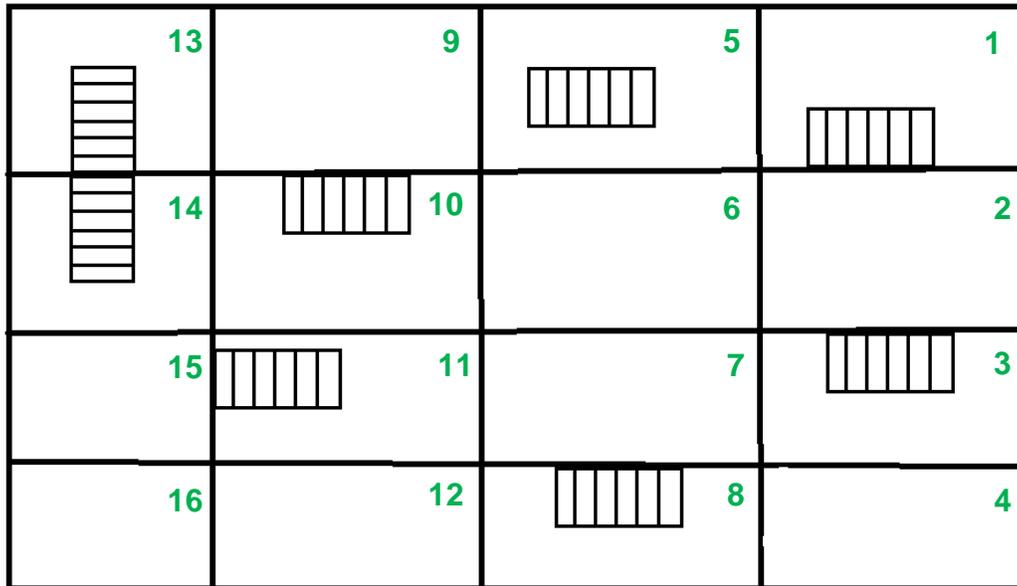


Figura 2. Croquis de las parcelas.

## 3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

### 3.2.1 Forraje disponible (kg.ha<sup>-1</sup>)

El forraje disponible es definido como la cantidad de materia seca (MS) de forraje presente en la parcela por encima de los 5 cm de altura de corte al momento de efectuarlos. Esta medición se realizaba una vez por semana en todas las parcelas del experimento.

En cada una de las 8 parcelas se delimitó un cuadro de 6x2m dividido en 6 franjas iguales de 2m x1m. Cada una de estas franjas corresponde a una semana de crecimiento. Una semana antes del inicio de las mediciones (el 27/5/14), se hace un primer corte a 5cm de altura para emparejarlas.

Las mediciones comenzaron siete días después de este primer corte y durante todo el período experimental. Cada semana se cortó una superficie de 0,5x2m =1m<sup>2</sup> (siendo 0,5 m el ancho operativo de la máquina) dividiéndose la franja semanal en 2 secciones idénticas. Se procedió a cortar cada una de estas franjas comenzando por un lado elegido al azar y cortando la franja inmediatamente contigua semana a semana, por lo que la ubicación de los cortes semanales no se hizo de manera aleatoria.

El forraje cortado de esta manera se embolsó, se pesó en fresco y luego en seco (previo secado con estufa a 105°C durante 48 horas). Con el peso tanto en fresco como en seco de las franjas, se efectuó el cálculo de la disponibilidad de forraje en kg.ha<sup>-1</sup> de MS.

### 3.2.2 Altura de forraje

La altura del forraje se midió usando una regla de madera de 1 m de alto que se colocaba en una zona de la parcela considerada como representativa de la altura total, realizándose una medida por franja. Se tomó como criterio la altura medida de la hoja que toca la regla.

### 3.2.3 Producción de forraje

La producción de forraje (en kg.ha<sup>-1</sup>de MS) se determinó a través de los cortes realizados en cada una de las repeticiones. Esta variable corresponde a la cantidad de forraje cortada semana a semana por encima de los 5 cm de altura, es decir por encima de la altura de corte de la máquina.

#### 3.2.4 Producción de MS.ha<sup>-1</sup> acumulada total

Esta determinación se realiza sumando los pesos en base seca (BS) de todos los cortes semanales realizados para cada repetición, obteniéndose una idea del nivel de producción de cada tratamiento y de cada repetición dentro del mismo. Se suma el forraje cortado cada semana en una franja diferente por vez, lo cual no es lo mismo que la acumulación real ya que esta sería el forraje acumulado en una misma franja desde el primer día hasta el final, sin mediar cortes.

#### 3.2.5 Composición botánica o gravimétrica de la pastura

Se procedió a determinar la composición botánica de la pastura en tres oportunidades separadas temporalmente durante todo el período experimental.

En la franja de 2m x0,5m en donde no se pasaba la máquina de césped se tomaron al ras del suelo dos cuadros de 0,2m x 0,5m, contenido que luego se embolsó, se pesó en fresco y posteriormente se separó según componentes. Los cuadros se posicionaron dentro de la franja en zonas consideradas como representativas del estado actual de la pastura.

Los componentes fueron los siguientes:

- Lámina y vaina (gramínea)
- Hoja y tallo (leguminosas)
- Malezas
- restos secos
- Forrajeras asociadas (espontáneas – no sembradas con valor forrajero).

Una vez separados, cada componente fue pesado en fresco, no habiéndose registrado su peso en seco.

#### 3.2.6 Intercepción de luz

La intercepción de luz se estimó con la ayuda de un ceptómetro. Este aparato cuenta con una unidad fotosensible que, midiendo intensidad de luz y la diferencia entre las mismas por encima y por debajo del canopeo, permite estimar el IAF y la intercepción de luz (PAR<sub>a</sub>), entre otras variables.

Estas medidas se efectuaron en todas las repeticiones de todas las parcelas una vez por semana, siempre a la misma hora (entre las 12:00 y las 13:00) y disponiendo el aparato siempre en la misma orientación con el objetivo

de obtener lecturas más consistentes. Las mediciones comenzaron durante el día 25 de junio de 2015, y continuaron hasta el 14 de julio, la última fecha en la que se recabaron datos de todas las variables medidas.

La variable X (“leaf distribution” – distribución del canopeo) es diferente en cada pastura. Para cada medición, se estimó visualmente qué tipo de especie dominaba en la parcela y a esa medición se le asignó un valor de X de 3,05 en caso de dominar leguminosas, y de 1,5 cuando dominaban gramíneas.

Para medir el IAF en base a los pesos de lámina y hoja obtenidos, se realizó hacia el final del período experimental un cálculo de la superficie específica de hoja/lámina de cada una de las especies contenidas en las mezclas. Para ello, se tomaron varias muestras de los dos tratamientos realizando dos repeticiones por cada especie. Dentro de cada repetición, se separaron las lámina y/o hojas y se escanearon para obtener el área de cada fracción en fresco. Luego, las muestras se secaron a estufa durante 48 horas y se registró su peso en seco. Posteriormente, se obtuvieron los valores de  $\text{cm}^2/\text{g}$  de MS de hoja y de lámina (leguminosa y gramínea respectivamente). Promediando los valores de cada una de estas especies, se multiplica el valor de peso fresco de tejido fotosintéticamente activo de cada una de las fracciones gravimétricas por el factor previamente calculado obteniéndose un estimativo del área ( $\text{cm}^2$  de hoja en un área de  $20 \times 50 \text{cm} = 1000 \text{cm}^2$ ) y por consiguiente una estimación del IAF a cada momento de los muestreos.

### 3.2.7 Balance hídrico

Se realizó un balance hídrico decádico en base a los registros meteorológicos brindados por la estación meteorológica de la EEMAC. El procedimiento por el cual se realiza dicho balance está basado en investigaciones realizadas por técnicos de FAO (Frère y Popov, 1980) y tiene como ventaja de ser fácilmente aplicable a cultivos de zonas templadas.

Fue necesario comenzar el balance desde comienzos del año 2015 para ver en qué condiciones hídricas se encontraba el suelo desde los meses anteriores al período experimental y por tanto como afectó al desarrollo de la pastura.

La capacidad de almacenaje de agua disponible (“CAAD”) en el suelo fue estimada en 80mm, considerando información generada por diversos autores. Si bien los trabajos de Fernández et al. (1979), Álvarez et al. (1990) señalan una capacidad de almacenaje cercana a los 110 mm en suelos de la unidad San Manuel, la tesis de Arce et al. (2013), que consistió en medir la respuesta al riego

en pasturas sobre el mismo suelo en donde se realizó el presente trabajo, estimó una capacidad de almacenaje de 77mm.

Cabe recordar lo mencionado por Kramer (1974), que define al agua disponible para las plantas como el contenido de agua en el suelo comprendido entre la capacidad de campo (CC) o la máxima capacidad de retención hídrica medida a las 48hs después de una lluvia o riego, y el punto de marchitez permanente (PMP), siendo éste el contenido de agua en el suelo retenido por el mismo a una presión de 15 bar, la cual constituye la máxima tensión hasta la cual una planta es capaz de extraer agua.

El  $K_c$  o “coeficiente del cultivo” es un valor utilizado en los balances hídricos de este tipo para estimar la evapotranspiración potencial de un cultivo determinado, y se calcula de la siguiente manera (Facultad de Agronomía):

$K_c = ETC/ETP$ ; siendo:

- ETC= evapotranspiración máxima del cultivo
- ETP= total de evapotranspiración potencial decádica

Según Allen et al. (2006), el  $K_c$  alcanza un valor de 1 cuando el suelo se encuentra totalmente cubierto por la pastura. Considerando una pradera de alfalfa en buen estado y homogénea, este punto se logra cuando el cultivo llega a tener 30 cm de altura. A su vez, se define la completa cobertura cuando el IAF alcanza un valor de 3.

Para elaborar el balance hídrico se consideró un  $K_c$  del cultivo igual a 1 con el motivo de simplificar los cálculos; de todas formas sería conveniente mencionar que este coeficiente en la práctica hubiese sido un poco menor dadas las condiciones en las que se encontraban las praderas analizadas así como también el contenido hídrico del suelo. Según lo reportado por Allen et al. (2006) tanto una incompleta cobertura del suelo como un aporte de agua insuficiente de parte del mismo (para mantener la transpiración del cultivo al máximo), podrían arrojar valores de  $K_c$  inferiores a 1.

### 3.2.8 Suma térmica

La suma térmica (“ST”) es utilizada a nivel de la fisiología vegetal para determinar diversas variables morfogénicas como la TAF, TEF, entre otras (Colabelli et al., 1998). La misma se calculó de la siguiente manera:

$ST (\text{°C}\cdot\text{dia}^{-1}) = [ (t^{\circ}\text{máx} + t^{\circ}\text{mín}) / 2 ] - t^{\circ}\text{base}$ , considerando la temperatura base para pasturas templadas igual a 5°C, como reportan Gastal y Lemaire (2015).

Interesa saber la cantidad de °C.dia<sup>-1</sup> que se han acumulado durante el período experimental, y la respuesta de los tratamientos en términos de producción.

### 3.3 HIPÓTESIS

#### 3.3.1 Hipótesis biológica

- Existen diferencias en la producción de forraje entre las mezclas evaluadas
- Existen diferencias en la composición botánica o gravimétrica de las mezclas evaluadas
- Existen diferencias en la intercepción de luz entre las mezclas evaluadas

#### 3.3.2 Hipótesis estadística

Ho:  $t_1=t_2=t_3=t_4$

Ha: existe algún tratamiento distinto de 0.

### 3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis de varianza entre tratamientos mediante el paquete estadístico Excel para medir la intercepción de radiación y su relación con la producción/acumulación de MS.ha<sup>-1</sup>, y mediante el paquete Infostat para el resto de las variables analizadas. En estas últimas, en caso de existir diferencias entre los mismos se estudiaron las medias a través del análisis de LSD de Fisher (mínima diferencia significativa) con una probabilidad del 10% ( $\alpha=0,1$ ) debido a la heterogeneidad de suelos existente en el potrero donde se ubicaron los ensayos. Al trabajar con la herramienta Excel se consideró un nivel de confianza del 95%.

#### 3.4.1 Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + \beta_k + F + F*M_i + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo,

Y : variable de interés

$\mu$  : efecto de la media general

$M_i$  : efecto de la i-esima mezcla  $i=1; 2$ .

$\beta_k$  : efecto del k-ésimo bloque ;  $k = 1; 2; 3; 4$

$\varepsilon_{ijk}$  : error experimental

F: fecha de corte

F\*M<sub>i</sub>: interacción fecha por mezcla

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 DATOS METEOROLÓGICOS

#### 4.1.1 Temperaturas y precipitaciones

En la siguiente figura se muestran las precipitaciones (barras) y temperaturas medias y mínimas de la serie 2002-2014 (gráficas), así como también las mismas variables pero del año 2015, en el cual se realizó el trabajo experimental. Los datos fueron proporcionados por la estación meteorológica de la EEMAC.

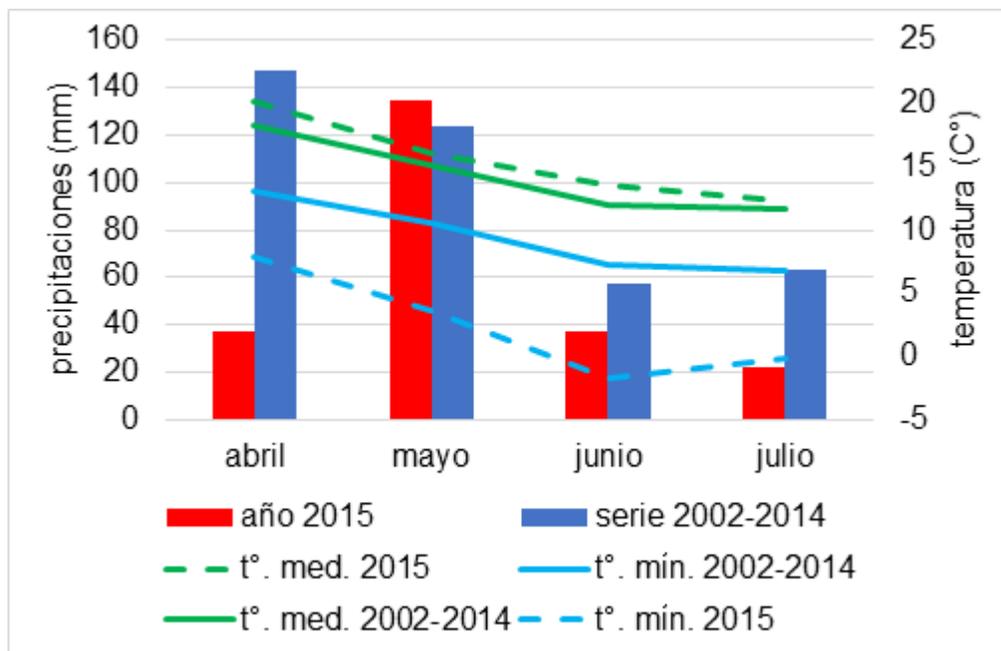


Figura 3. Precipitaciones y temperaturas durante el período experimental y la serie 2002 - 2014.

Las precipitaciones (salvo las del mes de mayo) fueron menores durante el período experimental (meses de junio y julio) y fundamentalmente durante el mes de abril, respecto a la serie histórica 2002-2014. Tomando la suma de las precipitaciones durante estos 4 meses como referencia, en el año 2015 llovieron en total unos 160 mm menos respecto al promedio de la serie.

Prácticamente la totalidad de precipitaciones de julio de 2015 (22mm) acontecieron al final del mes, momento que escapa al período experimental.

Por otro lado, se destaca la similitud entre tendencias mes a mes de las temperaturas medias en la serie y el año 2015. Se observa que las temperaturas durante el período de abril-julio 2015 fueron 1-2°C superiores al mismo período en el promedio de la serie de años.

No obstante, las temperaturas mínimas durante los mencionados meses de 2015 fueron muy inferiores a las mismas durante la serie, lo que permite caracterizar a este otoño en particular como muy frío. Cabe destacar que el promedio de las temperaturas mínimas en 2015 arrojó un valor de -1.7°C durante junio y -0.1°C durante julio.

En la siguiente figura se muestra la evolución diaria de las temperaturas máximas y mínimas durante el periodo experimental, así como también las precipitaciones y la cantidad de agua en suelo fácilmente disponible para las plantas, que como se mencionó corresponde al %50 de la capacidad de almacenaje total en el perfil.

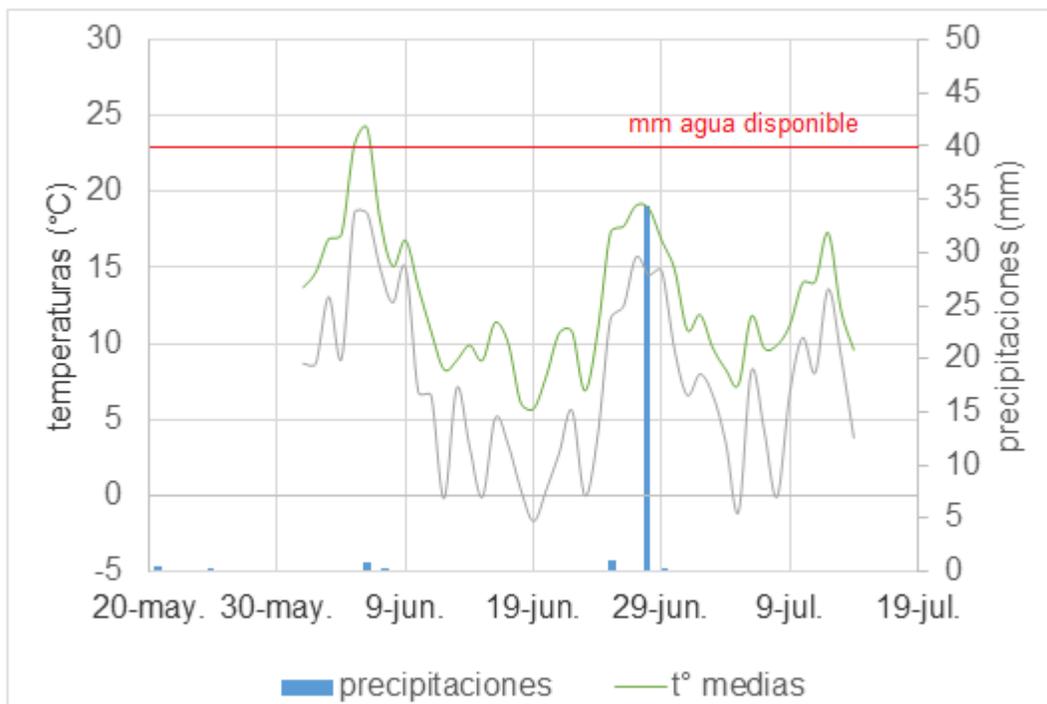


Figura 4. Temperaturas medias, mínimas y precipitaciones el 20 de mayo al 19 de julio inclusive.

Es destacable la generalizada caída de las temperaturas durante la primera parte del experimento, registrándose una temperatura media cercana a 25°C el 5/6 y una mínima de 5°C al 19/6, aumentando posteriormente para luego

volver a descender, dándose este hecho en el mismo momento en que suceden las únicas lluvias efectivas del período experimental. Ese día (29/6) las precipitaciones contabilizaron 34mm.

Cabe hacer énfasis en la ocurrencia de heladas. Como se observa en la anterior gráfica (las fechas en donde la curva de temperaturas mínimas corta el eje de las abscisas), éstas ocurrieron el 12, 15, 18, 19, y 20 de junio, y el 5 y 8 de julio.

#### 4.1.2 Balance hídrico

El valor del contenido de agua en el suelo (mm) estimado a través del balance hídrico se grafica de la siguiente manera. La porción de la curva en rojo corresponde al período experimental propiamente dicho. La línea horizontal (en verde) corresponde a los mm de agua fácilmente disponible en el perfil (40mm).

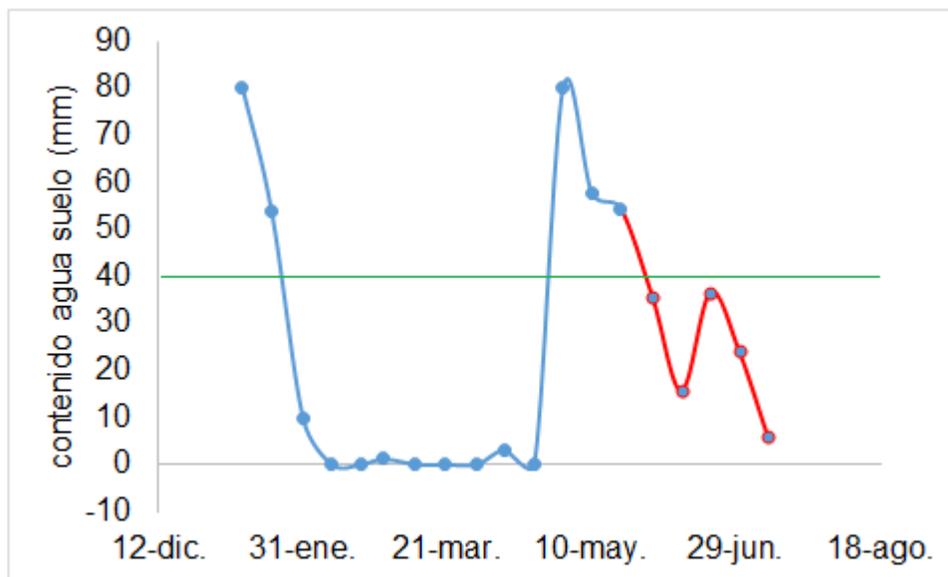


Figura 5. Contenido de agua en el suelo de diciembre 2014 a julio de 2015.

Asumiendo que las lluvias que superan la CAAD escurren y por tanto no se almacenan en el perfil, se observa una clara falta de agua prácticamente durante todo el período experimental (27 de mayo-14 de julio). Los 116 mm de lluvias acaecidas en los primeros 10 días de mayo permitieron que el suelo se llene de agua, pero desde ese momento hasta el final del período experimental el contenido hídrico desciende sin recuperación.

Durante los meses de febrero, marzo y gran parte de abril no se registraron precipitaciones, y el contenido de agua en suelo fue cercano a cero.

Es posible inferir que al menos en los meses previos al período experimental, las pasturas se hayan resentido de manera considerable comprometiendo la producción.

Considerando esto, el aporte hídrico afectó de manera marcada a la productividad de las pasturas, no sólo a la parte aérea y por ende del aparato fotosintético sobre el cual la producción de materia seca se apoya, sino como también al desarrollo radicular, generando una retroalimentación negativa: la falta de agua afecta a la exploración radicular haciendo más crítico aún el status hídrico de las pasturas.

El contenido de agua en suelo durante el período experimental ha oscilado entre los 54mm (67,5% de la CAAD) hasta los 5,8mm (7,25% de la CAAD), arrojando disponibilidades hídricas incluso menores que las utilizadas por Nabinger (1996b) para reportar descensos en la producción de forraje y de la capacidad de absorción de la energía solar.

El antecedente más inmediato del que se tiene registro sobre las pasturas que se estudian en el presente trabajo corresponde a Antonaccio et al. que data del período estivo-otoñal (enero-abril) del año 2015. En comunicación personal con estos autores, los mismos facilitaron un breve resumen sobre las características y el estado de las praderas durante su etapa de campo.

En el primer período de pastoreo, que abarcó desde 7/1 al 4/3, las pasturas tuvieron un muy buen desempeño gracias a un correcto aporte de agua a través de las precipitaciones estivales. Se alcanzaron unos 5400 y 4420 kg.ha<sup>-1</sup> de MS disponibles (mezcla FBL y AD respectivamente) durante este período, ingresando los animales cuando las praderas alcanzaron los 26cm de altura aproximadamente. Sin embargo, el déficit hídrico causado por la ausencia de precipitaciones comenzó a mermar la producción de forraje a partir del mes de febrero, lo que combinado a las altas cargas animales hizo aumentar la intensidad de pastoreo y por lo tanto se incrementaron particularmente las proporciones de restos secos y malezas dentro de las pasturas<sup>4</sup>.

Durante el segundo pastoreo, que abarcó desde el 5/3 al 9/4, la altura de entrada fue de 11cm, lo cual resulta ser menor a la altura recomendada por diversos autores (Formoso 2000, Zanoniani y Ducamp 2004, Carámbula 2010c). El aumento de los restos secos y del enmalezamiento, sumado a la falta de agua que resultaba cada vez más crítica, determinó que se retiraran los animales el 9/4, antes de lo esperado. Los autores determinaron una disponibilidad de forraje de 2660 y 2400 kg.ha<sup>-1</sup> de MS (FBL y AD respectivamente) durante este período,

---

<sup>4</sup> Antonaccio, M.; Mailhos, M.; Zerbino, J. 2016. Com. personal.

siendo, en palabras de los mismos, explicados mayoritariamente por los restos secos.

Se confirma, por consiguiente, la teoría sobre el detrimento de la productividad de las mezclas en el período inmediatamente anterior a la realización de este estudio, que tiene implicancias en la producción futura de las pasturas.

## 4.2 PRODUCCIÓN DE FORRAJE

### 4.2.1 Producción de MS del tratamiento festuca - trébol blanco - lotus

#### 4.2.1.1 Evolución de la producción de MS.ha<sup>-1</sup>.

Teniendo en consideración la curva teórica de acumulación de forraje de una pastura determinada, en un ambiente sin limitaciones en términos de radiación, disponibilidad hídrica del suelo y temperaturas, McMeekan, citado por Carámbula (2010c), establece que la curva que relaciona acumulación (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) 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 1996b, Carámbula 2010c).

No se observaron diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ) en el promedio de las acumulaciones de cada repetición. Es por tanto que se muestran, en la siguiente figura, la evolución del forraje acumulado (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) cada una de las cuatro repeticiones del tratamiento FBL (línea sólida) así como también el promedio (línea violeta). Figuran a su vez los registros día a día de las temperaturas medias y mínimas.

Los puntos de cada una de las curvas representan los pesos en base seca (BS) expresados en kg.ha<sup>-1</sup> de MS en las franjas cortadas cada semana dentro de cada una de las parcelas.

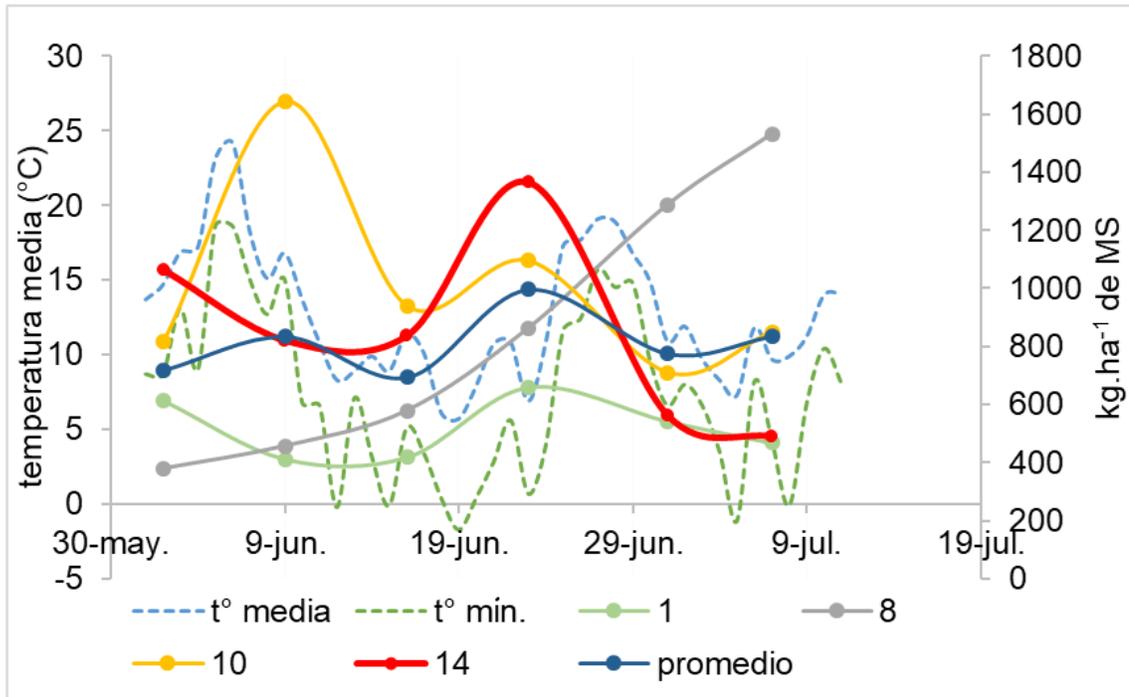


Figura 6. Producción de forraje ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MS) del tratamiento festuca – trébol blanco - lotus y temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ).

En una primera instancia, se observa que las distintas repeticiones no muestran un homogéneo comportamiento en su producción de forraje. En este sentido, destaca el diferente comportamiento de una de las repeticiones respecto al resto: la parcela 8 ha tenido en su acumulación de forraje una tendencia que se ajusta a la teórica de una mezcla forrajera de estas características (McMeekan, citado por Carámbula, 2010c). El forraje presente se ha acumulado a lo largo del ciclo, alcanzando un valor máximo cercano a los  $1600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MS mientras que el resto de las parcelas han tenido un comportamiento más errático fluctuando su acumulación.

El pico de altas temperaturas que se registraron durante los primeros días de junio fueron acompañados con altas producciones de MS en sólo una de las repeticiones (parcela 10), no observándose igual comportamiento en el resto de las mismas.

En la figura 7 se muestran las producciones de MS del tratamiento FBL junto con el contenido de agua en el suelo arrojado por el balance hídrico presentado anteriormente.

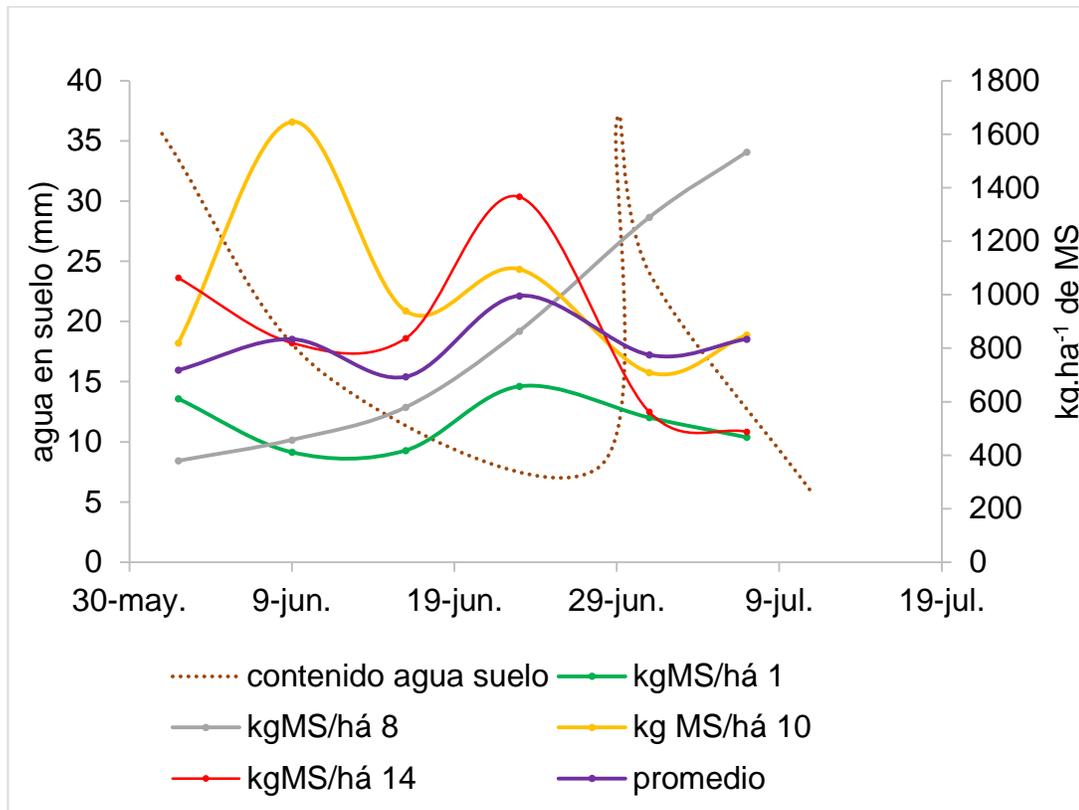


Figura 7. Producción de forraje ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MS) del tratamiento festuca – trébol blanco-lotus y contenido de agua en suelo (mm).

La variación en el crecimiento y la acumulación de materia seca podría estar explicada por las adversas condiciones climáticas durante el experimento. Como se ha reportado en la revisión bibliográfica y en anteriores apartados, las plantas expuestas a déficits hídricos importantes cesan su crecimiento e inclusive pueden perder biomasa, hecho fundamentado por una reducción en el aporte de nitrógeno junto a disminuciones en la oferta de carbohidratos para los distintos órganos de la planta. Esto produce una detención en la expansión foliar y una reducción en el IAF como se analizará con mayor detenimiento más adelante (Nabinger, 1996b). Asimismo, la exploración radicular puede verse afectada influyendo en la capacidad de extracción de agua y nutrientes (Nabinger 1996b, Colabelli et al. 1998). Estos hechos, sumados a las bajas temperaturas, pueden explicar el aumento en la tasa de senescencia (Nabinger 1996b, Villareal González et al. 2014) y por lo tanto las variaciones en biomasa que no muestran (excepto en la repetición 8) un comportamiento cercano a lo esperable al desarrollo esperado de una pastura.

Las siguientes figuras corresponden a fotos capturadas durante los muestreos sobre mediados del período experimental.



Figura 8. Estado de la parcela 10 (FBL) al 16/6.



Figura 9. Estado de la parcela 1 (FBL) al 26/6

En las fotos se puede observar el comprometido estado que tenía la pastura incluso luego de varias semanas de acumulación de forraje, demostrando los resultados obtenidos en cuanto al peso seco de los cortes en las diferentes mediciones.

En el período comprendido entre el 10 y el 21 de junio se dio el déficit más marcado. La acumulación observada en la parcela 8 puede explicarse en parte por su posición topográfica: la misma se encuentra en la zona baja del potrero, en donde la disponibilidad hídrica es sin lugar a dudas mayor a causa del escurrimiento proveniente de las zonas más altas. Referente al resto de las parcelas conteniendo la mezcla FBL, cabe destacar que todas se encuentran en estas últimas.

No se ve una respuesta en producción de MS en las mediciones posteriores al 1 de julio a la compensación del déficit hídrico provocado por las precipitaciones del 29/6 así como también al aumento relativo de las temperaturas en el período inmediatamente anterior (entre el 24/6 y el 4/7). Salvo la parcela 8 que tiene un comportamiento completamente diferente, las demás repeticiones han incluso crecido menos que en las anteriores semanas, sobre

todo la parcela 14. Hay que recordar que las temperaturas óptimas de crecimiento para especies C<sub>3</sub> se ubican en el entorno de los 25°C (Carámbula, 2010a).

En la figura 10 se muestra el peso seco del crecimiento semanal para cada repetición del tratamiento FBL a lo largo del período experimental, es decir, el forraje acumulado durante una semana, en cada una de las parcelas. A modo de ejemplo, las mediciones del 9/6 corresponden al peso seco del forraje de la franja cortada a 5cm por primera vez la semana anterior (2/6) y que se recorta 7 días después.

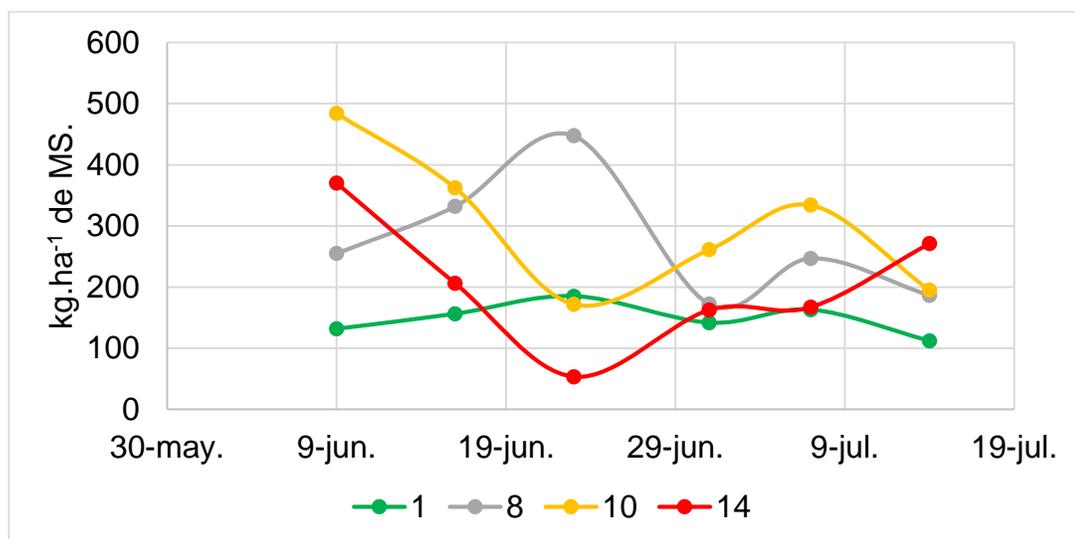


Figura 10. Evolución del peso de los crecimientos semanales (kg.ha<sup>-1</sup> de MS).

La parcela 1 se mantiene con crecimientos muy similares en el total del ciclo, siendo insensible en líneas generales a las variaciones en las condiciones de temperatura y aporte de agua por parte del suelo.

Las parcelas 10 y 14 han tenido un comportamiento muy similar entre las mismas, variando sólo su nivel de producción. Existe en estos casos cierta respuesta positiva en producción tanto a las altas temperaturas relativas (comparativamente con las del resto del período experimental) como a la lluvia de finales de junio.

De las dos variables climáticas anteriormente mencionadas podría asumirse que el déficit hídrico fue la de mayor peso ya que la parcela 8 (que se encuentra en una zona baja) es la única que presenta un aumento en el crecimiento hasta el 24/6. El resto de las parcelas (ubicadas en zonas más altas) no crecen o disminuyen su crecimiento en tanto el déficit hídrico es mayor.

## 4.2.2 Producción de MS del tratamiento alfalfa-dactylis

### 4.2.2.1 Evolución de la producción de MS.ha<sup>-1</sup>

Como aconteciese para el tratamiento FBL, tampoco se observaron diferencias significativas en el promedio de las acumulaciones de cada repetición. Es por eso que se muestran en la figura 11 el peso de los cortes (MS) en cada una de las repeticiones del tratamiento AD. A su vez figuran también las temperaturas medias y mínimas durante el período.

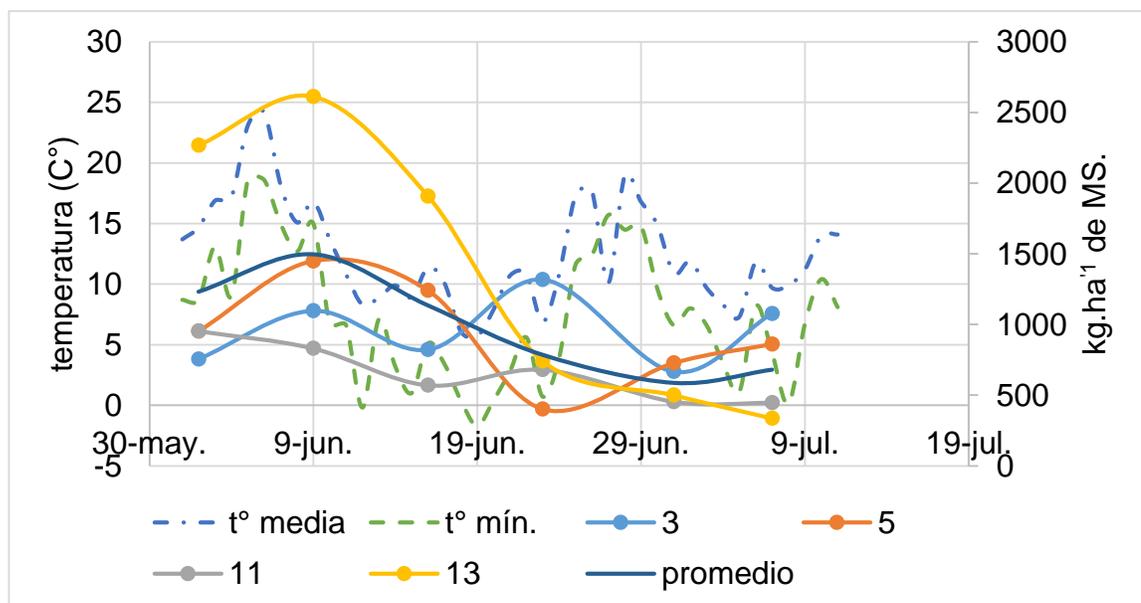


Figura 11. Producción de forraje (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) del tratamiento alfalfa-dactylis y temperaturas (C°).

Se observa una tendencia, en líneas generales, muy similar a la obtenida para 3 de las 4 repeticiones de la mezcla FBL, salvo que en este caso ninguna de las mismas presentó un comportamiento idéntico, o al menos comparable, al comportamiento de la curva de acumulación de forraje teórica, como fuese el caso de una de las repeticiones de la anterior mezcla (la parcela 8).

La parcela 13 produjo durante las primeras semanas del experimento mucho más forraje que en las semanas siguientes, tanto en la misma parcela como en las otras repeticiones. A partir de la semana 2 su crecimiento se ve francamente disminuido, no volviendo a recuperarse incluso luego de las lluvias del 29 de junio y los picos de altas temperaturas que se dieron durante ese período.

Al igual que esta última, las otras tres parcelas acumulan mayor forraje durante el transcurso de la primera semana del experimento y prácticamente no vuelven a alcanzar dicho nivel de producción hasta el final del ciclo.

Como ha sido reportado anteriormente, el dactylis tiene un sistema radicular no muy profundo lo cual lo hace sensible a la falta de agua. Asimismo, está acompañado por una leguminosa de ciclo estival relativamente sensible a las bajas temperaturas. Por otro lado, la falta de agua incide en el IAF y por correlato en la oferta de carbohidratos, por lo que ésta disminuye al tener la planta menor área fotosintética. Esto podría explicar la disminución en la producción de MS e inclusive la desaparición de biomasa ya que aumenta la tasa de senescencia. Las bajas temperaturas durante el mes de junio fundamentalmente agravaron la situación.

En la siguiente figura se muestra la acumulación de MS de las repeticiones y el promedio de las mismas junto a la evolución del contenido de agua en suelo (mm).

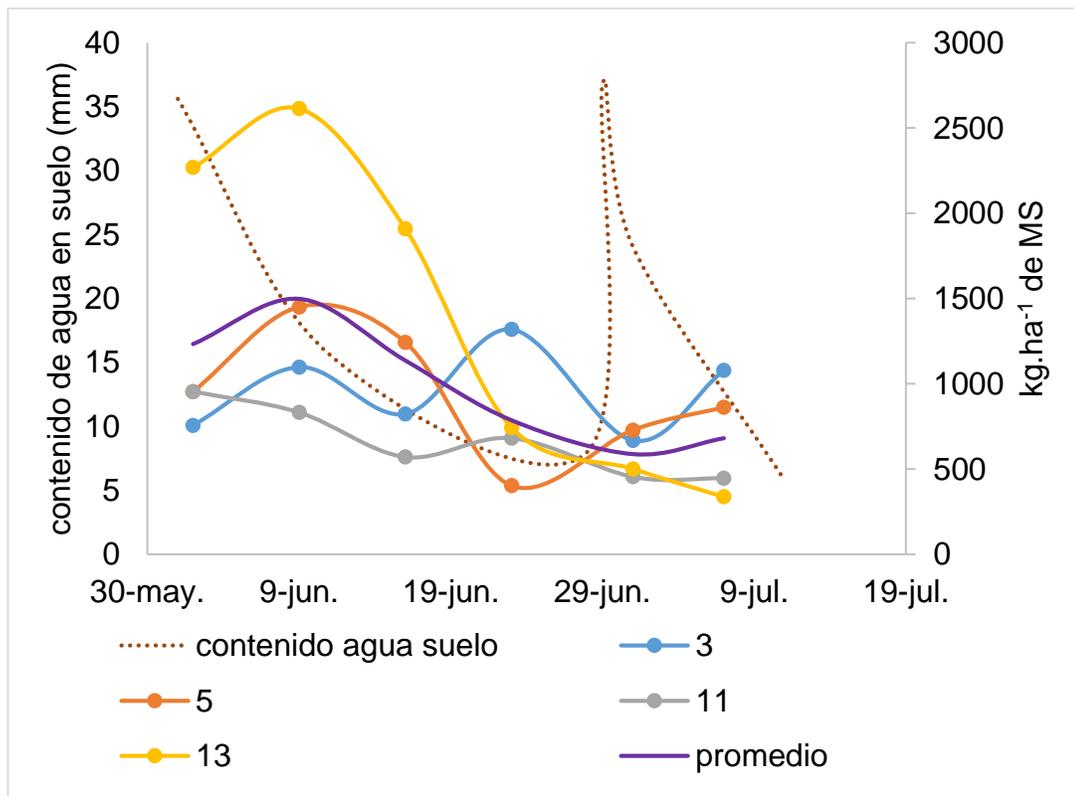


Figura 12. Producción de forraje (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) del tratamiento alfalfa-dactylis y contenido de agua en suelo (mm).

Como se observase para el tratamiento FBL, se destaca la falta de respuesta que han tenido la totalidad de las repeticiones durante las últimas semanas del ciclo. El aporte de agua fue bajo durante las primeras semanas, y aún luego de las lluvias de finales de junio que vinieron acompañadas de altas temperaturas relativas, la acumulación de forraje no registró un aumento considerable, que sólo se dio en la repetición 3. De todas formas, la acumulación se registra el 1/7 y el 7/7, no siendo posible observar la respuesta durante las posteriores semanas.

El promedio de las repeticiones acompaña el comportamiento de las precipitaciones, decreciendo durante todo el periodo para aumentar de manera relativa hacia el final del mismo debido a la respuesta mínima de la pastura a las precipitaciones. La pérdida de biomasa se explica a través del detenimiento de crecimiento, la disminución de la TEF por lo tanto una marcada disminución del IAF que compromete la oferta de foto asimilados y un aumento en la tasa de senescencia (Nabinger, 1996a). Como se ha visto, estas praderas soportaron altas cargas durante el período estivo-otoñal y el déficit hídrico mermó su producción desde mayo hasta finales de junio, con lo cual sería esperable ver una caída en sus producciones.

.Es importante destacar que ninguna de las parcelas del tratamiento AD se ubicaba en una zona baja del potrero, como sí se encontraba la parcela 8 del tratamiento FBL, hecho que de todas formas no provocó que su media haya sido menor que la del otro tratamiento.

La figura 13 muestra la evolución del peso seco del forraje acumulado en cada semana del período experimental en cada una de las 4 repeticiones de esta mezcla forrajera, como se mostrase en la figura 10 para el tratamiento FBL.

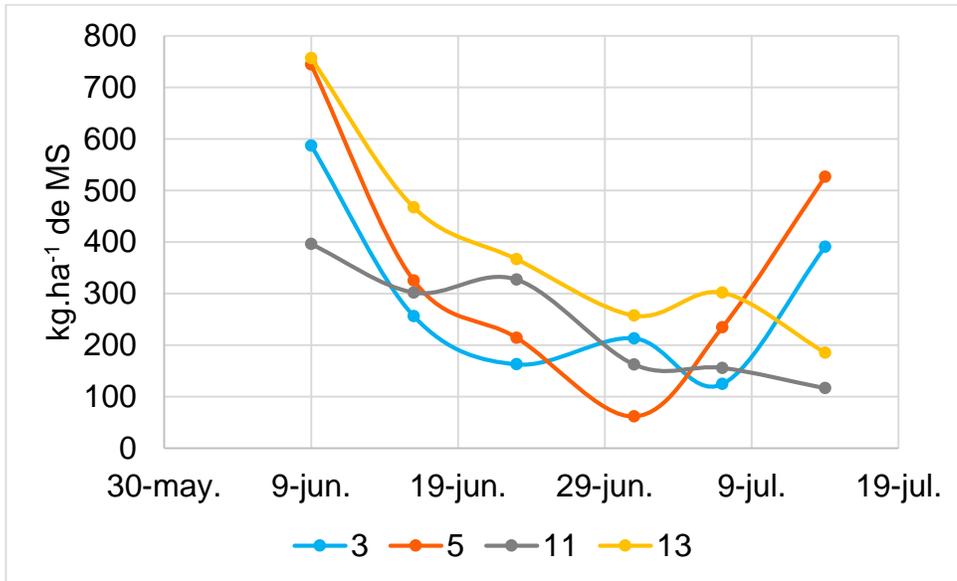


Figura 13. Peso seco de los crecimientos semanales (kg.ha<sup>-1</sup> de MS).

Se destaca que a medida que el contenido hídrico del suelo se fue haciendo menor, la pastura respondió creciendo a menores tasas a cada semana. De igual manera, la acumulación de restos secos (hecho que se observará con mayor detenimiento más adelante) pudo incidir en este aspecto.

A su vez se observa un aumento relativo del crecimiento semanal en el conjunto de las parcelas a partir del 1/7, hecho que puede estar relacionado al aumento generalizado de las temperaturas medias y máximas junto con las lluvias del 29 de julio, como ya se ha reportado anteriormente.

#### 4.2.3 Relación entre suma térmica y producción de MS.ha<sup>-1</sup>

En este apartado, la intención es de observar cómo han sido las relaciones entre las sumas térmicas durante el periodo experimental y sus contrapartidas en la producción de forraje, tanto en el acumulado total como en el recorte semana a semana.

##### 4.2.3.1 Tratamiento FBL

En el caso del tratamiento FBL, la relación entre suma térmica acumulada al momento de realizar los cortes y los kg.ha<sup>-1</sup> de MS registrados en los mismos fue levemente positiva pero no significativa ( $p > 0,05$ ). Esto es originado por la gran dispersión en los datos de acumulación en cada semana, la cual es explicada por diversos factores vistos anteriormente (heterogeneidad entre las repeticiones, efectos de las condiciones ambientales como la falta de agua o la ocurrencia de heladas, entre otros).

En la siguiente figura se analiza la regresión entre la suma térmica durante el período experimental y la suma de los crecimientos semana a semana (rebotes) en todas las repeticiones del tratamiento.

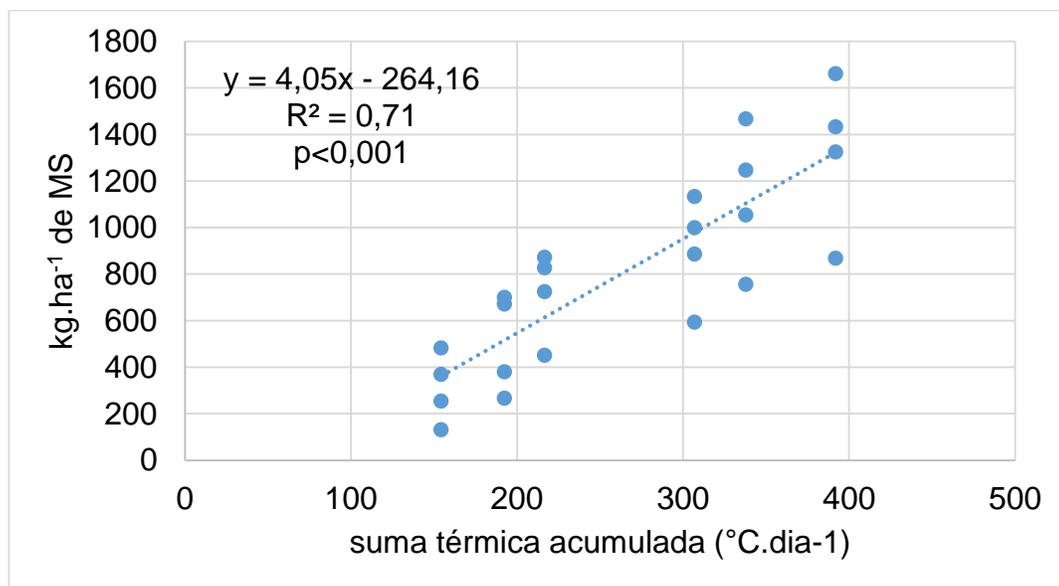


Figura 14. Relación entre suma térmica acumulada y rebotes semanales acumulados (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) en el tratamiento festuca - trébol blanco - lotus.

La relación obtenida entre suma térmica y acumulación de los recortes semanales (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) para el tratamiento FBL es positiva y altamente

significativa ( $p < 0.05$ ), coincidente con los resultados obtenidos por Nabinger (1996b).

Es bien sabido que en términos fisiológicos las hojas nuevas son más eficientes que las hojas viejas. Formoso (1995), Lemaire y Agnusdei (2000), Carámbula (2010a) así lo establecían. Brougham (1957b) a su vez constató que el incremento en materia seca por unidad de área foliar (Tasa de Asimilación Neta) en praderas defoliadas era mayor a menor altura del remanente, explicándose esto por una mayor proporción de hojas nuevas (de óptimas condiciones fisiológicas) dentro del total de hojas del rebrote frente su análogo cortado a mayor altura.

Al tratarse de rebrotes, hay una mayor proporción de hojas nuevas absorbiendo radiación, explicando el mejor ajuste. Incluso sería esperable observar una mayor producción de materia seca por  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}^{-1}$  acumulado en el caso del rebrote frente al corte de acumulación, pero esto no se puede realizar debido a la gran variabilidad en los registros del segundo.

#### 4.2.3.2 Tratamiento AD

La siguiente figura muestra la relación obtenida entre la suma térmica y la acumulación de forraje, en el tratamiento AD.

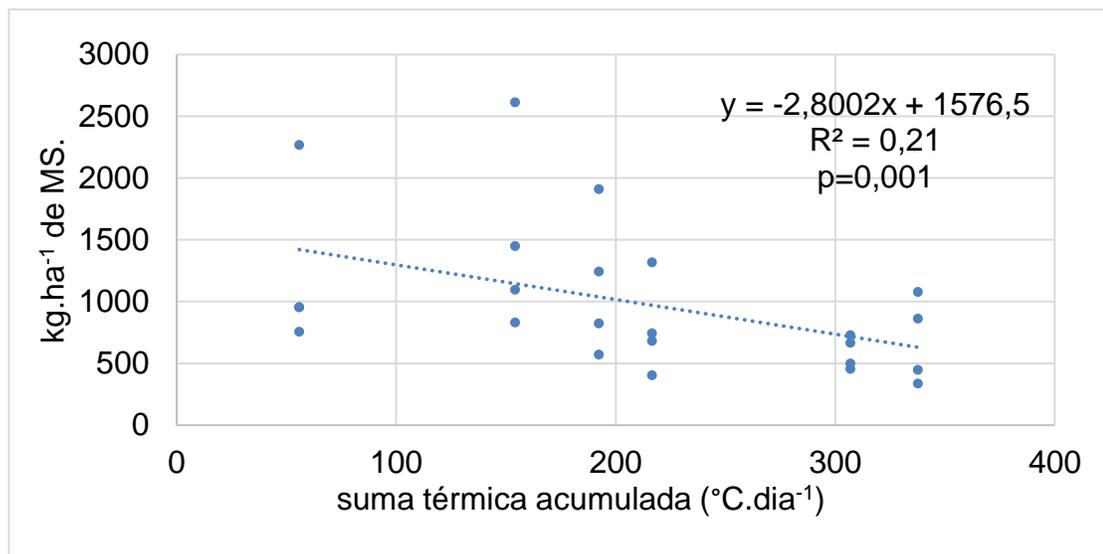


Figura 15. Relación entre suma térmica acumulada y producción de MS.ha<sup>-1</sup> en el tratamiento alfalfa-dactylis.

La regresión obtenida se asemeja a su par del tratamiento FBL en tanto es pobremente ajustada (si bien arrojó un  $R^2$  mayor), pero a diferencia de ésta resultó ser negativa y significativa ( $p < 0.05$ ).

En la figura 11 se observa que las parcelas del tratamiento AD habían acumulado más materia seca durante las primeras semanas. El forraje promedio de las cuatro repeticiones decrece hasta el final del experimento. Por consiguiente, al ver la asociación entre acumulación de suma térmica y esta variable, se da una situación inversa a la vista entre los recortes acumulados y la ST acumulada, ya que una variable aumenta indefectiblemente y la otra, en líneas generales, decrece.

Un comentario que merece hacerse es el bajo  $R^2$  obtenido en la relación entre ambas variables, ya sea en este tratamiento como en el FBL. Nabinger (1996b) obtuvo un coeficiente de correlación de 0,98 analizando la suma térmica acumulada y el número de hojas de un macollo en festuca (índice Haun). Analizar la relación entre suma térmica y número de hojas.macollo<sup>-1</sup> permite estimar el filocrón (1/b). En este caso, al no haberse medido dicha variable, el filocrón no puede estimarse.

A continuación, se muestran los resultados arrojados por la regresión entre suma térmica acumulada, y los recortes semanales acumulados.

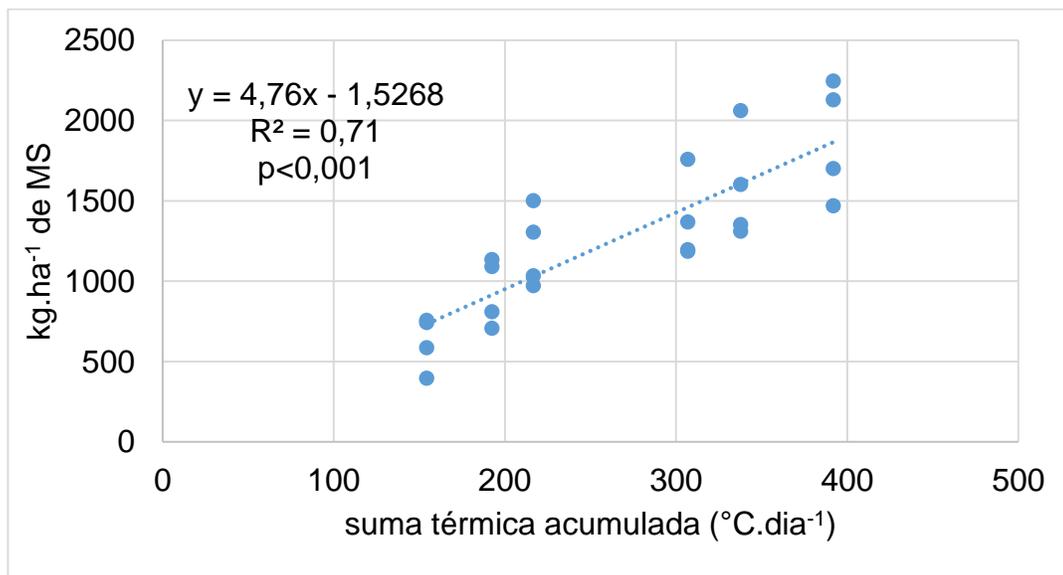


Figura 16. Relación entre suma térmica acumulada y recortes semanales acumulados (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) en el tratamiento mezcla alfalfa-dactylis.

Al igual que en el anterior tratamiento, la regresión entre suma térmica y la acumulación de los rebrotes es positiva y altamente significativa, coincidiendo con la bibliografía consultada.

En este caso, el coeficiente de regresión es levemente mayor que su análogo del tratamiento FBL (0,48 frente a 0,4), lo cual estaría indicando una mayor eficiencia del rebrote de la mezcla alfalfa-dactylis respecto a la mezcla festuca-trébol blanco-lotus, en términos relativos.

De todas maneras, como señalaban Villareal González et al. (2014), durante el otoño es normal que las praderas conteniendo dactylis acumulen gran cantidad de restos secos, y los mismos están contenidos dentro del forraje acumulado total, relativizando de cierta manera la respuesta en producción de forraje de la suma térmica.

#### 4.2.4 Intercepción de luz

Los valores de área específica arrojados por la metodología explicada, así como también los encontrados en otras publicaciones revisadas, son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 2. Superficie foliar específica de las especies contenidas en la mezcla.

<b>Especie</b>	<b>cm<sup>2</sup>/g de MS (experimento)</b>	<b>cm<sup>2</sup>/g de MS (literatura)</b>
<i>Dactylis</i>	387,7	320 (Poorter y De Jong, 1999)
<i>Festuca</i>	172,9	120 (Marks y Clay, 2007)
<i>Medicago</i>	232,5	220 (Seker et al., 2015)
<i>Trifolium</i>	274,4	300 (Poorter y De Jong, 1999)
<i>Lotus</i>	219,3	210 (Carter et al., 1997)
<i>Lotus + Trifolium</i>	253,3	s/d

Se destaca que en líneas generales, las mediciones de área foliar específica (SLA – del inglés “specific leaf area”) arrojaron resultados muy similares a los encontrados en diversas publicaciones científicas, si bien las mismas fueron obtenidas usando otros cultivares en otras zonas del globo.

Cabe mencionar que al no haberse separado en la determinación de la composición gravimétrica la hoja de trébol blanco de la hojas de lotus (en el tratamiento FBL), se utilizó un valor de SLA promedio contemplativo de ambas

especies, que es un valor ubicado dentro del rango de la SLA de ambas especies reportado en la literatura internacional.

#### 4.2.5 Relación entre PAR absorbido y la producción de forraje

En la siguiente figura se muestra la regresión entre las mediciones de PAR<sub>a</sub> y los kg.ha<sup>-1</sup> de MS tanto de las franjas cortadas para medir acumulación como también los recortes semanales para medir tasas de crecimiento.

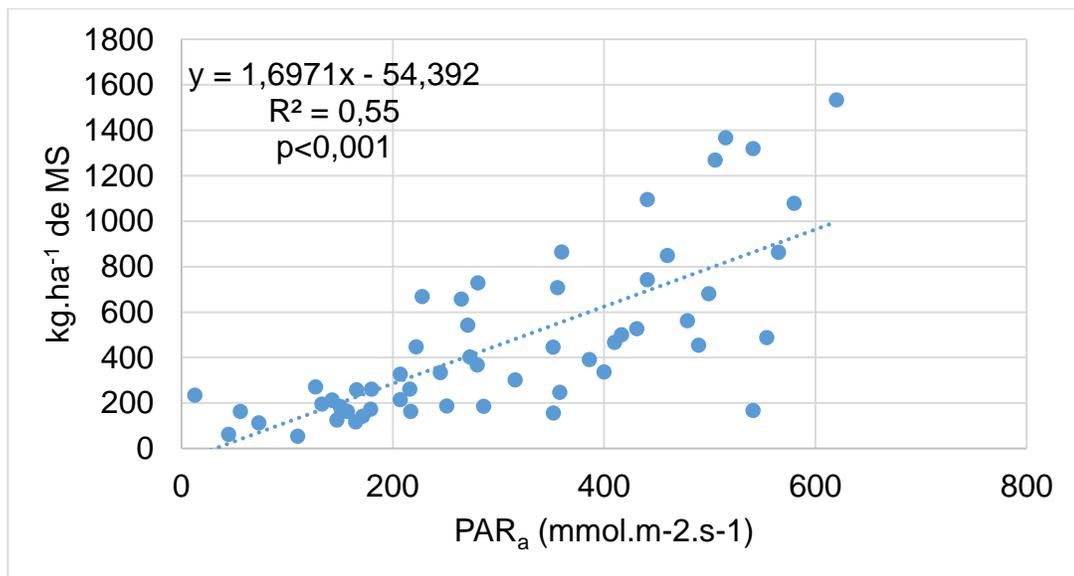


Figura 17. Relación entre PAR<sub>a</sub> y cortes (acumulación y recortes semanales) de ambos tratamientos en conjunto.

Se observa que la relación entre las variables concuerdan con lo reportado por Cruz et al. (1991). La relación resultó ser directa, positiva, y con un nivel de significancia muy alto ( $p < 0,05$ ).

De igual manera, se grafica en las figuras 17 y 18 la relación entre el PAR<sub>a</sub> y los cortes semanales realizados para medir acumulación de forraje (FBL y AD respectivamente).

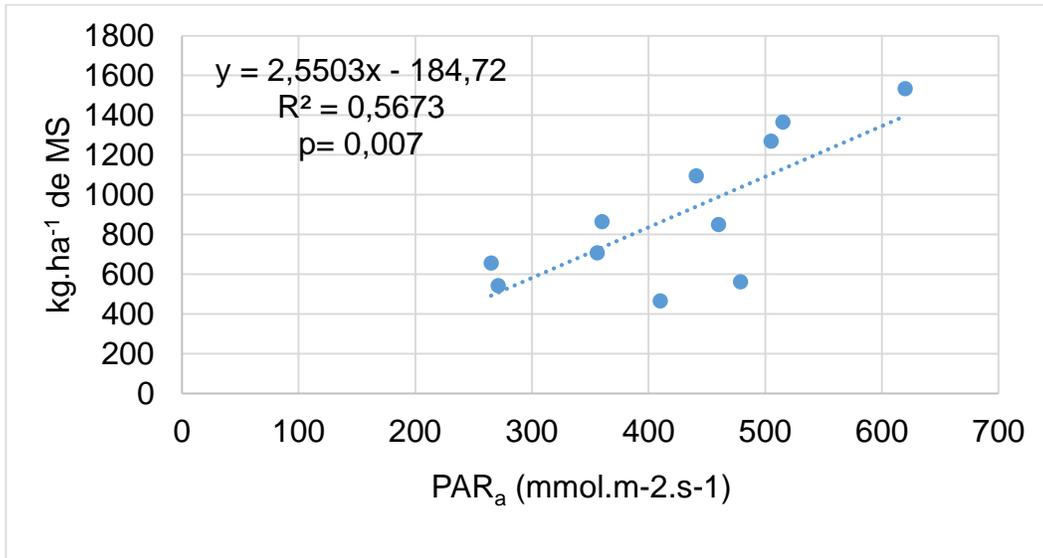


Figura 18. Relación entre PAR<sub>a</sub> y cortes de acumulación (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) en tratamiento festuca-trébol blanco-lotus.

La relación entre PAR<sub>a</sub> y cortes de acumulación en el tratamiento FBL es significativa, por lo que los resultados corresponden a lo reportado por los autores citados previamente.

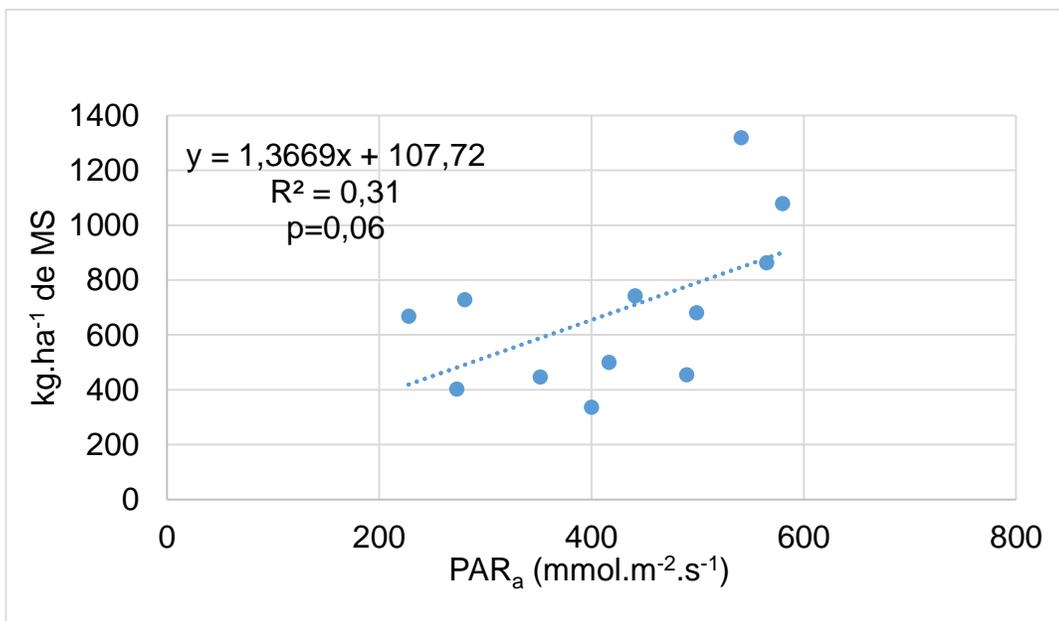


Figura 19. Relación entre PAR<sub>a</sub> y cortes de acumulación (kg.ha<sup>-1</sup> de MS) en tratamiento alfalfa-dactylis.

En este caso no se alcanza la significancia estadística ( $p > 0.05$ ) por lo que, si bien la relación es positiva y consistente con lo revisado anteriormente, no es posible confirmarlo.

Existiría por parte de la mezcla FBL una mayor eficiencia de conversión de la radiación por parte del aparato fotosintético que se acumula a cada semana (coeficiente "b" de la línea de regresión), evidenciado también por una mayor producción de esta mezcla respecto a la otra al menos durante el período analizado (25/6 al 7/7).

En líneas generales ha habido una mayor incidencia de la fracción leguminosa en el tratamiento FBL, posiblemente debido al ciclo productivo de la alfalfa (de escaso crecimiento durante el otoño y sobre todo en el invierno), así como también a la mayor eficiencia de intercepción del trébol blanco (Carámbula, 2010a). Este segundo factor podría explicar a su vez esa mayor acumulación de MS en el tratamiento FBL, fundamentalmente en el último tramo del período experimental, momento en que se mide el  $PAR_a$  y que coincide con la ocurrencia de precipitaciones.

La figura 20 muestra la relación entre  $PAR_a$  y cortes de acumulación ( $kg \cdot ha^{-1}$  de MS) en ambos tratamientos conjuntamente.

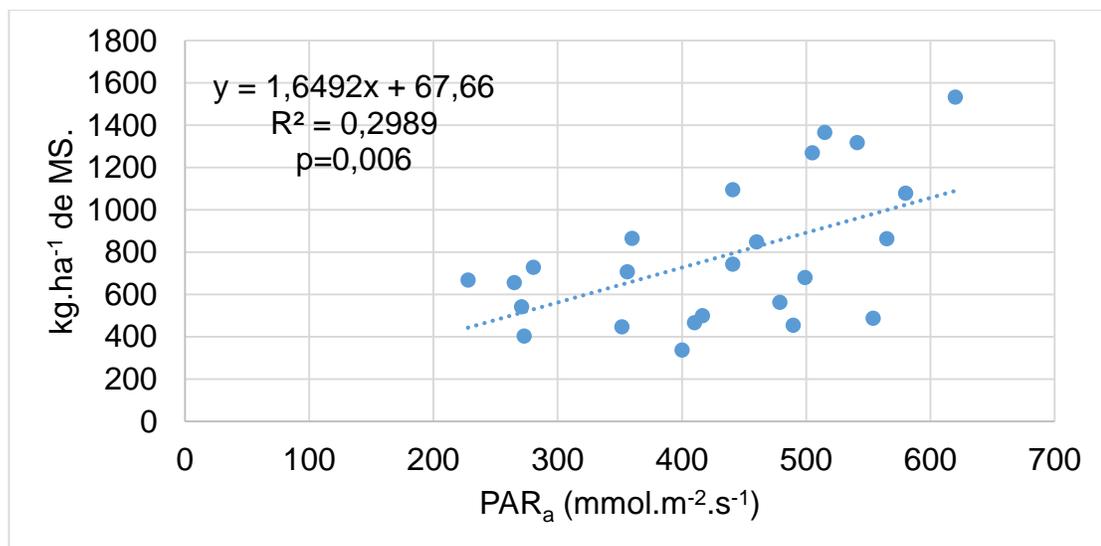


Figura 20. Relación entre  $PAR_a$  y cortes de acumulación en ambos tratamientos conjuntamente.

A causa de la gran variabilidad que se ha observado en la acumulación de forraje, la regresión tiene un  $R^2$  relativamente bajo que determina un escaso ajuste. De todas formas, al ser  $p < 0.05$  se puede afirmar que la relación es

significativa. Este resultado tiene concordancia con lo reportado por los autores referidos en anteriores apartados (Cruz et al. 1991, Nabinger 1996b).

Más allá de las condiciones ambientales que no favorecieron un óptimo crecimiento de las pasturas, es probable que la cantidad de restos secos presentes haya interferido al arrojar valores de  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MS demasiado altos en parcelas cuyas lecturas de  $\text{PAR}_a$  no fueron necesariamente altas (por haber una menor proporción de tejido fotosintéticamente activo).

La relación entre el  $\text{PAR}_a$  y los rebrotes semanales de ambos tratamientos se grafica en la siguiente figura.

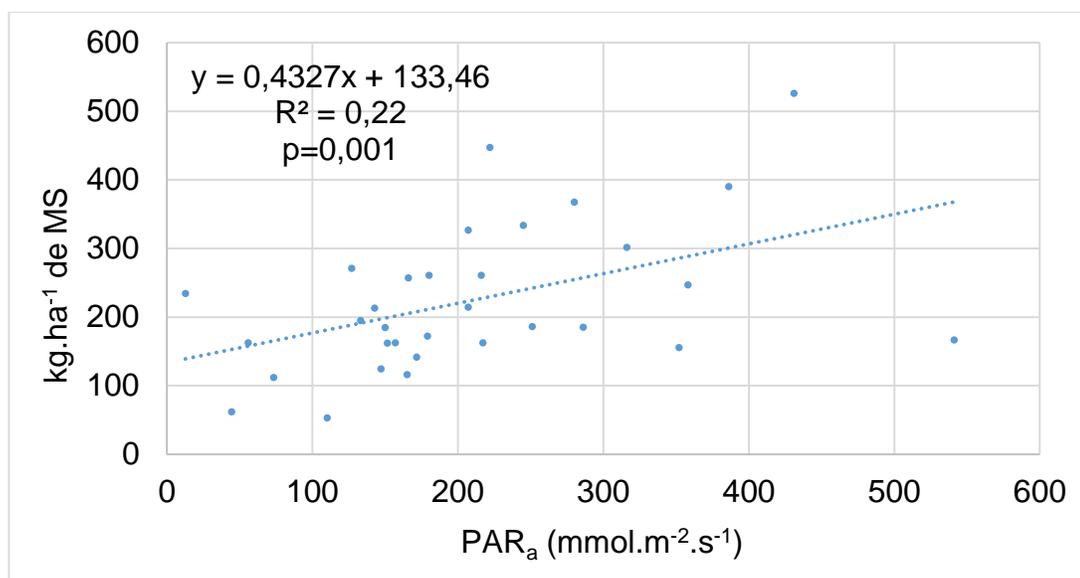


Figura 21. Relación entre  $\text{PAR}_a$  y rebrotes semanales en ambos tratamientos conjuntamente.

Así como se ha visto para las anteriores variables, la regresión entre el  $\text{PAR}_a$  y los recortes semanales presenta un bajo ajuste, explicándose por la gran variabilidad observada en las lecturas de producción de MS para ambos tratamientos en general y en la mezcla AD en particular. No obstante, el valor crítico  $p$  es menor a 0,05 por lo que la relación resulta ser significativa, permitiendo corroborar la hipótesis de que a mayor radiación absorbida, mayor acumulación de forraje.

Los resultados de los experimentos confirman esta última aseveración, ya sea cuando se trató de las franjas que nunca habían sido cortadas como en las franjas que se dejó rebrotar durante una semana.

Asimismo, los coeficientes “b” de las rectas de regresión de los cortes de acumulación y los recortes semanales (y su diferencia numérica) permiten afirmar que hay una mayor producción/acumulación de MS por unidad de PAR<sub>a</sub> en el caso de los primeros. Esto tiene sentido ya que en ese caso, al momento de efectuar cada corte, hay en la parcela una mayor cantidad de tejido fotosintético, por ende se absorbe más radiación y, como se ha visto, se acumula mayor cantidad de MS.

#### 4.2.6 Relación entre PAR absorbido e IAF

Sería esperable observar una directa relación ya que un mayor IAF determinaría una mayor cantidad de PAR interceptado. A su vez, hay que destacar que ambas variables son medidas por el ceptómetro, determinando éste un par de valores (PAR<sub>a</sub> – IAF) por cada medición realizada en el campo; por lo cual sería coherente observar una relación directa y positiva en el análisis de la variabilidad de ambas.

Díaz-López et al. (2011) hallaron una relación positiva y directa ( $R^2=0,85$ ) entre el IAF y la radiación interceptada (en % sobre la PAR incidente) en cultivos de maíz. Iguales son los reportes de Varlet-Grancher y Bonhomme (1979) trabajando sobre cultivos cerealeros, así como los de Parsons et al. (1983), trabajando sobre pasturas.

La relación entre los registros de PAR<sub>a</sub> e IAF tanto para los cortes de acumulación como los rebrotes, en ambos tratamientos, se muestra en la siguiente figura.

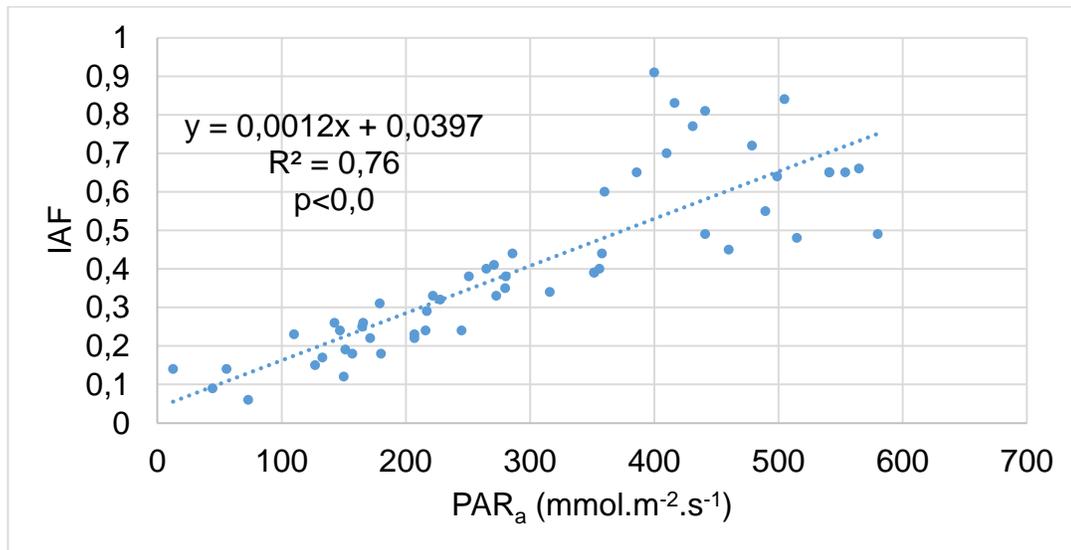


Figura 22. Relación entre PAR<sub>a</sub> e IAF para ambos tratamientos conjuntamente.

Las variables muestran una relación funcional lineal significativa, lo que coincide con la bibliografía presentada anteriormente. Por tanto, se confirma la hipótesis de que a mayor IAF, mayor radiación fotosintética absorbida.

#### 4.3 ALTURA DEL FORRAJE

En la siguiente tabla se muestran las alturas promedio junto a los desvíos en cada uno de los tratamientos.

Tabla 3. Altura promedio y desvío por tratamiento

TRATAMIENTO	Altura (cm)
AD	7,21 a ± 2
FBL	7 a ± 2,

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

Se observa que la altura promedio no es estadísticamente diferente entre tratamientos, como también aconteciera con la materia seca acumulada total durante el período bajo análisis. Las alturas promedio por fecha de corte se muestran a continuación.

Tabla 4. Altura del forraje promedio por fecha de corte.

<b>FECHA</b>	<b>Altura (cm)</b>
<b>16/6</b>	<b>8,3 a</b>
<b>1/7</b>	<b>8,1 a</b>
<b>7/7</b>	<b>7,9 a</b>
<b>23/6</b>	<b>6,9 ab</b>
<b>9/6</b>	<b>6 b</b>
<b>2/6</b>	<b>5,5 b</b>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

La mayor altura se registró en líneas generales en el último tramo del período experimental, lo cual tiene sentido dada la acumulación teórica de forraje que se ha descrito previamente. Sin embargo, se observa que el mayor registro corresponde al 16/6, un poco antes de la mitad del ciclo. Esto confirma la gran variabilidad que ha habido en la acumulación de forraje presente en las parcelas al momento de efectuar los cortes.

#### 4.4 COMPOSICIÓN GRAVIMÉTRICA

##### 4.4.1 Biomasa presente a medida que transcurre el tiempo

Con las siguientes figuras y tablas se procederá a describir el comportamiento de las variables gravimétricas registradas mediante el procedimiento previamente explicado.

Tabla 5. Biomasa presente promedio en los cuadros ( $\text{g/m}^2$  BF) según fecha de muestreo.

<b>FECHA</b>	<b><math>\text{g/m}^2</math> (BF)</b>
<b>16/6</b>	<b>627,1 a</b>
<b>1/7</b>	<b>624,4 a</b>
<b>2/6</b>	<b>340,9 b</b>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

La biomasa presente ( $\text{g/m}^2$  BF) fue significativamente menor al principio del experimento respecto a las últimas dos mediciones, pero de todas formas éstas no fueron significativamente diferentes entre sí.

Tabla 6. Peso promedio de los cuadros (g BF) según tratamiento.

TRATAMIENTO	g/m <sup>2</sup> (BF)
FBL	551 a
AD	511 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

A lo largo del experimento no hubo diferencias significativas en la biomasa presente (g/m<sup>2</sup> BF) de ambos tratamientos. Es por esta razón que se muestra a continuación como ha sido la evolución de esta variable en el tratamiento festuca-trébol blanco-lotus.

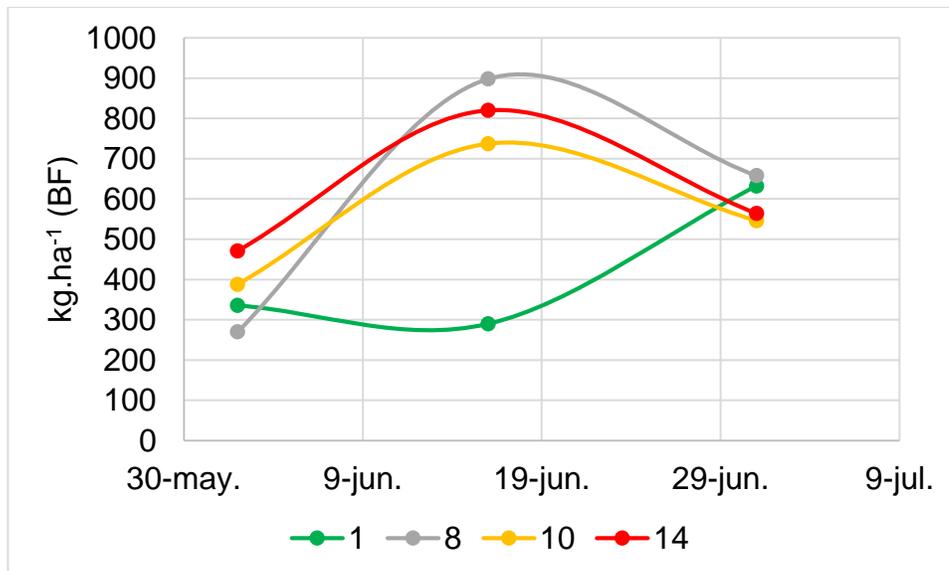


Figura 23. Peso fresco promedio (kg.ha<sup>-1</sup>) determinado mediante corte de cuadros en el tratamiento FBL.

Las temperaturas hasta el 14/6 fueron disminuyendo progresivamente así como la disponibilidad de agua, lo cual derivó en un ambiente desfavorable para la acumulación de materia seca. La figura podría indicar que las plantas en los primeros estadios de crecimiento (entre el primer y segundo muestreo) no fueron afectadas por dicho déficit ya que se aprecia una acumulación de forraje positiva (nula para la repetición 1), pero cuando éste se hace más marcado (a fines del periodo experimental) las plantas muestran una respuesta negativa en producción. De todas formas, cabe hacer mención a la composición gravimétrica de los diferentes muestreos y sobre todo a la contribución de los tallos y restos secos, información que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7. Porcentajes de tallos y restos secos (BF) durante los muestreos de composición gravimétrica en el tratamiento festuca-trébol blanco-lotus.

<b>Fecha</b>	<b>2/6</b>		<b>16/6</b>		<b>1/7</b>	
Rep.	% tallos	% RS	% tallos	% RS	% tallos	% RS
1	13,8	10,3	14,2	7,6	20,4	16,5
8	33	5,2	40,2	23,6	14,2	22,5
10	26	21,8	30,3	52	17,6	35,7
14	15,3	34,8	27,2	42	6,6	15,8

Los restos secos y los tallos constituyen gran parte del peso fresco total de los cuadros en todas las repeticiones de este tratamiento, y sobre todo al 16/6 que coincide con el día en el que hubo mayor biomasa presente de todas las fechas de muestreo.

También se observa que esta proporción de tallos y restos secos desciende considerablemente hacia el final del período.

A partir del 24/6 las temperaturas comienzan a aumentar y las lluvias fueron dos días antes del último muestreo, por lo tanto en el caso de haber una respuesta en crecimiento, la misma no se puede apreciar al no haber más mediciones que lo permitan.

La repetición 1 presenta luego del 16/6 una acumulación de materia seca positiva, posiblemente explicada por el nulo crecimiento en la anterior etapa. Al ser las plantas más pequeñas, la respuesta al aumento en temperatura durante la etapa posterior es mayor, coincidiendo con lo reportado por Carámbula (2010c).

A su vez, el stress hídrico fue cada vez más agudo (figura 7) y por lo tanto luego del segundo corte se puede deducir que las plantas comenzaron a senecer y perder biomasa, hecho que explicaría tanto el aumento de restos secos como la pérdida de forraje observada entre el segundo y tercer corte. Según Turner et al. (2012) los decrecimientos en biomasa bajo stress hídrico pueden ser hasta del orden del 32% para festuca.

Se muestra a continuación la evolución del peso fresco.ha<sup>-1</sup> promedio de los cuadros en el tratamiento AD.

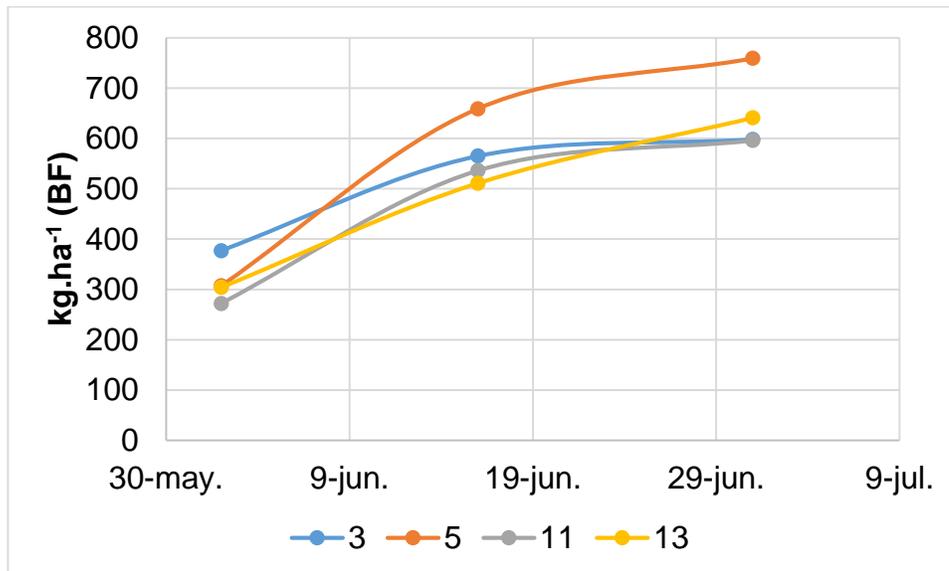


Figura 24. Peso fresco promedio ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) determinado mediante corte de cuadros en el tratamiento AD.

Para los tratamientos con dactylis y alfalfa se aprecia un comportamiento más homogéneo para todas las repeticiones y más cercano a la curva de crecimiento teórica de una pastura mezcla que se ha descrito anteriormente (McMeekan, citado por Carámbula, 2010c). Las repeticiones acumulan biomasa durante todo el periodo experimental variando en producción entre sí, siendo la repetición 5 la que acumula más. Entre las otras repeticiones no se aprecia una marcada diferencia en producción.

Es necesario remarcar que se muestra aquí el peso en fresco, por lo cual no es posible ver la evolución en seco, que es en última instancia lo que importa al estudiar la productividad de las pasturas. Cuando no se aplica el secado durante 48 horas, estas determinaciones son más susceptibles de interferencias de las condiciones ambientales durante los cortes. Asimismo, los cuadros fueron cortados al ras del suelo y no a 5cm de altura como los cortes para determinar acumulación.

Un aspecto de gran relevancia es la composición del PF total de los cuadros presentados anteriormente. Si bien esta variable presenta un comportamiento que denota una acumulación de biomasa, analizando la composición de la misma se observa que aumenta la proporción de tallos (sobre todo de alfalfa) así como también la proporción de restos secos, como muestra la siguiente tabla.

Tabla 8. Porcentajes de tallos y restos secos (BF) durante los muestreos de composición gravimétrica en el tratamiento alfalfa-dactylis.

<b>Fecha</b>	<b>2/6</b>		<b>16/6</b>		<b>1/7</b>	
<b>repetición</b>	% tallos	% RS	% tallos	% RS	% tallos	% RS
3	19,4	6,6	22	35,85	15,5	18
5	20	17,6	15,3	47,6	34,9	9,8
11	9	19	12,12	20,8	10,6	24
13	0,6	25,8	15,4	35,9	26,2	29

Analizando estos resultados, se puede explicar la falta de coherencia entre los datos de peso fresco de los cuadros para la mezcla AD con los del resto del experimento, que mostraban una variación considerable. El aumento en la acumulación de biomasa se debe principalmente a la acumulación de restos secos y tallos de leguminosa, lo que concuerda con los datos de IAF presentados en el trabajo.

El estado de la pastura fue perjudicado por la falta de agua durante el periodo experimental. En el corte del 16/6 la mayor parte de la composición gravimétrica está explicada por restos secos. En el último corte se ve menor proporción de los mismos, debido a las precipitaciones del 29/6 y por lo tanto existe una respuesta positiva a las mismas. Como reporta Carámbula (2010c), los restos secos interfieren en la absorción de radiación por parte del tejido fotosintéticamente activo, explicando en cierta parte la no acumulación de biomasa durante este período.

#### 4.4.2 Peso de láminas y hojas

. En la tabla 9 se muestra el peso (BS) según tratamiento en las tres fechas de muestreo, y en la tabla 10 el promedio obtenido en cada una de esas fechas.

Tabla 9. Peso hojas promedio (g/m<sup>2</sup> de MS) para cada tratamiento

<b>.FECHA</b>	<b>Peso hojas (g/m<sup>2</sup> de MS)</b>
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Peso hojas (g/m<sup>2</sup> de MS)</b>
<b>FBL</b>	7,07 a
<b>AD</b>	6,58 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,10).

Tabla 10. Peso de hojas promedio (g/m<sup>2</sup> de MS) según fecha de muestreo.

<b>FECHA</b>	<b>Peso de hojas (g/m<sup>2</sup> de MS)</b>
<b>1/7</b>	7,02 a
<b>2/6</b>	6,99 a
<b>16/6</b>	6,47 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

Se constata que no hubo diferencias tanto entre tratamientos como en cada fecha de muestreo, lo cual concuerda en líneas generales con la evolución del forraje acumulado en cada semana presentada en anteriores apartados.

El caso de las láminas fue diferente. En las siguientes tablas se presenta el análisis estadístico de las determinaciones del peso seco de láminas por franja (m<sup>2</sup>).

Tabla 11. Peso de láminas (g/m<sup>2</sup> de MS) según fecha de muestreo.

<b>FECHA</b>	<b>Peso láminas (g/m<sup>2</sup> de MS)</b>
<b>2/6</b>	15,9 a
<b>1/7</b>	11,6 a
<b>16/6</b>	7,6 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

Tabla 12. Peso de láminas (g/m<sup>2</sup> de MS.) para cada tratamiento.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Peso láminas (g/m<sup>2</sup> de MS)</b>
<b>AD</b>	14,1 a
<b>FBL</b>	9.3 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

Si bien no hubo diferencias significativas entre los tres cortes en ambos tratamientos, se destaca una reducción en la cantidad de láminas promedio en cada franja a lo largo del tiempo, coincidiendo con los resultados previamente presentados. Asimismo, la incidencia de la gramínea fue significativamente mayor en el tratamiento AD, como ya se había discutido anteriormente. Esta predominancia se dio sobre todo en la primera semana del experimento, cuando hubo un crecimiento mayor de la gramínea (fundamentalmente en la repetición 13), posiblemente a causa de las últimas lluvias del mes de mayo y la no ocurrencia de heladas, que se dieron posteriormente en el ciclo.

En la siguiente tabla se observa la interacción entre fecha de muestreo y tratamiento y su efecto en la variable bajo análisis.

Tabla 13. Peso de láminas (g/m<sup>2</sup> de MS) según fecha y tratamiento.

FECHA	TRATAMIENTO	Peso láminas (g/m <sup>2</sup> de MS)
2/6	AD	22,5 a
1/7	FBL	14 b
16/6	AD	10,5 bc
2/6	FBL	9,3 bc
1/7	AD	9,2 bc
16/6	FBL	4,7c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ ).

Como ya se había observado, en la primera semana de muestreo la cantidad de láminas en la mezcla AD fue significativamente mayor al resto de las determinaciones, habiendo en líneas generales un descenso posterior en el resto de las mediciones.

Con el objetivo de observar de manera más gráfica como ha sido la dinámica tanto de hojas como de láminas, se muestran las siguientes figuras (25 y 26) que contienen la evolución de ambas variables durante el período bajo análisis.

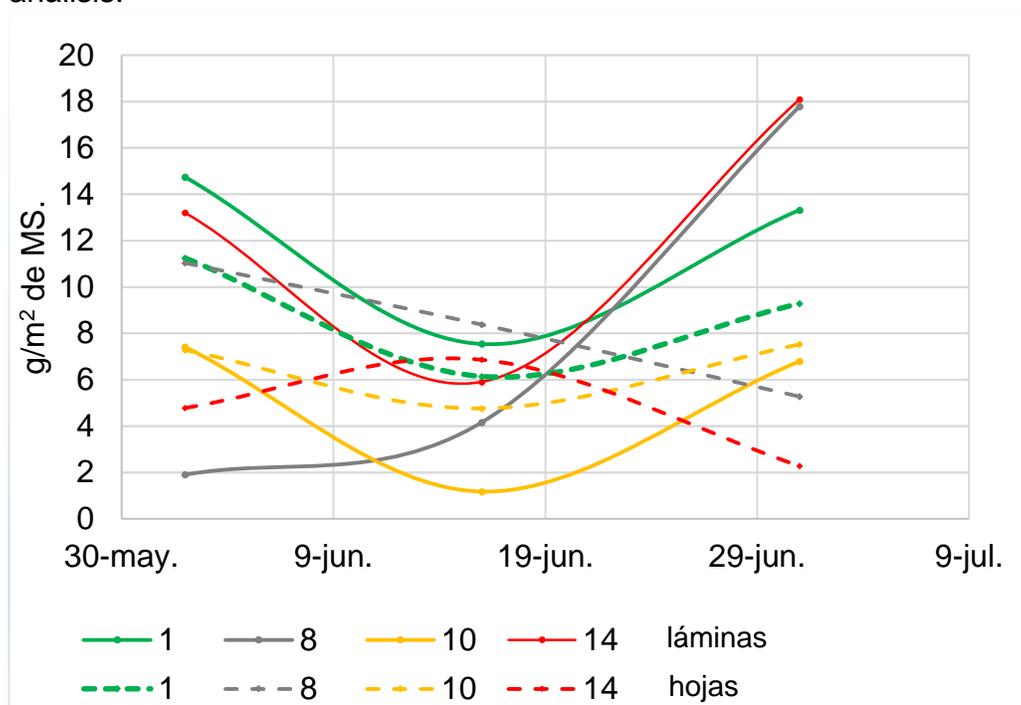


Figura 25. Evolución del peso seco de láminas y hojas en todas las repeticiones (tratamiento FBL).

Las repeticiones 14 y 8 presentan un comportamiento particular donde las tendencias de hojas de leguminosa y lámina de gramíneas son radicalmente opuestas.

En el caso de la repetición 8 al comienzo del experimento la fracción dominante es la leguminosa que decae durante todo el periodo, y la fracción gramínea aumenta su proporción relativa hasta dominar la mezcla.

Para una pastura a partir del segundo año y en adelante (Carámbula, 2010c) la dominancia dentro de la mezcla debería ser por parte de la fracción leguminosa ya que se adaptan mejor a suelos degradados y no compiten por nitrógeno. Este comportamiento no se ve reflejado en el experimento, sobre todo en el primer y último corte (donde en general domina la fracción gramínea), pero si se observa en el corte del 16/6 donde en tres de las cuatro repeticiones domina la leguminosa. Una posible explicación a este hecho podría asociarse al déficit hídrico durante el experimento, teniendo la gramínea una mayor capacidad de exploración radicular y en consecuencia siendo menos sensible a estos fenómenos.

Asimismo, los cortes frecuentes favorecen a la fracción leguminosa, lo que podría explicar que luego del primer corte sea esta fracción la que haya sido menos afectada y por lo tanto supera a la fracción gramínea. Cabe recordar que el trébol blanco en particular tiene un AFR más eficiente que la festuca (Carámbula, 2010a) y por tanto es esperable observar una dominancia del primero durante el comienzo del período experimental, siempre que las condiciones ambientales así lo permitan.

Como se vio en el anterior apartado, la proporción de tallos y restos secos dentro del total fue elevada, particularmente en el muestreo del 16/6, hecho que podría explicar el decrecimiento en la proporción de hojas y láminas de las especies sembradas en esa medición.

En el tercer corte, el déficit hídrico fue tan marcado que la fracción leguminosa se ve mucho más afectada y por lo tanto se ven las mayores diferencias con el comportamiento teórico, ya que en 3 de las 4 repeticiones domina la fracción gramínea al tercer corte (16/6). Cabe recordar lo reportado por Brougham (1957b), que hacía mención a la dominancia de las gramíneas conforme se avanzaba en el tiempo luego de un corte, previo a una relativa dominancia de la leguminosa en mezclas de raigrás-trébol blanco.

Las otras dos repeticiones tienen comportamientos más estáticos. En el caso de la 1, la gramínea domina durante todo el experimento y la proporción no parece variar demasiado, cuando la fracción leguminosa aumenta la gramínea

acompaña este crecimiento. En el caso de la repetición 10 las fracciones no tienen diferencias significativas en el primer y tercer corte si en el segundo donde la leguminosa domina lo cual es coherente con lo revisado anteriormente, esto podría explicarse por el gran déficit hídrico al cual las leguminosas son más sensibles por lo que en el último corte podría haber habido respuesta por parte de la fracción leguminosa a las lluvias ocurridas el 29/6.

En la siguiente figura se aprecia la evolución del peso de hojas y de láminas por repetición en el tratamiento AD durante los tres muestreos de composición gravimétrica.

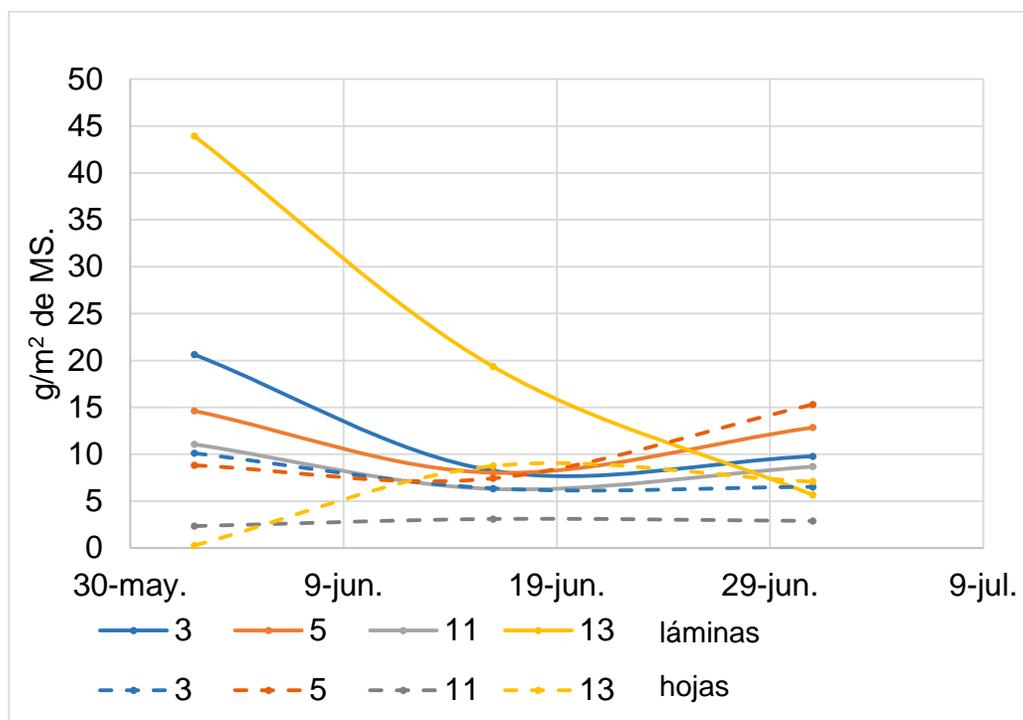


Figura 26. Evolución del peso seco de láminas y hojas en todas las repeticiones (tratamiento AD).

En líneas generales no se da una diferencia clara excepto en la repetición 13 donde claramente la fracción gramínea disminuye de forma importante a lo largo del periodo experimental y la fracción leguminosa tiene un comportamiento más estático, en el que aumenta hasta el segundo corte y luego tiende a estabilizarse.

Se puede observar que el gran crecimiento apreciado durante las primeras semanas en la repetición 13 estaba dado fundamentalmente por el aporte de la fracción gramínea de la mezcla.

Las otras repeticiones muestran comportamientos más estables aunque y con menores diferencias entre sí, aunque en la repetición 5 existe un cambio de ranking a lo largo del experimento, donde la fracción que domina al inicio es la gramínea para luego ser la leguminosa la que pasa a tener una mayor proporción.

Las repeticiones 3 y 11 se muestran más estables aunque con una tendencia al aumento de la proporción de hojas de leguminosas y una disminución de las láminas de gramíneas

#### 4.4.3 Relación lámina/vaina (L/V)

La relación lámina/vaina es un factor utilizado por Formoso (1995) para determinar la calidad del forraje en determinada pastura.

Tabla 14. Relación L/V promedio según tratamiento.

TRATAMIENTO	MEDIA
FBL	1,8 a
AD	1,8 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

Tabla 15. Relación L/V promedio según fecha de corte.

FECHA	MEDIA
2/6	2,2 a
16/6	1,49 a
1/7	1,65 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

La relación lámina/vaina para todo el período bajo estudio no resultó significativamente diferente, ya sea entre los tratamientos así como también entre las tres fechas de muestreo. En este último caso, sí se observa que hubo una reducción en las dos últimas. Por consiguiente, se constata que la calidad del forraje no varía considerablemente durante el período experimental.

Lemaire, citado por Saldanha (2009) establecía que, en cuanto a las gramíneas, cuando existe sombreado los entrenudos suelen alargarse con el propósito de posicionar las láminas en estratos superiores del canopeo, haciendo que la relación lámina-vaina se reduzca. Si bien se ha visto que las praderas no han acumulado forraje a lo largo del período experimental de la manera esperada, esta es una posible explicación a la relativa disminución de la relación lámina-

vaina durante los muestreos. Asimismo, las pasturas se encontraron durante todo el ciclo en etapa vegetativa, por lo que sería esperable no observar cambios drásticos en la relación L/V (Saldanha, 2009).

#### 4.4.4 Índice de Área Foliar (IAF)

Referente a la determinación del IAF en los diferentes tratamientos, se muestran en la siguiente tabla los resultados arrojados por el análisis estadístico.

Tabla 16. IAF promedio en cada tratamiento.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>IAF</b>
FBL	0,34 <b>b</b>
AD	0,74 <b>a</b>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

Se han observado diferencias significativas entre los registros de IAF (determinados por la composición gravimétrica) entre ambos tratamientos. Más precisamente, el tratamiento AD arrojó una mayor media general. La siguiente tabla muestra el IAF promedio calculado entre ambos tratamientos para cada fecha de corte.

Tabla 17. IAF promedio según fecha de corte.

<b>FECHA DE CORTE</b>	<b>IAF promedio</b>
2/6	0,72 <b>a</b>
16/6	0,43 <b>b</b>
1/7	0,51 <b>ab</b>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

No se observaron diferencias significativas entre los promedios de cada fecha de corte. De todas formas hay una caída en el IAF, contrariamente a lo que acontecería con una pastura que crece en condiciones normales de temperatura ambiente y en ausencia de déficits hídricos. Esto coincide con los resultados presentados anteriormente que demuestran la falta de respuesta que hubo tanto en la capacidad fotosintética como en la acumulación de materia seca a través del tiempo.

Las figuras 27 y 28 muestran de manera más particular cómo ha sido la evolución del IAF en cada uno de los tratamientos.

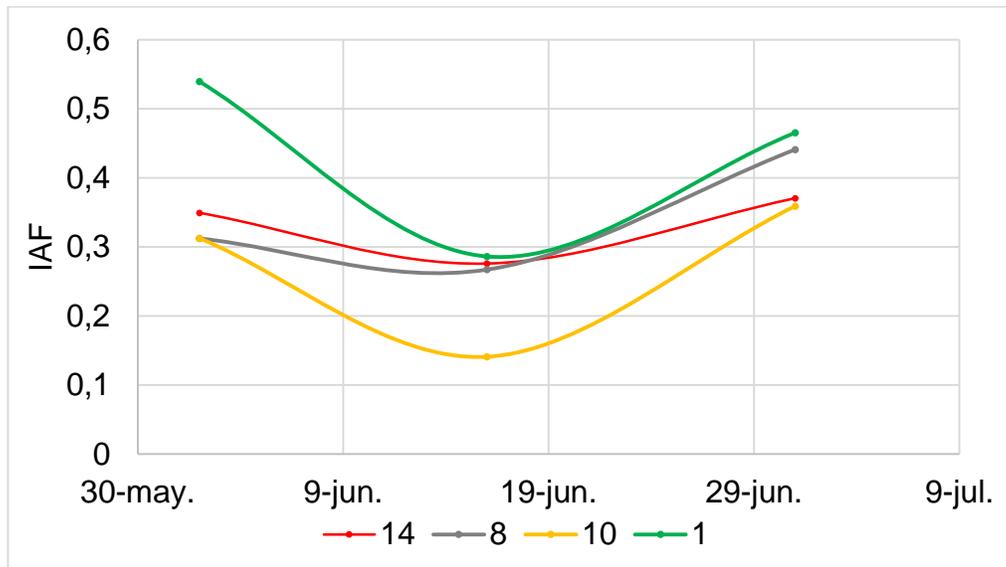


Figura 27. Evolución del IAF en las repeticiones del tratamiento festuca-trébol blanco-lotus.

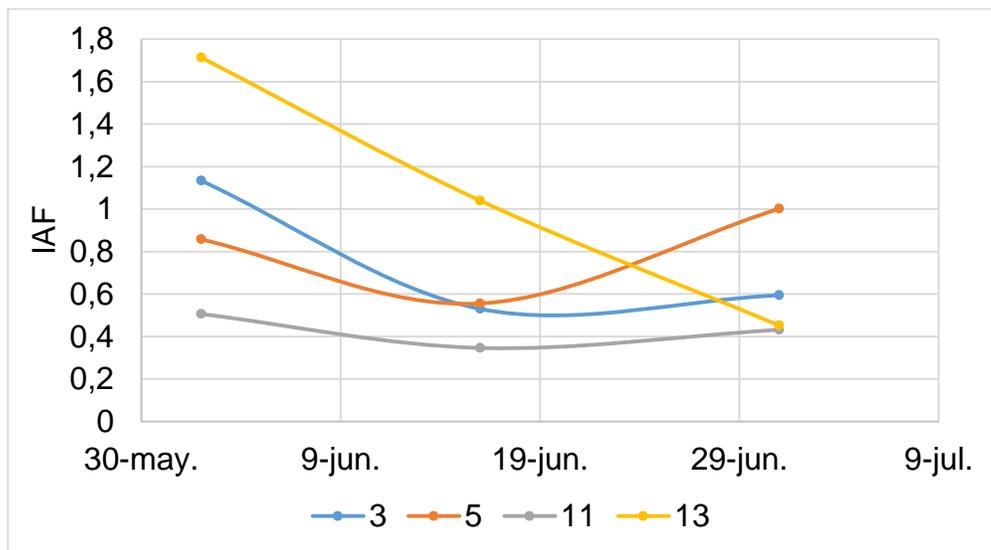


Figura 28. Evolución del IAF en las repeticiones del tratamiento alfalfa-dactylis.

Como se ha reportado anteriormente, de todas las especies contenidas en las mezclas, el dactylis cuenta con una superficie específica (cm<sup>2</sup>/gr de MS de lámina) considerablemente más elevada que el resto.

Por otro lado, según Tournebize, citado por Gastal y Durand (2000) la festuca es capaz de enrollar sus hojas reduciendo en hasta un %50 la capacidad de intercepción de luz cuando hay déficit de agua. Éste comportamiento se ha

observado durante el período experimental reiteradas veces, y podría ser un factor preponderante para explicar la caída del IAF en todas las parcelas de la mezcla FBL hacia el 16/6. Es en este momento en el que el contenido hídrico del suelo fue menor.

Dicha caída en el IAF para todas las repeticiones hasta la mitad del periodo experimental está explicada por las adversas condiciones climáticas, el déficit hídrico y las bajas temperaturas. Como establece Nabinger (1996a), éstas tienen una influencia negativa en el IAF explicada por el descenso en la TEF y un aumento en la tasa de senescencia, determinando una reducción en la tasa de crecimiento. Esto se corrobora a través de la gran cantidad de restos secos presentes en las parcelas. De igual manera, recordando lo reportado por diversos autores (Langer 1981, Colabelli et al. 1998, Gilgen y Buchmann 2009, Carámbula 2010b), las plantas suelen destinar fotoasimilados hacia las raíces cuando hay un déficit hídrico, por lo que es esperable constatar un menor crecimiento y/o desarrollo de la parte aérea. Asimismo, la acumulación de reservas puede ser otro destino de los asimilados que de otra manera podrían destinarse al crecimiento del aparato fotosintético (Carámbula, 2010a).

Mitchell, citado por Barnes et al. (2007) reportó valores de  $IAF_{opt}$  de entre 3 y 5 para especies planófilas (trébol), 5-6 para alfalfa y entre 7 y 10 para gramíneas como el raigrás, por lo que se podría considerar un óptimo para pasturas mezcla conteniendo este tipo de especies en un valor comprendido en estos rangos, posiblemente por encima de 5.

El IAF máximo determinado durante el período fue de 0,54 en el caso del tratamiento FBL y de 1,8 en AD (al principio del período experimental) por lo que demuestra el escaso crecimiento de las pasturas en estas condiciones. Como dicen Beguet y Bavera (2001), valores de IAF muy reducidos se traducirán en rebrotes muy lentos, con agotamientos de las plantas y menor producción de materia seca.

## 5. CONCLUSIONES

En primer lugar, las dos mezclas forrajeras no mostraron diferencias significativas respecto a su producción y acumulación de materia seca. En ambos casos, dicha acumulación fluctuó a lo largo del período experimental distando mucho del comportamiento teórico revisado en la literatura internacional.

Estas diferencias se explican a través de las condiciones ambientales imperantes. Durante la etapa de campo se registraron en reiteradas oportunidades temperaturas por debajo de las cuales existe crecimiento en especies forrajeras del mismo tipo metabólico de las contenidas en las mezclas, particularmente durante el mes de julio que en el año 2015 fue particularmente frío respecto a la serie histórica 2002-2014. Cuando esto acontece, se reduce fuertemente la velocidad de los procesos morfogenéticos así como también se limita la absorción de radiación por aumentos en la tasa de senescencia foliar.

De igual manera, hubo un déficit hídrico del suelo muy considerable causado por la casi total ausencia de precipitaciones. Cuando el aporte de agua por parte del suelo es deficitario, se inhibe la tasa de aparición y extensión de las hojas, se reduce la diferenciación y aparición de nuevos fitómeros y aumenta la tasa de senescencia foliar (entre otros factores), resultando en una reducción de la capacidad de absorber radiación solar. Es ésta última la que en líneas generales limita fuertemente la producción y acumulación de materia seca, lo que explica en gran medida los resultados obtenidos.

Se constató que las relaciones entre las variables analizadas (suma térmica,  $PAR_a$ , IAF) con la acumulación de materia seca fueron en líneas generales coincidentes con lo reportado por la bibliografía internacional.

## 6. RESUMEN

El principal objetivo del presente trabajo fue el de analizar la producción y acumulación de materia seca de dos mezclas forrajeras ampliamente utilizadas en la región durante el período otoño-invernal, así como también determinadas variables morfofisiológicas. Las mezclas evaluadas fueron: *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé, *Trifolium repens* cv. Zapicán, *Lotus corniculatus* cv. San Gabriel por un lado, y *Medicago sativa* cv. Chaná, *Dactylis glomerata* cv. Perseo por otro. Los experimentos se llevaron a cabo sobre praderas de segundo año entre el 27 de mayo y el 14 de julio del año 2015, en el potrero No. 34 de la Estación Experimental "Mario A. Cassinoni" (Facultad de Agronomía, Universidad de la República; Paysandú, Uruguay). El diseño experimental fue de bloques completos al azar, dentro del cual se estudiaron cuatro repeticiones por dos tratamientos, siendo cada uno de estos últimos una mezcla forrajera diferente. Los resultados arrojados indicaron que no hubo diferencias significativas en la acumulación de forraje de ambos tratamientos, pero sí las hubo en las diferentes variables morfofisiológicas analizadas. De estas últimas, se constataron altas significancias en las relación recortes semanales acumulados y tanto suma térmica como  $PAR_a$ , así como también entre la acumulación de materia seca de ambos tratamientos y el  $PAR_a$ . Las condiciones ambientales durante el período experimental, mas precisamente el déficit hídrico y la ocurrencia de bajas temperaturas, fueron poco favorables para el crecimiento de las pasturas y determinaron que no se hayan obtenido resultados mas precisos y/o acordes a la bibliografía internacional.

Palabras clave: Mezclas forrajeras; Producción de materia seca; Intercepción de la radiación; Suma térmica; PAR absorbido; Índice de área foliar.

## 7. SUMMARY

The main purpose of this study was to evaluate the dry matter production and accumulation of two largely disseminated fodder mixtures during the late fall and early winter, as well as many other morphophysiological variables. These fodder mixtures were composed by *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé, *Trifolium repens* cv. Zapicán, *Lotus corniculatus* cv. San Gabriel in one hand, and *Medicago sativa* cv. Chaná, *Dactylis glomerata* cv. Perseo in the other hand. Experiments were conducted over a second year grassland located in the “Mario A. Cassinoni” Experimental Station (Facultad de Agronomía, Universidad de la República; Paysandú, Uruguay) between May the 27<sup>th</sup>. and July the 24<sup>th</sup>. of 2015. The experiment was designed as complete random blocks, with two treatments of four repetitions, being each of the last one single grassland mixture. Obtained results showed no significant differences during the dry matter accumulation between both pastures, however mostly morphophysiological variables showed significantly different results. More precisely, relationships between accumulated trimmings and accumulated thermal sums, and PAR<sub>a</sub> and dry matter accumulation were coincident with those reported by numerous investigators. Unfavorable environmental conditions for forage growth during the field stage such as water stress and low temperatures prevented the obtainment of more accurate results and/or more consistent with the international scientific evidence.

Keywords: Fodder mixtures; Dry matter production; Radiation interception; Thermal sum; Absorbed PAR; Leaf area index.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, FAO. 298 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje no. 56).
2. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echevarría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: clasificación de suelos. Montevideo, Uruguay, MAP. DFS. t.1, 96 p.
3. Álvarez, C.; Cayssials, R.; Molfino, J. H. 1990. Estimación del almacenaje de agua en las tierras del Uruguay; primera aproximación. *In*: Seminario Nacional de Campo Natural (2º., 1990, Tacuarembó, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 11-19.
4. Arce, M.; Fernández, P.; Riccetto, S. 2013. Respuesta estival de *Festuca arundinacea*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum notatum* y *Pennisetum purpureum* cv. Mott al riego suplementario. Tesis ing. agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 133 p.
5. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, B.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Rebuffo, M.; Silva, J.; Real, D. 2010. Forrajera: catálogo de cultivares 2010. Montevideo, INIA. pp. 47-125.
6. Ball, D. M.; Hoveland, C.; Lacefield, G. 1991. Southern forages. Atlanta, Georgia, USA, Williams. 256 p.
7. 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. 5<sup>th</sup>. ed. Ames, Iowa, Iowa State University Press. v. 1 cap. 16, pp. 206-211.
8. \_\_\_\_\_; Nelson, C. K.; Fick, G. W. 2007. Terminology and classification of forage plants. *In*: Barnes, D. K.; Nelson, C. J.; Moore, K.; Collins, M. eds. Forages: the science of grassland agriculture. 6<sup>th</sup>. ed. Ames, Iowa, Willey-Blackwell. v. 2, cap. 1, pp. 245-301.

9. Beguet, H. A.; Bavera, G. A. 2001. Fisiología de la planta pastoreada. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria, 6 p.
10. Boldt-Burisch, K.; Naeth, M. A.; Schneider, B. U.; Hüttl, R. 2015. Linkage between root systems of three pioneer plant species and soil nitrogen during early reclamation of a mine site in Lusatia, Germany. *Restoration Ecology*. 23(4): 357-365
11. Borawska-Jarmulowicz, B.; Mastalerczuk, G.; Pietkiewicz, S.; Kalaji, M. H. 2010. Response of *Dactylis glomerata* to low temperature stress. *In: General Meeting of the European Grassland Federation (23<sup>rd</sup>, 2010, Kiel, Germany). Proceedings. Warsaw, Poland, European Grassland Federation. pp. 359-361.*
12. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2014. Low temperature and hardening effects on photosynthetic apparatus efficiency and survival of forage grass varieties. *Plant Soil Environment* 60(4): 177-183.
13. Breazu, I.; Balan, M.; Oprea, G.; Chiper, C. 2006. The impact of white clover and birdsfoot trefoil in simple mixtures with tall fescue. *In: General Meeting of the European Grassland Federation (21<sup>st</sup>, 2006, Badajoz, Spain). Proceedings. Madrid, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (SEEP). pp. 405-407.*
14. Brougham, R. W. 1957a. Pasture growth studies in relation to grazing management. (en línea). *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 17(1): 46-52. Consultado jun. 2016.  
Disponibile en <http://www.nzsap.org/system/files/proceedings/1957/ab57008.pdf>
15. \_\_\_\_\_. 1957b. Some factors that influence the rate of growth of pasture. *In: New Zealand Grassland Association (19<sup>th</sup>, Palmerston North, New Zealand). Proceedings. Hamilton, New Zealand, New Zealand Grassland Association. pp. 109-116.*
16. Cangiano, C. A. 1997. Consumo en pastoreo. Factores que afectan la facilidad de cosecha. *In: Cangiano, C. ed. Producción animal en pastoreo. Buenos Aires, INTA, Estación Agropecuaria Experimental Balcarce. pp. 41-61.*

17. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 463 p.
18. \_\_\_\_\_. 2010a. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas de producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 1. 357 p.
19. \_\_\_\_\_. 2010b. Pasturas y forrajes; insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 2. 371 p.
20. \_\_\_\_\_. 2010c. Pasturas y forrajes; manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 3. 413 p.
21. Carter, E. B.; Theodorou, M. K.; Morris, P. 1997. Responses of *Lotus corniculatus* to environmental change. *New Phytologist*. 136 (2): 245-253
22. Chapman, D. F.; Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plants regrowth after defoliation. In: International Grassland Congress (17<sup>th</sup>, 1993, Palmerston North, New Zealand). Proceedings. Palmerston North, New Zealand Grassland Association. pp. 95-104.
23. Cheikh M'hamed, H.; Rezig, M.; Ben Naceur, M. 2014. Deficit irrigation of durum wheat (*Triticum durum* Desf.); effects on total dry matter production, light interception and radiation use efficiency under different nitrogen rates. *Sustainable Agriculture Research* 1(4): 26-40.
24. Colabelli, M.; Agnusdei, M.; Mazzanti, A.; Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. (en línea). Sitio Argentino de Producción Animal. Boletín técnico no. 148. 12 p. Consultado 14 may. 2016. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso\\_crecimiento.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso_crecimiento.pdf).
25. Correa Urquiza, A. 2003. Mezclas forrajeras. (en línea). Río Cuarto, Sitio Argentino de Producción Animal. 3 p. Consultado 22 dic. 2015. Disponible en [http://www.produccionanimal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20artificiales/18-mezclas\\_forrajeras.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/18-mezclas_forrajeras.pdf).

26. Cougnon, M.; Reheul, D.; Baert, J.; Van Waes, C. 2014. Performance and quality of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and mixtures of both species grown with or without white clover (*Trifolium repens* L.) under cutting management. The British Grass and Forage Science Journal. 69(4): 666-677.
27. 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.
28. Davidson, R .L. 1698. Effect of root/shoot temperature differentials on Root/Shoot Ratios in some pastures grasses and clover. Annals of Botany. 33(131): 561-569.
29. De Castro Santos, D.; Guimarães Júnior, R.; Vilela, L.; Pulrolnik, K.; Bof Bufon, V.; Fernandes de Souza França, A. 2016. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of piatã grass in silvopastoral systems in the brazilian savannah. Agriculture, Ecosystems and Environment. 233 (1): 16-24.
30. Demotes-Mainard, S; Peron, T.; Corot, A.; Bertheloot, J.; Le Gourrierec, J.; Pelleschi-Travier, S.; Cresper, L.; Morel, P.; Huché-Théliet, L.; Boumaza, R.; Vian, A.; Guérin, V.; Leduc, N.; Sakr, S. 2015. Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. (en línea). Environmental and Experimental Botany. 121: 4-21. Consultado 15 dic. 2015. Disponible en <http://www.sciencedirect.com.proxy.timbo.org.uy:443/science/article/pii/S0098847215000933?>
31. Díaz-López, 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.
32. Fan, J-W.; Du, Y-L.; Turner, N. C.; Wang, B-R.; Fang, Y.; Xi, Y.; Guo, X-R.; Li, F-M. 2015. Changes in root morphology and physiology to limited phosphorus and moisture in a locally selected cultivar and an introduced cultivar of *Medicago sativa* L. growing in alkaline soil. Plant Soil. 392 (1/2): 215-226.

33. Fariña, M.; Saravia, R. 2010. Evaluación de la productividad de mezclas forrajeras bajo pastoreo. Tesis ing. agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 83 p.
34. Formoso, F. 1993. *Lotus corniculatus*: performance forrajera y características agronómicas. Montevideo, INIA. 22 p. (Serie Técnica no. 37).
35. \_\_\_\_\_. 1996. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas . In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 1-21 (Serie Técnica no. 80).
36. \_\_\_\_\_. 2010. *Festuca arundinacea*: manejo para producción de forraje y semillas. Montevideo, INIA. pp. 21-57 (Serie Técnica no. 182).
37. \_\_\_\_\_. 2011. Manejo de mezclas forrajeras y leguminosas puras. Producción y calidad de forraje. Efectos del estrés ambiental e interferencia de *Cynodon dactylon* L. Montevideo, INIA. 302 p. (Serie Técnica no. 188)
38. Gastal, F.; Durand, J. L. 2000. Effects of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. In: Lemaire, G.; Hodgson J.; De Moraes, A.; Carvalho, F.; Nabinger, C. eds. Grassland ecophysiology and grazing ecology. Wallingford, UK, CABI. pp. 15-35.
39. \_\_\_\_\_.; Lemaire, G. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilisation in pasture: review of the underlying Ecophysiological Processes. *Agriculture*. 4(5): 1146-1171.
40. García, J. A.; Millot, J. C. 1978. Estanzuela Tacuabé; primera variedad de *Festuca arundinacea* creada para el Uruguay. *Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay* (2ª. época). 9 (1): 33-36.
41. \_\_\_\_\_. 1995. *Dactylis glomerata* L. INIA LE OBERON .Montevideo, INIA. 16 p. (Serie Técnica no. 49).
42. Gilgen, A. K.; Buchmann, K. 2009. Response of temperate grasslands at different altitudes to simulated summer drought differed but scaled

with annual precipitation. *Biogeosciences Discussions*. 6 (1): 2525-2539.

43. Hall, M.; Vough, L. 2007. Forage establishment and renovation. *In*: Barnes, D. K.; Nelson, C. J.; Moore, K.; Collins, M. eds. *Forages: the science of grassland agriculture*. 6<sup>th</sup>. ed. Ames, Iowa, Willey-Blackwell. v. 2, cap. 1, pp. 343-354.
44. Hernández Garay, A.; Flores Santiago, E.; De Dios Guerrero Rodríguez, J.; Quero Castillo, A. R.; Martínez-Hernández, P. A. 2015. Productividad de asociaciones de pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 6(3): 337-347.
45. Hofer, D.; Suter, M.; Hoekstra, N. J.; Haughey, E.; Eickhoff, B.; Finn, J. A.; Buchmann, N.; Lüsher, A. 2014. Important differences in yield responses to simulated drought among four different species and across three sites. *In*: General Meeting of the European Grassland Federation (25<sup>th</sup>., 2014, Aberystwyth, Wales). EGF at 50: the Future of European Grasslands 166. Aberystwyth, European Grassland Federation. pp.166-168.
46. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2010. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. (en línea). Montevideo. 97 p. Consultado 12 dic. 2015. Disponible en [http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/Evaluacion\\_EF/Ano2010/publicacionforraj2010.pdf](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2010/publicacionforraj2010.pdf)
47. \_\_\_\_\_. 2011. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. (en línea). Montevideo. 110 p. Consultado 12 dic. 2015. Disponible en [http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/Evaluacion\\_EF/Ano2010/publicacionforraj2011.pdf](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2010/publicacionforraj2011.pdf)
48. \_\_\_\_\_. 2012. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. (en línea). Montevideo. 111 p. Consultado 12 dic. 2015. Disponible en [http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/Evaluacion\\_EF/Ano2012/PubForrajeras2012.pdf](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2012/PubForrajeras2012.pdf)

49. \_\_\_\_\_. 2013. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. (en línea). Montevideo. 117 p. Consultado 12 dic. 2015. Disponible en [http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/Evaluacion\\_EF/Ano2013/PubForrajerasPeriodo2013.pdf](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2013/PubForrajerasPeriodo2013.pdf)
50. \_\_\_\_\_. 2014. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. (en línea). Montevideo. 114 p. Consultado 13 dic. 2015. Disponible en: [http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/Evaluacion\\_EF/Ano2014/PubForrajerasPeriodo2014.pdf](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2014/PubForrajerasPeriodo2014.pdf)
51. Insúa, J. R.; Di Marco, O. N.; Agnusdei, M. G. 2013. Calidad nutritiva de láminas de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) en rebrotes de verano y otoño. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 38 (2): 190-195.
52. Julander, O. 1945. Drought resistance in range and pasture grasses. Plant Physiology. 20(4): 573-599.
53. Kramer, P. J.; Tejada, L. 1974. Relaciones hídricas de suelo y plantas: una síntesis moderna. México, CRAT. 538 p.
54. Langer, R. H. M. 1981. Las pasturas y sus plantas. Montevideo, Hemisferio Sur. 524 p.
55. Lemaire, G.; Agnusdei, M. 2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: Lemaire, G.; Hodgson, J.; De Moraes, A.; Carvalho, F.; Nabinger, C. Grassland ecophysiology and grazing ecology. Wallingford, UK, CABI. v. 1, cap. 14, pp. 265-287.
56. Li, Z.; Peng, Y. 2012. Photosynthetic characteristics and variation of osmoregulatory solutes in two clover (*Trifolium repens* L.) genotypes in response to drought and post-drought recovery. Australian Journal of Crop Science. 6 (12): 1696-1702.
57. Marks, S.; Clay, K. 2007. Low resource availability affects the growth of host grasses infected by fungal Endophytes. International Journal of Plant Sciences. 168(9): 1269-1277.
58. Minson, D. J.; Milford, R. 1967. The voluntary intake and digestibility of diets containing different proportions of legume and mature

pangola grass (*Digitaria decumbens*). Australian journal of Experimental Agricultural Animal Husbandry. 7(29): 546-551.

59. Morón, A. 2000. Manejo agronómico de la alfalfa; fertilidad de suelos y estado nutricional. In: Rebuffo, M.; Risso, D. F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 32-57 (Boletín de Divulgación no. 69).
60. Muslera, E.; Ratera, C. 1984. Praderas y forrajes; producción y aprovechamiento. Madrid, España, Mundi-Prensa. 702 p.
61. Nabinger, C. 1996a. 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 (16<sup>o</sup>., 1996, Porto Alegre, Brasil). Relatório. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. pp 25-55.
62. \_\_\_\_\_. 1996b. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: Simpósio sobre Manejo da Pastagem (13<sup>o</sup>., 1996, Piracicaba, Brasil). Anais. Piracicaba, FEALQ (Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, BR). pp. 15-96.
63. Nichols, S. N.; Crush, J. R.; Woodfield, D. R. 2007. Effects of inbreeding on nodal shoot system prophyllology and architecture of white clover (*Trifolium repens* L.). *Euphytica*. 156(3): 365-373.
64. Pardeller, M.; Schäufele, R.; Pramsohler, M.; Peratoner, G. 2014. Water use efficiency of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) under different management intensity. In: General Meeting of the European Grassland Federation (25<sup>th</sup>., 2014, Aberystwyth, Wales). Proceedings. Aberystwyth, Wales, European Grassland Federation. pp. 163-165.
65. 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.
66. \_\_\_\_\_.; Penning, P. D. 1988. The effect on the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a

rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science*. 43(1): 15-27.

67. Poorter, H.; De Jong, R. 1999. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist*. 143(1): 163-176.
68. Quiroga Garza, H. M. 2013. Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(4): 503-516.
69. Ramírez Fonseca, H. A. 2011. Producción de *Festuca arundinacea* Schreb sembrada sola y en mezcla con *Dactylis glomerata* L. en un andisol de la región de la Araucanía. Tesis Ing. Agr. Temuco, Chile. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. 70 p.
70. Robson, M. J.; Ryle, G. J.; Woledge, J. 1988. The grass plant; its form and function. In: Jones, M. B.; Lazemby, A. eds. *The grass crop*. 3<sup>rd</sup>. ed. New York , USA, Chapman and Hall. v. 1, cap. 1, pp. 25-34.
71. Saldanha, S. 2009. Efecto de la intensidad de pastoreo sobre la estructura de una pastura de *Lolium perenne* cv. Horizon. Tesis MSc. en Ciencias Agrarias orientación Producción Animal. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 97 p.
72. Schneider, O. 2005. Mezclas de especies forrajeras perennes templadas. In: Jornada de actualización técnica en pasturas implantadas (2005, Buenos Aires, Argentina). Trabajos presentados. Buenos Aires, s.e. s.p.
73. Seker, H.; Yolcu, H.; Acikgoz, E. 2015. Primary growth parameters of three alfalfa cultivars adapted to highland climatic conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 201(1): 219-227.
74. Turner, L. R.; Holloway-Phillips, M.; Rawnsley, R. P.; Donaghy, D. J.; Pembleton, K. G. 2012. The morphological and physiological responses of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb) to variable water availability. *Grass and Forage Science*. 67: 507-518.

75. UdelaR. FA (Universidad de la República. Facultad de Agronomía, UY). 1997. Curso práctico de agrometeorología. Montevideo. 113 p.
76. Varlet-Grancher, C.; Bonhomme, R. 1979. Applications aux couverts végétaux des lois rayonnement en milieu diffusant; interception de l'énergie solaire par une culture. Annales Agronomiques. 26(1): 1-26.
77. Villareal González, J. A.; Hernández-Garay, A.; Martínez Hernández, P. A.; De Dios Guerrero Rodríguez, J.; Velazco Zebadúa, M. E. 2014. Rendimiento y calidad de forraje del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) al variar la frecuencia e intensidad de pastoreo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 5(2): 231-245.
78. Zanoniani, R.; Ducamp, F. 2004. Leguminosas forrajeras del género Lotus en el Uruguay. Cangüé. no. 25: 5-11.

## 9. ANEXOS

### 1. Acumulación total de MS (kg.ha<sup>-1</sup>)

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj.	CV.
<b>Kg totales</b>	8	0,48	0,00	31,80

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F. de V.	SC.	g.l.	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	8188419,45	4	2047104,86	0,7	0,6422
<b>Rep.</b>	5898940,43	3	1966313,48	0,67	0,6247
<b>Trat.</b>	2289479,01	1	2289479,01	0,78	0,4420
<b>Error</b>	8796683,08	3	2932227,69		
<b>Total</b>	16985102,53	7			

### 2. Peso fresco promedio de los cuadros

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj.	CV
<b>Kg PF.</b>	24	0,75	0,51	23,89

F. de V.	SC.	g.l.	CM.	F	p-valor
<b>Modelo</b>	56652427,29	11	5150220,66	3,20	0,028
<b>Parcela</b>	10540546,63	7	1505792,38	0,94	0,514
<b>Día</b>	43296160,33	2	21648080,17	13,46	0,0009
<b>Mezcla</b>	0,00	0	0,00	Sd	Sd
<b>Mezcla*día</b>	2815720,33	2	1407860,17	0,88	0,442
<b>Error</b>	19301782,67	12	1608481,89		
<b>Total</b>	75954209,96	23			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1845,61106**

Error: 1608481,8889 gl: 12

Parcela	medias	n	Error E.	
14	6182,33	3	764,79	A
8	6090,67	3	764,79	A
5	5752,00	3	764,79	AB
10	5571,33	3	764,79	AB
3	5136,00	3	764,79	AB
13	4855,33	3	764,79	AB
11	4681,67	3	764,79	AB
1	4193,00	3	764,79	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1130,20134**

Error: 1608481,8889 gl: 12

Dia	Medias	n	Error e.	
16/6	6270,63	8	468,34	A
1/7	6244,38	8	468.34	A
2/6	3408,38	8	468.34	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=922,80553**

Error: 1608481,8889 gl: 12

mezcla	medias	n	Error exp.	
FBL	5509,33	12	382,39	A
AD	5106,25	12	382,39	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1598,34607**

Error: 1608481,8889 gl: 12

mezcla	día	Medias	n	Error exp.	
FBL	16/6	6862,75	4	622,33	A
AD	1/7	6486,25	4	622,33	A
FBL	1/7	6002,50	4	622,33	A
AD	16/6	5678,50	4	622,33	A
FBL	2/6	3662,75	4	622,33	B
AD	2/6	3154,00	4	622,33	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

3. IAF por composición gravimétrica (ambos tratamientos)

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj.	CV
IAF	24	0,69	0,53	44,52

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F. de V.	SC.	g.l.	CM.	F.	p-valor
<b>Modelo</b>	2,04	8	0,25	4,22	0,0080
<b>Tratamiento</b>	1,07	1	1,07	17,76	0,0008
<b>Fecha</b>	0,34	2	0,17	2,85	0,0893
<b>bloque</b>	0,41	3	0,14	2,27	0,1218
<b>Fecha*trat.</b>	0,21	2	0,11	1,74	0,2094
<b>Error</b>	0,91	15	0,06		
<b>total</b>	2,95	23			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,17591**

Error: 0,0604 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	Error exp.	
<b>AD</b>	0,76	12	0,08	A
<b>FBL</b>	0,34	12	0,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,21545**

Error: 0,0604 gl: 15

Día	Medias	n	Error exp.	
<b>2/6</b>	0,72	6	0,09	A
<b>1/7</b>	0,51	6	0,09	AB
<b>16/6</b>	0,43	6	0,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,30469**

Error: 0,0604 gl: 15

Día	tratamiento	Medias	n	Error exp.	
<b>2/6</b>	AD	1,05	4	0,13	A
<b>1/7</b>	AD	0,62	4	0,13	B
<b>16/6</b>	AD	0,62	4	0,13	B
<b>1/7</b>	FBL	0,40	4	0,13	BC
<b>2/6</b>	FBL	0,38	4	0,13	BC
<b>16/6</b>	FBL	0,25	4	0,13	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

4. Peso seco hojas.m<sup>-2</sup>

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj.	%CV.
PS hojas/m <sup>2</sup>	24	0,49	0,22	43,63

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F. de V.	SC.	g.l.	CM.	F.	p-valor
Modelo	128,61	8	16,08	1,81	0,153
Fecha	1,51	2	0,76	0,09	0,919
Bloque	99,68	3	33,23	3,75	0,034
Tratam.	1,44	1	1,44	0,16	0,693
Fecha.tratam.	25,98	2	12,99	1,46	0,262
Error	133,06	15	8,87		
Total	261,67	23			

Peso seco láminas.m<sup>-2</sup>

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj.	%CV
PS láminas/m <sup>2</sup>	24	0,64	0,45	54,99

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F. de V.	SC.	g.l.	CM.	F.	p-valor
Modelo	1118,19	8	139,77	3,37	0,020
Fecha	278,92	2	139,46	3,36	0,062
Bloque	375,98	3	125,33	3,02	0,063
Tratam.	136,04	1	136,04	3,28	0,090
Fecha.tratam.	327,25	2	163,62	3,94	0,042
Error	623,03	15	41,54		
Total	1741,21	23			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=5,64902**

Error: 41,5353 gl: 15

Fecha	Medias	n	Error exp.	
2/6	15,94	8	2,28	A
1/7	11,62	8	2,28	AB
16/6	7,59	8	2,28	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,10)

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=4,61240**

Error: 41,5353 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	Error exp.	
AD	14,10	12	1,86	A
FBL	9,34	12	1,86	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=7,98891**

Error: 41,5353 gl: 15

Fecha	Tratamiento	Medias	n	Error exp.	
2/6	AD	22,57	4	3,22	A
1/7	FBL	14,00	4	3,22	B
16/6	AD	10,49	4	3,22	BC
2/6	FBL	9,32	4	3,22	BC
1/7	AD	9,25	4	3,22	BC
16/6	FBL	4,70	4	3,22	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )

#### 5. Regresión entre PAR<sub>a</sub> y rebrotes acumulados (FBL)

Estadísticas de la regresión	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,84
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,71
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,70
<b>Error típico</b>	22,96
<b>Observaciones</b>	24

#### Análisis de Varianza

	g.l.	SC.	Promedio cuadrados	F.	Valor crítico de F.
<b>Regresión</b>	1	28210,7	28210,7	53,5	2,53E-07
<b>Residuos</b>	22	11601,1	527,3		
<b>Total</b>	23	39811,8			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	-26,41	0,41
<b>Error típico</b>	15,48	0,06
<b>Estadístico t.</b>	-1,71	7,31
<b>Probabilidad</b>	0,10	2,53E-07
<b>Inferior 95%</b>	-58,54	0,29
<b>Superior 95%</b>	5,70	0,52

6. Regresión entre PAR<sub>a</sub> y cortes de acumulación (AD)

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,49
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,24
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,20
<b>Error típico</b>	425,36
<b>Observaciones</b>	23

**Análisis de Varianza**

	<b>g.l.</b>	<b>SC.</b>	<b>Promedio cuadrados</b>	<b>F.</b>	<b>Valor crítico αe F.</b>
<b>Regresión</b>	1	1185074,087	1185074,087	6,55	0,02
<b>Residuos</b>	21	3799635,533	180935,0254		
<b>Total</b>	22	4984709,619			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	1424,21	-2,38
<b>Error típico</b>	217,5	0,93
<b>Estadístico t.</b>	6,55	-2,56
<b>Probabilidad</b>	1,74 E -06	0,02
<b>Inferior 95%</b>	971,94	-4,32
<b>Superior 95%</b>	1876,47	-0,45

7. Regresión entre PAR<sub>a</sub> y rebrotes acumulados (AD)

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,84
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,71
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,70
<b>Error típico</b>	26,70
<b>Observaciones</b>	24

**Análisis de Varianza**

	<b>g.l.</b>	<b>SC.</b>	<b>Promedio cuadrados</b>	<b>F.</b>	<b>Valor crítico de F.</b>
<b>Regresión</b>	1	39016,30	39016,3	54,72	2,11E-07
<b>Residuos</b>	22	15687,20	713,05		
<b>Total</b>	23	54703,50			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	-0,15	0,48
<b>Error típico</b>	18,01	0,06
<b>Estadístico t.</b>	-0,01	7,40
<b>Probabilidad</b>	0,99	2,1135E-07
<b>Inferior 95%</b>	-37,50	0,34
<b>Superior 95%</b>	37,20	0,61

8. Regresión entre PAR<sub>a</sub> y todos los cortes (acumulación + rebrotes) en tratamientos FBL y AD.

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,74
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,55
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,54
<b>Error típico</b>	243,60
<b>Observaciones</b>	56

### Análisis de la Varianza

	g.l.	SC.	Promedio cuadrados	F.	Valor crítico de F.
<b>Regresión</b>	1	3939533,39	3939533,39	66,39	5,7E-11
<b>Residuos</b>	54	3204420,85	59341,13		
<b>Total</b>	55	7143954,24			

	Intercepción	Variable x 1
<b>Coefficientes</b>	-54,39	1,70
<b>Error típico</b>	71,06	0,21
<b>Estadístico t.</b>	-0,77	8,15
<b>Probabilidad</b>	0,45	5,6986E-11
<b>Inferior 95%</b>	-196,85	1,28
<b>Superior 95%</b>	88,07	2,11
<b>Inferior 95,0%</b>	-196,85	1,28
<b>Superior 95,0%</b>	88,07	2,11

9. Regresión entre PAR<sub>a</sub> y cortes de acumulación en tratamiento FBL

Estadísticas de la regresión	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,75
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,57
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,52
<b>Error típico</b>	252,23
<b>Observaciones</b>	11

### Análisis de la Varianza

	g.l.	SC.	Promedio cuadrados	F.	Valor crítico de F.
<b>Regresión</b>	1	750745,22	750745,22	11,80	0,007
<b>Residuos</b>	9	572572,71	63619,19		
<b>Total</b>	10	1323317,93			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	-184,72	2,55
<b>Error típico</b>	325,01	0,74
<b>Estadístico t.</b>	-0,57	3,44
<b>Probabilidad</b>	0,58	0,01
<b>Inferior 95%</b>	-919,94	0,87
<b>Superior 95%</b>	550,50	4,23

10. Regresión entre PAR<sub>a</sub> y cortes de acumulación en tratamiento AD

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,56
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,31
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,24
<b>Error típico</b>	254,53
<b>Observaciones</b>	12

#### **Análisis de la Varianza**

	<b>g.l.</b>	<b>SC.</b>	<b>Promedio cuadrados</b>	<b>F.</b>	<b>Valor crítico de F.</b>
<b>Regresión</b>	1	291166,32	291166,32	4,49	0,06
<b>Residuos</b>	10	647881,13	64788,11		
<b>Total</b>	11	939047,45			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	107,72	1,37
<b>Error típico</b>	281,92	0,64
<b>Estadístico t.</b>	0,38	2,12
<b>Probabilidad</b>	0,71	0,06
<b>Inferior 95%</b>	-520,43	-0,07
<b>Superior 95%</b>	735,87	2,80

11. Regresión entre PAR<sub>a</sub> y rebrotes (FBL Y AD)

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,47
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,22
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,19
<b>Error típico</b>	95,76
<b>Observaciones</b>	32

**Análisis de la Varianza**

	<b>g.l.</b>	<b>SC.</b>	<b>Promedio cuadrados</b>	<b>F.</b>	<b>Valor crítico de F</b>
<b>Regresión</b>	1	77469,90	77469,90	8,45	0,0068
<b>Residuos</b>	30	275077,48	9169,25		
<b>Total</b>	31	352547,39			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	133,46	0,43
<b>Error típico</b>	35,39	0,15
<b>Estadístico t.</b>	3,77	2,91
<b>Probabilidad</b>	0,001	0,01
<b>Inferior 95%</b>	61,19	0,13
<b>Superior 95%</b>	205,73	0,74

12. Regresión entre PAR<sub>a</sub> e IAF de cortes y rebrotes (ambos tratamientos).

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,87
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,75
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,75
<b>Error típico</b>	0,12
<b>Observaciones</b>	56

### Análisis de la Varianza

	g.l.	SC	Promedio cuadrados	F	Valor crítico de F
<b>Regresión</b>	1	2,23	2,23	165,62	4,38E-18
<b>Residuos</b>	54	0,73	0,013		
<b>Total</b>	55	2,96			

	Intercepción	Variable x 1
<b>Coefficientes</b>	0,028	0,001
<b>Error típico</b>	0,034	9,93E-05
<b>Estadístico t.</b>	0,83	12,87
<b>Probabilidad</b>	0,41	4,38E-18
<b>Inferior 95%</b>	-0,04	0,001
<b>Superior 95%</b>	0,097	0,001

13. Regresión entre Suma térmica acumulada y rebrotes acumulados del tratamiento FBL

Estadísticas de la regresión	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,842
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,709
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,695
<b>Error típico</b>	22,963
<b>Observaciones</b>	24

### Análisis de la Varianza

	g.l.	SC	Promedio cuadrados	F	Valor crítico de F
<b>Regresión</b>	1	28210,71	28210,709	53,498	2,53E-07
<b>Residuos</b>	22	11601,06	527,321		
<b>Total</b>	23	39811,77			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	-26,42	0,40
<b>Error típico</b>	15,49	0,06
<b>Estadístico t.</b>	-1,71	7,31
<b>Probabilidad</b>	0,10	2,53E-07
<b>Inferior 95%</b>	-58,536	0,290
<b>Superior 95%</b>	5,703	0,520

14. Regresión entre suma térmica acumulada y cortes de acumulación del tratamiento AD

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,463
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,214
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,179
<b>Error típico</b>	526
<b>Observaciones</b>	24

#### **Análisis de la Varianza**

	<b>g.l.</b>	<b>SC</b>	<b>Promedio cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>
<b>Regresión</b>	1	1659403,32	1659403,32	6,00	0,023
<b>Residuos</b>	22	6086664,91	276666,587		
<b>Total</b>	23	7746068,23			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	1576,496	-2,800
<b>Error típico</b>	263,656	1,143
<b>Estadístico t.</b>	5,979	-2,449
<b>Probabilidad</b>	5,1135E-06	0,023
<b>Inferior 95%</b>	1029,707	-5,171
<b>Superior 95%</b>	2123,285	-0,429

15. Regresión entre suma térmica acumulada y rebrotes acumulados del tratamiento AD

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple</b>	0,845
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0,713
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,700
<b>Error típico</b>	26,703
<b>Observaciones</b>	24

**Análisis de la Varianza**

	<b>g.l.</b>	<b>SC</b>	<b>Promedio cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico F</b>
<b>Regresión</b>	1	39016,296	39016,296	54,717	2,113E-07
<b>Residuos</b>	22	15687,201	713,055		
<b>Total</b>	23	54703,497			

	<b>Intercepción</b>	<b>Variable x 1</b>
<b>Coefficientes</b>	-0,153	0,476
<b>Error típico</b>	18,010	0,064
<b>Estadístico t.</b>	-0,0084777	7,397
<b>Probabilidad</b>	0,993	2,113E-07
<b>Inferior 95%</b>	-37,503	0,343
<b>Superior 95%</b>	37,198	0,610