

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN EN OTOÑO-
INVIERNO EN UNA PASTURA MEZCLA DE ALFALFA Y FESTUCA**

Liliana Clausen

**Trabajo de tesis presentado como requisito parcial para optar al título de
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA**

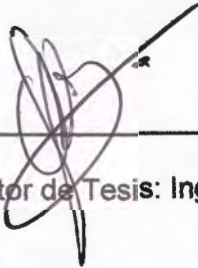
**INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL BALCARCE**

Balcarce, Argentina

Abril, 2019

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN EN OTOÑO-
INVIERNO EN UNA PASTURA MEZCLA DE ALFALFA Y FESTUCA**

Liliana Clausen



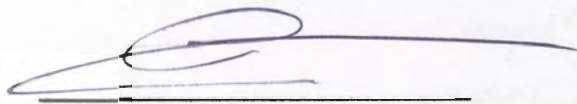
Director de Tesis: Ing. Agr. (Dr.) German Darío Berone

Co- director de tesis: Ing. Agr. (MSc.) María Alejandra Marino

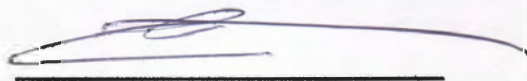
**FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN EN OTOÑO-
INVIERNO EN UNA PASTURA MEZCLA DE ALFALFA Y FESTUCA**

Liliana Clausen

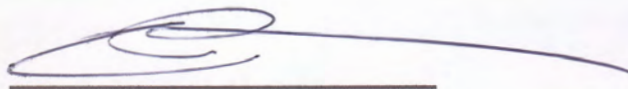
Aprobada por:



Evaluador: Ing. Agr. (Dr.) Jorge Gonzalo Irisarri



Evaluador: Ing. Agr. (MSc.) Mónica Comacchione



Evaluador: Ing. Agr. (Dr.) Martín Durante

AGRADECIMIENTOS

- A **MIGUEL PEROTTI, LUCIANA M. CALSINA** y **RODOLFO RENOLFI** por confiar en mí y darme la oportunidad de hacer la maestría en Balcarce. A **RODOLFO** por sus consejos llenos de experiencia y apoyo. A **LUCIANA** por sus buenos consejos, su apoyo y por su ayuda desinteresada.
- A **INTA** por financiar los gastos de la maestría.
- A **GERMÁN BERONE** por aceptarme como tesista y especialmente por las enseñanzas y dedicación.
- A **ALEJANDRA MARINO** por la colaboración en tareas de campo, por “conseguirme colaboradores” y por sus aportes al escrito de la tesis.
- A los alumnos de ciencias agrarias **MATEO NÚÑEZ LUCANERA** y **FRANCISCO SOLANA** por su colaboración en tareas de campo y especialmente por la labor de separar especies. A **LUCIANO VERELLEN** y **MATÍAS RODRÍGUEZ** que en varias oportunidades dejaron sus ensayos para ayudarme.
- A **GABRIEL BLAIN**, un agradecimiento especial porque siempre estuvo dispuesto a ayudarme cuando más lo necesitaba. Sin su ayuda no hubieran sido posibles varios de los muestreos.
- A **ROMINA ANDRIOLI, ROSARIO ITURRALDE, SILVIA OLIVO, FLORENCIA JAIMEZ, PABLO CICORE, JUAN INSÚA** y **PEDRO ERRECART** por su colaboración ya sea en tareas de campo, de laboratorio o por responderme consultas.
- A **GLORIA MONTEERRUBIANESI** por asesorarme en estadística.
- A **LALO MONTERO** y **JOSÉ MÉNDEZ** por la colaboración en tareas de campo, y por la gestión y preparación de lo necesario para ir a los muestreos. Y un agradecimiento personal a **JOSÉ**, quien siempre estuvo pendiente de que estuviera sobrellevando bien mi estadía en Balcarce.
- A **RAFAEL RAMÍREZ**, por su colaboración durante algunos fines de semana en tareas de campo y especialmente porque estuvo a mi lado en los momentos personales difíciles.
- A **LUISA TÉVEZ, MARITA COCIMANO** y **CRISTINA LARRABURU** muchas gracias por sus gestiones administrativas. A **CRISTINA** gracias por los almuerzos compartidos.
- A **GONZALO IRISARRI, MARTÍN DURANTE** y **MÓNICA CORNACCHIONE** por la revisión del manuscrito y sus sugerencias que permitieron una mejora de esta tesis

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Producción de forraje de pasturas perennes puras y mezclas	1
1.2. Ventajas y limitantes de las pasturas mezcla	1
1.3. Beneficios de las leguminosas en pasturas mezclas.....	2
1.4. Competencia gramínea-leguminosa	2
1.5. Mezcla entre festuca mediterránea y alfalfa con reposo invernal intermedio.....	3
1.5.1. Festuca alta	4
1.5.2. Alfalfa.....	6
1.6. Fertilización nitrogenada y frecuencia de defoliación en una mezcla	7
1.7. Objetivo e hipótesis.....	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS	11
2.1. Sitio experimental	11
2.2. Tratamientos y diseño experimental	12
2.3. Variables evaluadas.....	13
2.3.1. Biomasa, densidad de individuos e índice de área foliar	13
2.3.2. Intercepción de la radiación	14
2.3.3. Radiación interceptada acumulada	15
2.3.4. Eficiencia del uso de la radiación	15
2.3.5. Nutrición nitrogenada de Festuca _{MED} durante otoño-invierno	15
2.3.6. Competencia por la radiación ejercida por Festuca _{MED} sobre la tasa de crecimiento de Alfalfa _{GR6} . Frecuencia de defoliación en Alfalfa _{GR6} Pura	15
2.4. Análisis estadístico de los datos	17
3. RESULTADOS	18
3.1. Condiciones meteorológicas	18
3.2. Biomasa cosechada.....	19
3.3. Densidad de individuos	22
3.4. Biomasa de cada individuo	24
3.5. Índice de área foliar pre-cosecha	26
3.6. Intercepción de la radiación	28
3.7. Radiación interceptada acumulada	30
3.8. Eficiencia del uso de la radiación	33
3.9. Nutrición nitrogenada de Festuca _{MED} durante otoño-invierno	37
3.10. Competencia por la radiación ejercida por Festuca _{MED} sobre la tasa de crecimiento de Alfalfa _{GR6} . Frecuencia de defoliación en Alfalfa _{GR6} Pura	37
4. DISCUSIÓN	39
4.1. Respuesta al agregado de nitrógeno	39
4.2. Respuesta a la aplicación de frecuencias de defoliación contrastantes	41
4.2.1. ¿Qué ocurrió durante el período en que se aplicaron frecuencias de defoliación contrastantes (15/5/15 al 23/7/15)?	43
4.2.2. ¿Qué ocurrió durante la salida de invierno y primavera, luego de finalizar el período de manejo de defoliación contrastante (24/7/15 al 30/12/15)?.....	44
4.2.3. ¿Qué ocurrió durante el verano, cuando se expresó el efecto de frecuencias de defoliación contrastantes (31/12/15 al 22/2/16)?	45
5. CONCLUSIONES	47
6. BIBLIOGRAFÍA	48
7. APÉNDICE	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fechas de corte y tiempo térmico (°C días) en pasturas mezcla de Festuca _{MED} +Alfalfa _{GR6} sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR). El valor entre paréntesis se refiere a la temperatura base utilizada: 0,1 °C para Festuca _{MED} (obtenida en la presente tesis, ver sección Introducción) y 5 °C para Alfalfa _{GR6} (Thiébeau <i>et al.</i> , 2011).....	12
Tabla 2. Valores medios mensuales durante 1970-2014 y 2015-2016 de temperatura mínima, máxima y media mensual (T, °C); radiación incidente diaria (RI, MJ/m ² .día); precipitación mensual (PP, mm); evapotranspiración potencial (ETP, mm); diferencia entre PP y ETP (PP-ETP, mm) y fotoperiodo (F, h:min).....	18
Tabla 3. Biomasa aérea cosechada acumulada (kg/ha) durante otoño-invierno (del 10/4/15 al 8/9/15), primavera temprana (del 9/9/15 al 28/10/15), primavera tardía-verano (del 29/10/15 al 11/4/16) y anual (del 10/4/15 al 11/4/16) de la mezcla (Festuca _{MED} +Alfalfa _{GR6}) y sus componentes (Festuca _{MED} y Alfalfa _{GR6}); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente); sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR).....	20
Tabla 4. Biomasa aérea cosechada (kg/ha) de la mezcla (Festuca _{MED} +Alfalfa _{GR6}) y sus componentes (Festuca _{MED} y Alfalfa _{GR6}) durante el período en que se aplicaron defoliaciones frecuentes (FREC) e infrecuentes (INFR) (del 15/5/15 al 23/7/15); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente).	22
Tabla 5. Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFA _{intac} , MJ/m ²) de la mezcla (Festuca _{MED} +Alfalfa _{GR6}) y sus componentes (Festuca _{MED} y Alfalfa _{GR6}) durante otoño-invierno (del 10/4/15 al 8/9/15), primavera temprana (del 9/9/15 al 28/10/15), primavera tardía-verano (del 29/10/15 al 11/4/16) y anual (del 10/4/15 al 11/4/16); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente); sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR).	31
Tabla 6. Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada acumulada (RFA _{intac} , MJ/m ²) y Eficiencia del Uso de la Radiación (EUR, g/MJ) en la mezcla (Festuca _{MED} +Alfalfa _{GR6}) y sus componentes (Festuca _{MED} y Alfalfa _{GR6}) durante el período en que se aplicaron defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR) (del 15/5/15 al 23/7/15); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente).....	33
Tabla 7. Eficiencia del uso de la radiación (g/MJ) de la mezcla (Festuca _{MED} +Alfalfa _{GR6}) y sus componentes (Festuca _{MED} y Alfalfa _{GR6}) durante otoño-invierno (del 10/4/15 al 8/9/15), primavera temprana (del 9/9/15 al 28/10/15), primavera tardía-verano (del 29/10/15 al 11/4/16) y anual (del 10/4/15 al 11/4/16); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente); sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR).	35
Tabla 8. Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada acumulada (MJ/m ²) y tasa de aumento diario del crecimiento aéreo (kg/ha/día) de Alfalfa _{GR6} en pastura pura y de Alfalfa _{GR6} en pastura mezcla con Festuca _{MED} . Sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR).....	38
Tabla I. Crecimiento aéreo (kg/ha) de la mezcla (Festuca _{MED} +Alfalfa _{GR6}) y sus componentes (Festuca _{MED} y Alfalfa _{GR6}) durante el período en que se aplicaron defoliaciones frecuentes (FREC) e infrecuentes (INFR) (del 15/5/15 al 23/7/15); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente).	63

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** (a) Tasa relativa de crecimiento aéreo (g/g semana), adaptado de Robson *et al.*, (1968a) y (b) Tasa de elongación foliar por macollo (mm/macollo/día), adaptado de Lattanzi (1998); en festuca alta, ecotipo mediterráneo (cuadrados negros) y continental (cuadrados blancos); acorde a la temperatura media del aire (°C) durante otoño-invierno. 5
- Figura 2.** Diseño que permite el estudio a nivel de línea de siembra o de área de: a) competencia intra-específica (diseño “*substitutive*”); b) competencia inter-específica (diseño “*additive*”); balance entre competencia intra e inter-específica (diseño “*additive-substitutive*”). (Cruz y Soussana, 1997; adaptado de Jacquard, 1968). Alfalfa_{GR6} y Festuca_{MED} están representadas por rombos blancos y negros, respectivamente. 16
- Figura 3.** Biomasa aérea cosechada por corte de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar. 21
- Figura 4.** Densidad total de macollos (vegetativos y reproductivos) de Festuca_{MED} (a) y densidad de ejes de Alfalfa_{GR6} (b); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar. 23
- Figura 5.** Biomasa de cada macollo de Festuca_{MED} (a) y biomasa de cada eje de Alfalfa_{GR6} (b); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar. 25
- Figura 6.** Índice de Área Foliar en pre-cosecha (IAF_{pre-cos}; m² área foliar/m² suelo) de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar. 27
- Figura 7.** Proporción de la Radiación Fotosintéticamente Activa incidente (RFA_{inc}) que es interceptada por la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar. 29
- Figura 8.** Radiación Fotosintéticamente Activa (MJ/m²) incidente acumulada (cruces) y RFA interceptada acumulada (MJ/m²) por la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el

- 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar..... 32
- Figura 9.** Eficiencia del uso de la radiación (g/MJ) de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar..... 36
- Figura 10.** Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) del componente Festuca_{MED} de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}; durante otoño-invierno (O-I); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). 37
- Figura I.** Biomasa aérea remanente (kg/ha) por corte de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar. 60
- Figura II.** Proporción de la biomasa aérea cosechada en relación a la biomasa aérea pre-cosecha ($B_{\text{cos}}/B_{\text{pre-cos}}$) de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar..... 61
- Figura III.** Proporción del área foliar cosechada en relación al área foliar en pre-cosecha ($AF_{\text{cos}}/AF_{\text{pre-cos}}$) de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar..... 62

RESUMEN

En el sudeste bonaerense, la mezcla compuesta por un cultivar de origen mediterráneo de festuca alta ($Festuca_{MED}$, crecimiento otoño-invierno-primaveral) y un cultivar con grado de reposo invernal intermedio de alfalfa ($Alfalfa_{GR6}$, crecimiento primavera tardía-inicios de otoño) no está exenta del típico déficit forrajero durante la época fría, *i.e.* mediados de otoño-inicios de primavera. Agregar nitrógeno (N) en otoño temprano debiera permitir reducir dicho déficit por un incremento del crecimiento de $Festuca_{MED}$. Dicho incremento podría conllevar a defoliaciones más frecuentes para evitar sombreo y/o pérdida de calidad. Sin embargo, $Alfalfa_{GR6}$ requiere durante otoño-invierno defoliaciones infrecuentes para favorecer su posterior crecimiento. El objetivo fue estudiar el impacto del agregado de N en otoño-temprano y de la frecuencia de defoliación otoño-invernal sobre la productividad de la mezcla $Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}$. Se trabajó en la Unidad Integrada Balcarce con $Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}$ de dos años de edad, desde el 10/4/15 al 10/4/16. El 10/4/15 se aplicó 0, 75 y 150 kg/ha de N (urea), y las defoliaciones frecuentes ($250^{\circ}Cd$) e infrecuentes ($\sim 500^{\circ}Cd$) se aplicaron entre el 15/5/15 al 23/7/15. El agregado de N en otoño temprano aumentó la producción forrajera de $Festuca_{MED}$ en otoño-invierno (+8%; +1495 kg/ha) y un manejo de defoliación infrecuente aumentó la producción forrajera de $Alfalfa_{GR6}$ en primavera tardía-verano (+10%; +1809 kg/ha). Estos efectos estacionales afectaron, positiva y similarmente, a la producción forrajera anual de la mezcla (+9%; +1652 kg/ha). Todos los incrementos en producción de forraje se explicaron por aumentos en las eficiencias de intercepción y uso de la radiación incidente. Se concluye que i) el agregado de N en otoño-temprano permite aumentar la producción forrajera de la mezcla $Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}$ lo que contribuye a reducir el déficit de forraje en otoño-invierno, y ii) independientemente de la dosis de N agregada, para esta mezcla, no es recomendable un manejo de defoliación frecuente durante otoño-invierno debido a que se afecta la producción de forraje estival.

Palabras claves: consociación, asociaciones, composición botánica, festuca mediterránea, competencia, captura y uso de la radiación, índice de nutrición nitrogenada, frecuencias de corte.

ABSTRACT

NITROGEN FERTILIZATION AND DEFOLIATION MANAGEMENT DURING AUTUMN-WINTER IN A MIXED LUCERNE AND FESTUCA PASTURE

In the southwest of Buenos Aires, the mixed pasture composed of a mediterranean cultivar of Tall Fescue (Tall Fescue_{MED}, autumn-spring growth) and a semi-dormant cultivar of Lucerne (Lucerne_{GR6}, late spring-early autumn growth) is not exempt of the typical forage deficit during cool season, *i.e.* mid autumn-early spring. Nitrogen (N) addition early in autumn should reduce such deficit due to an increment in growth of Tall Fescue_{MED}. Such growth increment can derive in more frequent defoliations to avoid shading and/or forage quality losses. Nevertheless, Lucerne_{GR6} requires infrequent defoliations during autumn-winter to favour its later growth. The objective was to study early autumn N addition and defoliation frequency impact on the productivity of Tall Fescue_{MED}+Lucerne_{GR6} mixture pasture. Study was carried out at Balcarce Integrated Unity in a two years old Tall Fescue_{MED}+Lucerne_{GR6} pasture from 10/4/2015 to 10/4/2016. On 10 April 2015, 0, 75 y 150 kg/ha of nitrogen (urea) were applied and frequent (200-400°Cd) and infrequent (~500°Cd) defoliations were applied from 15/5/2015 to 23/7/2015. N addition early in autumn increased the forage production of Festuca_{MED} during autumn-winter and infrequent defoliations during autumn-winter increased the forage production of Alfalfa_{GR6} during late spring-summer. These seasonal effects affected, in the same way, annual forage production of the mixture. All forage yield increments were explained by a major capture and use efficiency of incident radiation. It is concluded that i) N addition in early allows to increase forage production of Tall Fescue_{MED}+Lucerne_{GR6} mixture which contributes to reduce the forage deficit at cool season and ii) irrespective of N addition frequent defoliations are not recommended during autumn-winter because summer forage yield was affected.

Key words: consociation, associations, botanical composition, Tall fescue, competence, radiation capture and use, nutrition nitrogen index, cutting frequency.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Producción de forraje de pasturas perennes puras y mezclas

En la región pampeana sur, el 57% de su superficie está ocupada por pastizales naturales y pasturas implantadas (Baldi *et al.*, 2006) las cuales sostienen principalmente los sistemas de cría y recria (Rearte, 2010). Estimaciones a través de imágenes satelitales y modelos simples de predicción de la productividad primaria neta aérea sugieren que la productividad de las pasturas implantadas es un 80% mayor a la de los pastizales naturales (Durante *et al.*, 2017).

En esta región, las pasturas implantadas compuestas por gramíneas templadas representan uno de los principales recursos forrajeros en los sistemas ganaderos pastoriles. La producción forrajera de pasturas puras de gramíneas templadas perennes es máxima durante la primavera, luego disminuye en verano debido a las altas temperaturas y baja disponibilidad hídrica, aumenta nuevamente en otoño y alcanza los niveles más bajos en invierno (Mazzanti *et al.*, 1992). En cambio, la producción forrajera de pasturas puras de leguminosas perennes como alfalfa comienza en la primavera avanzada, es máxima en el verano y disminuye al inicio del otoño (Cangiano y Pece, 2005). La diferente distribución estacional de la producción forrajera entre este tipo de gramíneas y de leguminosas implica una separación temporal en el uso de recursos y justifica la conformación de pasturas mezcla o consociadas que incluyen al menos una especie gramínea y una leguminosa (Husse *et al.*, 2016).

1.2. Ventajas y limitantes de las pasturas mezcla

Una de las principales ventajas de las pasturas compuestas por varias especies, respecto de pasturas puras, es la mayor producción de forraje (Cardinale *et al.*, 2007), consecuencia de una mayor eficiencia en la utilización de recursos tanto en la escala temporal (Husse *et al.*, 2016) como espacial (Li *et al.*, 2006). Entre otras ventajas que presentan las pasturas compuestas por varias especies (en adelante mezclas) respecto de las pasturas mono-específicas se podrían destacar: una mayor estabilidad anual de la oferta forrajera, mayor competencia con las malezas y, cuando la mezcla incluye leguminosas y gramíneas, menor riesgo de timpanismo (Haynes, 1980; Sleugh *et al.*, 2000; Tracy *et al.*, 2016).

A pesar de las ventajas mencionadas, en general la limitación para el uso de pasturas mezclas radica en la falta de conocimientos para su manejo adecuado. Esto

es debido a que coexisten varias especies forrajeras, con sus respectivas densidades y en ambientes específicos, por lo que resulta difícil establecer una combinación óptima con un manejo adecuado para cada ambiente. Al respecto, Cruz *et al.* (1991) afirman que el estudio de la competencia por los recursos permitiría predecir la posibilidad de éxito de una determinada mezcla en un ambiente determinado. Además, estos autores le atribuyeron a la radiación solar o a la luz un rol clave para identificar la presencia de competencia. Esto es debido a que, a diferencia de otros recursos como el agua y los nutrientes, la radiación no está sujeta a agotamiento.

1.3. Beneficios de las leguminosas en pasturas mezclas

La inclusión de leguminosas a la mezcla suele justificarse debido a que estas plantas se asocian de manera simbiótica con rhizobios capaces de fijar nitrógeno (N) atmosférico y por lo tanto proporcionar al sistema suelo-planta, N adicional al ya suministrado por el suelo (Ledgard y Steele, 1992; Hardarson y Atkins, 2003; Louarn *et al.*, 2015). Las leguminosas pueden transferir N a las gramíneas que componen una pastura mezcla de forma directa a través de raíces interconectadas y exudación radical de componentes solubles ricos en N, y de forma indirecta a través de la orina y heces de animales que consume leguminosas como a través de la mineralización de material muerto de nódulos, raíces y hojas (Ta *et al.*, 1986; Ledgard, 1991; Ledgard y Steele, 1992; Fustec *et al.*, 2010; Louarn *et al.*, 2015). Además, la gramínea absorbe de manera más efectiva el N del suelo, lo cual obliga a la leguminosa a fijar más cantidad de N₂ (Hardarson *et al.*, 1988). El efecto positivo de la presencia de la leguminosa sobre la nutrición nitrogenada de la gramínea es mayor en condiciones de baja disponibilidad de N, por lo que dicho efecto desaparece o se diluye ante el agregado de N (Cruz *et al.*, 1991; Bedoussac *et al.*, 2010). La inclusión de leguminosas para aportar N derivado de la atmósfera ha adquirido relevancia en los últimos años, debido a que esto permite reducir el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos y se reduce la contaminación por exceso de N (Hardarson y Atkins, 2003; Crews y Peoples, 2004; Lemaire *et al.*, 2005; Ledgard *et al.*, 2009; Nyfeler *et al.*, 2011; Lüscher *et al.*, 2014).

1.4. Competencia gramínea-leguminosa

El rendimiento de una especie en una pastura mezcla depende de su capacidad para interceptar y utilizar los recursos ambientales, tales como radiación, nutrientes y agua (Malézieux *et al.*, 2009). Por lo cual, cuando las especies que conforman una

mezcla ocupan nichos ecológicos diferentes (tiempo o espacio), la cantidad de recursos captados será mayor en una pastura mezcla que en una pastura pura (Malézieux *et al.*, 2009; Nyfeler *et al.*, 2009; Husse *et al.*, 2016). La competencia por los recursos en una pastura mezcla está determinada por las características morfológicas, tanto de estructuras o tejidos aéreos como subterráneas, y fisiológicas de cada especie que la conforman (Poorter *et al.*, 2012; Berger *et al.*, 2008; Maamouri *et al.*, 2015).

La altura de la planta, el ángulo foliar y la distribución vertical del área foliar determinan la intercepción de luz (Louarn *et al.*, 2012), mientras que la distribución de la biomasa radical determina la captura de agua y de minerales (Rubio *et al.*, 2001). La luz es un importante precursor de la competencia debido a que es un recurso que no puede almacenarse. Así, plantas más grandes tienen proporcionalmente mayor índice de área foliar (IAF m² de hoja/m² de suelo), mayor captura de la radiación y limitan fuertemente el crecimiento de plantas vecinas (Keating y Carberry, 1993). Por su parte, el N y el agua también afectan el crecimiento de la planta, la intercepción de la luz y la eficiencia del uso de la radiación (Lemaire y Denoix, 1987; Muchow y Davis, 1988; Cruz y Sinoquet, 1994).

1.5. Mezcla entre festuca mediterránea y alfalfa con reposo invernal intermedio

En la región pampeana húmeda ha cobrado gran difusión la mezcla compuesta por un cultivar originario de la región Mediterránea del Norte de África de *Festuca arundinacea* (en adelante Festuca_{MED}, gramínea perenne C₃) y un cultivar de reposo invernal intermedio (GR6) de *Medicago sativa* (en adelante Alfalfa_{GR6}, leguminosa perenne C₃). Para las condiciones locales del sudeste bonaerense, Festuca_{MED} aporta forraje principalmente durante el otoño, invierno y primavera, mientras que Alfalfa_{GR6} hace su aporte durante la primavera tardía, el verano y los inicios del otoño (Mazzanti *et al.*, 1992; Cangiano y Pece, 2005).

A pesar de que existe una gran cantidad de antecedentes internacionales y nacionales que evalúan la mezcla compuesta por festuca y alfalfa, la mayoría involucran cultivares de festuca alta de origen continental, originario del Norte de Europa (e.g. Comstock y Law, 1948; Seman *et al.*, 1999; Koc *et al.*, 2004; Scheneiter *et al.*, 2006; Bester, 2014; Bingham, 2014; Kloster *et al.*, 2014; Tracy *et al.*, 2016). Los antecedentes nacionales encontrados que involucran a Festuca_{MED} y Alfalfa_{GR6} son escasos (Scheneiter *et al.*, 2009; Hara, 2017). Estos autores encontraron que la tasa de crecimiento comienza a disminuir a partir de mayo hasta alcanzar el mínimo valor

en julio, a partir de agosto aumenta rápidamente hasta alcanzar el máximo valor en diciembre y a partir de enero comienza a disminuir paulatinamente. Además, Scheneiter *et al.* (2009) encontraron que durante el invierno hay mayor disponibilidad de forraje en la mezcla compuesta por Festuca_{MED} y Alfalfa_{GR6} que en aquella compuesta por festuca alta ecotipo continental y alfalfa con menor latencia invernal (Grado de Reposo 9), y que lo contrario ocurre en verano.

1.5.1. Festuca alta

Los cultivares de festuca alta tradicionalmente cultivados en la región son los de origen continental, del Norte de Europa, los cuales presentan un mayor crecimiento en primavera y verano respecto a los cultivares de origen mediterráneo, mientras que éstos últimos poseen mayor crecimiento otoño-invernal (Mazzanti *et al.*, 1992). Los estudios comparativos entre cultivares de festuca alta concuerdan que aquellos de origen mediterráneo tienen mayor rendimiento invernal que los continentales (Robson y Jewiss, 1968a; Chatterjee, 1961; Hill *et al.*, 1985; Lattanzi, 1998; Mazzanti y Arosteguy, 1985; Assuero *et al.*, 1997), y que la temperatura es el principal factor que controla las diferencias estacionales del crecimiento entre cultivares (Robson y Jewiss, 1968b).

Debido a que hasta el momento no se han reportado los valores de temperatura base para ambos ecotipos de festuca alta, en esta tesis se estimaron dichos valores mediante el método denominado "Intercepción de x o método de la tasa de desarrollo" (Arnold, 1959). Luego, los datos de temperatura y tasas de desarrollo fueron obtenidos a partir de Robson *et al.* (1968a), de Thomas y Stoddart (1995) y de Lattanzi (1998). Robson *et al.* (1968a) compararon la tasa relativa de crecimiento aéreo de ecotipos continentales y mediterráneos durante otoño e invierno. En base a la información presentada en el mencionado trabajo, la temperatura base determinada por extrapolación de la tasa de crecimiento relativo a valores de cero (es decir, el valor que toma X cuando Y es 0) se dedujo que la temperatura base fue 2,1°C para un ecotipo continental y 0°C para un ecotipo mediterráneo (Figura 1a). Posteriormente, Thomas y Stoddart (1995) compararon entre ecotipos la velocidad de elongación de la hoja en respuesta a los cambios en la temperatura experimentada en la zona de crecimiento. Estos autores encontraron que la elongación de la hoja comenzó a los 2,6°C en ecotipos continentales y a los 0,7°C en ecotipos mediterráneos. Por su parte, Lattanzi (1998) estimó la tasa de elongación foliar por macollo durante otoño e invierno de ecotipos continental y mediterráneo. En base a Lattanzi (1998) se dedujo que la

temperatura base fue de $-0,1^{\circ}\text{C}$ para el ecotipo continental y de $-0,4^{\circ}\text{C}$ para el ecotipo mediterráneo (Figura 1b).

A los fines prácticos de utilización del modelo de tiempo térmico, se puede considerar un único valor de temperatura base (Miralles *et al.*, 2003) de $1,5^{\circ}\text{C}$ para los ecotipos continentales y $0,1^{\circ}\text{C}$ para los ecotipos mediterráneos. Este análisis demuestra que los ecotipos mediterráneos poseen, respecto de los continentales, menores requerimientos térmicos para ofrecer forraje en la estación fría del año. Esto los convierte en materiales genéticos adaptados para ofrecer mayor forraje y una mayor respuesta al agregado de N en plena estación fría (Lattanzi, 1998; Assuero, 1998).

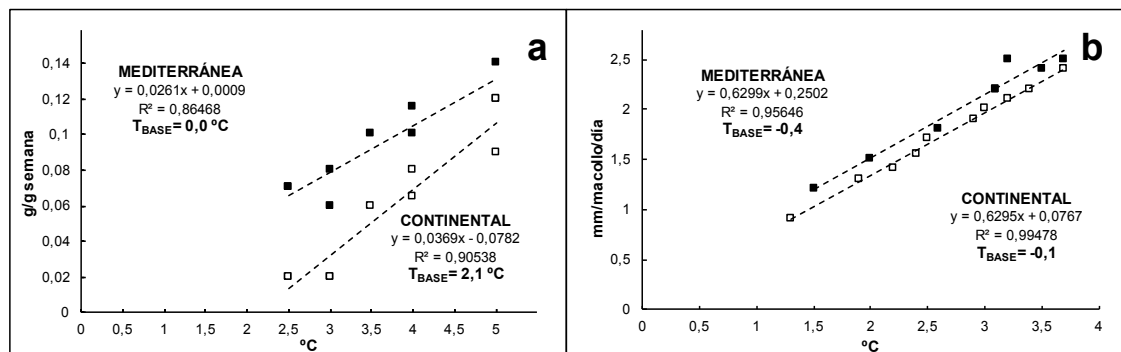


Figura 1. (a) Tasa relativa de crecimiento aéreo (g/g semana), adaptado de Robson *et al.*, (1968a) y (b) Tasa de elongación foliar por macollo (mm/macollo/día), adaptado de Lattanzi (1998); en festuca alta, ecotipo mediterráneo (cuadrados negros) y continental (cuadrados blancos); acorde a la temperatura media del aire ($^{\circ}\text{C}$) durante otoño-invierno.

Al igual que para otras especies forrajeras, la productividad y persistencia de festuca alta están estrechamente relacionadas con el manejo de la pastura, incluyendo el manejo de la defoliación y la disponibilidad de nutrientes (Matches, 1979).

La frecuencia y severidad de la defoliación producen cambios en el índice de área foliar, factor del cual depende la cantidad y calidad de luz que incide en la canopia, y esto a su vez afecta la relación tamaño/densidad de los macollos (Lemaire y Chapman, 1996; Gastal y Lemaire, 2015). En ambientes de alta productividad se propone que la frecuencia de defoliación tenga en cuenta la velocidad de recambio foliar o vida media foliar (VMF) (Lemaire y Chapman, 1996; Lemaire y Agnusdei, 2000).

En cuanto a la disponibilidad de nutrientes, “*el N es frecuentemente considerado el factor limitante más importante, después de la deficiencia de agua, para la producción de biomasa*” (Lemaire y Gastal, 1997). Esto no es la excepción en festuca alta, que

posee una relación lineal entre la concentración de N y la tasa de crecimiento (Greenwood *et al.*, 1991). La deficiencia de N en festuca alta disminuye la tasa de expansión foliar (variable asociada positivamente con el peso de cada macollo) y el macollaje (Nelson y Zarrouh, 1981; Volenec y Nelson, 1984; Wilman y Pearse, 1984; Simon y Lemaire, 1987; Gastal *et al.*, 1992; Gastal y Nelson, 1994; Mazzanti *et al.*, 1994). En consecuencia, la falta de N reduce el IAF (Gastal y Bélanger, 1993), la cantidad de radiación fotosintéticamente activa absorbida (Bélanger *et al.*, 1992; Marino y Agnusdei, 2007) y la eficiencia del uso de los recursos como la radiación y el agua (Lemaire y Denoix, 1987; Bélanger *et al.*, 1992; Gonzalez-Dugo *et al.*, 2005; Marino y Agnusdei, 2007; Agnusdei *et al.*, 2010).

1.5.2. Alfalfa

La alfalfa es una importante leguminosa forrajera con respuesta de día largo (Major *et al.*, 1991) y con un amplio rango de adaptación a las condiciones edafo-climáticas y a las modalidades de manejo de cada sitio (Christian, 1977). La capacidad de la alfalfa para extraer agua a mayor profundidad del suelo, respecto de las gramíneas, le confiere un importante rol en las pasturas mezclas ya que, aún en años secos, podría aportar estabilidad a la producción forrajera (McKenzie *et al.*, 1990; Brown *et al.*, 2003).

En esta especie, los cultivares se clasifican en grupos del 1 al 11, en función de su grado de latencia o reposo invernal (GR1= mayor latencia invernal, GR11= menor latencia invernal). La determinación del grado de latencia se suele basar en la altura de rebrote medido a los 25-30 días del último corte de otoño y utiliza cultivares testigo debidamente definidos para cada grado de reposo (Teuber *et al.*, 1988; Spada, 2007). Según Basigalup (2007), en nuestro país, aproximadamente el 80% de la siembra de alfalfa corresponde a cultivares sin reposo invernal (GR8, GR9 y GR10); mientras que, el 20% restante a cultivares con reposo invernal intermedio (GR5, GR6 y GR7). Si bien en determinadas regiones se observan diferencias productivas entre cultivares de alfalfa que difieren en su grado de reposo invernal, en el sudeste bonaerense no se observan grandes diferencias en el rendimiento acumulado ni en la distribución estacional de materia seca entre cultivares con reposo intermedio y sin reposo (Cangiano y Pece, 2005).

El comienzo del activo crecimiento de alfalfa a fin de invierno-inicio de primavera está determinado por el aumento de las temperaturas y del fotoperiodo (Major *et al.*, 1991; Teixeira *et al.*, 2011), y es positivamente influenciado por la removilización de

reservas, principalmente nitrogenadas, desde la raíz-corona (Volenc *et al.*, 1996; Dhont *et al.*, 2003; 2006). La removilización de reservas implica una reducción de la biomasa de raíz-corona, debido a que el C almacenado se pierde principalmente por respiración y el N se removiliza para abastecer a los nuevos brotes (Ourry *et al.*, 1994; Li *et al.*, 1996; Volenc *et al.*, 1996; Avice *et al.*, 1996; 2001; Teixeira, Moot, Mickelbart., 2007).

Durante primavera avanzada y verano, el crecimiento y desarrollo de la alfalfa son rápidos, aumentando en respuesta a altas temperaturas y fotoperiodos largos (Moot *et al.*, 2001; Moot *et al.*, 2003; Brown *et al.*, 2003). A pesar de que la proporción de asimilados particionados hacia órganos subterráneos (raíz-corona) es máxima (~0,45-0,60) durante pleno otoño (Khaiti y Lemaire, 1992; Brown *et al.*, 2006; Teixeira, Moot, Mickelbart, 2007) e intermedia a mediados de verano-inicios de otoño (~0,30), la cantidad absoluta de C y N almacenada raíz-corona suele ser mayor a mediados de verano-inicios de otoño (Dhont *et al.*, 2002; Teixeira *et al.*, 2008). Esto se debería a que, en los sitios en donde se realizaron estas mediciones (latitudes mayores a 35°) el ambiente térmico y radiativo es más favorable para la captura de C y la acumulación de biomasa, aérea y subterránea, a mediados de verano-inicios de otoño que en pleno otoño-inicios de invierno. En base a lo mencionado se ha propuesto usar una frecuencia de defoliación de aproximadamente 500 grados días acumulados (°Cd, temperatura base = 5°C), para favorecer la reposición de reservas de N y de C y no afectar el crecimiento primaveral (Belanger *et al.*, 1999; Dhont *et al.*, 2002, 2003, 2004; Moot *et al.*, 2003; Teixeira, Moot, Mickelbart, 2007).

1.6. Fertilización nitrogenada y frecuencia de defoliación en una mezcla

Aunque la mezcla conformada por Festuca_{MED} y Alfalfa_{GR6} mejora la distribución anual de la producción de forraje (Scheneiter *et al.*, 2009; Hara, 2017), ésta no está exenta del tradicional déficit forrajero durante la época fría (*i.e.* desde mediados de otoño hasta inicios de primavera). En esta mezcla, para paliar el bache invernal hay que aumentar el crecimiento del componente Festuca_{MED}. Trabajos locales previos demuestran que es posible incrementar la oferta de forraje de pasturas mono-específicas de festuca alta en invierno a través del agregado de N en dos épocas: otoño y fin de invierno (Agnusdei *et al.*, 2010). El agregado de N a fines de invierno mostró mayor eficiencia biológica (kg de forraje producido por kg de N agregado). Mientras que, a nivel sistema los escasos análisis realizados muestran que el agregado de N en otoño generaría mayor beneficio económico (Berger *et al.*, 2017). A

su vez, un trabajo local (Lattanzi, 1998) mostró que la mayor productividad de pleno invierno (junio-julio) de los ecotipos mediterráneos de festuca respecto de los ecotipos templados puede verse potenciada por el agregado de N a mediados de otoño. Sin embargo, en dicho trabajo sólo se evaluaron dosis de 0 y 60 kg/ha de N aplicadas a fin de mayo. Hasta la fecha se desconoce el impacto de agregar similares y mayores dosis de N, en fechas más tempranas (e.g. abril) sobre la productividad y la composición botánica otoño-invernal de pasturas mezcla integradas por Alfalfa_{GR6} y Festuca_{MED}.

Una manera para estimular la producción de la componente gramínea con el agregado de N, es aplicar dicho nutriente cuando el crecimiento de la componente leguminosa está restringido por las bajas temperaturas, cuyo efecto positivo sobre la producción de forraje ha sido corroborado por varios autores (e.g. Eckard y Franks, 1998; McKenzie *et al.*, 1999; Labuschagne *et al.*, 2006). Dichos autores han justificado el uso estratégico del fertilizante nitrogenado en otoño-invierno sobre la base de que, el aumento de la producción forrajera de la gramínea causa menos competencia con la leguminosa en dicha época que la ocurrida en primavera avanzada o verano, cuando comienza el activo crecimiento de la leguminosa.

A pesar de que existen numerosos estudios que demuestran el efecto negativo de la fertilización nitrogenada en la proporción de la leguminosa en una pastura mezcla (e.g. Mouat y Walker, 1959; Martin y Field, 1984; Davies y Evans, 1990; Cruz y Sinoquet, 1994; Elgersma *et al.*, 2000; Aydin y Uzun, 2005; Nyfeler *et al.*, 2009), la información respecto a las causas de los cambios en la composición botánica es contrastante. Algunos trabajos han determinado que la disminución de la componente leguminosa se debe a la falta de capacidad competitiva por nutrientes y/o radiación (Mouat y Walker, 1959; Woledge, 1992b; Cruz y Sinoquet, 1994; Martin y Field, 1984). Trabajos recientes demostraron que la competencia por la luz determina en mayor medida, respecto a la competencia por los nutrientes, la pérdida de una especie (Hautier *et al.*, 2009). Al respecto, otros trabajos han demostrado que la disminución de la componente leguminosa depende más del manejo de la defoliación y de la variación diaria y anual de la temperatura que del agregado de N (Woledge, 1988; Woledge *et al.*, 1992a).

Por tratarse el N de un nutriente lábil, para favorecer la absorción del N aplicado, el momento de aplicación debe establecerse considerando la demanda de las plantas (Marino y Berardo, 2014). La demanda de las plantas está vinculada con el crecimiento aéreo y radicular, el cual en condiciones hídricas adecuadas y sin

deficiencias de otros nutrientes, depende principalmente de la radiación y la temperatura (Parsons, 1988). A su vez, la temperatura del suelo es relevante para el transporte y absorción del N (Clarkson y Warner, 1979; Hatch y McDuff, 1991). Cuando la demanda de un cultivo y el suministro de N (ya sea por mineralización como por aplicación de fertilizantes) no están sincronizados, las formas disponibles de N pueden perderse por lixiviación, volatilización y desnitrificación (Dowdell y Webster, 1980; Bristow *et al.*, 1987; Sainz Rozas *et al.*, 1999, 2001; Augustin *et al.*, 1997), o inmovilizado por los microorganismos (Bristow *et al.*, 1987).

En base a lo anterior se esperaría que el agregado de N al inicio del otoño, época en la que se registra mayor temperatura y radiación respecto al otoño tardío o el invierno, permitiría aumentar sustancialmente la oferta de forraje de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} en otoño-invierno y esto sería explicado por un aumento del componente Festuca_{MED}. Una mayor producción forrajera de Festuca_{MED} conlleva a mayor acumulación de biomasa y esto podría requerir un aumento en la frecuencia de defoliación en la pastura mezcla para evitar senescencia y/o muerte de macollos (Parsons, 1988). Sin embargo, un incremento en la frecuencia de defoliación durante otoño-invierno podría afectar el crecimiento y la persistencia del componente alfalfa, como fue demostrado en pasturas puras de alfalfa. En esta especie, defoliaciones frecuentes en otoño-invierno producen una disminución de las reservas en raíz-corona (Bélanger *et al.*, 1999; Moot *et al.*, 2003), esenciales para el rebrote en primavera (e.g. Volenec *et al.*, 1996; Dhont 2002, 2003; Moot *et al.*, 2003). En cambio, si se contempla un manejo de defoliación infrecuente, las plantas de Festuca_{MED} que reciban un alto aporte de N generarían un elevado sombreado sobre las plantas de Alfalfa_{GR6}, lo cual también podría ser negativo para esta especie. Como se mencionó previamente, la competencia por la luz es una de las potenciales causas que producen la disminución de la leguminosa en la mezcla (Woledge, 1992b; Cruz y Sinoquet, 1994). En estas situaciones de elevada competencia lumínica, el crecimiento y la supervivencia de la especie dominada (en este caso Alfalfa_{GR6}) dependería fuertemente de las reservas de carbono y N (Poorter *et al.*, 2012). La importancia de entender las consecuencias del manejo de frecuencias de defoliación contrastantes en otoño-invierno ante distintas dosis de N no es menor, ya que Alfalfa_{GR6} es la especie encargada de aportar forraje durante la época primavero-estival. Sin embargo, hasta donde se revisó la literatura, no hay trabajos que evalúen esas relaciones en la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}.

1.7. Objetivo e hipótesis

El objetivo de este trabajo es estudiar el impacto de la fertilización nitrogenada en otoño temprano y de la frecuencia de defoliación en otoño-invierno sobre la dinámica de la productividad de la mezcla compuesta por Festuca_{MED} y Alfalfa_{GR6}.

Las hipótesis son:

1- El agregado de N en otoño temprano (abril) aumenta la producción de forraje de la mezcla en otoño-invierno (abril-agosto), explicado principalmente por un aumento del componente Festuca_{MED}.

2- Independientemente del agregado o no de N, defoliaciones frecuentes (*i.e.* entre 200-400°Cd, con temperatura base de 5°C) durante otoño-invierno disminuyen, respecto a defoliaciones infrecuentes, la producción de forraje de la mezcla en primavera tardía-verano (noviembre-marzo), explicado principalmente por una disminución del componente Alfalfa_{GR6}.

3- Defoliaciones infrecuentes (*i.e.* cada ~500°Cd, con temperatura base de 5°C) con agregado de N disminuyen, respecto de defoliaciones infrecuentes sin agregado de N, la producción de forraje de la mezcla en primavera tardía-verano (noviembre-marzo), explicado principalmente por una disminución del componente Alfalfa_{GR6}.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo desde 10/04/15 al 11/04/16 en el Módulo de Invernada Intensiva (MII, Reserva 7) de la Unidad Integrada Balcarce (INTA EEA Balcarce-FCA UNMdP; 37°48'28"S 58°16'20"W; provincia de Buenos Aires, Argentina). Se realizó en un sitio con un complejo de suelos, compuesto en un 70% por Argiudol Típico (Soil Survey Staff, 2010) que al inicio presentaba pH=6, materia orgánica=6,1%, N-Nitrato=4,35 ppm y fósforo disponible=40 ppm. A pesar de que la disponibilidad de fósforo al inicio del experimento era buena (García *et al.*, 2014) en abril se aplicaron 46 kg/ha de fósforo en forma de superfosfato triple para evitar limitantes de este nutriente.

Se evaluó una pastura compuesta por un cultivar de origen mediterráneo de *Festuca arundinacea* cv. Flecha (en adelante Festuca_{MED}) y un cultivar de reposo invernal intermedio (GR6) de *Medicago sativa* cv. Nobel 620 (en adelante Alfalfa_{GR6}). Las especies se sembraron en marzo de 2014 al sesgo: primero se hizo una pasada sembrando Festuca_{MED} (13 kg/ha de semilla) y luego una pasada cruzada de manera diagonal a la anterior (aproximadamente a 45°) sembrando Alfalfa_{GR6} (13 kg/ha de semilla). A la siembra se fertilizó con 16 kg/ha de fósforo y 6,3 kg/ha de N; aplicados en forma de fosfato diamónico. La misma dosis de fosfato diamónico se aplicó en agosto del 2013 y en abril del 2014. Además, en julio del 2013 y en abril del 2014 se fertilizó con 70 kg/ha de N en forma de urea. Previo al inicio del experimento, la pastura fue pastoreada en forma rotativa por novillos y vaquillonas destinados a engorde. Excepto en noviembre de 2014, cuando se realizó un corte para la confección de rollos.

Los registros, históricos y ocurridos durante el ciclo experimental, de temperatura del aire (mínima, media y máxima; en abrigo meteorológico a 1,5 m del aire), de radiación global incidente (medida con un piranómetro LI-200SA, LiCor), de precipitación y de evapotranspiración potencial (Penman-Monteith) se obtuvieron de la estación meteorológica de la EEA Balcarce (INTA, 2016). A su vez, los datos de fotoperiodo medio mensual se obtuvieron de Wheeler Avenue (2016). El balance hídrico medio mensual se calculó a partir de la diferencia entre las precipitaciones y la evapotranspiración.

2.2. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos aplicados fueron seis y surgieron de la combinación de tres dosis de N agregado y dos niveles de frecuencia de defoliación durante otoño-invierno. Las dosis de nitrógeno (N) aplicadas en forma de urea fueron 0, 75 y 150 kg/ha de N; a partir de aquí 0N, 75N y 150N, respectivamente. Las frecuencias de defoliación en otoño-invierno fueron frecuente e infrecuente; a partir de aquí FREC e INFR, respectivamente. La defoliación INFR tuvo como objetivo contemplar un manejo acorde al requerido por alfalfa durante otoño-invierno, *i.e.* ~500°Cd, con temperatura base de 5°C (*e.g.* Volenec *et al.*, 1996; Bélanger *et al.*, 1999; Teixeira, Moot, Mickelbart, 2007; Teixeira *et al.*, 2008). El período en el que se aplicaron las frecuencias de defoliación contrastantes fue del 15/5/15 al 23/7/15.

En la Tabla 1 se describen los cortes realizados durante el período experimental. Los grados días acumulados en cada rebrote (en adelante tiempo térmico) se cuantificaron como $\sum \left[\left(\frac{T_{MÁX} + T_{MÍN}}{2} \right) - T_{BASE} \right] \sum \left[\left(\frac{T_{MÁX} + T_{MÍN}}{2} \right) - T_{BASE} \right]$. La T_{BASE} para Festuca_{MED} fue de 0,1°C, valor que fue determinado en la presente tesis a partir de Robson *et al.* (1968a), de Thomas y Stoddart (1995) y de Lattanzi (1998) (ver la sección Introducción); y la T_{BASE} utilizada para Alfalfa_{GR6} fue de 5°C (Thiébeau *et al.*, 2011). La T_{BASE} utilizada para decidir momento de corte correspondió a la de la especie predominante en la mezcla (*i.e.* especie con mayor proporción de la biomasa seca aérea). Hasta el corte del 28/10/15 inclusive el crecimiento fue explicado principalmente por Festuca_{MED}, y a partir de dicha fecha la pastura comenzó a ser dominada por Alfalfa_{GR6}.

Tabla 1. Fechas de corte y tiempo térmico (°C días) en pasturas mezcla de Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR). El valor entre paréntesis se refiere a la temperatura base utilizada: 0,1 °C para Festuca_{MED} (obtenida en la presente tesis, ver sección Introducción) y 5 °C para Alfalfa_{GR6} (Thiébeau *et al.*, 2011).

Fecha de corte	FREC	INFR
10/4/15	corte de homogenización	corte de homogenización
14/5/15	530 (0,1); 363 (5)	530 (0,1); 363 (5)
15/6/15	434 (0,1); 288 (5)	-
23/7/15	334 (0,1); 187 (5)	770 (0,1); 476 (5)
8/9/15	532 (0,1); 329 (5)	532 (0,1); 329 (5)
28/10/15	552 (0,1); 339 (5)	552 (0,1); 339 (5)
1/12/15	584 (0,1); 418 (5)	584 (0,1); 418 (5)
30/12/15	620 (0,1); 478 (5)	620 (0,1); 478 (5)
27/1/16	627 (0,1); 490 (5)	627 (0,1); 490 (5)
22/2/16	583 (0,1); 456 (5)	583 (0,1); 456 (5)
11/4/16	890 (0,1); 650 (5)	890 (0,1); 650 (5)

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas repetido en cuatro bloques. Cada bloque se dividió en tres parcelas principales de 10 x 2 m y cada una de ellas se sub-dividió en dos sub-parcelas de 5 x 2 m, que fueron las unidades de observación. El 10/4/15 se inició el experimento con el corte de homogenización, realizado con cortacésped (5 cm de altura) y se aleatorizó la dosis de N y el 15/5/15 se aleatorizó la frecuencia de defoliación.

2.3. Variables evaluadas

2.3.1. Biomasa, densidad de individuos e índice de área foliar

Al final de cada rebrote (Tabla 1) se cosecharon (a 5 cm de altura) y pesaron los 3 m² centrales de cada sub-parcela y se extrajo una alícuota de 500 g para estimar la biomasa seca aérea cosechada (B_{cos} ; kg/ha) de la mezcla. Previo y posterior a la mencionada cosecha se tomó una muestra al ras del suelo con un marco de 0,3 x 0,3 m, a partir de las cuales se estimaron la biomasa seca aérea total o pre-cosecha ($B_{\text{pre-cos}}$) y pos-cosecha o remanente (B_{rem}). Se tuvo especial cuidado en que los muestreos al ras del suelo no coincidan con sitios previamente evaluados. En estas muestras, el material vegetal fresco se separó manualmente en $Festuca_{\text{MED}}$, $Alfalfa_{\text{GR6}}$, malezas y material muerto para estimar las $B_{\text{pre-cos}}$ y B_{rem} de cada especie. Las B_{cos} de $Festuca_{\text{MED}}$ y de $Alfalfa_{\text{GR6}}$ (kg/ha) se calcularon a partir de la B_{cos} de la mezcla y de las proporciones de cada especie obtenidas en $B_{\text{pre-cos}}$ y B_{rem} .

De la muestra tomada pre-cosecha se separaron 50 macollos de $Festuca_{\text{MED}}$ y 20 ejes de $Alfalfa_{\text{GR6}}$ para estimar la biomasa de cada individuo (g/macollo, g/eje) y la densidad poblacional (cociente entre la $B_{\text{pre-cos}}$ de cada especie y la biomasa de cada individuo; ejes/m² y macollos/m²). En presencia de macollos reproductivos de $Festuca_{\text{MED}}$, éstos fueron separados y se estimó su biomasa y densidad.

De cada muestra pre-cosecha y remanente se tomó una sub-muestra de $Festuca_{\text{MED}}$ que se separó en lámina foliar y pseudotallo (vainas, láminas no emergidas y tallos verdaderos) y una sub-muestra de $Alfalfa_{\text{GR6}}$ que se separó en lámina foliar y resto (tallos y pecíolos). Las áreas de las láminas foliares se midieron con un integrador de área foliar LI-3100 (Li-Cor, Inc., Lincoln, Nebraska, USA), a partir de las cuales se calcularon el Área Foliar Específica como $AFE_i (m^2/g) = (\text{área lámina})_i / (\text{biomasa lámina})_i$ y la proporción de biomasa foliar como $pLÁM_i = (\text{biomasa lámina})_i / (\text{biomasa lámina} + \text{biomasa pseudotallo o tallo})_i$. Luego, para cada especie se estimó el índice de área foliar en la biomasa pre-cosecha y en la remanente como

$$IAF_i(m^2 \text{ lámina}/m^2 \text{ suelo}) = AFE_i \times pLÁM_i \times [(biomasa \text{ aérea})_i / superficie \text{ de suelo}]$$

Todas las muestras fueron secadas en estufa de circulación forzada de aire a 60°C hasta peso constante. Tanto la biomasa seca de las malezas como la del material senescente fueron cuantificados, y debido a su escasa representación (menos de 6% de malezas y menos de 15% de material senescente) no fueron tenidos en cuenta para los cálculos realizados.

2.3.2. Intercepción de la radiación

A intervalos de aproximadamente 7 días, entre las 12:00 y las 14:00 horas de días sin nubes, con un ceptómetro (Cavadevices; Argentina) se midió la radiación solar incidente por encima (I_a) y por (I_b) debajo del canopeo. Cuidando de no modificar la estructura de la canopia, la I_b se midió 3 veces dentro de los 3 m² centrales de cada sub-parcela, en forma perpendicular a la línea de siembra de Festuca_{MED} en otoño-invierno y de Alfalfa_{GR6} en primavera-verano.

La proporción de la radiación que fue interceptada por la mezcla (I_{mez}) el día de la medición con ceptómetro se estimó como $I_{mez} = 1 - (I_b/I_a)$. Durante otoño-invierno la B_{rem} de la mezcla fue muy elevada (aproximadamente el 56% de la $B_{pre-cos}$; Apéndice, Figuras I y II) con una estructura cespitosa debido a la elevada presencia de Festuca_{MED}. Esto hizo que estimar la I_b con ceptómetro sin modificar la estructura de la pastura fuera muy difícil. En consecuencia, durante otoño-invierno, para el primer día pos-cosecha (*i.e.* biomasa remanente) la intercepción se estimó como $I_{mez} = K_1 [1 - \exp(-\sum_{j=1}^N K_j L_j)]$ (Keating y Carberry, 1993; Sinoquet *et al.*, 2000). Donde K_1 es el coeficiente determinado por las propiedades ópticas de las hojas, $K_1=0,95$ es generalmente aceptable para muchos cultivos (Lemaire y Champman, 1996). K_j es el coeficiente de extinción de la j -ésima especie; se utilizó $K=0,55$ para Festuca_{MED} (Bélanger *et al.*, 1992) y $K=0,81$ para Alfalfa_{GR6} (Teixeira, Moot, Pollock, 2007). L_j es el IAF de la j -ésima especie. En la medida que el rebrote transcurrió, la estructura de la pastura permitió medir normalmente la I_b . La I_{mez} de los días en los que no se realizaron mediciones se estimó por interpolación lineal entre dos estimaciones sucesivas de I_{mez} (Khaiti y Lemaire, 1992).

Una vez calculada la I_{mez} se estimó la proporción de la radiación que interceptó Festuca_{MED} y Alfalfa_{GR6} (I_{Fes} ; I_{Alf}) mediante $I_i = \frac{K_i L_i}{\sum_{j=1}^N K_j L_j} (I_{mez})$ (Keating y Carberry, 1993; Sinoquet *et al.*, 2000). Este modelo muestra que la I_{mez} es particionada entre las especies que componen la mezcla de acuerdo con su contribución en el IAF total de la mezcla y con su habilidad para interceptar, *i.e.* por su coeficiente de extinción.

2.3.3. Radiación interceptada acumulada

La radiación fotosintéticamente activa incidente diaria (RFA_{inc} ; MJ/m²/día) se calculó como la radiación global incidente afectada por el coeficiente 0,48 (Varlet-Grancher *et al.*, 1982; citado por Gosse *et al.*, 1986). Luego, la cantidad de RFA interceptada acumulada (RFA_{intac} ; MJ/m²), tanto para la mezcla como para sus componentes, se estimó a partir de la sumatoria diaria del producto entre la RFA_{inc} y la proporción de la radiación interceptada.

2.3.4. Eficiencia del uso de la radiación

La eficiencia de uso de la radiación (EUR, g/MJ) de la mezcla y sus componentes se calculó, para cada fecha de corte, como la relación entre el crecimiento aéreo acumulado (g/m²) y la RFA_{intac} entre cada período de muestreo. El crecimiento aéreo acumulado se calculó como la diferencia entre la $B_{pre-cos}$ y la B_{rem} del corte anterior (Belanger *et al.*, 1992a).

2.3.5. Nutrición nitrogenada de Festuca_{MED} durante otoño-invierno

Para los cortes de otoño-invierno (*i.e.* 14/5/15, 15/6/15; 23/7/15 y 8/9/15), se calculó para Festuca_{MED} el índice de nutrición nitrogenada como $INN = \%N_{actual}/\%N_{critico}$. El $\%N_{actual}$ es la concentración de N en la $B_{pre-cos}$ y se determinó mediante la combustión total de la muestra en atmósfera de oxígeno ultra-puro (Horneck y Miller, 1998) en un equipo LECO (LECO-FP528, Michigan, USA). El $\%N_{critico}$ es la mínima concentración de N requerida en la $B_{pre-cos}$ para obtener las máximas tasas instantáneas de crecimiento aéreo (Ulrich, 1952). Los valores de $\%N_{critico}$ fueron definidos, en función de la biomasa aérea, por Lemaire and Salette (1984) para festuca alta como $\%N_{critico} = 4,8 \times (B_{pre-cos})^{-0,32}$, donde la $B_{pre-cos}$ se expresa en t/ha.

Los valores de INN iguales a 1 indican que Festuca_{MED} estuvo en una situación en la cual el N no limitó la tasa de crecimiento a la fecha del corte. En cambio, los valores mayores e inferiores a 1 indican sobre y subnutrición, respectivamente (Lemaire y Gastal, 1997).

2.3.6. Competencia por la radiación ejercida por Festuca_{MED} sobre la tasa de crecimiento de Alfalfa_{GR6}. Frecuencia de defoliación en Alfalfa_{GR6} Pura

Para evaluar el efecto de la competencia ejercida por Festuca_{MED} sobre Alfalfa_{GR6} se utilizó el diseño experimental "additive" propuesto por Jacquard (1968) y utilizado por Cruz *et al.* (1991) para analizar la competencia por radiación, principal recurso por

el que compiten las plantas en ambientes en los que hay suficiente disponibilidad de agua y nutrientes (Donald, 1951). Para dicho diseño (Figura 2) se requiere de la pastura mezcla y de pasturas puras de los componentes a evaluar. Además, la densidad de cada componente debe ser la misma en la pastura mezcla y en la pastura pura. Los cambios ocurridos en cada componente de la mezcla (e.g. crecimiento, radiación capturada) deben compararse con los ocurridos en la pastura pura correspondiente.

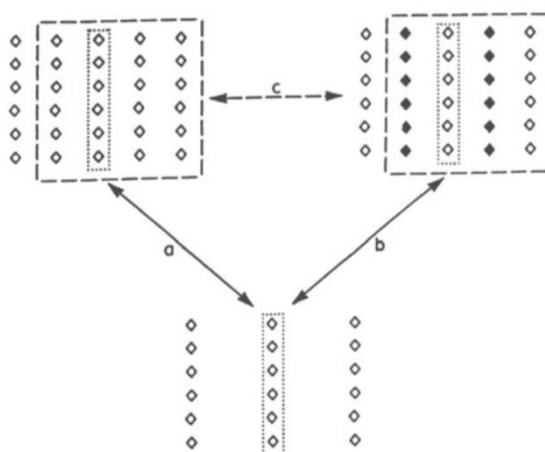


Figura 2. Diseño que permite el estudio a nivel de línea de siembra o de área de: a) competencia intra-específica (diseño “*substitutive*”); b) competencia inter-específica (diseño “*additive*”); balance entre competencia intra e inter-específica (diseño “*additive-substitutive*”). (Cruz y Soussana, 1997; adaptado de Jacquard, 1968). Alfalfa_{GR6} y Festuca_{MED} están representadas por rombos blancos y negros, respectivamente.

Acorde a lo requerido por dicho diseño, y para estudiar el efecto de la presencia de Festuca_{MED} sobre Alfalfa_{GR6}, se utilizaron las parcelas de Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} y parcelas de Alfalfa_{GR6} pura, todas sin N agregado. La densidad del componente Alfalfa_{GR6} fue la misma en la mezcla y en pastura pura, ésta última lograda por el desmalezamiento del componente Festuca_{MED} en forma manual y química (dos aplicaciones: en marzo y principios de abril de un graminicida). Las parcelas de Alfalfa_{GR6} pura fueron sometidas a la misma frecuencia de defoliación que las parcelas de pastura mezcla (ver Tabla 1).

Las variables estimadas para analizar el efecto de la presencia de Festuca_{MED} sobre Alfalfa_{GR6} fueron la RFA_{intac} (MJ/m²) como recurso ambiental por el cual habrían competido y la tasa diaria de crecimiento aéreo (kg/ha/día) como resultado final de la competencia. La tasa diaria de crecimiento aéreo (kg/ha/día) se calculó como el crecimiento aéreo acumulado al final de cada rebrote (diferencia entre la B_{pre-cos} y la

B_{rem} del corte anterior) dividido el número de días que duró cada rebrote. La RFA_{intac} de Alfalfa_{GR6} pura fue estimada con la misma metodología utilizada para la pastura mezcla.

2.4. Análisis estadístico de los datos

Las variables se analizaron a través de modelos mixtos y las medias se compararon con el test de Fisher ($\text{Alfa}=0,05$) mediante el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2014). Los factores de clasificación fueron el agregado de N, la frecuencia de defoliación y la interacción entre dichos factores, y se adicionó como factor aleatorio a las repeticiones. A su vez, las variables a las que se les determinó su dinámica a lo largo del ciclo de crecimiento se analizaron utilizando la opción de medidas repetidas en el tiempo.

3. RESULTADOS

3.1. Condiciones meteorológicas

En la Tabla 2 se observa que, durante el período experimental –principalmente en otoño-invierno– la temperatura media fue superior a los registros históricos. Esto se debió a mayores temperaturas, tanto máximas como mínimas. En cambio, la radiación solar fue similar respecto a los datos históricos. La precipitación fue –respecto de valores históricos– inferior en mayo, septiembre, diciembre y marzo, pero superior en el mes de agosto y la evapotranspiración potencial fue –generalmente– mayor a lo reportado históricamente. En consecuencia, el déficit hídrico (estimado a partir de la diferencia entre precipitaciones y evapotranspiración) fue muy importante, e incluso superior al histórico, en los meses de diciembre y enero.

Tabla 2. Valores medios mensuales durante 1970-2014 y 2015-2016 de temperatura mínima, máxima y media mensual (T, °C); radiación incidente diaria (RI, MJ/m².día); precipitación mensual (PP, mm); evapotranspiración potencial (ETP, mm); diferencia entre PP y ETP (PP-ETP, mm) y fotoperiodo (F, h:min).

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
	T mínima (°C)											
1970-2014	8,9	6,3	3,7	3,1	3,9	5,0	7,6	9,6	12,1	13,9	13,4	12,1
2015-2016	10,1	8,6	5,1	4	6,1	3,9	5,8	9,8	13,3	14,4	15,5	11
	T máxima (°C)											
1970-2014	20,3	16,3	13	12,3	14,3	16,3	19,4	22,5	26	27,7	26,4	24,2
2015-2016	23,9	20,2	15,9	15	16,3	17,5	17,5	25	29,7	30	29,3	25,6
	T media (°C)											
1970-2014	14,5	11,2	8,3	7,6	9	10,6	13,4	16,1	19	20,7	19,9	18,0
2015-2016	17	14,5	10,5	9,5	11,2	10,8	11,7	17,4	21,5	22,2	22,4	18,3
	RI (MJ/m²día)											
1970-2014	10,8	7,3	5,9	6,4	8,8	12,6	16,1	20,1	22,1	21,9	19,5	15,2
2015-2016	11,3	8,2	5,9	6,4	8,6	12,7	14,6	19,9	21,4	20,3	19,4	16,6
	PP (mm)											
1970-2014	84	65	53	54	56	63	99	95	109	114	91	98
2015-2016	99	25	38	50	176	23	86	81	11	78	137	53
	ETP (mm)											
1970-2014	58	35	24	27	43	63	90	117	147	152	120	95
2015-2016	78	47	38	35	49	75	81	130	170	164	131	105
	PP-ETP (mm)											
1970-2014	26	30	29	27	13	0	9	-22	-38	-38	-29	3
2015-2016	21	-22	0	15	127	-52	5	-49	-159	-86	6	-52
	F (h:min)											
2015-2016	11:24	10:19	9:38	9:41	10:25	11:33	12:45	13:55	14:42	14:37	13:45	12:39

3.2. Biomasa cosechada

La biomasa aérea cosechada (B_{cos}) anual de la mezcla aumentó significativamente un 8% (+1495 kg/ha) por el agregado de N en otoño temprano (10/4/15), y aumentó un 10% (+1809 kg/ha) por la aplicación de defoliación INFR durante otoño-invierno (del 15/5/15 al 23/7/15). Dichos aumentos estacionales tuvieron un efecto positivo y similar sobre la B_{cos} anual de la mezcla (+9%; +1652 kg/ha). Además, para la B_{cos} estacional y anual tanto de la mezcla como de sus componentes no existió interacción entre los tratamientos (Tabla 3 y Figura 3a, b, c).

Durante otoño-invierno, la B_{cos} de la mezcla aumentó significativamente 45% con 75N y 79% con 150N (Tabla 3 y Figura 2a). Dichos aumentos fueron explicados – respectivamente– por los aumentos significativos del 47% y 80% de *Festuca*_{MED} (Tabla 3 y Figura 2a, b). Independientemente de la dosis de N agregado, la B_{cos} de *Festuca*_{MED} en otoño-invierno representó el 90% de la B_{cos} de la mezcla en dicho período (Tabla 3; Figura 2a, b). A su vez, los aumentos de las B_{cos} de la mezcla y de *Festuca*_{MED} –debidos al agregado de N– alcanzaron su pico en los primeros dos cortes pos-fertilización, independientemente de la frecuencia de defoliación aplicada (Figura 3a, b).

A pesar de que en el período en que se aplicaron las frecuencias de defoliación contrastantes (del 15/5/15 al 23/7/15) no hubo efectos significativos de la frecuencia de corte sobre las B_{cos} acumuladas de la mezcla y sus componentes, éstas fueron menores en las parcelas con defoliación INFR (Tabla 4 y Figura 3a, b, c).

Durante la primavera temprana no hubo efectos significativos de los tratamientos (Tabla 3). En esta época comenzó el desarrollo reproductivo de *Festuca*_{MED}, siendo la B_{cos} de macollos reproductivos de 460 kg/ha; lo cual representó el 25 y 31% de la B_{cos} de la mezcla y de *Festuca*_{MED}, respectivamente. A su vez, en primavera temprana comenzó el crecimiento activo de *Alfalfa*_{GR6}, la cual pasó de componer el 10% de la B_{cos} en otoño-invierno a componer el 22% en la primavera temprana, dominó la pastura a partir del noviembre con el 60% hasta alcanzar el 90% en enero-febrero y declinó nuevamente en su proporción en marzo-abril con el 60% (Tabla 3 y Figura 3c). La merma de la proporción de *Alfalfa*_{GR6} a inicios de otoño se correspondió con el comienzo del activo crecimiento de *Festuca*_{MED} (Figura 3b, c); especie que a su vez estuvo en latencia estival durante enero y febrero.

El aumento significativo en la B_{cos} anual de la mezcla debido a la defoliación INFR se explicó con los aumentos de *Alfalfa*_{GR6} en cada fecha de corte durante la primavera tardía y verano, a pesar de que sólo se detectó efecto significativo en los cortes del

27/1/16 y 22/2/16. Por su parte, la B_{cos} de Festuca_{MED} no se afectó por los tratamientos durante la primavera tardía y verano (Tabla 3 y Figura 3a, b, c).

Tabla 3. Biomasa aérea cosechada acumulada (kg/ha) durante otoño-invierno (del 10/4/15 al 8/9/15), primavera temprana (del 9/9/15 al 28/10/15), primavera tardía-verano (del 29/10/15 al 11/4/16) y anual (del 10/4/15 al 11/4/16) de la mezcla (Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}) y sus componentes (Festuca_{MED} y Alfalfa_{GR6}); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente); sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR).

	otoño invierno	primavera temprana	Primavera tardía verano	anual
Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (kg/ha)				
0N-FREC	2606 C	1809	13117 b	17532 Bb
75N-FREC	3915 B	2009	13768 b	19692 Ab
150N-FREC	4546 A	2194	12318 b	19058 Ab
0N-INFR	2676 C	1879	15250 a	19805 Ba
75N-INFR	3765 B	1754	15192 a	20711 Aa
150N-INFR	4906 A	1905	14383 a	21194 Aa
Error estándar	202	58	418	395
<i>p</i> DOSIS	S	NS	NS	S
<i>p</i> FRECUENCIA	NS	NS	S	S
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS
Festuca_{MED} (kg/ha)				
0N-FREC	2246 C	1568	3029	6842 B
75N-FREC	3554 B	1592	2919	8066 AB
150N-FREC	4193 A	1593	2873	8659 A
0N-INFR	2456 C	1496	2835	6787 B
75N-INFR	3338 B	1355	3275	7968 AB
150N-INFR	4266 A	1390	2577	8233 A
Error estándar	190	87	269	194
<i>p</i> DOSIS	S	NS	NS	S
<i>p</i> FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS
Alfalfa_{GR6} (kg/ha)				
0N-FREC	361	241	10088 b	10689 b
75N-FREC	361	416	10849 b	11626 b
150N-FREC	353	601	9445 b	10399 b
0N-INFR	220	383	12415 a	13018 a
75N-INFR	427	398	11918 a	12743 a
150N-INFR	656	515	11806 a	12977 a
Error estándar	58	64	489	480
<i>p</i> DOSIS	NS	NS	NS	NS
<i>p</i> FRECUENCIA	NS	NS	S	S
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS

Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas para las dosis de nitrógeno agregado; letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas para las frecuencias de defoliación. NS: no significativa; S: significativa ($p < 0,05$).

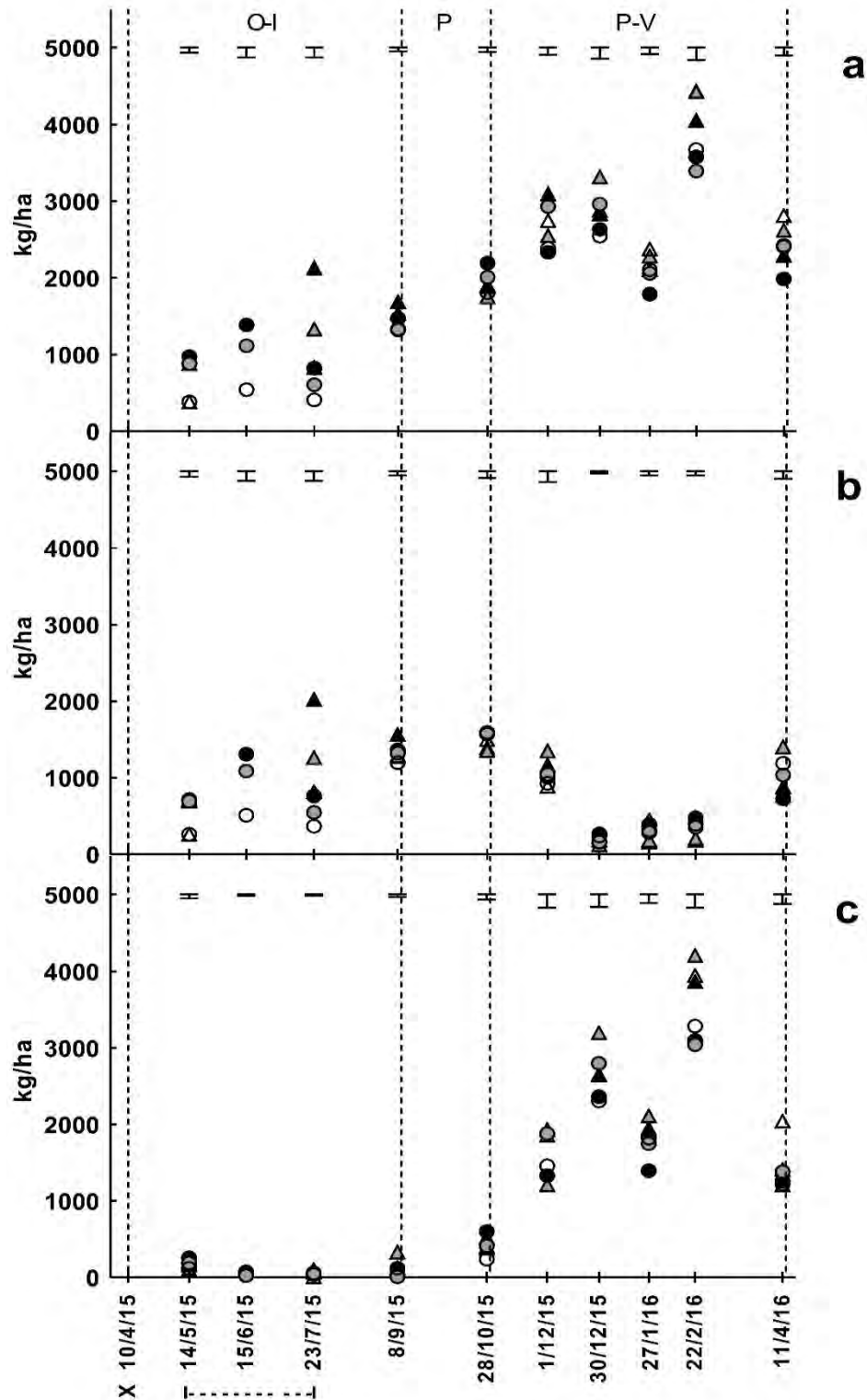


Figura 3. Biomasa aérea cosechada por corte de la mezcla *Festuca*_{MED}+*Alfalfa*_{GR6} (a) y sus componentes, *Festuca*_{MED} (b) y *Alfalfa*_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

Tabla 4. Biomasa aérea cosechada (kg/ha) de la mezcla ($Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}$) y sus componentes ($Festuca_{MED}$ y $Alfalfa_{GR6}$) durante el período en que se aplicaron defoliaciones frecuentes (FREC) e infrecuentes (INFR) (del 15/5/15 al 23/7/15); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente).

Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (kg/ha)	
0N-FREC	951 C
75N-FREC	1719 B
150N-FREC	2210 A
0N-INFR	831 C
75N-INFR	1331 B
150N-INFR	2127 A
Error estándar	125
<i>p</i> DOSIS	S
<i>p</i> FRECUENCIA	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS
Festuca_{MED} (kg/ha)	
0N-FREC	882 C
75N-FREC	1639 B
150N-FREC	2073 A
0N-INFR	818 C
75N-INFR	1262 B
150N-INFR	2024 A
Error estándar	122
<i>p</i> DOSIS	S
<i>p</i> FRECUENCIA	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS
Alfalfa_{GR6} (kg/ha)	
0N-FREC	69
75N-FREC	79
150N-FREC	137
0N-INFR	13
75N-INFR	69
150N-INFR	103
Error estándar	16
<i>p</i> DOSIS	NS
<i>p</i> FRECUENCIA	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS

Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) para las dosis de nitrógeno agregado. NS: no significativa; S: significativa ($p < 0,05$).

3.3. Densidad de individuos

La densidad de macollos ($Festuca_{MED}$) sólo aumentó significativamente en el primer corte pos-fertilización (14/5/15; +1686 macollos, +42%; Figura 4a) debido al agregado de N, sin detectarse diferencias entre 75N y 150N, no siendo afectada por frecuencias de defoliación contrastantes (Figura 4a).

A su vez, la densidad de ejes ($Alfalfa_{GR6}$) no fue afectada por los tratamientos durante otoño-invierno (Figura 4b). En los cortes del 15/6/15 y del 23/7/15 (momento de aplicación de los tratamientos de frecuencia) disminuyó la densidad de ejes, en todos los tratamientos, con respecto a la densidad del resto del período otoño-invierno.

En primavera temprana la densidad de macollos disminuyó y la densidad de ejes

aumentó (Figura 4), lo cual coincidió con el comienzo del activo crecimiento de Alfalfa_{GR6}. En esta época, tanto la densidad de macollos vegetativos como la densidad de ejes no fueron afectadas por los tratamientos (Figura 4a, b).

En primavera tardía-verano, ni la densidad de macollos de Festuca_{MED} ni la densidad de ejes de Alfalfa_{GR6} fueron afectados por los tratamientos (Figura 4a, b).

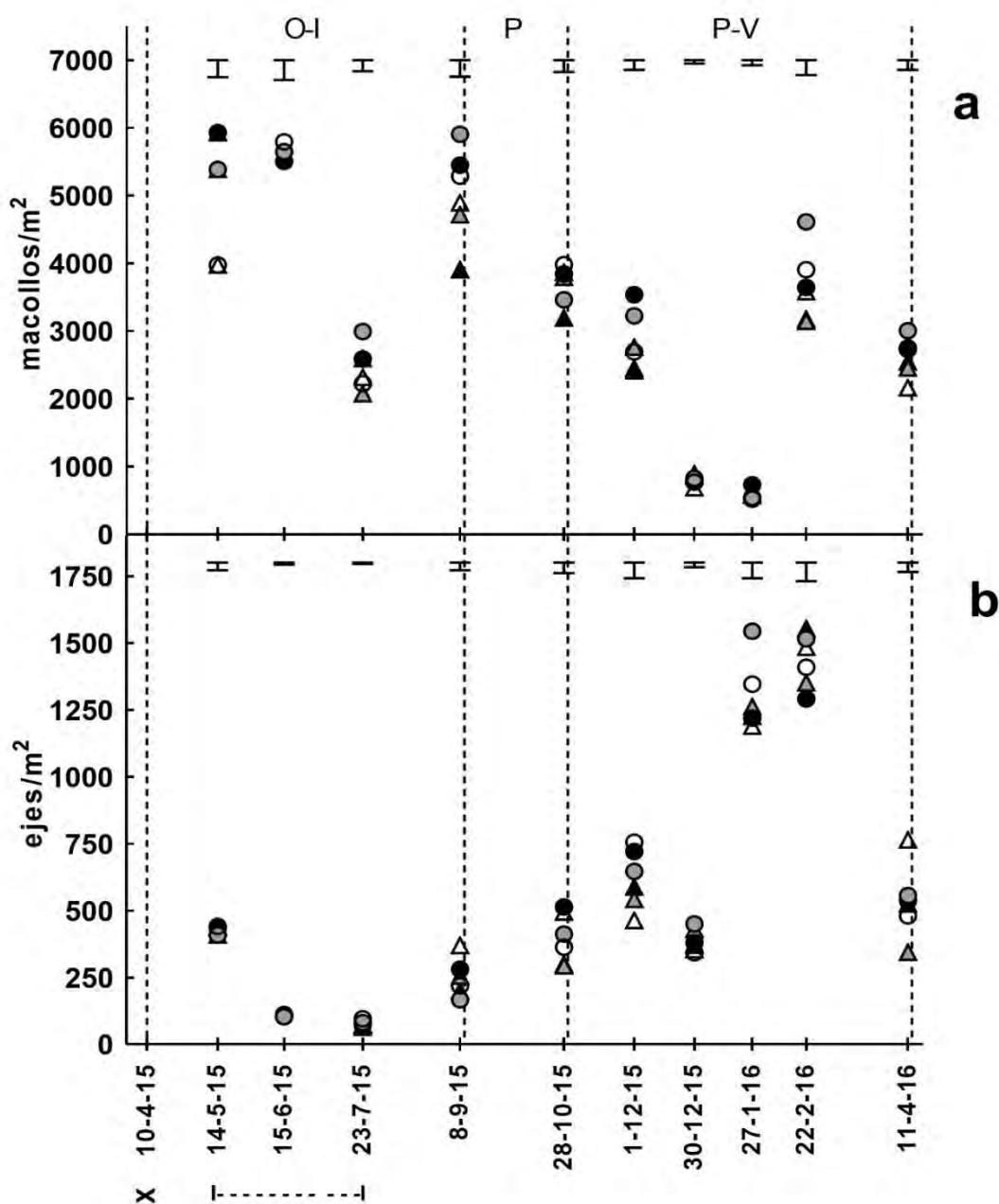


Figura 4. Densidad total de macollos (vegetativos y reproductivos) de Festuca_{MED} (a) y densidad de ejes de Alfalfa_{GR6} (b); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

3.4. Biomasa de cada individuo

En otoño-invierno la biomasa de cada macollo (*Festuca_{MED}*) aumentó significativamente por efecto de la fertilización con N en los cortes del 14/5/15, 15/6/15 y 23/7/15 (+23, +24, +37 g/macollo y +92%, +109%, +42%; respectivamente); sin tener efectos de las frecuencias de defoliación (Figura 5a). Por otro lado, la biomasa de cada eje (*Alfalfa_{GR6}*) no se afectó de manera significativa por ninguno de los tratamientos (Figura 5b).

En primavera temprana la biomasa de cada macollo aumentó significativamente por efecto de la defoliación FREC y no se detectó efecto de la fertilización. En esta época, se detectó interacción entre frecuencia de defoliación y agregado de N ($p < 0,05$), siendo la biomasa de cada eje máxima en las parcelas 150N-INFR y mínima en las parcelas 0N-FREC (Figura 5b).

Durante la primavera tardía-verano la biomasa de cada macollo no fue afectada de manera significativa por los tratamientos (Figura 5a). Dicha variable en el corte del 1/12/15 fue menor a la registrada en primavera temprana y la disminución alcanzó el mínimo valor el 27/1/16. Luego aumentó en el corte del 11/4/16, lo cual coincidió con el aumento de la B_{cos} de *Festuca_{MED}* (Figura 3b); siendo ambas variables indicadoras del comienzo del activo crecimiento de *Festuca_{MED}*.

A pesar de que en todos los cortes de primavera tardía-verano la biomasa de cada eje aumentó debido a la defoliación INFR, la diferencia significativa se registró sólo en el corte del 27/1/16.

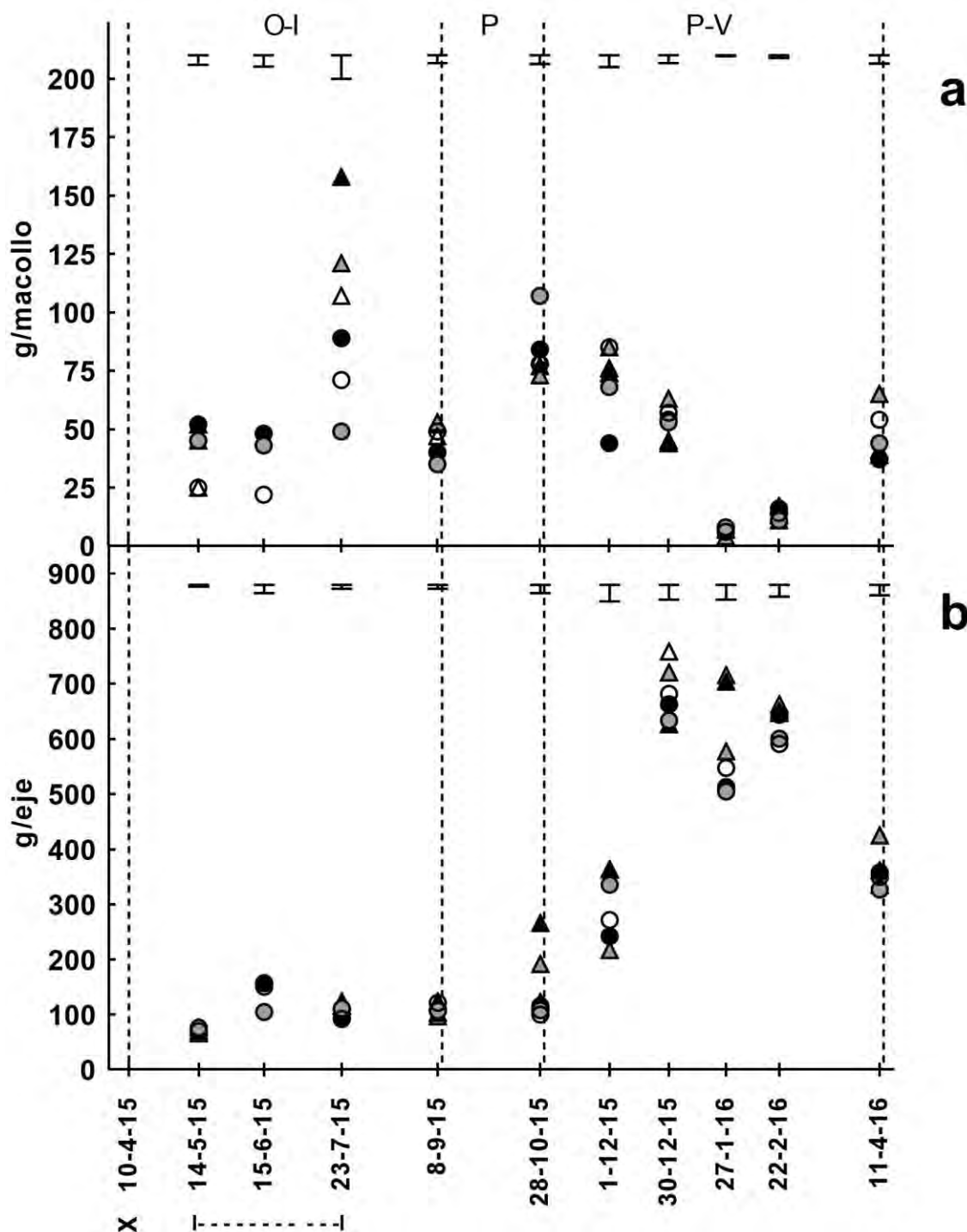


Figura 5. Biomasa de cada macollo de *Festuca*_{MED} (a) y biomasa de cada eje de *Alfalfa*_{GR6} (b); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

3.5. Índice de área foliar pre-cosecha

En otoño-invierno, el IAF de la mezcla aumentó significativamente debido al agregado de N y se explicó por el aumento del valor correspondiente a *Festuca*_{MED} (Figura 6a, b). Dichos aumentos se detectaron hasta el corte del 23/7/15; independientemente de la frecuencia de corte aplicada. Además, la magnitud de este efecto disminuyó a medida que avanzó el período otoño-invernal. El IAF de *Alfalfa*_{GR6} aumentó de manera significativa por efecto de la fertilización en el primer corte post-fertilización (14/5/15, Figura 6c). A pesar de ello es importante mencionar que durante otoño-invierno el IAF de *Alfalfa*_{GR6} representó –al momento de cada corte– no más del 10 % del IAF de la mezcla (Figura 6c).

La suma de IAF del período en que se aplicaron las frecuencias de defoliación contrastantes fue significativamente mayor en las parcelas con defoliación FREC (dos rebrotes en el período del 15/5/15 al 23/7/15) respecto a las parcelas con defoliación INFR (un rebrote en el período del 15/5/15 al 23/7/15). Esto ocurrió tanto en la mezcla (+54%; FREC=3,04 e INFR=1,98 m² área foliar/m²suelo) como en *Festuca*_{MED} (+55%; FREC=2,88 e INFR=1,86 m² área foliar/m² suelo) y en *Alfalfa*_{GR6} (+33%; FREC=0,16 e INFR=0,12 m² área foliar/m² suelo).

El IAF durante la primavera temprana no fue afectado por los tratamientos (Figura 6a, b, c). En este período comenzó a aumentar el IAF de *Alfalfa*_{GR6}, y representó el 25% del IAF de la mezcla.

En los cortes de primavera tardía-verano, excepto en el corte del 11/4/16, el IAF de la mezcla aumentó significativamente por efecto de la defoliación INFR y fue explicado por el aumento del IAF de *Alfalfa*_{GR6} (Figura 6a, c).

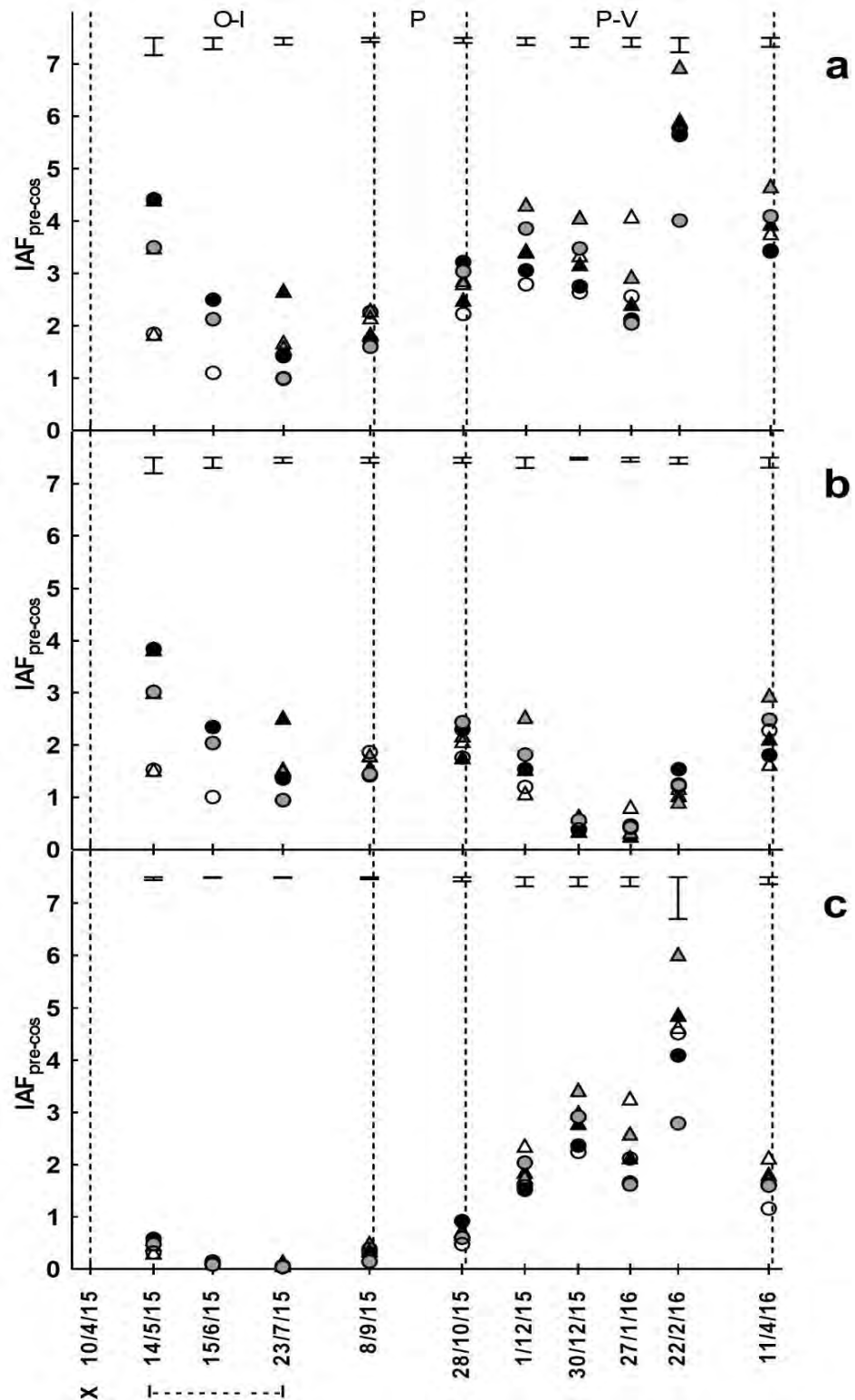


Figura 6. Índice de Área Foliar en pre-cosecha ($IAF_{pre-cos}$; m^2 área foliar/ m^2 suelo) de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

3.6. Intercepción de la radiación

Durante otoño-invierno, la I_{mez} y la I_{Fes} aumentaron por el agregado de N hasta el corte del 23/7/15 (Figura 7a, b). Durante el período en que se aplicaron Frecuencias de defoliación contrastantes (*i.e.* del 15/5/15 al 23/7/15), la I_{mez} fue significativamente menor en las parcelas con defoliación FREC respecto a aquellas con defoliación INFR (FREC=0,76; INFR=0,90). Las parcelas con defoliación FREC, en aproximadamente 15 días luego de recibir el corte extra (*i.e.* el del 15/6/15), alcanzaron valores de I_{mez} cercanos al 0,75 (Figura 7a).

En primavera tardía-verano, las parcelas con defoliación INFR tuvieron mayor I_{Aif} en todos los cortes, aunque los aumentos significativos ocurrieron en los cortes del 27/1/16 y 22/2/16. mayor I_{Aif} en los cortes del 27/1/16 y 22/2/16 (Figura 7c). El aumento de la I_{Aif} debido a la defoliación INFR impactó en una mayor I_{mez} en los cortes del 1/12/15, 30/12/15 y 27/1/16, aunque sólo en este último corte se detectaron diferencias significativas.

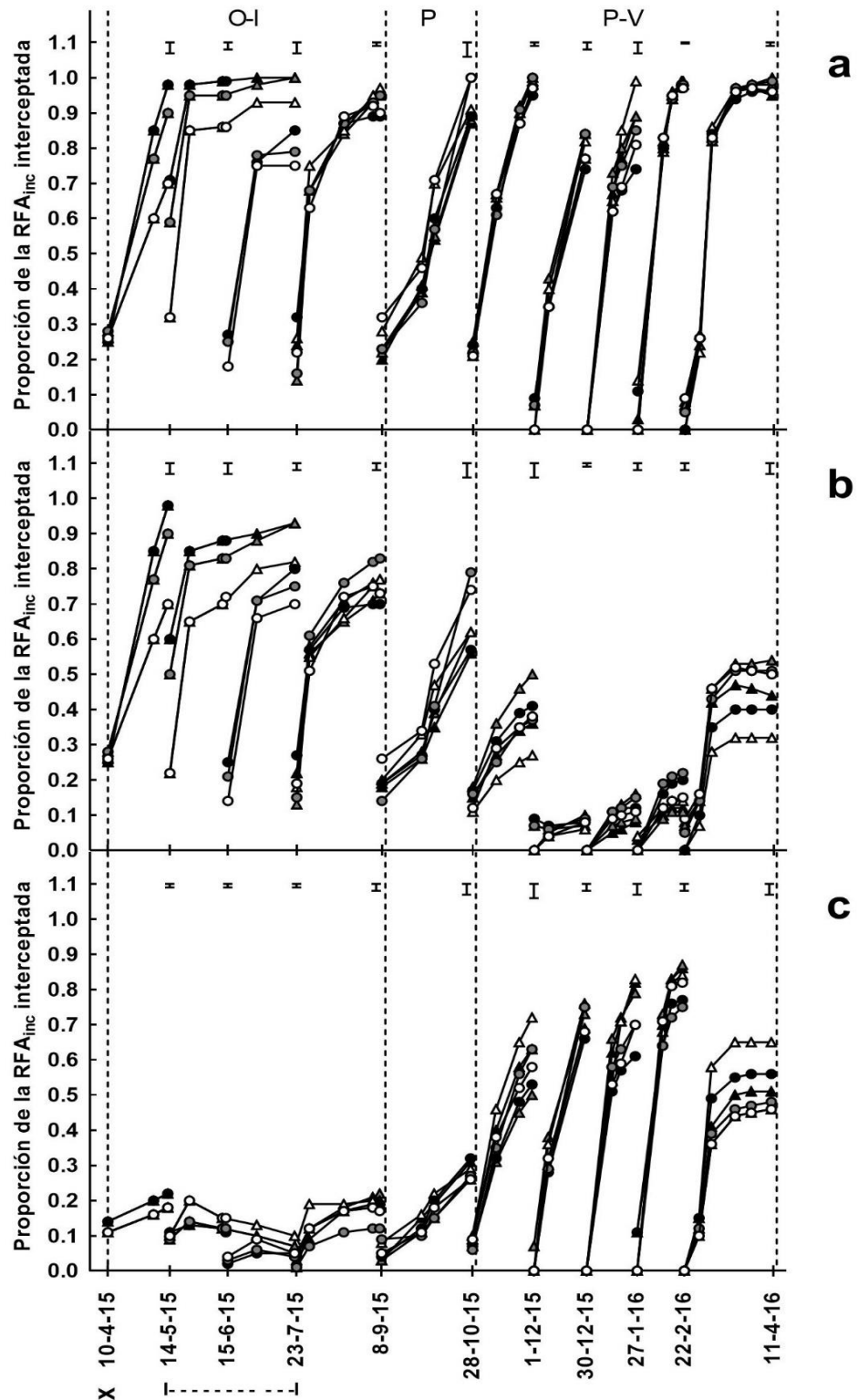


Figura 7. Proporción de la Radiación Fotosintéticamente Activa incidente (RFA_{inc}) que es interceptada por la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

3.7. Radiación interceptada acumulada

La radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFA_{intac}) anual de la mezcla fue aportada en un 50% por cada especie (Tabla 5). La significativamente mayor cantidad de RFA_{intac} anual de la mezcla y de Alfalfa_{GR6} en las parcelas con defoliación INFR responde a que en dichas parcelas fue mayor la RFA_{intac} durante primavera tardía y verano, época en que ocurre la máxima radiación incidente (Tabla 2 y Tabla 5).

La fertilización con N aumentó significativamente la RFA_{intac} de la mezcla en otoño-invierno, representada en un 82% por la RFA_{intac} de Festuca_{MED} (Tabla 5). Dichos aumentos ocurrieron en los primeros dos o tres cortes pos-fertilización, según se haya aplicado defoliación INFR o FREC, respectivamente (Figura 8a, b). El aumento otoño-invernal de la RFA_{intac} de Festuca_{MED} por efecto del agregado de N no incidió ni en la RFA_{intac} anual de Festuca_{MED} ni en la RFA_{intac} anual de la mezcla (Tabla 5). La cantidad de RFA_{intac} adicional de Festuca_{MED} obtenida por fertilizar (+53 MJ/m²) aportó sólo el 7% de la RFA_{intac} anual de Festuca_{MED} y el 3% de la RFA_{intac} anual de la mezcla. A su vez, la aplicación de una frecuencia de defoliación INFR aumentó la RFA_{intac} otoño-invernal de la mezcla (+8%; +33 MJ/m²) y de Festuca_{MED} (+6%; +22 MJ/m²).

Durante el período en que se aplicaron las frecuencias de defoliación contrastantes, las RFA_{intac} de las parcelas con defoliación INFR fueron significativamente mayores que las defoliadas FREC en la mezcla y en Festuca_{MED}, y tendieron a ser significativas ($p < 0,10$) en Alfalfa_{GR6} (Tabla 6).

En la primavera temprana la RFA_{intac} de la mezcla fue significativamente mayor (+18%) en las parcelas sin fertilizar, siendo aportada en un 70% por la RFA_{intac} de Festuca_{MED} (Tabla 5 Figura 8a, b, c).

La defoliación INFR aumentó significativamente la RFA_{intac} de la mezcla en primavera tardía y verano. La RFA_{intac} de Alfalfa_{GR6} aportó el 66% de la RFA_{intac} de la mezcla (Tabla 5). El aumento significativo de la RFA_{intac} de Alfalfa_{GR6} con defoliación INFR ocurrió en los cortes del 27/1/16 y 22/2/16, lo cual coincidió con los momentos de mayor aumento de la B_{cos} de Alfalfa_{GR6} con defoliación INFR (Figura 3 y 8).

Tabla 5. Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFA_{intac} , MJ/m^2) de la mezcla ($Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}$) y sus componentes ($Festuca_{MED}$ y $Alfalfa_{GR6}$) durante otoño-invierno (del 10/4/15 al 8/9/15), primavera temprana (del 9/9/15 al 28/10/15), primavera tardía-verano (del 29/10/15 al 11/4/16) y anual (del 10/4/15 al 11/4/16); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente); sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR).

	otoño invierno	primavera temprana	primavera tardía verano	anual
$Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}$ (MJ/m^2)				
0N-FREC	388 Cb	217 A	913 b	1518 b
75N-FREC	427 Bb	186 B	934 b	1547 b
150N-FREC	440 Ab	187 B	906 b	1533 b
0N-INFR	423 Ca	206 A	957 a	1586 a
75N-INFR	455 Ba	172 B	965 a	1592 a
150N-INFR	475 Aa	169 B	941 a	1585 a
Error estándar	6	5	9	11
p DOSIS	S	S	NS	NS
p FRECUENCIA	S	NS	S	S
p DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS
$Festuca_{MED}$ (MJ/m^2)				
0N-FREC	310 Bb	164	290	764
75N-FREC	367 Ab	135	307	809
150N-FREC	359 Ab	125	284	768
0N-INFR	332 Ba	141	213	686
75N-INFR	375 Aa	125	314	814
150N-INFR	395 Aa	112	268	775
Error estándar	7	7	15	19
p DOSIS	S	NS	NS	NS
p FRECUENCIA	S	NS	NS	NS
p DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS
$Alfalfa_{GR6}$ (MJ/m^2)				
0N-FREC	78	53	623 b	754 b
75N-FREC	60	51	627 b	738 b
150N-FREC	81	62	622 b	765 b
0N-INFR	91	65	744 a	900 a
75N-INFR	80	47	651 a	778 a
150N-INFR	80	57	673 a	810 a
Error estándar	4	5	19	25
p DOSIS	NS	NS	NS	NS
p FRECUENCIA	NS	NS	S	S
p DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS

Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas para las dosis de nitrógeno agregado; letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas para las frecuencias de defoliación. NS: no significativa; S: significativa ($p < 0,05$).

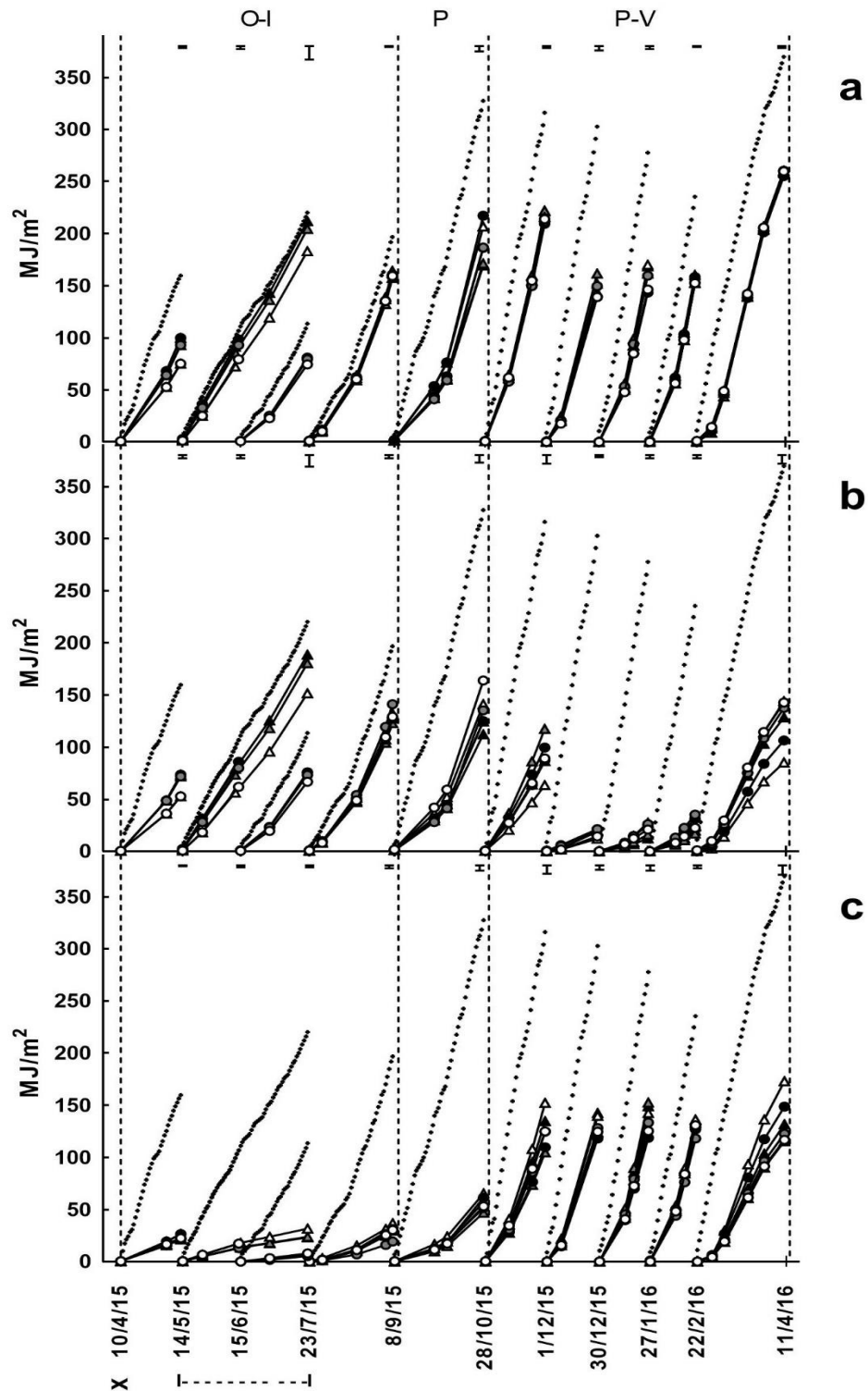


Figura 8. Radiación Fotosintéticamente Activa (MJ/m^2) incidente acumulada (cruces) y RFA interceptada acumulada (MJ/m^2) por la mezcla $\text{Festuca}_{\text{MED}}+\text{Alfalfa}_{\text{GR6}}$ (a) y sus componentes $\text{Festuca}_{\text{MED}}$ (b) y $\text{Alfalfa}_{\text{GR6}}$ (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

Tabla 6. Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada acumulada (RFA_{intac} , MJ/m²) y Eficiencia del Uso de la Radiación (EUR, g/MJ) en la mezcla ($Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}$) y sus componentes ($Festuca_{MED}$ y $Alfalfa_{GR6}$) durante el período en que se aplicaron defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR) (del 15/5/15 al 23/7/15); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente).

Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}		
	RFA_{intac} (MJ/m²)	EUR (g/MJ)
0N-FREC	154 Cb	0,59 B
75N-FREC	173 Bb	0,24 B
150N-FREC	178 Ab	1,51 A
0N-INFR	183 Ca	0,55 B
75N-INFR	204 Ba	0,58 B
150N-INFR	212 Aa	1,29 A
Error estándar	4	0,13
<i>p</i> DOSIS	S	S
<i>p</i> FRECUENCIA	S	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS
Festuca_{MED}		
	RFA_{intac} (MJ/m²)	EUR (g/MJ)
0N-FREC	128 Bb	0,67 B
75N-FREC	154 Ab	0,25 B
150N-FREC	156 Ab	1,63 A
0N-INFR	152 Ba	0,61 B
75N-INFR	181 Aa	0,65 B
150N-INFR	189 Aa	1,40 A
Error estándar	5	0,14
<i>p</i> DOSIS	S	S
<i>p</i> FRECUENCIA	S	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS
Alfalfa_{GR6}		
	RFA_{intac} (MJ/m²)	EUR (g/MJ)
0N-FREC	25	0,23
75N-FREC	19	0,09
150N-FREC	22	0,75
0N-INFR	32	0,11
75N-INFR	24	0,05
150N-INFR	23	0,42
Error estándar	2	0,15
<i>p</i> DOSIS	NS	NS
<i>p</i> FRECUENCIA	NS	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS

Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas para las dosis de nitrógeno agregado; letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas para las frecuencias de defoliación. NS: no significativa; S: significativa ($p < 0,05$).

3.8. Eficiencia del uso de la radiación

La eficiencia de uso de la radiación (g/MJ; EUR) anual de la mezcla aumentó significativamente tanto por la fertilización con N como por la defoliación INFR, presentando a su vez interacción entre los tratamientos (Tabla 7). Así, la EUR de la mezcla fue máxima en el tratamiento 150N-INFR y mínima en 0N-FREC (Tabla 7).

La mayor EUR anual de la mezcla debido a la fertilización con N se explicó principalmente por los aumentos de la EUR de $Festuca_{MED}$ durante el otoño-invierno (Tabla 7, Figura 9a, b). En otoño-invierno la EUR de $Festuca_{MED}$ y de la mezcla

aumentaron hasta el corte del 14/5/15 con el agregado de 75 kg/ha de N, y hasta el corte del 15/6/15 con el agregado de 150 kg/ha de N (Figura 9).

La mayor EUR anual de la mezcla debido a la defoliación INFR se explicó por los aumentos de la EUR de Alfalfa_{GR6} durante la primavera tardía-verano (Tabla 7; Figura 9a, c). En todos los cortes de primavera tardía-verano la EUR de la mezcla y de Alfalfa_{GR6} fueron mayores en las parcelas con defoliación INFR, aunque sólo en el corte del 22/2/16 se detectaron diferencias significativas (Figura 9a, c).

Durante el período en que se aplicaron las frecuencias de corte, la EUR de Alfalfa_{GR6} fue un 86% mayor en las parcelas FREC que en las INFR, a pesar de que no se detectó diferencia estadística (Tabla 6).

Tabla 7. Eficiencia del uso de la radiación (g/MJ) de la mezcla (Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}) y sus componentes (Festuca_{MED} y Alfalfa_{GR6}) durante otoño-invierno (del 10/4/15 al 8/9/15), primavera temprana (del 9/9/15 al 28/10/15), primavera tardía-verano (del 29/10/15 al 11/4/16) y anual (del 10/4/15 al 11/4/16); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente); sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR).

	otoño invierno	primavera temprana	primavera tardía verano	anual
Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (g/MJ)				
0N-FREC	0,77 BC	0,52	1,42 b	1,12 D
75N-FREC	0,96 B	1,06	1,45 b	1,27 BC
150N-FREC	1,09 B	1,23	1,32 b	1,21 BCD
0N-INFR	0,47 C	0,76	1,55 a	1,16 CD
75N-INFR	0,87 B	1,02	1,57 a	1,31 B
150N-INFR	1,56 A	1,15	1,51 a	1,49 A
Error estándar	0,08	0,07	0,04	0,03
<i>p</i> DOSIS	S	NS	NS	S
<i>p</i> FRECUENCIA	NS	NS	S	S
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	S	NS	NS	S
Festuca_{MED} (g/MJ)				
0N-FREC	0,83 C	0,54	0,96	0,82 C
75N-FREC	1,03 B	1,12	0,87	0,99 B
150N-FREC	1,27 A	1,33	0,88	1,13 A
0N-INFR	0,56 C	0,87	1,15	0,8 C
75N-INFR	0,95 B	1,02	1,02	1,01 B
150N-INFR	1,69 A	1,23	0,83	1,33 A
Error estándar	0,09	0,08	0,04	0,05
<i>p</i> DOSIS	S	NS	NS	S
<i>p</i> FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS
Alfalfa_{GR6} (g/MJ)				
0N-FREC	0,53	0,32 B	1,62 b	1,42 b
75N-FREC	0,51	0,60 A	1,73 b	1,57 b
150N-FREC	0,34	1,01 A	1,5 b	1,30 b
0N-INFR	0,16	0,51 B	1,65 a	1,43 a
75N-INFR	0,43	0,95 A	1,83 a	1,64 a
150N-INFR	0,95	0,95 A	1,75 a	1,62 a
Error estándar	0,07	0,07	0,04	0,04
<i>p</i> DOSIS	NS	S	NS	NS
<i>p</i> FRECUENCIA	NS	NS	S	S
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS

Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas para las dosis de nitrógeno agregado; letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas para las frecuencias de defoliación; letras mayúsculas cursivas distintas denotan interacción entre los tratamientos. NS: no significativa; S: significativa ($p < 0,05$).

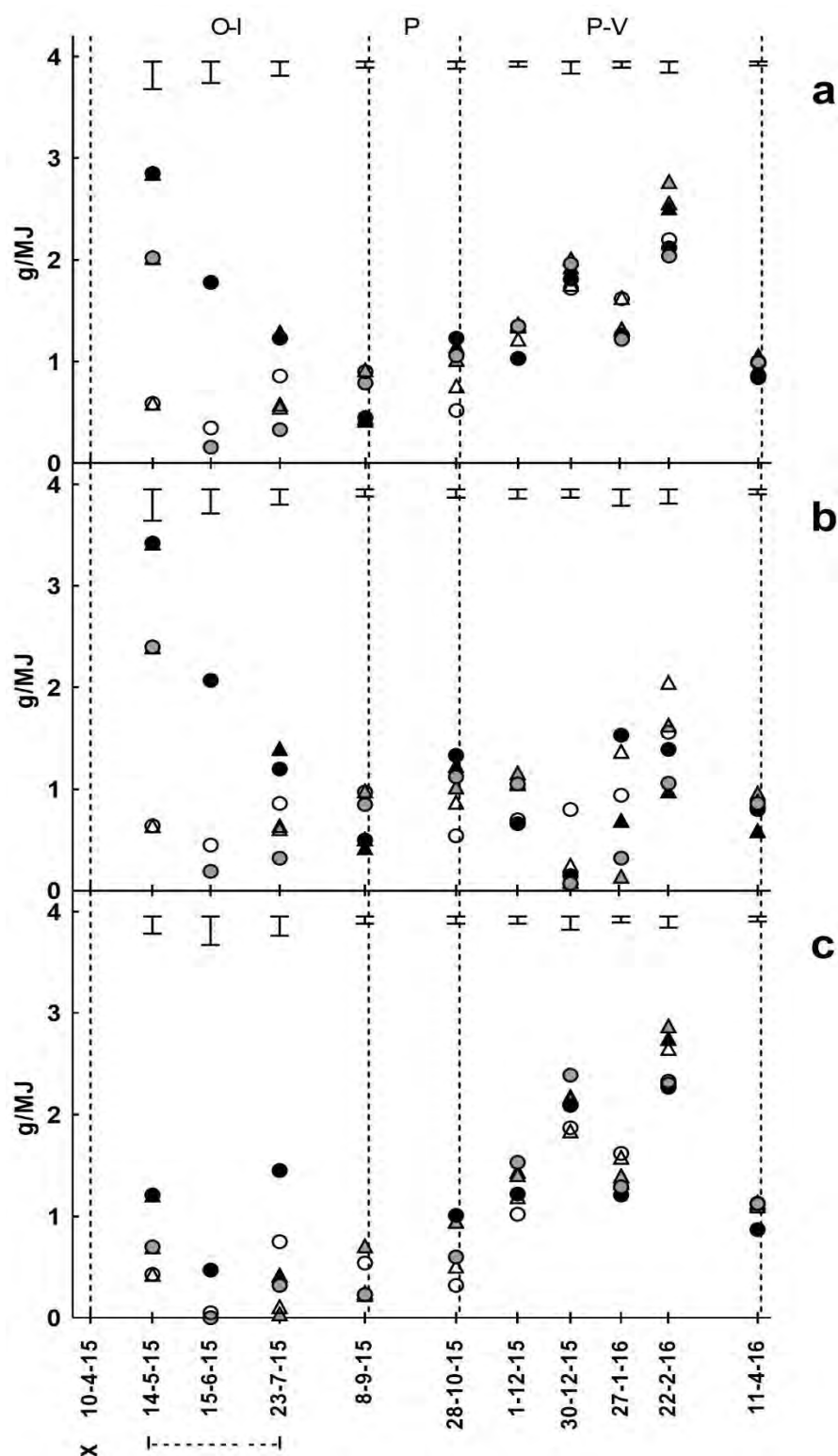


Figura 9. Eficiencia del uso de la radiación (g/MJ) de la mezcla *Festuca*_{MED}+*Alfalfa*_{GR6} (a) y sus componentes *Festuca*_{MED} (b) y *Alfalfa*_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P), primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

3.9. Nutrición nitrogenada de *Festuca*_{MED} durante otoño-invierno

Los valores del Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) en las parcelas fertilizadas aumentaron en relación directa con la dosis aplicada, mientras que en las parcelas sin fertilizar se mantuvieron casi constantes, alrededor de 0,6-0,7 (Figura 10). Los valores de INN debido al agregado de N fueron máximos en el corte del 14/5/15 (*i.e.* en el primer corte pos-fertilización), luego tendieron a disminuir hasta que se igualaron con los valores de las parcelas no fertilizadas en el corte del 8/9/15 (Figura 10). Del 15/6/15 al 23/7/15 los valores de INN de *Festuca*_{MED} con defoliación FREC fueron menores respecto a aquellos de *Festuca*_{MED} con defoliación INFR.

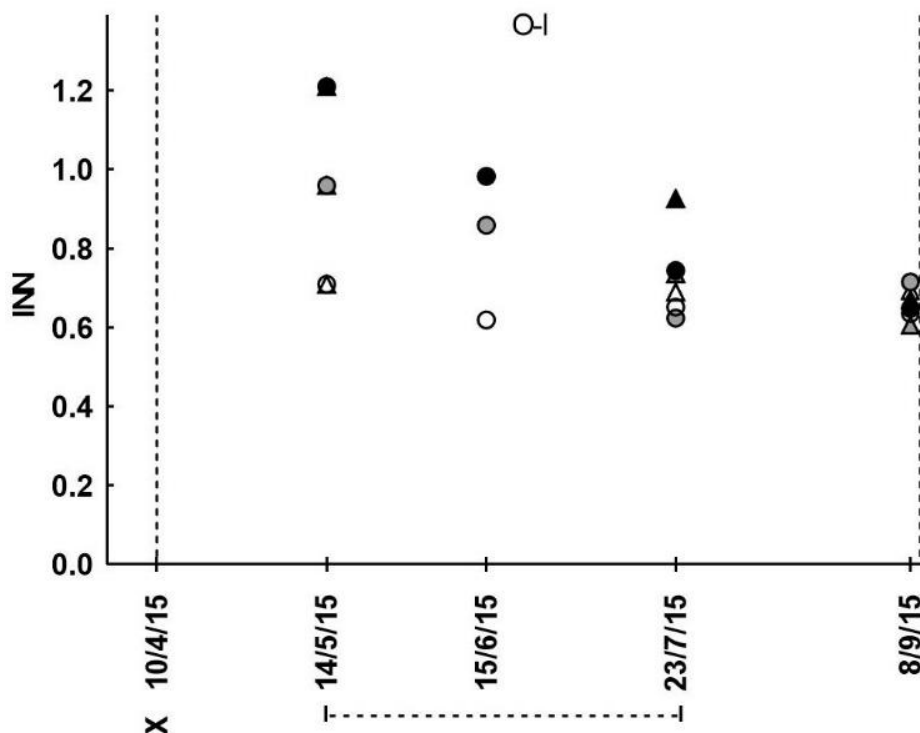


Figura 10. Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) del componente *Festuca*_{MED} de la mezcla *Festuca*_{MED}+*Alfalfa*_{GR6}; durante otoño-invierno (O-I); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos).

3.10. Competencia por la radiación ejercida por *Festuca*_{MED} sobre la tasa de crecimiento de *Alfalfa*_{GR6}. Frecuencia de defoliación en *Alfalfa*_{GR6} Pura

Independientemente de la frecuencia de defoliación aplicada, *Alfalfa*_{GR6} pura tuvo – respecto a *Alfalfa*_{GR6} en mezcla – mayor tasa diaria de crecimiento aéreo y mayor RFA_{intac} durante todo el ciclo evaluado. Si bien en términos relativos el efecto de la

competencia ejercida por Festuca_{MED} sobre Alfalfa_{GR6} fue mayor en otoño-invierno, el impacto en términos absolutos fue superior en primavera tardía y verano (Tabla 8).

En Alfalfa_{GR6} pura, la aplicación de un manejo de frecuencias de defoliación contrastantes en otoño-invierno no afectó ni su RFA_{intac} ni su tasa de crecimiento aéreo.

Tabla 8. Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada acumulada (MJ/m²) y tasa de aumento diario del crecimiento aéreo (kg/ha/día) de Alfalfa_{GR6} en pastura pura y de Alfalfa_{GR6} en pastura mezcla con Festuca_{MED}. Sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 a defoliación frecuente (FREC) e infrecuente (INFR).

	otoño invierno	primavera temprana	primavera tardía verano	anual
RFAiacum (MJ/m²)				
Alfalfa _{GR6} Pura-FREC	319 A	139 A	1028 Ab	1487 Ab
Alfalfa _{GR6} Pura-INFR	329 A	146 A	1036 Aa	1511 Aa
Alfalfa _{GR6} Mezcla-FREC	78 B	53 B	623 Bb	754 Bb
Alfalfa _{GR6} Mezcla-INFR	91 B	65 B	744 Ba	900 Ba
Error estándar	3	5	8	12
p PASTURA	S	S	S	S
p FRECUENCIA	NS	NS	S	S
p PASTURA x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS
Tasa de crecimiento (kg/ha/día)				
Alfalfa _{GR6} Pura-FREC	16 A	21 A	101 Ab	54 Ab
Alfalfa _{GR6} Pura-INFR	14 A	22 A	111 Aa	58 Aa
Alfalfa _{GR6} Mezcla-FREC	3 B	5 B	61 Bb	29 Bb
Alfalfa _{GR6} Mezcla-INFR	2 B	8 B	75 Ba	36 Ba
Error estándar	2	2	6	3
p PASTURA	S	S	S	S
p FRECUENCIA	NS	NS	S	S
p PASTURA x FRECUENCIA	NS	NS	NS	NS

Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas para el factor Pastura y letras minúsculas distintas denotan diferencias para el factor Frecuencia de Defoliación. NS: no significativa; S: significativa (p<0,05).

4. DISCUSIÓN

En esta tesis el N agregado en otoño temprano aumentó la producción forrajera de *Festuca*_{MED} en otoño-invierno y un manejo de defoliación infrecuente en otoño-invierno aumentó la producción forrajera de *Alfalfa*_{GR6} en primavera tardía-verano (Tabla 3). Estos efectos estacionales incidieron sobre la producción forrajera anual de la mezcla, sin existir interacción entre los tratamientos. Por lo tanto, a continuación se discutirá el impacto de los tratamientos en cada componente de la mezcla, con énfasis en el efecto del agregado de N sobre *Festuca*_{MED} y de la frecuencia de defoliación sobre *Alfalfa*_{GR6}.

4.1. Respuesta al agregado de nitrógeno

El aumento otoño-invernal de la producción forrajera de *Festuca*_{MED} debido al agregado de N fue significativo en los dos primeros cortes pos-fertilización. Es decir que, dicho aumento ocurrió desde inicios de abril hasta mediados de junio con defoliación frecuente y hasta fines de julio con defoliación infrecuente.

En coincidencia con lo reportado por otros autores, el aumento de la biomasa de *Festuca*_{MED} por el agregado de N se explicó por aumentos en la densidad macollos (Nelson y Zarrough, 1981; Wilman y Pearse, 1984; Simon y Lemaire, 1987; Lemaire y Culleton, 1989; Gastal *et al.*, 1992; Mazzanti *et al.*, 1994; Lattanzi, 1998) y en la biomasa de cada macollo (Nelson y Zarrough, 1981; Wilman y Pearse, 1984; Mazzanti *et al.*, 1994). Mientras la densidad de macollos explicó las diferencias en producción de biomasa sólo en el primer corte pos-fertilización, la mayor producción de las parcelas fertilizadas con N se explicó siempre por un mayor peso de los macollos (Figuras 3, 4 y 5). Al respecto se ha sugerido que el incremento en producción de forraje debido al agregado de N en situaciones de pastoreo rotativo, similares a las condiciones del presente trabajo, se explican principalmente por aumentos en el tamaño de los macollos mientras que suele ser explicado por ambos, tamaño y densidad, cuando se aplica pastoreo continuo (Mazzanti *et al.*, 1994).

Teniendo en cuenta el modelo radiativo de Monteith (1977), el aumento otoño-invernal de la biomasa de *Festuca*_{MED} por efecto del agregado de N se explicó por incrementos tanto en la cantidad de radiación capturada (Figura 8) como en la EUR (Figura 9). Siendo la EUR el factor que mayor impacto tuvo en la determinación de la biomasa, en coincidencia con lo reportado previamente (Bélanger *et al.*, 1992; Agnusdei *et al.*, 2010).

Trabajos previos demuestran que a partir de que una pastura toma valores de INN de 0,80 el crecimiento es prácticamente similar al de aquellas pasturas que tienen un INN de 1 o más (Bélanger y Richards, 1997; Bélanger *et al.*, 1992) Los valores de INN (Figura 10a) indican que la producción de forraje no estuvo limitada por N hasta mediados de junio en las parcelas con 75N, independientemente de la frecuencia de corte aplicada y en las parcelas con 150N-FREC. Mientras que, esto fue así hasta fines de julio para las parcelas que recibieron 150N-INFR. (Figura 10). Por su parte, los valores de INN de las parcelas sin fertilizar indican que las mismas estuvieron creciendo a un valor cercano al 65% de su potencial (INN=0,6-0,7; Figura 10). Estos valores de INN de las parcelas sin fertilizar fueron muy superiores a los reportados en numerosas investigaciones previas (INN= 0,3-0,5; Lemaire y Salette, 1984; Greenwood *et al.*, 1991; Lemaire y Gastal, 1997; Gonzalez-Dugo *et al.*, 2005; Agnusdei *et al.*, 2010; Errecart *et al.*, 2014). Lo anterior sugiere una mayor disponibilidad de N en el suelo utilizado en el presente trabajo de tesis (Lemaire y Gastal, 1997) y podría deberse a un mayor contenido de materia orgánica del suelo y/o al aporte de N atmosférico fijado por Alfalfa_{GR6} (Ta *et al.*, 1986; Ledgard, 1991; Ledgard y Steele, 1992; Fustec *et al.*, 2010; Louarn *et al.*, 2015).

Las mayores temperaturas diarias observadas durante el otoño-invierno del año en que se realizó esta tesis con relación a registros históricos (Tabla 2) y los pronósticos que predicen incrementos de temperatura sin mayores cambios en las precipitaciones (SAyDS, 2015), permiten inferir que la respuesta al agregado de N observada en el presente trabajo podría ser similar o replicable para años venideros. Por su parte, el balance hídrico histórico durante otoño-invierno que suele ser favorable y los mencionados pronósticos, permiten suponer que el recurso agua no sería un factor limitante. El análisis previo sugiere que los resultados obtenidos en esta tesis, *i.e.* la respuesta al agregado de N en otoño temprano, se podrían mantener en el tiempo debido a que tanto las temperaturas como la disponibilidad hídrica durante otoño-invierno no serían limitantes para el crecimiento de Festuca_{MED}. Por supuesto, esto deberá ser debidamente contrastado ya que el cambio climático puede derivar también en distinto comportamiento a nivel edáfico (Reich *et al.*, 2018).

La falta de respuesta al agregado de N en Alfalfa_{GR6} puede explicarse a través de tres aspectos, los cuales no son mutuamente excluyentes y están relacionados con la disminución del crecimiento de Alfalfa_{GR6} durante otoño-invierno.

Una explicación posible es la ocurrencia de competencia de *Festuca*_{MED} por los recursos, lo cual no habría permitido a *Alfalfa*_{GR6} expresar su potencial crecimiento acorde a las condiciones ambientales en otoño-invierno. Para el recurso radiación, la mayor RFA_{intac} de *Alfalfa*_{GR6} Pura respecto a aquella de *Alfalfa*_{GR6} en Mezcla (Tabla 8) indicó que, *Festuca*_{MED} disminuyó la cantidad de radiación acumulada por el componente *Alfalfa*_{GR6} en otoño-invierno y por ende su tasa diaria de crecimiento aéreo. Si bien *festuca* por sus raíces finas y superficiales podría haber hecho una mayor captura de agua y nutrientes que *alfalfa* que posee raíz pivotante (Berendse, 1979), la elevada disponibilidad de agua (Tabla 2) y de nutrientes (6,1% materia orgánica, 40 ppm de P) observadas en otoño-invierno en el presente trabajo permiten presuponer que no hubo competencia significativa por estos recursos y si la hubo, ésta fue mínima. Un aspecto importante a mencionar en este punto es que, si bien la presencia de *Festuca*_{MED} afectó el potencial crecimiento de *Alfalfa*_{GR6}, el agregado de N no habría acentuado el nivel de competencia por el recurso luz, debido a que la producción de forraje de *Alfalfa*_{GR6} en la mezcla fue similar, con y sin N (Tabla 8).

Otra explicación posible son las bajas temperaturas registradas durante la época otoño-invernal. Si bien la temperatura mínima mensual (6,8 °C, Tabla 2) fue mayor que la temperatura base de *Alfalfa*_{GR6} (5°C; Thiébeau *et al.*, 2011), las temperaturas medias mensuales fueron sustancialmente menores (12,5 °C, Tabla 2) a las temperaturas óptimas para el crecimiento de *Alfalfa*_{GR6} (rango 20-30°C; Christian, 1977; Fick *et al.*, 1988). A su vez, el fotoperiodo de otoño-invierno (10:17 h:min, Tabla 2) habría contribuido a reducir los procesos de crecimiento y desarrollo de *Alfalfa*_{GR6} (Major *et al.*, 1991; Brown *et al.*, 2005; Teixeira *et al.*, 2011).

La otra explicación es que la cantidad de N disponible en el suelo haya permitido la máxima tasa de crecimiento de *Alfalfa*_{GR6} permitida por dicho nutriente durante otoño-invierno. Si bien no se cuenta con datos de nutrición nitrogenada en *Alfalfa*_{GR6}, valores de INN en *Festuca*_{MED} de ~0,65 sugieren que hubo una buena disponibilidad de N disponible en el suelo en otoño-invierno.

4.2. Respuesta a la aplicación de frecuencias de defoliación contrastantes

La aplicación de frecuencias de defoliación contrastantes en otoño-invierno no afectó la productividad de *Festuca*_{MED} debido a que, la presencia de un remanente verde (Apéndice, Figura I) en dicha época del año habría minimizado el impacto de una mayor frecuencia (Parsons *et al.*, 1988). Además, si bien las diferencias debidas a frecuencias de corte contrastantes en la cantidad de radiación interceptada en la

mezcla durante otoño-invierno fueron significativas (Tabla 5), éstas no fueron de elevada magnitud.

Por su parte, no se observaron diferencias en densidad de macollos al finalizar la aplicación de frecuencias de defoliación contrastantes, (*i.e.* en pleno invierno, el 23/7/15) y esto podría deberse a la falta de diferencias en la cantidad y calidad de luz que habría llegado a la base de las plantas (Mitchell y Calder, 1958; Davies y Thomas, 1983; Casal *et al.*, 1985). Si bien no se realizaron mediciones de calidad de luz y a pesar de que las parcelas con defoliación FREC tuvieron un corte adicional (*i.e.* 15/6/15), a continuación se describen dos evidencias que sugieren que el ambiente lumínico en la base de las plantas habría sido similar entre FREC e INFR y por lo tanto esto derivó en la falta de diferencias en densidad de macollos. En primer lugar, la cantidad de luz incidente, en la base de las plantas del tratamiento FREC el día posterior al corte del 15/6/15, habría estado reducida debido a que la cantidad de B_{rem} de la mezcla fue elevada (Apéndice, Figura I; Figura 7a). En segundo lugar, las parcelas con defoliación FREC alcanzaron rápidamente, 15 días posteriores al corte del 15/6/15, a interceptar el 75% de la radiación incidente (sin diferencias significativas entre dosis de N; Figura 7a); lo que también presupone una baja cantidad de luz en la zona cercana a la base de las plantas. Otro aspecto a tener en cuenta es que, el ambiente invernal, caracterizado por baja radiación y temperatura (Tabla 2), es restrictivo para el macollaje, lo que habría evitado un incremento en la densidad de macollos en el tratamiento FREC.

El aumento en la frecuencia de defoliación en otoño-invierno tendió a incrementar la producción de Alfalfa_{GR6} en dicho momento de aplicación del tratamiento frecuencia, pero provocó una fuerte disminución de la producción en verano. A diferencia de lo usualmente reportado para alfalfa, ante la aplicación de frecuencias de defoliación contrastantes en otoño (Bélanger *et al.*, 1999; Moot *et al.*, 2003; Dhont *et al.*, 2006), no hubo efecto de la frecuencia de defoliación sobre la producción de Alfalfa_{GR6} durante la salida del invierno y la primavera temprana.

¿A qué podría deberse que el mayor efecto de la frecuencia de defoliación sobre Alfalfa_{GR6} se expresó en verano y no, como era esperado, durante la salida del invierno y primavera temprana? Para responder este interrogante se discutirá lo ocurrido durante tres épocas: i) durante el período en el cual se aplicaron frecuencias contrastantes (del 15/5/15 al 23/7/15), ii) durante la salida del invierno y primavera (del 24/7/15 al 30/12/15), y iii) durante el verano (del 31/12/15 al 22/2/16).

4.2.1. ¿Qué ocurrió durante el período en que se aplicaron frecuencias de defoliación contrastantes (15/5/15 al 23/7/15)?

Un aspecto relevante es que, en el corte del 15/6/15 el porcentaje de B_{cos} de Alfalfa_{GR6} fue, en promedio para todas las dosis de N, del 30% en las parcelas con defoliación FREC (Apéndice Figura II); mientras que las parcelas con defoliación INFR no fueron defoliadas (Tabla 1). A pesar de que dicho porcentaje de cosecha puede parecer irrelevante desde el punto de vista de la cantidad de B_{cos} (Figura 3), no fue irrelevante desde el punto de vista del área foliar ya que se removió, en promedio para todas las dosis, un 56% del área foliar que la planta había generado (Figura III). La cosecha de una mayor cantidad de área foliar en Alfalfa_{GR6} en el tratamiento FREC, durante el período en que se aplicaron frecuencias de corte contrastantes, habría significado una desventaja respecto del tratamiento INFR. Durante el rebrote del 16/6/16 al 23/7/15 el sistema raíz-corona de Alfalfa_{GR6} con defoliación FREC habría estado sometido a un balance de carbono (C) y N más negativo que Alfalfa_{GR6} con defoliación INFR y por otro lado habría estado reducida su capacidad fotosintética.

El balance negativo de C estaría explicado porque con el corte extra del 15/6/15 en el tratamiento FREC se redujo la superficie fotosintetizante que abastece con fotosintatos la formación de nuevos brotes y la respiración, principalmente la respiración del sistema corona-raíz (Ta *et al.*, 1990; Avice *et al.*, 1996; Simon *et al.*, 2004; Teixeira, Moot, Mickelbart, 2007). El balance negativo de N estaría explicado porque la remoción de área foliar en dicho corte implicó la eliminación no sólo del N en hojas desarrolladas sino también la eliminación de hojas en desarrollo y ápices, los cuales son regiones de intensa división celular y por lo tanto concentran gran cantidad de N (Schaufele y Schnyder, 2001). El hecho de que luego de dicho corte las plantas hayan rebrotado, y por lo tanto generado nueva área foliar, implicó un aumento del requerimiento y uso de N, probablemente aportado por reservas almacenadas en raíz y corona (Ta *et al.*, 1990; Kim *et al.*, 1993; Ourry *et al.*, 1994; Avice *et al.*, 1996; Volenec *et al.*, 1996).

En adición, la capacidad fotosintética de Alfalfa_{GR6} con defoliación FREC habría estado reducida después del corte del 15/6/15, debido a la remoción de las hojas más jóvenes. Si bien, el corte permitió el ingreso de luz para las hojas remanentes, las mismas habrían tenido menor potencial fotosintético por ser hojas basales de mediana-avanzada edad y desarrolladas en el rebrote anterior con condición de baja radiación causada por el sombreado de Festuca_{MED} (Woledge, 1986; Boller y Nösberger, 1989).

Finalmente, es preciso mencionar que, si bien el corte del 15/6/15 redujo el sombreado que *Festuca*_{MED} ejercía sobre las plantas de *Alfalfa*_{GR6}, la duración de esta condición fue de sólo 15 días. Esto se debió a que *Festuca*_{MED}, independientemente de la dosis de N aplicada, con defoliación FREC en 15 días alcanzó elevados niveles de intercepción de la radiación (~68%), muy similares a los de *Festuca*_{MED} con defoliación INFR (~84%), sombreando nuevamente al componente *Alfalfa*_{GR6} que alcanzó bajos niveles de intercepción de la radiación (~7%, Figura 7b, c). La rápida recuperación pos-corte de la intercepción de la radiación de *Festuca*_{MED} con defoliación FREC se habría debido a que i) las condiciones de temperatura fueron favorables para el crecimiento de *Festuca*_{MED} y desfavorables para *Alfalfa*_{GR6} (Tabla 2), ii) por su estructura y estado vegetativo la defoliación no removió meristemas de *Festuca*_{MED}, y iii) la abundante área foliar remanente de *Festuca*_{MED} le permitió elevados niveles de captura de la radiación pos-corte (Figura 7b).

La discusión previa sugiere que, el aumento de la frecuencia de defoliación en otoño-invierno en la mezcla determinó que para *Alfalfa*_{GR6} la ventaja de la remoción del área foliar de *Festuca*_{MED} que ejercía sombra fue menor que la desventaja de la remoción de la propia área foliar de *Alfalfa*_{GR6}. A pesar de esto, durante el período en el que se aplicaron las frecuencias de corte *Alfalfa*_{GR6} con defoliación FREC tuvo, en promedio, una mayor B_{cos} (+54%, Tabla 4) y un mayor crecimiento aéreo (+135%; Apéndice, Tabla I) respecto de *Alfalfa*_{GR6} con defoliación INFR. Esto último y los aspectos previamente discutidos permiten hipotetizar que la partición de recursos hacia órganos aéreos, en detrimento de la partición hacia órganos subterráneos, haya sido mayor en *Alfalfa*_{GR6} con defoliación FREC respecto a la ocurrida en *Alfalfa*_{GR6} con defoliación INFR. Se sugiere que, al finalizar la aplicación de frecuencias de corte contrastantes (23/7/15) la biomasa del sistema raíz-corona habría sido menor en *Alfalfa*_{GR6} con defoliación FREC respecto a aquella con defoliación INFR. Por supuesto, esto debería haber sido corroborado con determinaciones del sistema raíz-corona a finales de invierno.

4.2.2. ¿Qué ocurrió durante la salida de invierno y primavera, luego de finalizar el período de manejo de defoliación contrastante (24/7/15 al 30/12/15)?

En el presente trabajo las frecuencias de defoliación contrastantes durante otoño-invierno no afectaron la capacidad de crecimiento a la salida del invierno y primavera ni de la mezcla ni de sus componentes. La falta de respuesta de *Alfalfa*_{GR6} no coincide con trabajos previos, ya que pasturas puras de alfalfa sometidas a frecuencias de

corte contrastantes durante otoño generalmente expresan diferencias en crecimiento aéreo a la salida de invierno e inicios de primavera (Bélanger *et al.*, 1999; Moot *et al.*, 2003; Dhont *et al.*, 2006).

Una posible explicación sería que, la competencia ejercida por *Festuca*_{MED} durante la salida del invierno y primavera (Tabla 8) haya anulado las diferencias en el crecimiento de *Alfalfa*_{GR6}. Sin embargo, *Alfalfa*_{GR6} pura (y por lo tanto sin competencia por luz con *Festuca*_{MED}) tampoco evidenció diferencias en la tasa de crecimiento entre parcelas que habían sido defoliadas de manera FREC e INFR (Tabla 8). En consecuencia, la falta de diferencias a la salida del invierno y primavera en *Alfalfa*_{GR6} (con o sin *Festuca*_{MED}) con previa frecuencias de defoliación contrastantes sería debido a otra causa.

Otra posible explicación es que el cultivar utilizado de alfalfa tenga una marcada latencia invernal y comience a crecer en verano. Sin embargo, *Alfalfa*_{GR6} pura comenzó su activo crecimiento a mediados de primavera siendo la tasa de crecimiento de ~21 kg/ha/día en setiembre-octubre y de ~117 kg/ha/día en noviembre-diciembre (datos no mostrados). Con lo cual, la razón por la cual no hubo diferencias en producción de forraje entre frecuencias durante la salida del invierno y la primavera es una pregunta que permanece abierta, al menos para las condiciones (suelo, cultivar y sitio) en las que se desarrolló este trabajo.

4.2.3. ¿Qué ocurrió durante el verano, cuando se expresó el efecto de frecuencias de defoliación contrastantes (31/12/15 al 22/2/16)?

La menor producción de forraje estival de *Alfalfa*_{GR6} que durante otoño-invierno fue defoliada de manera FREC respecto de la que fue defoliada de manera INFR (Figura 3c) podría deberse simplemente a que para para las condiciones (suelo, cultivar y sitio) recién en esta época se expresaron las diferencias en cantidad de reservas almacenadas en el sistema raíz-corona entre las mencionadas frecuencias de defoliación. Adicionado, es probable que las plantas de *Alfalfa*_{GR6} que fueron defoliadas en forma FREC en otoño-invierno podrían haber realizado una mayor partición hacia el sistema raíz-corona en el verano. Esta hipótesis se desarrolla a continuación.

A mediados de verano comienza a aumentar la partición de fotoasimilados hacia la raíz y corona y, por condiciones de temperatura y radiación más favorables, es en dicho momento cuando se almacenan las mayores cantidades absolutas de reservas (Dhont *et al.*, 2002; Teixeira, Moot, Mickelbart, 2007). Como se discutió previamente,

Alfalfa_{GR6} con defoliación FREC habría tenido menor biomasa en el sistema raíz-corona y por ende menores cantidades de reservas almacenadas en dichos tejidos respecto de aquella con defoliación INFR. Una menor biomasa en raíz y corona generan una priorización de asignación de recursos hacia estos órganos en detrimento del crecimiento aéreo (Sim *et al.*, 2015). La menor EUR observada en primavera tardía-verano en Alfalfa_{GR6} que fue defoliada en forma FREC (Tabla 7) permite presuponer una mayor partición de fotoasimilados a raíz-corona en dicho momento, respecto a Alfalfa_{GR6} con defoliación INFR. Sin embargo, esto debiera ser corroborado con mediciones específicas del sistema raíz-corona.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que la fertilización nitrogenada en otoño temprano aumentó la producción de forraje de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} en otoño-invierno, debido a un aumento de la producción del componente Festuca_{MED} (se acepta la hipótesis 1). Esto permitiría disminuir el tradicional déficit otoño-invernal de la oferta forrajera que ocurre en la región.

A su vez, independientemente de la fertilización nitrogenada, intervalos de defoliación inferiores a 500°Cd (con temperatura base de 5°C) durante otoño-invierno afectaron negativamente la producción de forraje de la mezcla en primavera tardía-verano, debido a que se afectó el componente Alfalfa_{GR6} (se acepta la hipótesis 2), época en que dicha especie aporta la mayor proporción de la producción de la mezcla.

El beneficio sobre la producción forrajera de la mezcla en primavera tardía-verano (y básicamente del componente Alfalfa_{GR6}) de un intervalo de defoliación cercano a los 500°Cd (con temperatura base de 5°C) durante otoño-invierno no se modificó por diferencias en la disponibilidad de N en otoño-invierno (se rechaza la hipótesis 3).

En función de los resultados obtenidos podemos concluir que, fertilizar con N en otoño temprano y defoliar en otoño-invierno con una frecuencia acorde a los requerimientos de Alfalfa_{GR6} permite obtener la mayor producción forrajera anual de la mezcla.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ARNOLD, C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 74: 430-445.
- AGNUSDEI, M.G.; ASSUERO, S.G., LATTANZI, F.A.; MARINO, M.A. 2010. Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 88(2): 215-230.
- ASSUERO, S.G. 1998. Mediterranean and temperate tall fescues: physiological and morphological responses to water deficit, and the effect of nitrogen on winter and early-spring field performance under grazing. Tesis Ph D. Plant Science at Massey University. Palmerston North, New Zealand. 219p.
- ASSUERO, S.G.; MAZZANTI, A.E.; WADE, M.H.; MATTHEW, C.; HODGSON, J. 1997. Producción animal de festuca alta de diferente origen en respuesta a la fertilización nitrogenada. *Revista Argentina de Producción Animal*. 17(1): 92
- AUGUSTIN, J.; MERBACH, W.; KÄDING, H.; SCHMIDT, W.; SCHALITZ, G.; RUSSOW, R.; ENDE, H.P. 1997. N Balance experiments on fen grassland with ¹⁵N labelled fertilizer. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 33(1-2): 31-37.
- AVICE, J.C.; OURRY, A.; LEMAIRE, G.; BOUCAUD, J. 1996. Nitrogen and carbon flows estimated by ¹⁵N and ¹³C pulse-chase labelling during regrowth of alfalfa. *Plant Physiology*. 112(1): 281-290.
- AVICE, J.C.; LOUAHLIA, S.; KIM, T.H.; JACQUET, A.; MORVAN-BERTRAND, A.; PRUDHOMME, M.P.; OURRY, A.; SIMON, J.C. 2001. Influence des réserves azotées et carbonées sur la repousse des espèces prairiales. *Fourrages*. 165: 3-22.
- AYDIN, I.; UZUN, F. 2005. Nitrogen and phosphorus fertilization of rangelands affects yield, forage quality and the botanical composition. *European Journal of Agronomy*. 23(1): 8-14.
- BALDI, F.; BIGNOTTI, F.; RICCO, L.; MONTICELLI, O.; RICCO, T. 2006. Mechanical and structural characterization of POSS-modified polyamide 6. *Journal of Applied Polymer Science*. 100(4): 3409-3414.
- BASIGALUP, D.H.; ROSSANIGO, R. 2007. Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. En Basigalup, D.H. (ed.) *El cultivo de alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA: Buenos Aires, Argetina. pp. 13-25.
- BEDOUSSAC L.; JUSTES E., 2010. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil*. 330(1-2): 19-35.
- BÉLANGER, G.; RICHARDS, J.E. 1997. Growth analysis of timothy grown with varying N nutrition. *Canadian Journal of Plant Science*. 77(3): 373-380.
- BÉLANGER, G.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G. 1992. Growth analysis of a tall fescue sward fertilized with different rates of nitrogen. *Crop Science*. 32(6): 1371-1376.

- BÉLANGER, G.; KUNELIUS, T.; MCKENZIE, D.; PAPADOPOULOS, Y.; THOMAS, B.; MCRAE, K.; FILLMORE, S.; CHRISTIE, B. 1999. Fall cutting management affects yield and persistence of alfalfa in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. 79(1): 57-63.
- BERENDSE, F. 1979. Competition between plant populations with different rooting depths. *Oecologia*. 43(1): 19-26.
- BERGER, H.; BILOTTO, F.; BELL, L.W.; MACHADO, C.F. 2017. Feed base intervention in a cow-calf system in the flooding pampas of Argentina: 2. Estimation of the marginal value of additional feed. *Agricultural Systems*. 158: 68-77.
- BERGER, U.; PIOUS, C.; SCHIFFERS, K.; GRIMM, V. 2008. Competition among plants: concepts, individual-based modelling approaches, and a proposal for a future research strategy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 9(3-4): 121-135.
- BESTER, C. 2014. Nitrogen management strategies for mixed pastures in the Winelands sub-region of the Western Cape. Thesis Ph D. Stellenbosch University. 112 p.
- BINGHAM, T.J. 2014. Plant and animal performance in tall fescue and tall fescue/legume pastures. Tesis Ph D. Utah State University: Logan, Utah. 51p.
- BOLLER, B.C.; NOSBERGER, J. 1989. Photosynthesis of white clover leaves as influenced by canopy position, leaf age and temperature. *Annals of Botany*. 56(1): 19-28.
- BRISTOW, A.W.; RYDEN, J.C.; WHITEHEAD, D.C. 1987. The fate at several time intervals of ¹⁵N-labelled ammonium nitrate applied to an established grass sward. *European Journal of Soil Science*. 38(2): 245-254.
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; POLLOCK, K.M. 2003. Long term growth rates and water extraction patterns of dryland chicory, lucerne and red clover. *Legumes for dryland pastures*. New Zealand Grassland Association, Research Practice Series. 11: 91-99.
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; TEIXEIRA, E.I. 2005. The components of lucerne (*Medicago sativa*) leaf area index respond to temperature and photoperiod in a temperate environment. *European Journal of Agronomy*. 23(4): 348-358.
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; TEIXEIRA, E.I. 2006. Radiation use efficiency and biomass partitioning of lucerne (*Medicago sativa*) in a temperate climate. *European Journal of Agronomy*. 25(4): 319-327.
- CANGIANO, C.A.; PECE, M.A. 2005. Acumulación de biomasa aérea en rebrote de alfalfa en Balcarce. *Revista Argentina de Producción Animal*. AAPA. Asociación Argentina de Producción Animal. 25(1-2): 39-52.
- CARDINALE, B.J.; WRIGHT, J.P.; CADOTTE, M.W.; CARROLL, I.T.; HECTOR, A.; SRIVASTAVA, D.S.; LOREAU, M.; WEIS, J.J. 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104(46): 18123-18128.

- CASAL, J.J.; DEREGIBUS, V.A.; SANCHEZ, R.A. 1985. Variations in tiller dynamics and morphology in *Lolium multiflorum* Lam. vegetative and reproductive plants as affected by differences in red/far-red irradiation. *Annals of botany*. 56(4): 553-559.
- CHATTERJEE, B.N. 1961. Analysis of ecotypic differences in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Annals of Applied Biology*. 49(3): 560-562.
- CHRISTIAN, K.R. 1977. Effects of the environment on the growth of alfalfa. *Advances in Agronomy*. 29: 183-227.
- CLARKSON, D.T.; WARNER, A.J. 1979. Relationships between root temperature and the transport of ammonium and nitrate ions by Italian and perennial ryegrass (*Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*). *Plant physiology*. 64(4): 557-561.
- COMSTOCK, V.E.; LAW, A.G. 1948. Effect of clipping on the yield, botanical composition, and protein content of alfalfa-grass mixtures. *Journal of the American Society of Agronomy*. 40(12): 1074-1083.
- CREWS, T.E.; PEOPLES, M.B. 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 102(3): 279-297.
- CRUZ, P.A.; SINOQUET, H. 1994. Competition for light and nitrogen during a regrowth cycle in a tropical forage mixture. *Field Crops Research*. 36(1): 21-30.
- CRUZ, P.; SINOQUET, H.; GASTAL, F.; MOULIA, B.; VARLET GRANCHER, C.; LEMAIRE, G. 1991. Efecto del nitrogeno y de la presencia de trebol blanco sobre festuca alta. *Turrialba (IICA)*. 41(4): 475-481.
- DAVIES, A.; EVANS, M.E. 1990. Effects of spring defoliation and fertilizer nitrogen on the growth of white clover in ryegrass/clover swards. *Grass and Forage Science*. 45(4): 345-356.
- DAVIES, A.; THOMAS, H. 1983. Rates of leaf and tiller production in young spaced perennial ryegrass plants in relation to soil temperature and solar radiation. *Annals of Botany*. 51(5): 591-597.
- DHONT, C.; CASTONGUAY, Y.; NADEAU P.; BELANGER G.; CHALIFOUR, F.P. 2002. Alfalfa root carbohydrates and regrowth potential in response to fall harvests. *Crop Science*. 42(3): 754-765.
- DHONT, C.; CASTONGUAY, Y.; NADEAU, P.; BELANGER, G.; CHALIFOUR, F.P. 2003. Alfalfa root nitrogen reserves and regrowth potential in response to fall harvests. *Crop Science*. 43(1): 181-194.
- DHONT, C.; CASTONGUAY, Y.; NADEAU, P.; BÉLANGER, G.; DRAPEAU, R.; CHALIFOUR, F.P. 2004. Untimely fall harvest affects dry matter yield and root organic reserves in field-grown alfalfa. *Crop Science*. 44(1): 144-157.
- DHONT, C.; CASTONGUAY, Y.; NADEAU, P.; BELANGER, G.; DRAPEAU, R.; LABERGE, S.; AVICE, J.C.; CHALIFOUR, F.P. 2006. Nitrogen reserves, spring regrowth and winter survival of field-grown alfalfa (*Medicago sativa*) defoliated in the autumn. *Annals of Botany*. 97(1): 109-120.

- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2014. Infostat. [en línea]. Grupo Infostat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar> [marzo 2019].
- DONALD, C.M. 1951. Competition among pasture plants. I. Intraspecific competition among annual pasture plants. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2(4): 355-376.
- DOWDELL, R.J.; WEBSTER, C.P. 1980. A lysimeter study using nitrogen-15 on the uptake of fertilizer nitrogen by perennial ryegrass swards and losses by leaching. *European Journal of Soil Science*. 31(1): 65-75.
- DURANTE, M.; PIÑEIRO, G.; IRISARRI, J.G. N.; OESTERHELD, M. 2017. Primary production of lowland natural grasslands and upland sown pastures across a narrow climatic gradient. *Ecosystems*, 20(3): 543-552.
- ECKARD, R.J.; FRANKS, D.R. 1998. Strategic nitrogen fertiliser use on perennial ryegrass and white clover pasture in north-western Tasmania. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 38(2): 155-160.
- ELGERSMA, A.; SCHLEPERS, H.; NASSIRI, M. 2000. Interactions between perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.) under contrasting nitrogen availability: productivity, seasonal patterns of species composition, N₂ fixation, N transfer and N recovery. *Plant and Soil*. 221(2): 281-299.
- ERRECART, P.M.; AGNUSDEI, M.G.; LATTANZI, F.A.; MARINO, M.A.; BERONE, G.D. 2014. Critical nitrogen concentration declines with soil water availability in tall fescue. *Crop Science*. 54(1): 318-330.
- FICK, G. W.; HOLT, D. A; LUGG, D.G. 1988. Environmental physiology and crop growth. En: Hanson, A.A.; Barnes, D.K.; Hill Jr, R.R. (eds.) *Alfalfa and alfalfa improvement*. ASA, CSSA, SSSA: Madison, U.S.A. Agronomy Monograph; 29 pp. 163-194.
- FUSTEC, J.; LESUFFLEUR, F.; MAHIEU, S.; CLIQUET, J.B. 2010. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 30: 57-66.
- GARCÍA, F.O.; PICONE, L.I.; CIAMPITTI, I.A. 2014. Fósforo. En: Echeverría, H.E.; García, F.O. (eds.) *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA: Buenos Aires, Argentina. pp. 229-259.
- GASTAL, F.; BÉLANGER, G. 1993. The effects of nitrogen fertilization and the growing season on photosynthesis of field-grown tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) canopies. *Annals of Botany*. 72(5): 401-408.
- GASTAL, F.; LEMAIRE, G. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying Ecophysiological Processes. *Agriculture*. 5(4): 1146-1171.
- GASTAL, F.; NELSON, C.J. 1994. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. *Plant Physiology*. 105(1): 191-197.
- GASTAL, F.; BELANGER, G.; LEMAIRE, G. 1992. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany*. 70(5): 437-442.

- GONZALEZ-DUGO, V.; DURAND, J.L.; GASTAL, F.; PICON-COCHARD, C. 2005. Short-term response of the nitrogen nutrition status of tall fescue and Italian ryegrass swards under water deficit. *Australian Journal of Agricultural Research*. 56(11): 1269-1276.
- GOSSE, G.; VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, J. M.; LEMAIRE, G. 1986. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*. 6(1): 47-56.
- GREENWOOD, D.J.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DRAYCOTT, A.; MILLARD, P.; NEETESON, J.J. 1991. Growth rate and %N of field grown crops: theory and experiments. *Annals of Botany*. 67(2): 181-190.
- HARA, S.M. 2017. Evaluación integrada de un sistema de invernada intensiva de base pastoril: estudios en módulo y modelación. Tesis *M Sc.* Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 62p.
- HARDARSON, G.; ATKINS, C. 2003. Optimizing biological N₂ fixation by legumes in farming systems. *Plant and Soil*. 252(1): 41-54.
- HARDARSON, G.; ZAPATA, F.; DANSO, S.K.A. 1988. Dinitrogen fixation measurements in alfalfa-ryegrass swards using nitrogen-15 and influence of the reference crop. *Crop Science*. 28(1): 101-105.
- HATCH, D.J.; MACDUFF, J.H. 1991. Concurrent rates of N₂ fixation, nitrate and ammonium uptake by white clover in response to growth at different root temperatures. *Annals of Botany*. 67(3): 265-274.
- HAUTIER, Y.; NIKLAUS, P.A.; HECTOR, A. 2009. Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication. *Science*. 324(5927): 636-638.
- HAYNES, R.J. 1980. Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in Agronomy*. 33: 227-261.
- HILL, M.; KAY, G.; YEATES, S. 1985. A comparison of the growth of seedlings of Mediterranean and temperate tall fescues, phalaris and annual ryegrass. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 25(4): 818.
- HORNECK, D.A.; MILLER, R.O. 1998. Determination of total nitrogen in plant tissue. *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. 2: 75-83.
- HUSSE, S.; HUGUENIN-ELIE, O.; BUCHMANN, N.; LÜSCHER, A. 2016. Larger yields of mixtures than monocultures of cultivated grassland species match with asynchrony in shoot growth among species but not with increased light interception. *Field Crops Research*. 194: 1-11.
- INTA. EEA Balcarce 2016. Datos agrometeorológicos. [en línea]. http://anterior.inta.gov.ar/balcarce/info/info_met.htm. [consulta: 18 abril 2016].
- JACQUARD, P. 1968. Manifestation et nature des relations sociales chez les végétaux supérieurs. *Oecol. Plant*. 3(13): 7-168.
- KEATING, B.A.; CARBERRY, P.S. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. *Field Crops Research*. 34(3-4): 273-301.
- KHAITI, M.; LEMAIRE, G. 1992. Dynamics of shoot and root growth of lucerne after seeding and after cutting. *European Journal of Agronomy*. 1: 241-247.

- KIM, T.H.; OURRY, A.; BOUCAUD, J.; LEMAIRE, G. 1993. Partitioning of nitrogen derived from N₂ fixation and reserves in nodulated *Medicago sativa* L. during regrowth. *Journal of Experimental Botany*. 44: 555-562.
- KLOSTER, A.; BERTRAM, N.; CHIACCHIERA, S.; AMIGONE, M.; GARIS, M. 2014. Efecto del intervalo de defoliación otoño invernal y de la fertilización con N sobre la productividad de forraje de una asociación de alfalfa y festuca alta. [en línea]. <https://inta.gob.ar/documentos/efecto-del-intervalo-de-defoliacion-otono-invernal-y-de-la-fertilizacion-con-n-sobre-la-productividad-de-forraje-de-una-asociacion-de-alfalfa-y-festuca-alta>. [consulta: 15 junio 2016].
- KOC, A.; GOKKUS, A.; TAN, M.; COMAKLI, B., SERIN, Y. 2004. Performance of tall fescue and lucerne-tall fescue mixtures in highlands of Turkey. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 47(1): 61-65.
- LABUSCHAGNE, J.; HARDY, M.B.; AGENBAG, G.A. 2006. The effects of strategic nitrogen fertilizer application during the cool season on perennial ryegrass-white clover pastures in the Western Cape Province. 2. Dry matter production. *South African Journal of Plant and Soil*. 23(4): 262-268.
- LATTANZI, F.A. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de festucas de tipo templado y mediterráneo. Tesis M Sc. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 116 p.
- LEDGARD, S.F. 1991. Transfer of fixed nitrogen from white clover to associated grasses in swards grazed by dairy cows, estimated using ¹⁵N methods. *Plant and Soil*. 131(2): 215-223.
- LEDGARD, S.F.; STEELE, K.W. 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. *Plant and Soil*. 141(1-2): 137-153.
- LEDGARD, S.; SCHILS, R.; ERIKSEN, J.; LUO, J. 2009. Environmental impacts of grazed clover/grass pastures. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 48: 209-226.
- LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M.G. 2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. En: Lemaire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Carvalho, P.C. de F.; Nabinger, C. (eds) *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CABI: Wallingford, USA pp. 265-287.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J.; Illius, A.W. (eds.) *The ecology and management of grazing systems*. CAB International, UK. pp. 33-36.
- LEMAIRE, G.; CULLETON, N. 1989. Effects of nitrogen applied after the last cut in autumn on a tall fescue sward. I. Analysis of morphogenesis during winter and subsequent growth in spring. *Agronomie*. 9(2): 171-179.
- LEMAIRE, G.; DENOIX, A. 1987. Croissance estivale en matière sèche de peuplements de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) dans l'Ouest de la France. II. Interaction entre les niveaux d'alimentation hydrique et de nutrition azotée. *Agronomie*. 7(6): 381-389.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire, G. (ed.) *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer-Verlag: Berlin. pp. 3-43.

- LEMAIRE, G.; SALETTE, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie*. 4(5): 423-430.
- LEMAIRE, G.; WILKINS, R.; HODGSON, J. 2005. Challenges for grassland science: managing research priorities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 108(2): 99-108.
- LI, L.; SUN, J.; ZHANG, F.; GUO, T.; BAO, X.; SMITH, F.A.; SMITH, S.E. 2006. Root distribution and interactions between intercropped species. *Oecologia*. 147(2): 280-290.
- LI, R.; VOLENEC, J.J.; JOERN, B.C.; CUNNINGHAM, S.M. 1996. Seasonal changes in nonstructural carbohydrates, protein, and macronutrients in roots of alfalfa, red clover, sweet clover, and birdsfoot trefoil. *Crop Science*. 36(3): 617-623.
- LOUARN, G.; DA SILVA, D.; GODIN, C.; COMBES, D. 2012. Simple envelope-based reconstruction methods can infer light partitioning among individual plants in sparse and dense herbaceous canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*. 166: 98-112.
- LOUARN, G.; PEREIRA-LOPÈS, E.; FUSTEC, J.; MARY, B.; VOISIN, A.S.; DE FACCIO CARVALHO, P.C.; GASTAL, F. 2015. The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. *Plant and Soil*. 389(1-2): 289-305.
- LÜSCHER, A.; MUELLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J.F.; REES, R.M.; PEYRAUD, J.L. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*. 69(2): 206-228.
- MAAMOURI, A.; LOUARN, G.; GASTAL, F.; BÉGUIER, V.; JULIER, B. 2015. Effects of lucerne genotype on morphology, biomass production and nitrogen content of lucerne and tall fescue in mixed pastures. *Crop and Pasture Science*. 66(2): 192-204.
- MAJOR, D.J.; HANNA, M.R.; BEASLEY, B.W. 1991. Photoperiod response characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*. 71(1): 87-93.
- MALÉZIEUX, E.; CROZAT, Y.; DUPRAZ, C.; LAURANS, M.; MAKOWSKI, D.; OZIER-LAFONTAINE, H.; RAPIDEL, B.; DE TOURDONNET, S.; VALANTIN-MORISON, M. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29(1): 43-62.
- MARINO, M.A.; AGNUSDEI, M. 2007. Manejo estacional del suministro de nitrógeno en pasturas de *Festuca arundinacea* Schreb. (sudeste bonaerense, Argentina): crecimiento y eficiencia en el uso de recursos. XX Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal, Cuzco, Perú.
- MARINO, M.A.; BERARDO, A. 2014. Pasturas y pastizales. En: Echeverría, H.E.; García, F.O. (eds.) *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 555-584.
- MARTIN, M.P.L.D.; FIELD, R.J. 1984. The nature of competition between perennial ryegrass and white clover. *Grass and Forage Science*. 39(3): 247-253.

- MATCHES, A.G. 1979. Management. In: Buckner, R.C.; Bush, L.P. (eds.) Tall fescue. ASA, CSSA, SSSA: Madison, WI. Agronomy Monograph; 20. pp. 171-199.
- MAZZANTI, A.; AROSTEGUY, J.C. 1985. Comparación del rendimiento estacional de forraje de cultivares de *Festuca arundinacea* Schreb. Revista Argentina de Producción Animal. 5(11-12): 691-697.
- MAZZANTI, A.; CASTAÑO, J.; SEVILLA, G.; ORBEA, J. 1992. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al sudeste de la provincia de Buenos Aires. INTA. CERBAS. EEA Balcarce: Balcarce, Argentina. 73 p.
- MAZZANTI, A.; LEMAIRE, G.; GASTAL, F. 1994. The effect of nitrogen fertilization upon the herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. Grass and forage Science. 49(2): 111-120.
- MCKENZIE B.A.; GYAMTSO P.; LUCAS, R.J. 1990. Productivity and water use of lucerne and two lucerne-grass mixtures in Canterbury. Proceedings of the New Zealand Grassland Association. 52: 35-39.
- MCKENZIE, F.R.; RYAN, M.J.; JACOBS, J.L.; KEARNEY, G. 1999. Effect of rate and time of nitrogen application from autumn to midwinter on perennial ryegrass-white clover dairy pastures in western Victoria. 1. Growth and composition. Australian Journal Agricultural Research. 50: 1059-1065.
- MIRALLES, D.J.; WINDAUER, L.B.; GÓMEZ, N.V. 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. En: Satorre, E.M.; et al. (eds.) Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires: Buenos Aires, Argentina pp. 61-69.
- MITCHELL, K.J.; CALDER, D.M. 1958. The light regime within pastures. New Zealand Journal of Agricultural Research. 1(1): 61-68
- MONTEITH, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences. 281: 277-294.
- MOOT, D.J.; ROBERTSON, M.J.; POLLOCK, K.M. 2001. Validation of the APSIM-Lucerne model for phenological development in a cool-temperate climate. 10th. Australian Agronomy Conference, Hobart. pp. 1-5.
- MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; TEIXEIRA, E.I.; POLLOCK, K.M. 2003. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. Legumes for Dryland Pastures. Grassland Research and Practice Series. 11: 201-208.
- MOUAT, M.C.H.; WALKER, T.W. 1959. Competition for nutrients between grasses and white clover. Plant and Soil. 11(1): 30-40.
- MUCHOW, R.C.; DAVIS, R. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment II. Radiation interception and biomass accumulation. Field Crops Research. 18(1): 17-30.
- NELSON, C.J.; ZARROUGH, K.M. 1981. Tiller density and tiller weight as yield determinants in vegetative swards. In: Wright, C.E. (ed.) Plant physiology and herbage production. British Grassland Society Hurley, UK. pp. 25-29.

- NYFELER, D.; HUGUENIN-ELIE, O.; SUTER, M.; FROSSARD, E.; CONNOLLY, J.; LÜSCHER, A. 2009. Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive over yielding. *Journal of Applied Ecology*. 46(3): 683-691.
- NYFELER, D.; HUGUENIN-ELIE, O.; SUTER, M.; FROSSARD, E.; LÜSCHER, A. 2011. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 140(1-2): 155-163.
- OURRY, A.; KIM, T.H.; BOUCAUD, J. 1994. Nitrogen reserve mobilization during regrowth of *Medicago sativa* L. Relationships between availability and regrowth yield. *Plant Physiology*. 105(3): 831-837.
- PARSONS A.J. 1988. The effects of season and management on the growth of grass swards. In: Jones M.B., Lazenby A. (eds.) *The grass crop: the physiological basis of production*. Springer, Dordrecht. pp. 129-177.
- PARSONS, A.J.; JOHNSON, I.R.; HARVEY, A. 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science*. 43(1): 49-59.
- POORTER, H.; NIKLAS, K.J.; REICH, P.B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*. 193(1): 30-50.
- REARTE, D. 2010. Situación actual y perspectivas de la producción de carne vacuna. [en línea]. INTA, Programa Nacional Carnes. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-situacionactual_prospectiva_produccion_carnevacuna.pdf [consulta: marzo 2019].
- REICH, P.B.; HOBBIIE, S.E.; LEE, T.D.; PASTORE, M.A. 2018. Unexpected reversal of C3 versus C4 grass response to elevated CO₂ during a 20-year field experiment. *Science*. 360(6386): 317-320.
- ROBSON, M.J.; JEWISS, O.R. 1968a. A comparison of British and North African varieties of tall fescue (*Festuca arundinacea*). II. Growth during winter and survival at low temperatures. *Journal of Applied Ecology*. 5(1): 179-190.
- ROBSON, M.J.; JEWISS, O.R. 1968b. A comparison of British and North African varieties of tall fescue (*Festuca arundinacea*). III. Effects of light, temperature and day length on relative growth rate and its components. *Journal of Applied Ecology*. 5(1): 191-204.
- RUBIO, G.; WALK, T.; GE, Z.; YAN, X.; LIAO, H.; LYNCH, J.P. 2001. Root gravitropism and below-ground competition among neighboring plants: a modelling approach. *Annals of Botany*. 88(5): 929-940.
- SAINZ ROZAS, H.; STUDDERT, G.A.; ANDRADE, F.H. 1999. No-till corn nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agronomy Journal*. 91:950-955
- SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRIA, H.E.; PICONE, L.I. 2001. Denitrification in maize under no-tillage: effect of nitrogen rate and application time. *Soil Science Society of America Journal*. 65(4): 1314-1323.

- SAYDS. 2015. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención. Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [en línea] <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=13991> [consulta: 15 mayo 2018].
- SCHÄUFELE, R.; SCHNYDER, H. 2001. Carbon and nitrogen deposition in expanding tissue elements of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) leaves during non-steady growth after defoliation. *Plant, Cell & Environment*. 24(4): 407-417.
- SCHENEITER, J.O.; AMÉNDOLA, C. 2009. Producción de carne en mezclas de alfalfa y festuca alta con diferente patrón estacional de acumulación de forraje. *Revista Argentina de Producción Animal*. 29(2): 119-129.
- SCHENEITER, O.; CARRETE, J.; AMÉNDOLA, C. 2006. Utilización de pasturas de alfalfa-festuca alta con dos sistemas de pastoreo. I. Disponibilidad, composición y digestibilidad del forraje. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 35(3): 3-18.
- SEMAN, D.H.; STUEDEMANN, J.A.; HILL, N.S. 1999. Behavior of steers grazing monocultures and binary mixtures of alfalfa and tall fescue. *Journal of Animal Science*. 77(6): 1402-1411.
- SIM, R.E.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; TEIXEIRA, E.I. 2015. Sowing date affected shoot and root biomass accumulation of lucerne during establishment and subsequent regrowth season. *European Journal of Agronomy*. 68: 69-77.
- SIMON, J.C.; LEMAIRE, G. 1987. Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase. *Grass and Forage Science*. 42(4): 373-380.
- SIMON, J.C.; DECAU, M.L.; AVICE, J.C.; JACQUET, A.; MEURIOT, F.; ALLIRAND, J.M. 2004. Effects of initial N reserve status and residual leaf area after cutting on leaf area and organ establishment during regrowth of alfalfa. *Canadian Journal of Plant Science*. 84(4): 1059-1066.
- SINOQUET, H.; RAKOCEVIC, M.; VARLET-GRANCHER, C. 2000. Comparison of models for daily light partitioning in multispecies canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*. 101(4): 251-263.
- SLEUGH, B.; MOORE, K.J.; GEORGE, J.R.; BRUMMER, E.C. 2000. Binary legume-grass mixtures improve forage yield, quality, and seasonal distribution. *Agronomy Journal*. 92(1): 24-29.
- SOIL SURVEY STAFF. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington DC. 346 p.
- SPADA, M.C. 2007. Evaluación de cultivares y panorama varietal. En Basigalup, D.H. (ed.) *El cultivo de Alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA: Buenos Aires, Argentina. pp. 131-151.
- TA, T.C.; MACDOWALL, F.D.H.; FARIS, M.A. 1986. Excretion of nitrogen assimilated from N₂ fixed by nodulated roots of alfalfa (*Medicago sativa*). *Canadian Journal of Botany*. 64(9): 2063-2067.
- TA, T.C.; MACDOWALL, F.D.H.; FARIS, M.A. 1990. Utilization of carbon and nitrogen reserves of alfalfa roots in supporting N₂-fixation and shoot regrowth. *Plant and Soil*. 127(2): 231-236.

- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; MICKELBART, M.V. 2007. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. *European Journal of Agronomy*. 26(1): 10-20.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; POLLOCK, K.J.; BROWN, H.E. 2007. How does defoliation management affect yield, canopy forming processes and light interception in lucerne (*Medicago sativa* L.) crops?. *European Journal of Agronomy*. 27(1): 154-164.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E. 2008. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *European Journal of Agronomy*. 28(2): 103-111.
- TEIXEIRA, E.I.; BROWN, H.E.; MEENKEN, E.D.; MOOT, D.J. 2011. Growth and phenological development patterns differ between seedling and regrowth lucerne crops (*Medicago sativa* L.). *European Journal of Agronomy*. 35(1): 47-55.
- TEUBER, L.R.; TAGGARD, K.L.; GIBSS, L.K.; MCCASLIN, M.H.; PETERSON, M.A.; BARNES, D.K. 1998. Fall dormancy.A-1 [en línea]. Standard Tests to Characterize Alfalfa Cultivars <https://www.naaic.org/stdtests/Dormancy2.html> [consulta: marzo 2018].
- THIÉBEAU, P.; BEAUDOIN, N.; JUSTES, E.; ALLIRAND, J.M.; LEMAIRE, G. 2011. Radiation use efficiency and shoot: root dry matter partitioning in seedling growths and regrowth crops of lucerne (*Medicago sativa* L.) after spring and autumn sowings. *European Journal of Agronomy*. 35(4): 255-268.
- THOMAS, H.; STODDART, J.L. 1995. Temperature sensitivities of *Festuca arundinacea* Schreb. and *Dactylis glomerata* L. ecotypes. *New Phytologist*. 130(1): 125-134.
- TRACY, B.F.; ALBRECHT, K.; FLORES, J.; HALL, M.; ISLAM, A.; JONES, G.; LAMP, W.; MACADAM, J.W.; SKINNER, H.; TEUTSCH, C. 2016. Evaluation of alfalfa-tall fescue mixtures across multiple environments. *Crop Science*. 56(4): 2026-2034.
- ULRICH, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 3(1): 207-228.
- VARLET-GRANCHER C.; BONHOMME R.; CHARTIER, M.; ARTIS, P. 1982. Efficience de la conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal. *Acta Oecologica. Oecologia Plantarum*. 3: 3-26.
- VOLENEC, J.J.; NELSON, C.J. 1984. Carbohydrate metabolism in leaf meristems of tall fescue: II. Relationship to leaf elongation rates modified by nitrogen fertilization. *Plant Physiology*. 74(3): 595-600.
- VOLENEC, J.J.; OURRY, A.; JOERN, B.C. 1996. A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. *Physiologia Plantarum*. 97(1): 185-193.
- WEATHER AVENUE 2016. Salida y puesta del sol Balcarce Buenos Aires Argentina [en línea] <https://www.weatheravenue.com/es/america/ar/buenos-aires/balcarce-salida-del-sol.html> [consulta: 15 junio 2016].
- WILMAN, D.; PEARSE, P.J. 1984. Effects of applied nitrogen on grass yield, nitrogen content, tillers and leaves in field swards. *The Journal of Agricultural Science*. 103(1): 201-211.

- WOLEDGE, J. 1986. The effect of age and shade on the photosynthesis of white clover leaves. *Annals and Botany*. 57(2): 257-262.
- WOLEDGE, J. 1988. Competition between grass and clover in spring as affected by nitrogen fertiliser. *Annals of Applied Biology*. 112(1): 175-186.
- WOLEDGE, J.; DAVIDSON, K.; DENNIS, W.D. 1992a. Growth and photosynthesis of tall and short cultivars of white clover with tall and short grasses. *Grass and Forage Science*. 47(3): 230-238.
- WOLEDGE, J.; REYNERI, A.; TEWSON, V.; PARSONS, A.J. 1992b. The effect of cutting on the proportions of perennial ryegrass and white clover in mixtures. *Grass and Forage Science*. 47(2): 169-179.

7. APÉNDICE

Biomasa remanente

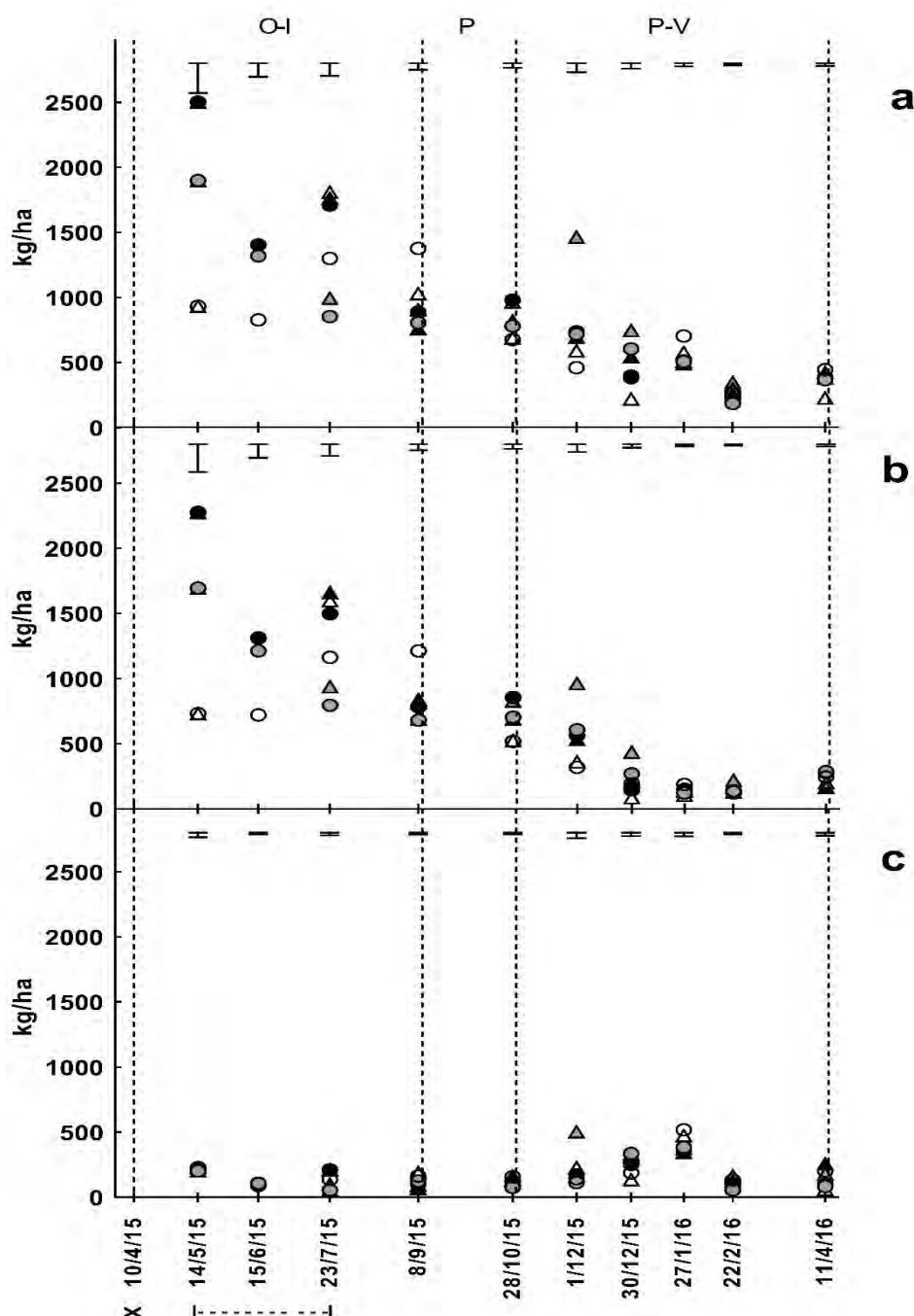


Figura I. Biomasa aérea remanente (kg/ha) por corte de la mezcla *Festuca*_{MED}+*Alfalfa*_{GR6} (a) y sus componentes, *Festuca*_{MED} (b) y *Alfalfa*_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

Proporción de la biomasa cosechada

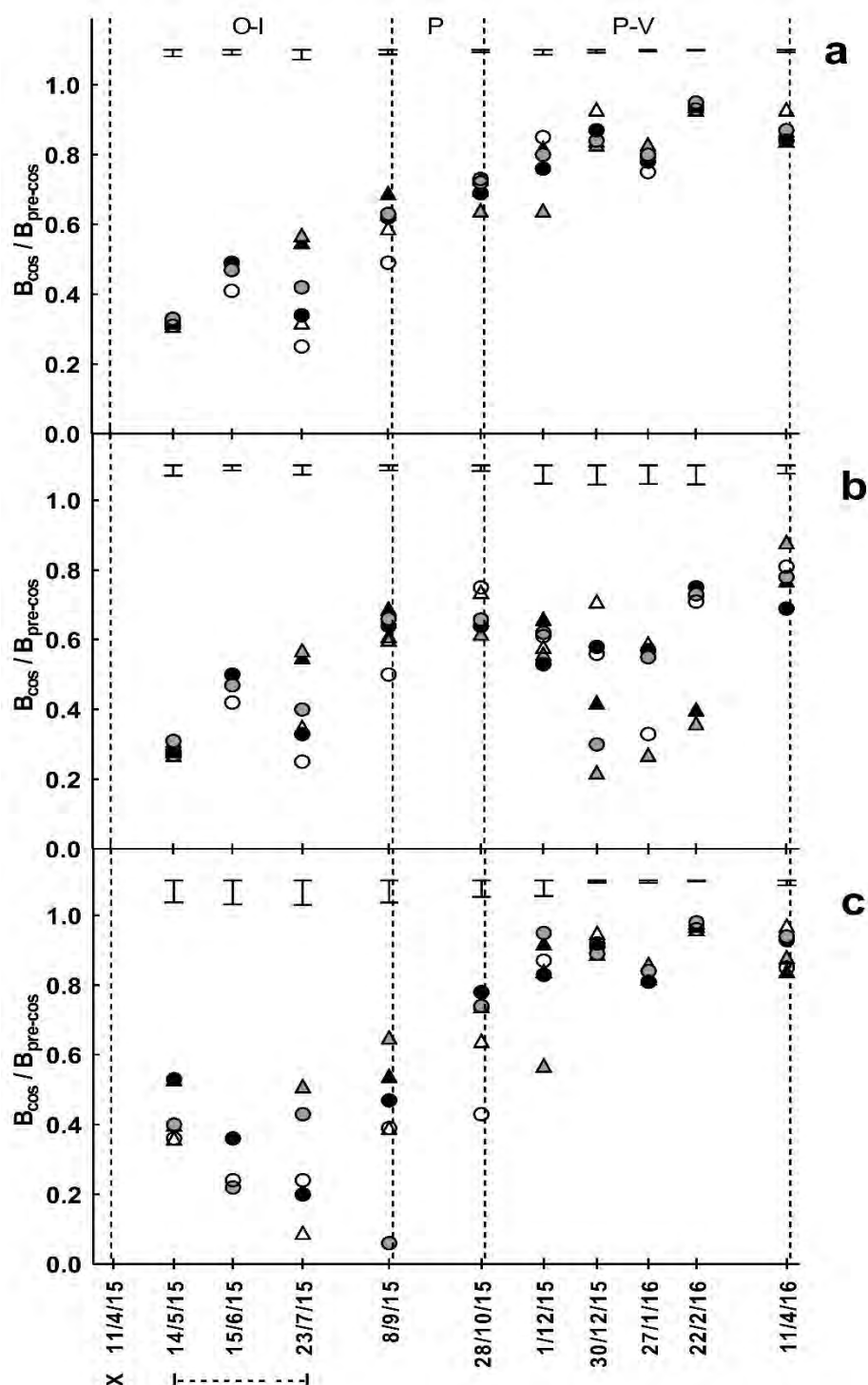


Figura II. Proporción de la biomasa aérea cosechada en relación a la biomasa aérea pre-cosecha ($B_{\text{cos}}/B_{\text{pre-cos}}$) de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

Proporción del área foliar cosechada

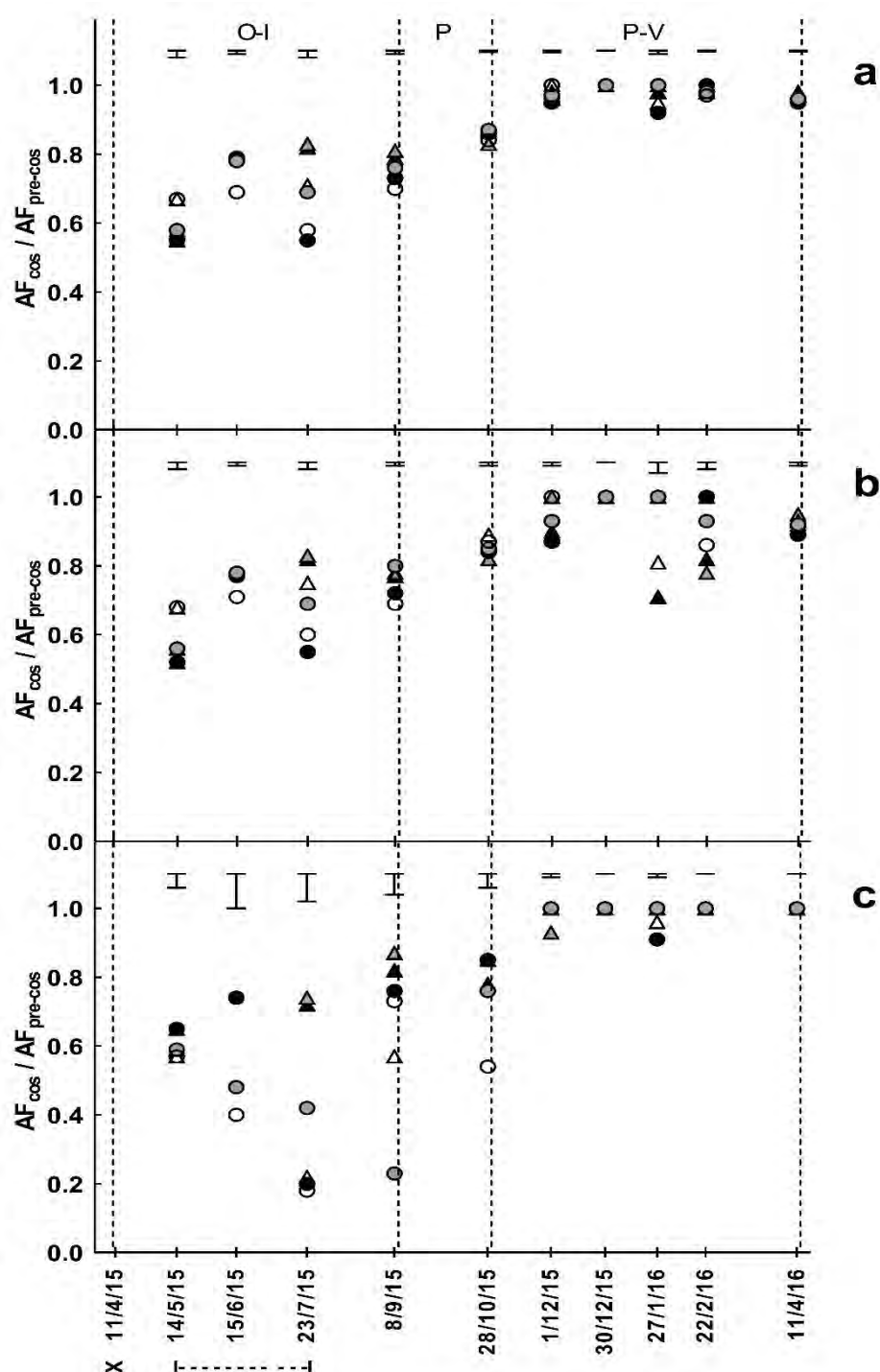


Figura III. Proporción del área foliar cosechada en relación al área foliar en pre-cosecha ($AF_{cos}/AF_{pre-cos}$) de la mezcla Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (a) y sus componentes, Festuca_{MED} (b) y Alfalfa_{GR6} (c); durante otoño-invierno (O-I), primavera temprana (P) y primavera tardía-verano (P-V); para las dosis aplicadas el 10/4/15 (X) de 0 (símbolos blancos), 75 (símbolos grises) y 150 (símbolos negros) kg/ha de nitrógeno; sometidas desde el 15/5/15 al 23/7/15 (línea horizontal intermitente) a defoliación frecuente (círculos) e infrecuente (triángulos). Barras verticales: error estándar.

Crecimiento aéreo

Tabla I. Crecimiento aéreo (kg/ha) de la mezcla ($Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6}$) y sus componentes ($Festuca_{MED}$ y $Alfalfa_{GR6}$) durante el período en que se aplicaron defoliaciones frecuentes (FREC) e infrecuentes (INFR) (del 15/5/15 al 23/7/15); para las dosis aplicadas el 10/4/15 de 0, 75 y 150 kg/ha de nitrógeno (0N, 75N y 150N, respectivamente).

Festuca_{MED}+Alfalfa_{GR6} (kg/ha)	
0N-FREC	916 B
75N-FREC	568 B
150N-FREC	2689 A
0N-INFR	1011 B
75N-INFR	1184 B
150N-INFR	2719 A
Error estándar	239
<i>p</i> DOSIS	S
<i>p</i> FRECUENCIA	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS
Festuca_{MED} (kg/ha)	
0N-FREC	860 B
75N-FREC	547 B
150N-FREC	2491 A
0N-INFR	971 B
75N-INFR	1173 B
150N-INFR	2652 A
Error estándar	231
<i>p</i> DOSIS	S
<i>p</i> FRECUENCIA	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS
Alfalfa_{GR6} (kg/ha)	
0N-FREC	56
75N-FREC	21
150N-FREC	198
0N-INFR	39
75N-INFR	11
150N-INFR	67
Error estándar	19
<i>p</i> DOSIS	NS
<i>p</i> FRECUENCIA	NS
<i>p</i> DOSIS x FRECUENCIA	NS

Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) para las dosis de nitrógeno agregado. NS: no significativa; S: significativa ($p < 0,05$).