

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA* L.) EN  
RESPUESTA AL ARREGLO ESPACIAL DE SIEMBRA Y FRECUENCIA DE CORTE**

**Silvia María Olivo**

**Trabajo de Tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al Título  
de MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**Orientación Producción y Utilización de Pasturas**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS**

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

**Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología  
Agropecuaria.**

**Balcarce, Argentina  
Diciembre 2018**

PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA* L.) EN  
RESPUESTA AL ARREGLO ESPACIAL DE SIEMBRA Y FRECUENCIA DE CORTE

Silvia María Olivo

Dr. MSc. Ing. Agr. Germán D. Berone

Director de tesis

MSc. Ing. Agr. Pablo Cicore

Co-director

MSc. Ing. Agr. Anibal Cerrudo

Asesor

MSc. Ing. Agr. Jorge Castaño

Asesor

Handwritten signatures of the advisors and co-director. The top signature is for Germán D. Berone, the middle for Pablo Cicore, and the bottom for Jorge Castaño.

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA L.*) EN RESPUESTA  
AL ARREGLO ESPACIAL DE SIEMBRA Y FRECUENCIA DE CORTE**

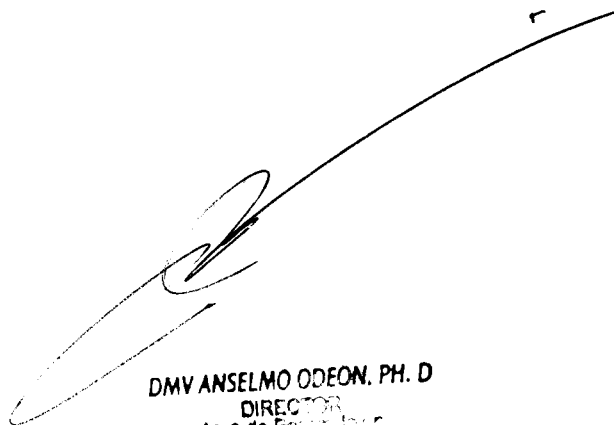
**Silvia María Olivo**

**Aprobada por:**

**Ing. Agr. MSc. Dr. Carlos Ferri**

**Ing. Agr. MSc. Juan Mattera**

**Ing. Rec. Nat. Dr. Lisandro Blanco:**



DMV ANSELMO ODEON. PH. D  
DIRECTOR  
Area de Producción y  
Producción y Sanidad Animal

**DEDICATORIA**

***A mi mamá Marcela, a mi papá Héctor y a mis hermanas: Andrea, Ana y Lucía...  
quienes me acompañan en éste y en tantos otros momentos de mi vida.***

***A mi amiga Vero, por sus consejos y contención.***

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por permitir y financiar mi capacitación de Posgrado.

A la Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata, lugar donde llevé a cabo mi proceso de formación de Posgrado y en especial al Área de Producción animal, Grupo de Pasturas de la EEA INTA Balcarce.

A mi Director de tesis German Berone, mi Co-director Pablo Cicore y comité asesor Anibal Cerrudo y Jorge Castaño, por transmitirme sus conocimientos, tiempo dedicado y su excelente predisposición.

A Carmen Spada, mi directora de Beca de Formación en la EEA INTA Manfredi por transmitirme su conocimiento e incentivar me a realizar mi Posgrado en la Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

A Ariel Odorizzi, Daniel Basigalup y Valeria Arolfo mis compañeros de trabajo del Área de Producción Animal, Grupo Recursos Forrajeros de la EEA INTA Manfredi, por apoyarme y acompañarme en este proceso de formación.

A Francisco Caldentey por ayudarme durante la etapa experimental.

A Joaquín Armendano por ayudarme con el análisis estadístico.

A mis amigos del “*Casino spa resort*” por la contención, hermosos momentos vividos y compartidos: Colo, Fran, Joaco, Cabeza, Pochi, Maurito, Juli, Fiorani, Pachu, Carcciochi, Naty, Ivan, Claudito, Ale y al resto de extranjeros que como, yo también pasaron por Balcarce: Maty, Pola y la pequeña Male.

A Sole y Romi por los mates, risas (muchas) y excelentes momentos compartidos en las largas jornadas de trabajo en el chinchorro.

A Lau, Nacho y al pequeño Andoni por abrirme las puertas de su casa y permitirme compartir lindos momentos.

A Georgina, Silvana y Nani por acompañarme en este proceso.

A mis amigas Vero, Eva, Naty por la contención y las largas charlas telefónicas acortando de esa manera las distancias.

A mi familia, por su apoyo incondicional.

*A todos, ¡¡¡muchas gracias!!! porque cada uno desde su lugar, con su aporte y contención me ayudaron a concretar este proyecto y proceso de formación. Gracias.*

## INDICE

<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>LISTADO DE ABREVIATURAS</b> .....	xiv
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>1</b>
1.1. Hipótesis .....	8
1.2. Objetivo .....	8
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>9</b>
2.1. Periodo y sitio experimental.....	9
2.2. Caracterización del sitio experimental .....	9
2.3. Diseño experimental y tratamientos.....	11
2.4. Prácticas agronómicas. ....	13
2.5. Determinaciones .....	14
2.5.1. Definición de tratamientos .....	14
2.5.2. Biomasa área total.....	14
2.5.1. Radiación interceptada y eficiencia de uso de la radiación ponderada .....	15
2.5.2. Índice de área foliar .....	17
2.6. Componentes del rendimiento.....	17
2.6.1. Número y peso de tallos .....	17
2.6.2. Número de nudos por tallo.....	17
2.7. Densidad de plantas y biomasa perenne.....	18
2.8. Análisis estadístico .....	18
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>19</b>
3.1. Biomasa aérea total .....	19
3.2. Intercepción de la radiación.....	21
3.3. Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada.....	23
3.4. Eficiencia de uso de la radiación .....	26
3.1. Índice de área foliar acumulado.....	28
3.2. Componentes del rendimiento.....	30
3.2.1. Tallos producidos acumulados y peso de tallos promedio por periodo .....	30

3.2.2. Número de nudos por tallo.....	34
3.3. Densidad de plantas y biomasa de raíces .....	36
<b>4. DISCUSION .....</b>	<b>37</b>
4.1. Arreglos de siembra .....	37
4.2. Frecuencia de corte.....	40
4.3. Implicancias metodológicas en la estimación de la EUR .....	42
4.4. Algunas implicancias agronómicas del presente trabajo.....	45
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>47</b>
<b>7. APÉNDICE .....</b>	<b>57</b>



## INDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Periodo de evaluación, corte, fechas de corte y grados días acumulados (GDA, temperatura base = 5°C), efectivamente logrados en los tratamientos F350 (cortes cada 350 GDA) y F700 (cortes cada 700 GDA). El corte de emparejamiento se realizó el 29/11/15. .... 14
- Tabla 2.** Cociente entre la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada ( $fRFA_i$ ) por el canopeo y grados días acumulados (GDA) al momento del corte y por periodo de crecimiento (primavera, verano y fin de verano) en un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y dos frecuencias de corte: cada 350 GDA (F350) y cada 700 GDA (F700). Para ambas frecuencias comparar los cortes 1,3 y 5 que coinciden con un rebrote de F350 y la primera etapa del rebrote en F700 (valores en negrita). .... 23
- Tabla 3.** Eficiencia de uso de la radiación (EUR, gMS/MJ) por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal cortada cada 350 GDA (F350), durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45). .... 28
- Tabla 4.** Tallos/m<sup>2</sup>, hojas/tallo y área/hoja de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) para primer corte de primavera temprana en parcelas cortadas cada 350 GDA. .... 32
- Tabla 5.** Número de plantas (plantas/m<sup>2</sup>) al finalizar el periodo de evaluación (22/02/2016) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y cada 700 GDA. .... 36
- Tabla 6.** Biomasa perenne (corona más raíz, g/m<sup>2</sup>) al finalizar el periodo de evaluación (22/02/2016) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y cada 700 GDA. .... 36
- Tabla 7.** Efecto de los arreglos de siembra sobre Biomasa (gMS/m<sup>2</sup>), Índice de Área Foliar (IAF), Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $RFA_{intac}$ , MJ/m<sup>2</sup>) y Eficiencia de uso de la radiación (gMS/MJ) expresados como variación porcentual de la distancia en líneas paralelas a 10 cm (LP10) respecto de: líneas paralelas a 20 cm (LP20), de cruzadas a 90° (C90) y de cruzadas a 45° (C45), para el primer corte de primavera temprana para una alfalfa cortada cada 350 GDA. .... 37

## INDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** (a) Temperatura media diaria ( $^{\circ}\text{C}$ ) y (b) radiación global incidente diaria ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) registradas durante el ciclo de evaluación desde 29 setiembre de 2015 al 22 de febrero de 2016 ( $\bullet\bullet$ ) y valores históricos ( $\bullet$ ) para la serie 1971-2014 en la localidad de Balcarce (latitud  $37^{\circ}45'$  S, longitud  $58^{\circ}18'$  O; 144 m.s.n.m). ..... 10

**Figura 2.** Agua del suelo total (mm). Capacidad de almacenaje de agua máxima (AlmLmax), mínimo (AlmLmin) y del 50% (Alm 50%) de un suelo Argiudol típico. Variación de agua en el suelo en la capa de 0 a 80 cm de profundidad: Almacenaje real (Alm real) y oferta hídrica: Precipitaciones + riego (barras grises) correspondiente al ciclo de evaluación (desde el 29 setiembre de 2015 al 22 de febrero de 2016) de un cultivar de alfalfa durante su primer año de vida. La flecha blanca indica el inicio del experimento (29/9). Cuando la línea verde (Alm real) se encuentra debajo de la línea gris (Alm 50%) el crecimiento de las plantas se encuentra limitado por la disponibilidad de agua. Flechas grises indican el momento de corte (4/11; 25/11; 16/12; 11/1; 2/2; 22/2) en parcelas cortadas cada 350 GDA. Las flechas negras indican el momento de corte (25/11; 11/1; 22/2) en parcelas cortadas cada 700 GDA. .... 11

**Figura 3.** Imagen del experimento realizado con un diseño de bloques completos aleatorizados en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. .... 12

**Figura 4.** Arreglos espaciales de siembra: (a) siembra en líneas paralelas a 20 cm (LP20); (b) siembra en líneas paralelas a 10 cm (LP10); (c) siembra en líneas cruzadas a  $90^{\circ}$  (C90); (d) siembra en líneas cruzadas a  $45^{\circ}$  (C45), para un cultivar de alfalfa sin reposo invernal. .... 13

**Figura 5.** Marcos de malla fina utilizados para colectar material senescente (hojas y tallos) en rebrotes de alfalfa durante su primer año de vida para cuatro arreglos de siembra: (a) líneas paralelas a 20 cm (LP20), (b) paralelas a 10 cm (LP10), (c) cruzadas a  $90^{\circ}$  (C90) y (d) cruzadas a  $45^{\circ}$  (C45) en parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA. .... 15

**Figura 6.** Biomasa aérea total (BAT,  $\text{gMS}/\text{m}^2$ ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a  $90^{\circ}$  (C90), cruzadas a  $45^{\circ}$  (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA. La parte gris de la barra corresponde a la producción de forraje (PF) y la parte negra a material senescente (Ms) recolectado del suelo. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ). .... 19

**Figura 7.** Biomasa área total (BAT,  $\text{gMS}/\text{m}^2$ ) por periodo de crecimiento de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a  $90^{\circ}$  (C90), cruzada a  $45^{\circ}$  (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras blancas y barras grises representan la sumatoria de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras, representan el único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. En F350 la barra blanca representa el primer corte de cada período y la barra gris el segundo corte de cada período. Las barras verticales

son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media para el total acumulado por período y por tratamiento. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ). ..... 20

**Figura 8.** Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada ( $fRFA_i$ ) por el canopeo por período de crecimiento de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, líneas continuas grises) y cada 700 GDA (F700, líneas punteadas negras). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las flechas verticales grises (F350) y negras (F700) indican el momento de corte. Las líneas son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media por momento de medición y por tratamiento. .... 22

**Figura 9.** Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $RFA_{intac}$ ,  $MJ/m^2$ ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ). ..... 24

**Figura 10.** Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $RFA_{intac}$ ,  $MJ/m^2$ ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras blancas y barras grises representan la sumatoria de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras, representa un solo corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. En F350 la barra blanca representa el primer corte de cada período y la barra gris el segundo corte de cada período. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media para el total acumulado por período y por tratamiento. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ). ..... 25

**Figura 11.** Eficiencia de uso de la radiación (EUR,  $gMS/MJ$ ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ). ..... 26

**Figura 12.** Eficiencia de uso de la radiación (EUR, gMS/MJ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras grises corresponde al promedio de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras corresponde al promedio de un único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. En el caso F350 (barras grises) es el promedio de dos cortes (Primavera: cortes 1 y 2; Inicio de verano: cortes 3 y 4; Pleno verano: cortes 5 y 6). Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ )..... 27

**Figura 13.** Índice de área foliar (IAF, m<sup>2</sup>hoja/m<sup>2</sup>suelo) acumulado de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras blancas y barras grises representan la sumatoria de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras, representa un solo corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. En F350 la barra blanca representa el primer corte de cada período y la barra gris el segundo corte de cada período. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media para el total acumulado por período y por tratamiento. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ )..... 29

**Figura 14.** Tallos producidos acumulados (tallos/m<sup>2</sup>) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras grises corresponde al promedio de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras corresponde al promedio de un único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ )..... 31

**Figura 15.** Peso de tallo (gMS/tallo) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras grises corresponde al promedio de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras corresponde al promedio de un único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. En el caso

F350 (barras grises) es el promedio de dos cortes (Primavera: cortes 1 y 2; Inicio de verano: cortes 3 y 4; Pleno verano: cortes 5 y 6). Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ). ..... 33

**Figura 16.** Número nudos por tallo de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras grises corresponde al promedio de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras corresponde al promedio de un único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. En el caso F350 (barras grises) es el promedio de dos cortes (Primavera: cortes 1 y 2; Inicio de verano: cortes 3 y 4; Pleno verano: cortes 5 y 6). Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ). ..... 35

**Figura 17.** Porcentaje (%) de subestimación de la  $fRFA_i$  por medir captura radiativa una vez al día respecto a tres mediciones diarias en un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida en (a) parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA y (b) cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralela a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45). Período de evaluación: Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales indican  $\pm$  el error estándar de la media. .... 43

**Figura 18.** Relación entre el porcentaje (%) de sub-estimación de la  $fRFA_i$  en función del porcentaje (%)  $fRFA_i$  promedio del rebrote medida al medio día solar de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, en su primer año de vida y durante el periodo de evaluación (primavera, inicio de verano y pleno verano); parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA y cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45). Se presentan los valores de cuatro repeticiones.  $Y = -0,29 \cdot X + 24,7$   $R^2 = 0,593$  ( $p < 0,001$ ). ..... 44

### LISTADO DE ABREVIATURAS

%MS	Porcentaje de Materia Seca
AFE	Área Foliar Específica
AFV <sub>hoja</sub>	Área Foliar Verde de hoja
BA	Biomasa Aérea
BAT	Biomasa Aérea Total
C45	Siembra cruzada a 45°
C90	Siembra cruzada a 90°
ET <sub>o</sub>	Evapotranspiración de referencia
EUR	Eficiencia de Uso de la Radiación
F350	Frecuencia de corte cada 350 GDA
F700	Frecuencia de corte cada 700 GDA
$fRFA_i$	fracción de la Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada
$fRFA_{diaria}$	fracción de la Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada diaria
GDA	Grados días de crecimiento acumulados
LP10	Siembra en líneas paralelas a 10 cm
LP20	Siembra en líneas paralelas a 20 cm
Ms	Material senescente
PF	Producción de Forraje
pHOJAS	proporción de hojas
PS <sub>hoja</sub>	Peso Seco de hoja
PS <sub>tallos</sub>	Peso Seco de tallos
RFA <sub>inc</sub>	Radiación fotosintéticamente activa incidente
RFA <sub>intac</sub>	Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada acumulada
RFA <sub>intacdia</sub>	Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada acumulada durante día de medición

## RESUMEN

En alfalfa (*Medicago sativa* L.) existe una tendencia en incrementar la distancia de siembra entre hileras de 15-17,5 a 20 cm generando ésta última, arreglos más rectangulares del canopeo y un menor rendimiento forrajero. Para compensar esta disminución en el rendimiento, en el medio productivo, se ha difundido la siembra a 20 cm cruzada a 90° o 45°. En alfalfa, se demostró que el incremento en la frecuencia de corte produce reducciones en la expansión del área foliar y la intercepción de la radiación. Por ello, es de esperar que el beneficio de acercar hileras y/o sembrar cruzado ( a 90° o a 45°), sobre captura y/o uso de radiación y por lo tanto sobre la producción de forraje, sea más relevante en la medida que se incrementa la frecuencia de corte. El objetivo de este trabajo fue el estudio de la interacción entre arreglo espacial y frecuencia de corte sobre la producción de forraje, la captura y uso de radiación en una pastura de alfalfa creciendo en condiciones no limitantes. El experimento se sembró en abril y el período de mediciones abarcó desde noviembre de 2015 hasta febrero de 2016. Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con arreglo en parcelas divididas con cuatro arreglos espaciales de siembra (parcelas principales): 1) líneas paralelas a 20 cm; 2) líneas paralelas a 10 cm; 3) líneas cruzadas a 90° a 20 cm y 4) líneas cruzadas a 45° a 20 cm y dos frecuencias de defoliación (parcelas secundarias): F350, cortes cada 350 grados días acumulados (GDA) y F700, cortes cada 700 GDA. En el primer corte de primavera, en F350, la siembra a 10 cm produjo más forraje que el resto de los arreglos debido a una mayor captura de radiación respecto a la siembra a 20 cm y debido a una mayor captura y una mayor eficiencia de uso de la radiación respecto de los arreglos de siembra cruzados (45° y 90°). La mayor producción del arreglo a 10 cm se explicó, además, por una mayor densidad y peso de tallos. A medida que avanzó la estación de crecimiento (verano y fin de verano) las diferencias desaparecieron. Por su parte, las respuestas de la siembra cruzada en cualquiera de sus formas (90° y 45°) fueron similares respecto del arreglo en líneas a 20 cm, tanto en primavera temprana, como en el resto del ciclo. Independientemente de los arreglos utilizados, F700 logró una mayor producción de biomasa área total que F350, explicada por una mayor radiación acumulada y mayor peso de tallos. En conclusión, acercar líneas de siembra (10 vs 20 cm) en una pastura de alfalfa mostró un beneficio a inicios de primavera del primer ciclo de crecimiento, mientras que los arreglos cruzados (45° y 90°) en todo momento, presentaron un comportamiento similar a la siembra en líneas paralelas a 20 cm.

**Palabras clave:** arreglo cruzado, distanciamiento entre hileras, duración rebrote, leguminosa, modelo ecofisiológico

## ABSTRACT

### AERIAL BIOMASS PRODUCTION OF ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA L.*) IN RESPONSE TO ROW SPACING AND CUTTING FREQUENCY

In the case of Alfalfa (*Medicago sativa L.*) there is a tendency to increase sowing distance between rows from 15-17.5 to 20 cm creating this last a more rectangular canopy arrangement and a lower forage yield. To compensate this forage yield reduction, some farmers are promoting the crossed sowing pattern with lines at 20 cm crossed with angles at 90° or 45°. In alfalfa, an increment of cutting frequency usually leads to a reduction in leaf area expansion and radiation capture. In consequence the reduction of row spacing and crossed sowings should provide a benefit in radiation capture and, therefore, in forage production and that will be more relevant as the cutting frequency is increased. The aim of this experiment was study the interaction between spatial arrangement of sowing and cutting frequency in alfalfa. The experiment was carried out at E.E.A INTA Balcarce from November 2015 to February 2016. The experimental design was split plot arranged in a randomized complete block with four replicates. The spatial arrangement was the principal plots and the cutting frequency was the secondary plots. The spatial sowing arrangements were: 1) parallel lines at 20 cm; 2) parallel lines at 10 cm; 3) crossed lines at 90° at 20 cm 4) crossed lines at 45° at 20 cm. The cutting frequencies were: F350= cutting each 350 growing degrees days (GDD) and F700= cutting each 700 GDD. In the first spring cut, in F350, sowing at 10 cm produced more forage than the rest of sowing arrangements due to a greater radiation capture compared to the sowing to 20 cm and due to a greater radiation capture and a higher radiation use efficiency compared to crossed seeding arrangements (45° and 90°). In turn, the greater forage yield of the 10 cm sowing arrangement was explained by a higher density and weight of stems. As growing season progressed (summer and end of summer) these differences disappeared. The crossed sowing (90° and 45°) did not improve forage yield respect to the traditional sowing arrangement (20 cm between rows), neither in early spring, nor in the rest of the cycle. Regardless of the sowed arrangement, F700 showed higher forage yield production than F350 due to a higher radiation capture and a greater shoot weight. In conclusion, closer rows (10 vs. 20 cm) showed a benefit at the beginning of spring, while cross arrangements (45° and 90°) always showed a similar behavior to the traditional sowing arrangement (20 cm between rows).

**Key words:** crossed sowing, row spacing, duration of regrowth, legume, ecophysiological model



## 1. ANTECEDENTES

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una leguminosa perenne originaria de Asia Menor y sur del Cáucaso y fue introducida en la Argentina a mediados del siglo XVIII (Hijano; Basigalup, 1995). La producción de alfalfa en nuestro país se localiza entre los paralelos 30-40°S y los meridianos 58-65°W, esta extensa distribución supone un amplio rango de adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas y modalidades de manejo para cada región (Collino *et al.*, 2007).

En la actualidad la superficie sembrada con alfalfa en el país ronda las 3,7 millones de hectáreas. De este total, el 60% corresponden a cultivares sembrados puros y un 40% están consociados con gramíneas templadas. En general, la siembra de alfalfa pura es destinada básicamente a la producción de leche bovina, heno o ensilaje mientras que, la consociación es utilizada preferentemente para la producción de carne bovina (Basigalup, 2017).

Para lograr altos niveles productivos, la alfalfa requiere de suelos profundos (>1,2 m), bien aireados, de reacción más bien neutra (pH 6,5 a 7,5) y buena fertilidad, especialmente, fósforo. Por lo tanto, en la medida que las condiciones de producción se alejen de este marco ideal, el cultivo disminuye su rendimiento y persistencia (Basigalup; Rossanigo, 2007). La Alfalfa presenta además, la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y por su raíz pivotante, que puede llegar hasta los cuatro metros de profundidad, puede extraer agua en el suelo a mayor profundidad que otros cultivos convirtiéndola en un importante componente de la sustentabilidad de los sistemas productivos (Racca; Gonzales, 2007).

En ausencia de estrés hídrico y nutricional la producción potencial de biomasa de alfalfa, como en cualquier forrajera, depende del nivel de radiación incidente (Cooper, 1969; Collino *et al.*, 2007) siendo el uso efectivo de esta energía regulada por la temperatura (Parsons, 1988; Collino *et al.*, 2007). Comprender los mecanismos fisiológicos con los que las plantas responden a estas señales ambientales (Teixeira *et al.*, 2006), como así también aspectos relacionados a la implantación de la pastura (Romero *et al.*, 1991; Sevilla *et al.*, 2002; Mattera *et al.*, 2009; Teixeira *et al.*, 2011; Thiébeau *et al.*, 2011; Mattera *et al.*, 2013; Sim *et al.*, 2015) y al manejo de la defoliación o corte (Avice *et al.*, 1997; Belanger *et al.*, 1999; Teixeira *et al.*, 2006; Ventroni *et al.*, 2010) son esenciales para maximizar la producción de forraje.

Entre las prácticas culturales que se llevan a cabo para la siembra de un cultivo, la densidad (*i.e.* número de plantas/m<sup>2</sup>) y el espaciamiento entre hileras o el arreglo espacial de siembra, en adelante arreglo, son aspectos claves para optimizar la captación de recursos y, en consecuencia, optimizar la producción de biomasa (Vega; Andrade, 2009).

En alfalfa, la densidad de siembra es una variable que ha sido ampliamente estudiada y se demostró que cuando la pastura es sembrada en rango de densidades de entre 250 a 550 semillas/m<sup>2</sup> la cantidad de plantas tiende a estabilizarse al año de implantación y sin diferencias en producción de biomasa (Romero *et al.*, 1991; Sevilla *et al.*, 2002; Moot *et al.*, 2012). Sin embargo, el impacto del arreglo a densidad constante sobre la producción de biomasa ha sido menos estudiado (McGuire, 1989; Mattera *et al.*, 2009; Mattera *et al.*, 2013).

El concepto de arreglo espacial responde a la disposición de las plantas en la superficie y se logra generando modificaciones en el distanciamiento entre líneas o cambiando la disposición de esas líneas en el terreno (Gardner *et al.*, 1985; Thom y Rhitchie, 1993; Praat, 1995). En este sentido, a igual densidad de siembra acercar la distancia entre hileras implicaría una distribución más equidistante de las plantas en el terreno (Gardner *et al.*, 1985; Park *et al.*, 2003; Heitholt; Sassenrath-Cole, 2009; Connor *et al.*, 2011) disminuyendo la competencia intra-específica entre plantas por luz, agua y nutrientes (Park *et al.*, 2003).

Una manera de entender el efecto del distanciamiento entre hileras sobre la productividad de un cultivo es a través del modelo ecofisiológico propuesto por Monteith (1977), el cual contempla dos variables; la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFA<sub>intac</sub>) y la eficiencia de uso de la radiación (EUR). En este sentido, como el crecimiento de los cultivos está directamente relacionado con la cantidad de radiación interceptada (Gardner *et al.*, 1985), acercar la distancia entre hileras es una práctica de manejo que puede tener un efecto positivo sobre la radiación interceptada y, por ende, en el rendimiento (Shibles; Weber, 1966; Steiner, 1986; Board *et al.*, 1992b; Flenet *et al.*, 1996; Barbieri *et al.*, 2000; Andrade *et al.*, 2002; Calviño *et al.*, 2003; Calviño *et al.* 2004; Zhou *et al.*, 2011; Rachaputi *et al.*, 2015), especialmente en situaciones donde la oferta ambiental es poco favorable para el crecimiento y, por lo tanto, la expansión foliar se ve afectada (*i.e.* siembras tardías en soja y tempranas en maíz, siembras de cultivares de ciclo corto, estrés y/o defoliaciones en estadios tempranos), la reducción en la distancia entre hileras conlleva a una menor superposición de las hojas dentro de la línea y a una mejor cobertura entre la línea. Esto determina una mejora en la cantidad de radiación interceptada y, en consecuencia, la producción de biomasa se incrementa (Andrade *et al.*, 2002; Vega; Andrade, 2009).

Board *et al.* (1992b) proponen que frente a la reducción del distanciamiento entre hileras, el incremento en la radiación interceptada puede ser resultado de; una mayor cantidad de luz interceptada por área de hoja o de un incremento del índice del área foliar (IAF). En este sentido, Flenet *et al.* (1996) en soja, maíz y girasol y Barbieri

*et al.* (2000) en maíz observaron que, en distancias entre hileras cercanas, el IAF requerido para interceptar el 95% de radiación se redujo por un aumento en el coeficiente de extinción de la luz en el canopeo. De modo contrario, Morrow; Krieg, (1990) en algodón, Board *et al.* (1992b) y Zhou *et al.* (2011) en soja y Steiner, (1986) en sorgo encontraron que un incremento en el IAF fue el responsable de la mayor captura radiativa.

En la literatura también se muestra que en soja, por ejemplo, una mayor equidistancia entre las plantas genera una mayor cantidad de nudos y no, necesariamente, por un incremento en la captura de luz sino, por un uso más eficiente de la misma (Egli, 1994). Por otro lado, en situaciones donde se logra interceptar más del 90% radiación, por ejemplo, la siembra de cultivos en momentos donde la temperatura y radiación son las óptimas para su crecimiento, acercar las hileras no ofrecería un beneficio ni en intercepción de la radiación, ni en la producción de biomasa (Andrade *et al.*, 2002; Maddoni *et al.*, 2006)

La EUR, también puede variar ante modificaciones en el distanciamiento entre hileras. En este sentido, Board *et al.* (1994), en soja, encontraron que, al disminuir la distancia entre hileras de siembra de 100 a 50 cm lograron una mayor captura de radiación y un incremento de la EUR. Sin embargo, la siembra a 25 cm de distancia entre hileras mostró un incremento en la captura, pero una disminución en la EUR (Board *et al.*, 1994). De modo contrario Zhou *et al.* (2011) reportaron que en la medida que la distancia de siembra en soja se redujo de 54 a 18 cm, tanto la intercepción de la radiación como la EUR fueron mayores.

Las discrepancias previamente mencionadas en la relación a el distanciamiento entre hileras y la EUR podrían deberse, en parte, a aspectos metodológicos de la estimación de la EUR. La EUR, generalmente se estima a través de la biomasa producida y de la  $RFA_{intac}$  (Sinclair; Muchow, 1999). Con lo cual, para evitar sesgos y acumulación de errores es importante tener mediciones lo más precisas posibles de las variables involucradas: la biomasa producida y la radiación capturada (Sinclair y Muchow, 1999).

Respecto a la biomasa producida, en general, no se cuantifica el material senescente que se pierde por desprendimiento; lo que, conlleva a una subestimación de la producción de biomasa aérea y por lo tanto una subestimación de la EUR (Sinclair; Muchow, 1999). Esto puede en parte explicar un menor distanciamiento entre hileras lleva, por un lado, a mayores valores de  $RFA_{intac}$ , pero, por otro, a menores valores de la EUR.

Por otro lado, la estimación de  $RFA_{intac}$  se calcula a través de mediciones de la  $fRFA_i$  que generalmente se realiza una vez al día (al mediodía solar), lo cual respecto

de metodologías que contemplan la estimación continua, producen una sub-estimación de la  $fRFA_i$  (Charles-Edwards; Lawn, 1984; Monteith, 1994). En este sentido, Monteith, (1994) sostiene que midiendo únicamente al medio día solar se incurre en un error temporal, asociado a un único momento de medición, ya que  $fRFA_i$  es un valor que depende del momento del día y está relacionada con el ángulo de elevación solar a lo largo del día (Muchow, 1985). Este efecto es más importante cuando se estudian diferentes distanciamientos entre hileras o arreglos de siembra (Muchow *et al.*, 1982; Tsubo *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2011) ya que, frente a una única medición al medio día solar y cuando no se ha producido el cierre del entresurco, cultivos sembrados a menor distanciamiento entre hileras tendrán una menor radiación transmitida que lo que están sembrados a mayor distancia (Tsubo *et al.*, 2001). Además, cuando menores valores de  $fRFA_i$  son cuantificados al medio día solar, mayor será la variación de intercepción a lo largo del día (Muchow, 1985).

En pasturas perennes, a diferencia de los cultivos agrícolas, es escasa la disponibilidad de trabajos en los que se evalúa el impacto del distanciamiento entre hileras sobre la producción de forraje.

En alfalfa, Roufail (1975) y Lutz; Morley (1982) utilizando rangos similares de distanciamiento entre hileras (15, 30, 45 y 60 cm) hallaron que la producción de biomasa se maximizó cuando la pastura de alfalfa fue sembrada a 15 cm de distancia entre hileras. Sin embargo, en el experimento de Lutz; Morley (1982), a medida que aumentó el distanciamiento entre hileras la densidad de siembra disminuyó, no pudiendo distinguir claramente si el mayor rendimiento fue por efecto del distanciamiento o de la densidad de siembra.

Mattera *et al.* (2009), en alfalfa trabajando a densidad constante y en un rango más acotado de distancias entre surcos (15, 17,5 y 21 cm) encontraron que sembrar a 17,5 cm de distancia entre hileras incrementó la producción de forraje en el orden del 11 al 20%, principalmente en los meses de primavera-verano. Este trabajo mostró que las siembras a 17,5 y 20 cm de distancia entre hileras presentaron, durante la mayor parte del experimento, un menor número de plantas pero de mayor peso que siembras a 15 cm de distancia entre hileras. Mientras que, en siembras de 17,5 y 20 cm de distancia entre hileras el número de plantas por  $m^2$  fue similar, el peso por planta fue superior en la alfalfa sembrada a 17,5 cm de distancia entre hileras.

Colabelli *et al.* (2002) estudiaron la influencia de la época de siembra y la distancia entre líneas sobre el establecimiento leguminosas (alfalfa, trébol rojo (*Trifolium pratense*) y lotus (*Lotus corniculatus*)) intersembradas sobre pasturas degradadas y encontraron que, en el primer corte, alfalfa y trébol rojo, sembrados a fines de invierno y a 10 cm de distancia entre hileras lograron mayor IAF que siembras

a 20 y 40 cm; sin embargo, lotus en todas las distancias de siembra evaluadas presentó similares valores de IAF.

En pasturas, los trabajos encontrados que utilizan el modelo propuesto por Monteith (1977) para abordar el estudio del impacto del distanciamiento entre hileras sobre la producción de biomasa son, únicamente, los realizados por Mattera *et al.* (2013) y Bertrám (2008) en alfalfa y agropiro alargado (*Thynopiron ponticum*), respectivamente.

El trabajo realizado en alfalfa, con rangos de distancias entre hileras a la siembra desde 10 hasta 30 cm y con igual número de plantas por m<sup>2</sup>, mostró una respuesta de tipo óptima con la mayor producción de biomasa en los 15 cm de distancia entre hileras y una tendencia a disminuir el rendimiento en los arreglos más espaciados (*i.e.* 20 y 30 cm). Mientras que, en el arreglo de 10 cm la caída en producción de biomasa fue menor (Mattera *et al.*, 2013). En agropiro alargado, cuando se estudiaron diferentes arreglos (siembra en líneas paralelas vs. siembras en cuadrículas a 90°) y densidades (20, 30 y 40 kg/ha de semilla) se encontró mayor producción de biomasa en las siembras en líneas respecto de la siembra en cuadrícula a 90° y no se detectó un efecto de la densidad de siembra (Bertrám, 2008).

Desde el abordaje ecofisiológico, Mattera *et al.* (2013) encontraron que acercar las hileras permitió una mayor interceptación de la radiación que se tradujo a un incremento significativo de la  $RFA_{intac}$ . Si bien, todas las distancias de siembras lograron alcanzar altos valores de interceptación (*i.e.* 90-95%), en las distancias más cercanas el tiempo requerido para ello fue menor, en particular al inicio del período de mediciones (*i.e.* setiembre). Por su parte, en este trabajo, los mayores valores de EUR se hallaron con distancias entre hileras de 15 a 17,5 cm, mientras que en las siembras a 10, 20 y 30 cm la EUR se redujo, mostrando, por lo tanto, las siembras a 10 y 20 cm de distancia entre hileras valores similares de EUR (Mattera *et al.*, 2013). Estos autores argumentan que, en las siembras menos espaciadas (*i.e.* 10 cm), la EUR fue menor porque se produjo un cierre anticipado de la canopia y las hojas de la parte inferior de la canopia, al estar sombreadas, reducen la fotosíntesis e incrementando por lo tanto, la senescencia. Por otro lado, en las siembras más espaciadas (*i.e.* 20 a 30 cm) la EUR se redujo porque el menor IAF habría determinado que la mayoría de las hojas se encuentren en saturación lumínica lo que disminuye la EUR. En el trabajo realizado en agropiro alargado (Bertram, 2008) la mayor producción de forraje obtenida en la siembra en líneas paralelas fue producto de una mayor EUR ya que la  $RFA_{intac}$  fue similar entre arreglos de siembra.

En base a los antecedentes anteriormente mencionados, en alfalfa, la distancia óptima entre hileras donde se logra la mayor producción de biomasa, producto de una

mayor captura radiativa y EUR, estaría en el rango de 15-17,5 cm (Roufail, 1975; Lutz; Morley, 1982; Mattera *et al.*, 2009; Mattera *et al.*, 2013). Sin embargo, actualmente en Argentina, gran parte de la maquinaria disponible para la siembra de esta pastura tiene cuerpos de siembra separados a 20 cm de distancia entre hileras. Esto deriva en arreglos más rectangulares de canopeos, donde a una misma densidad de siembra, la distancia entre plantas en la línea es menor, generando mayor competencia intra-específica entre los individuos. Esto implica una reducción en la radiación interceptada y, en consecuencia, una disminución en la producción de biomasa en el orden del 20% (Mattera *et al.*, 2013).

En el sector productivo se afirma que esta disminución en la producción se puede compensar realizando siembras cruzadas. Así, se han difundido las siembras cruzadas manteniendo distancias entre líneas a 20-21 cm. Estas siembras consisten en una pasada simple de sembradora y sobre esta, se realiza otra pasada con un ángulo de 90° o 45° las que se denominan siembras cruzadas en cuadrícula (C90) y sesgadas (C45), respectivamente. El objetivo, que persigue esta práctica, es generar una mejor distribución de la semilla en la superficie disminuyendo la competencia intra-específica (Park *et al.*, 2003).

Si bien el medio productivo especula que estos arreglos cruzados permitirían contrarrestar la disminución del rendimiento, en respuesta al incremento del espaciamiento entre hileras por encima de 17,5 cm, las escasas experiencias realizadas al respecto indican que en siembras de agropiro alargado (Scheneiter *et al.* 2006; Bertram, 2008) o de alfalfa (Sardiña; Diez; Ottaviano, 2015) no habría mejoras por utilizar esquemas de siembra del tipo cuadrícula (C90). Sin bien se desconocen trabajos en los que se hayan evaluado siembras cruzadas a 45° (C45), las siembras cruzadas con ángulos de 30° en raigrás perenne (*Lolium perenne* L.) y festuca alta tampoco mostraron ventajas respecto de siembras en líneas sin cruzar (Praat, 1995).

En las pasturas, además de lo anteriormente mencionado, la frecuencia de corte o defoliación, en adelante frecuencia, es un aspecto que impacta sobre la captura y eficiencia de uso de la radiación y, por ende, en la producción de biomasa. En alfalfa, se considera que el momento óptimo de corte es cuando la pastura alcanza el 10% de floración o 5 cm de rebrotes basales (Smith, 1968; Fick *et al.*, 1988; Romero *et al.*, 1995). En este estadio se logra un equilibrio entre producción de biomasa, calidad nutritiva y se favorece la longevidad o persistencia de la pastura (Fick *et al.*, 1988). Teixeira; Moot; Brown; Pollock (2007) encontraron que pasturas de alfalfa cortadas a intervalos de tiempo menores al necesario para obtener el 10% de floración (*i.e.* más frecuentes) producen menos forraje como consecuencia de una menor

RFA<sub>intac</sub> y EUR. Resultados similares fueron obtenidos por varios autores (Tabacco *et al.*, 2002; Putnam y Orloff 2003; Ventroni *et al.*, 2010; Testa *et al.*, 2011).

La temperatura es el principal factor que incide en el desarrollo de la alfalfa (Christian, 1977). Por lo tanto, para estimar la duración entre un corte y el inicio de floración se utiliza el concepto de tiempo térmico o grados días de crecimiento acumulado (GDA). Los GDA son la sumatoria de la temperatura media diaria menos la temperatura base (Tb) que para el caso de alfalfa está definida en 5°C (Kalu; Fick, 1981). En alfalfa el tiempo térmico para obtener el 10% de floración ronda los 550 GDA (Moot *et al.*, 2001; Guzmán *et al.*, 2007) y este valor puede ser mayor a medida que se incrementa el fotoperiodo (Moot *et al.*, 2001).

Luego de un corte o pastoreo, conforme avanza el ciclo de rebrote de la pastura, la cantidad de forraje se incrementa pero la calidad nutritiva disminuye. Así, el menor crecimiento aéreo observado en pasturas de alfalfa cortadas muy frecuentemente, respecto de aquellas cortadas con menor frecuencia, deriva en que el forraje ofrecido a los animales sea de mayor valor nutritivo debido a una menor acumulación de tejido de sostén (Kilcher; Heinrichs, 1974; Woodward; Sheehy, 1979, Sheaffer *et al.*, 2000; Tabacco *et al.*, 2002; Putnam; Orloff, 2003; Testa *et al.*, 2011).

En situaciones donde toda la superficie dedicada a la alfalfa se cosecha en un corto período de tiempo (*i.e.* sistemas dedicados a la confección de reservas forrajeras) una frecuencia de corte cada 500-550 GDA implica un equilibrio entre producción de biomasa y calidad. Sin embargo, en planteos en los cuales una gran superficie de alfalfa se destina a pastoreo directo, el inicio del pastoreo al alcanzar los 550 GDA implica que, en momentos de mayor crecimiento de la pastura (primavera-verano), una gran parte de la superficie sea pastoreada con alfalfa en un estado avanzado de desarrollo y con excesiva biomasa, lo que reduce la eficiencia de utilización, la calidad nutritiva del forraje cosechado y la producción animal (Moot *et al.*, 2003; Sardiña; Berone, 2017).

Luego de un corte o pastoreo, el crecimiento de alfalfa no solo depende de la radiación solar interceptada por el follaje, sino también del aporte hacia tejidos aéreos de reservas endógenas de N almacenadas en los órganos perennes (corona + raíz) (Khaiti; Lemaire, 1992; Avicé *et al.*, 2001). En este sentido, la tasa de crecimiento de los primeros rebrotes de primavera se asocia de manera directa con el nivel de reservas presentes en los órganos perennes. El nivel de reservas endógenas es afectado por la frecuencia utilizada (Teixeira; Moot; Mickelbart, 2007.).

Heichel *et al.* (1988) proponen que el proceso de partición abarca el transporte de asimilados (fuente) a diferentes sitios u órganos de utilización (destinos). Cralle (1983) observó que los destinos de los fotoasimilados varían según el estadio de

desarrollo de la pastura, siendo en los estadios vegetativos prioritarios los órganos aéreos en detrimento de los órganos perennes, mientras que a partir de inicio de floración (10%) y fructificación este comportamiento se revierte. Del mismo modo, Thibeau *et al.* (2011) también encontraron que a medida que se incrementa el tiempo de rebrote la partición a órganos perennes se incrementa.

Además del modelo de captura radiativa, la producción de biomasa puede ser analizada en función de los componentes del rendimiento: densidad de tallos por unidad de superficie y peso/tallo (Volenc *et al.*, 1987). Usualmente, la mayor productividad observada en pasturas de alfalfa cortadas de manera infrecuente se explica por cambios en el peso de los tallos, siendo menores las diferencias en densidad de tallos (Teixeira; Moot; Brown; Fletcher, 2007; Ventroni *et al.*, 2010).

En función de la bibliografía revisada se infiere que arreglos que logren adelantar el cierre de la canopia permitirían alcanzar una mayor productividad. A su vez, cortes más frecuentes, reducen la tasa de expansión foliar y por ende la radiación capturada (Teixeira *et al.*, 2007); de esta manera, en situaciones donde la frecuencia de corte se incrementa, es esperable encontrar una mayor disminución de la producción y por lo tanto; la influencia del arreglo sería de mayor relevancia en la medida en que la frecuencia aumenta.

El presente trabajo estudia el impacto del arreglo de siembra en pasturas de alfalfa sujetas a frecuencias de corte contrastantes sobre la producción de forraje y los componentes del modelo radiativo (captura y eficiencia de uso de la radiación).

### **1.1. Hipótesis**

a) La siembra de hileras paralelas distanciadas a 10 cm promueve una mayor producción de forraje respecto a la siembra de hileras paralelas distanciadas a 20 cm y a la siembra de hileras cruzadas (tanto en cuadrícula como en sesgo), siendo este efecto más importante en la medida que se incrementa la frecuencia de corte.

b) La variación registrada en producción de biomasa entre arreglos de siembra y frecuencias de corte se asocia a variaciones en la captura de radiación incidente sin observarse variaciones entre tratamientos en la eficiencia de uso de la de la radiación

### **1.2. Objetivo**

Estudiar el efecto del arreglo de siembra, de la frecuencia de corte y su interacción sobre la producción de biomasa, la captura y uso de radiación en una pastura de alfalfa creciendo en condiciones no limitantes



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Periodo y sitio experimental

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Integrada Balcarce (UIB) INTA – Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP), ubicado en el partido de General Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina (latitud 37°45' S, longitud 58°18' O; 144 m.s.n.m), desde abril de 2015 a febrero del 2016.

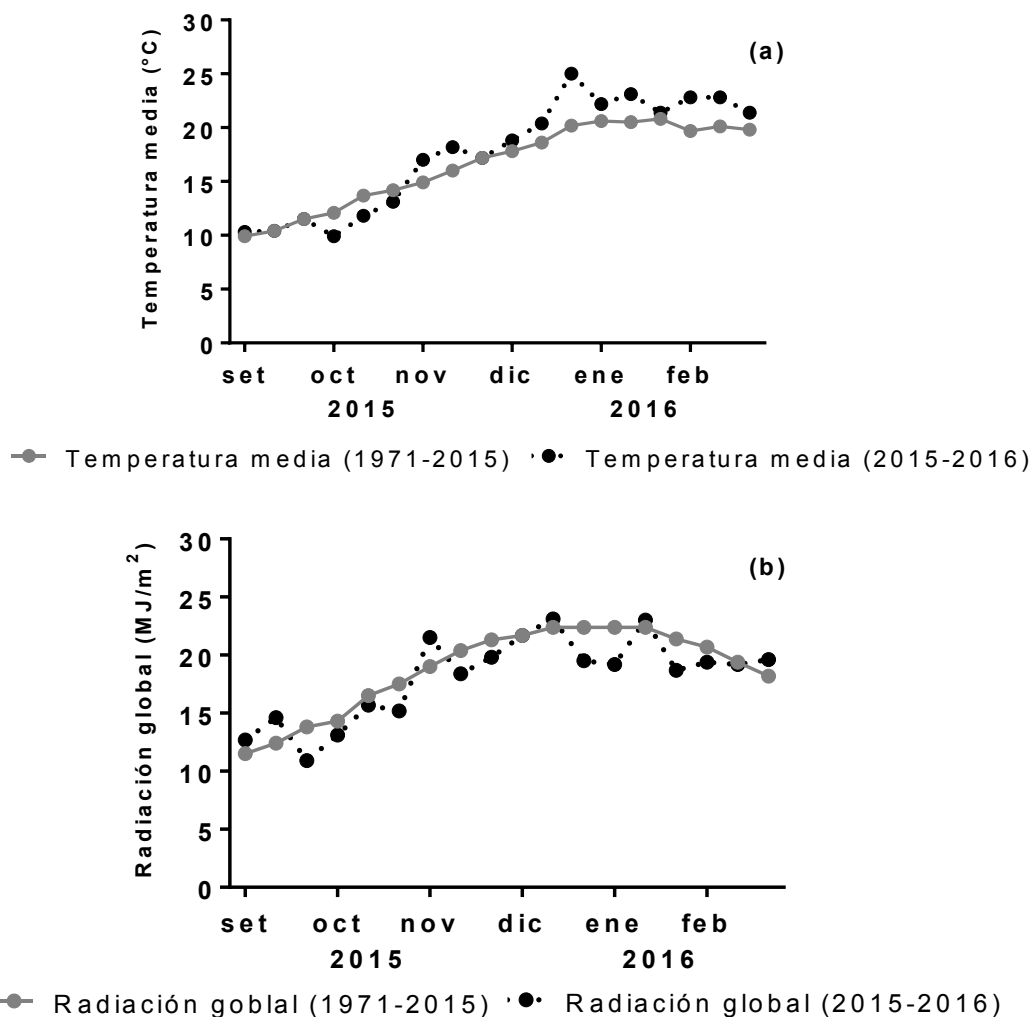
### 2.2. Caracterización del sitio experimental

El experimento se realizó sobre un suelo Argiudol típico de textura limosa mixta perteneciente a la consociación (MP3) que se compone en un 80% por la serie Mar del Plata y un 20% por la serie Balcarce. La serie Mar del Plata presenta una profundidad efectiva de 160 cm, mientras que la serie Balcarce se caracteriza por tener una profundidad efectiva moderadamente somera de 70 cm (INTA, 2018).

Para identificar la serie de suelo en la superficie destinada al ensayo, y previo a su instalación, se realizó un muestreo de profundidad de tosca con una varilla metálica graduada (pinche) arrojando valores de profundidad efectiva similares a la serie Balcarce. Paralelamente se realizó un muestreo de suelo en el estrato 0-20 cm de profundidad. Las muestras obtenidas se secaron en estufa a 65°C y se determinó % de materia orgánica (Walkley; Black, 1938), fósforo (Bray; Kurtz, 1945) y pH (relación suelo: agua 1:2,5). Los valores obtenidos fueron los siguientes: 5% de materia orgánica, 17,9 ppm fósforo de y un pH de 6,5.

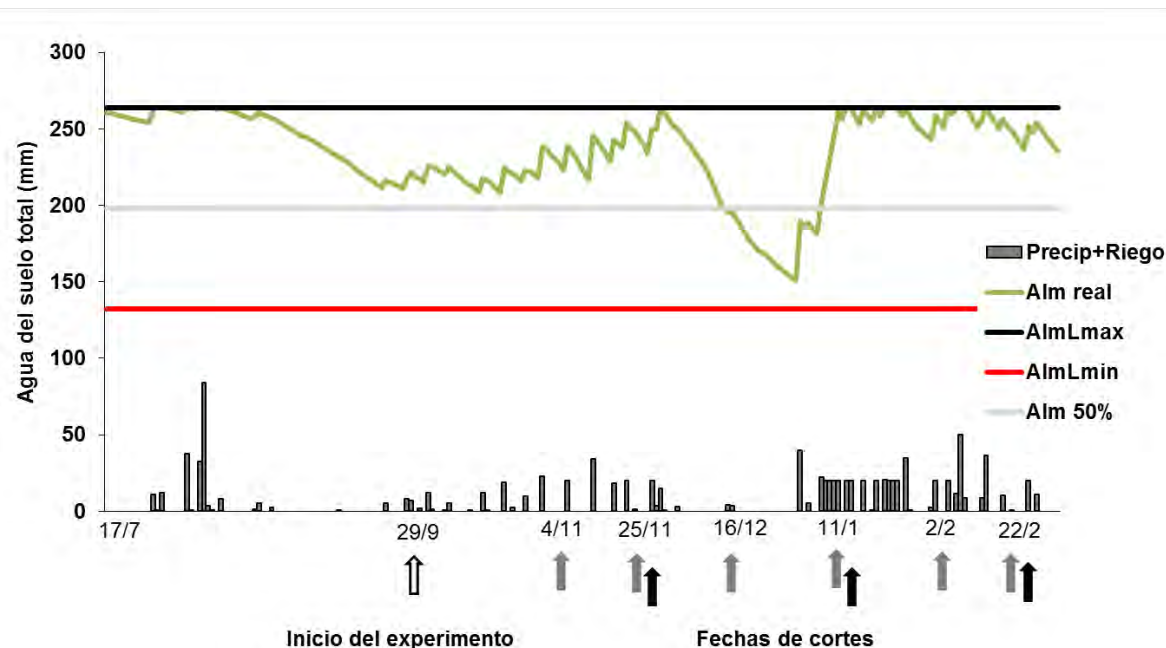
La información climática (1971-2015): temperatura máxima y mínima, radiación solar y evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) fue suministrada por el laboratorio de agrometeorología de la UIB. La temperatura media anual es de 14,5°C, con mínimas promedio de 7,8°C en el mes de julio y máximas promedio de 21,4°C en enero. La radiación solar global presenta variaciones a lo largo del año con valores medios de 18 y 7 MJ/m<sup>2</sup> para los meses estivales e invernales, respectivamente. La precipitación media anual histórica es de 917 mm concentrándose el 70% entre los meses de octubre y abril. La  $ET_0$  media es de 834 mm generando un déficit hídrico en los meses de verano producto de que la  $ET_0$  es marcadamente superior a las precipitaciones.

Durante el periodo experimental, los datos meteorológicos de temperatura media diaria (setiembre del 2015 a febrero 2016) fueron hasta diciembre, relativamente similares a los datos climáticos históricos, aunque desde diciembre hasta febrero, la temperatura media diaria fue superior (Figura 1a). Por su parte, la radiación incidente presentó el mismo patrón que la histórica y estuvo en el rango de 11 a 22 MJ/m<sup>2</sup> (Figura 1b).



**Figura 1.** (a) *Temperatura media diaria (°C)* y (b) *radiación global incidente diaria (MJ/m<sup>2</sup>)* registradas durante el ciclo de evaluación desde 29 setiembre de 2015 al 22 de febrero de 2016 (·●·) y valores históricos (—●—) para la serie 1971-2014 en la localidad de Balcarce (latitud 37°45' S, longitud 58°18' O; 144 m.s.n.m).

Para evitar déficits hídricos se utilizó riego por aspersión. La cantidad de agua aportada durante el período experimental fue de 1004 mm (584 mm por lluvias y 420 mm mediante riego). En el mes de diciembre se produjo una rotura del equipo de riego generando deficiencias hídricas en ese rebrote período de inicio de verano (Figura 2).



**Figura 2.** Agua del suelo total (mm). Capacidad de almacenaje de agua máxima (AlmLmax), mínimo (AlmLmin) y del 50% (Alm 50%) de un suelo Argiudol típico. Variación de agua en el suelo en la capa de 0 a 80 cm de profundidad: Almacenaje real (Alm real) y oferta hídrica: Precipitaciones + riego (barras grises) correspondiente al ciclo de evaluación (desde el 29 setiembre de 2015 al 22 de febrero de 2016) de un cultivar de alfalfa durante su primer año de vida. La flecha blanca indica el inicio del experimento (29/9). Cuando la línea verde (Alm real) se encuentra debajo de la línea gris (Alm 50%) el crecimiento de las plantas se encuentra limitado por la disponibilidad de agua. Flechas grises indican el momento de corte (4/11; 25/11; 16/12; 11/1; 2/2; 22/2) en parcelas cortadas cada 350 GDA. Las flechas negras indican el momento de corte (25/11; 11/1; 22/2) en parcelas cortadas cada 700 GDA.

### 2.3. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. A las parcelas principales se le asignaron cuatro arreglos de siembra y a las sub-parcelas dos frecuencias de corte (Figura 3). El tamaño de la parcela principal fue de 4 m<sup>2</sup> y el de la sub-parcelas de 2 m<sup>2</sup>.



**Figura 3.** *Imagen del experimento realizado con un diseño de bloques completos aleatorizados en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones.*

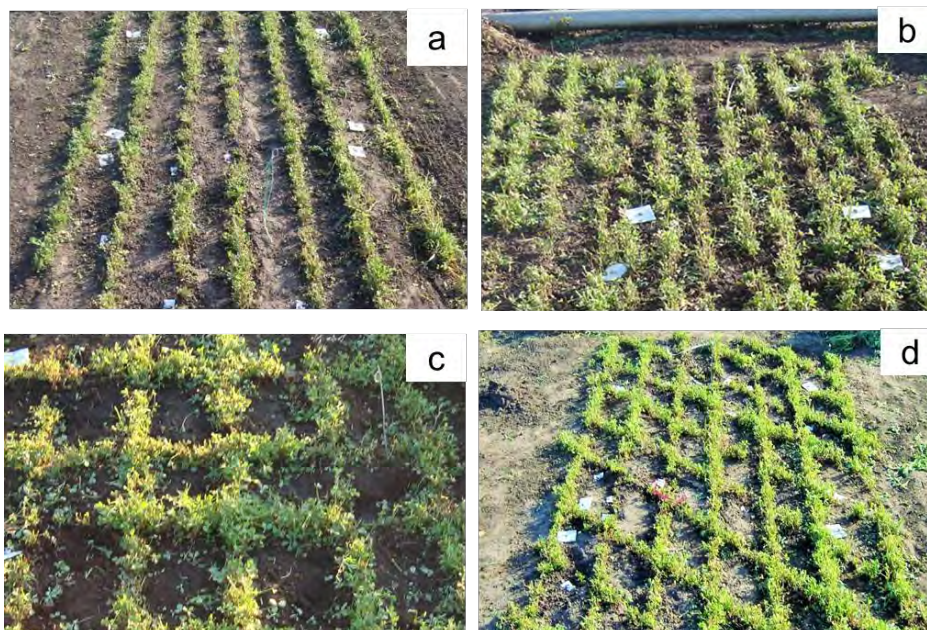
Los arreglos utilizados fueron:

a) Siembra en líneas paralelas a 20 cm (LP20, Figura 4a). Consistió en una sola pasada de sembradora experimental.

b) Siembra en líneas paralelas a 10 cm (LP10, Figura 4b). Consistió en una pasada de siembra con sembradora experimental y luego una pasada de sembradora tipo planet en líneas paralelas a las de la sembradora experimental.

c) Siembra en líneas cruzadas a  $90^\circ$  (C90, Figura 4c): consistió en dos pasadas de sembradora cruzadas con un ángulo de  $90^\circ$ . En cada pasada la distancia entre líneas fue de 20 cm. La primera pasada se realizó con sembradora experimental y la segunda con sembradora tipo planet.

d) Siembra en líneas cruzadas a  $45^\circ$  (C45, Figura 4d): consistió en dos pasadas de sembradora cruzadas con un ángulo de  $45^\circ$ . En cada pasada la distancia entre líneas fue de 20 cm. La primera pasada se realizó con sembradora experimental y la segunda con sembradora tipo planet.



**Figura 4.** Arreglos espaciales de siembra: (a) siembra en líneas paralelas a 20 cm (LP20); (b) siembra en líneas paralelas a 10 cm (LP10); (c) siembra en líneas cruzadas a 90° (C90); (d) siembra en líneas cruzadas a 45° (C45), para un cultivar de alfalfa sin reposo invernal.

a) Las frecuencias se establecieron en función al tiempo térmico (grados días de crecimiento acumulados, GDA) considerando una temperatura base de 5°C (Kalu y Fick, 1981). Los GDA se estimaron como la sumatoria de la diferencia entre la temperatura media diaria y la temperatura base. Siguiendo el paso diario real de las temperaturas se trataron de establecer dos frecuencias contrastantes: a) 350 GDA (F350) y b) 700 GDA (F700).

#### 2.4. Prácticas agronómicas.

Para la siembra se utilizó un cultivar de alfalfa sin reposo invernal (WL1058) con 95% de poder germinativo. Para todos los arreglos evaluados la densidad de siembra utilizada fue de 18 kg/ha. Para mantener similar densidad de siembra (18 kg/ha), en cada pasada del implemento de siembra en los tratamientos LP10, C90 y C45 se aplicaron 9 kg/ha de semilla.

El terreno destinado para el experimento se preparó mediante labranza convencional con dos labores de rastra de discos y una labor de rastra de dientes. La siembra se realizó el 4 de abril del 2015 y el 15 de junio de 2015 se ralearon las parcelas para llevar la densidad a un valor de 350 plantas/m<sup>2</sup>. Luego del raleo, la distancia entre plantas dentro de la línea fue de 2,9 cm para LP10, C90 y C45 mientras que fue de 1,4 cm para LP20. Si bien, en los arreglos cruzados la distancia entre plantas dentro de la línea es similar a la de LP10, en la zona de cruce la distancia

entre plantas que se genera fue similar o incluso superior a LP20. El 18/8 y 28/9/2015 se realizaron cortes, el primero fue de limpieza, debido a la presencia de malezas, y en el siguiente (a 5 cm de altura) dio inicio a la aplicación de los tratamientos de frecuencia.

Las malezas se removieron manualmente y para el control de plagas se aplicaron los insecticidas correspondientes. Para prevenir deficiencias nutricionales el ensayo se mantuvo fertilizado con fósforo y nitrógeno. El fósforo se aplicó en el momento de siembra y luego de cada corte a razón de 15 kg/ha bajo la forma de súper fosfato de calcio triple, mientras, que el aporte de nitrógeno se realizó luego de cada corte utilizando 150 kg/ha de nitrógeno como urea.

## 2.5. Determinaciones

### 2.5.1. Definición de tratamientos

El experimento transcurrió entre el 28/9/2015 al 22/2/2016. Debido a que, como fue mencionado previamente, se produjo una rotura del equipo de riego que generó deficiencias hídricas al inicio del verano (Figura 2), se decidió contemplar la evaluación de los tratamientos en tres períodos: primavera (sin déficit hídrico), inicio de verano (con déficit hídrico moderado) y pleno verano (sin déficit hídrico). Se realizaron 6 y 3 cortes cuando la pastura se cortó cada 350 y 700 GDA respectivamente, siendo las frecuencias establecidas reales  $350 \pm 55$  en F350 y  $700 \pm 50$  GDA en F700 (Tabla 1).

**Tabla 1.** *Periodo de evaluación, corte, fechas de corte y grados días acumulados (GDA, temperatura base = 5°C), efectivamente logrados en los tratamientos F350 (cortes cada 350 GDA) y F700 (cortes cada 700 GDA). El corte de emparejamiento se realizó el 29/11/15.*

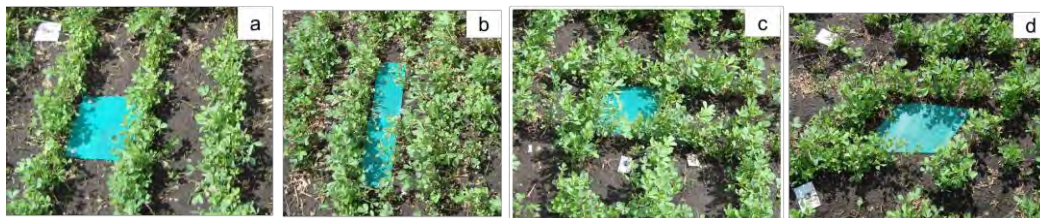
Periodo de evaluación	F350			F700		
	corte	fecha corte	GDA	corte	fecha corte	GDA
Primavera	1	4/11/15	370			
	2	25/11/15	285	1	25/11/15	655
Inicio de verano	3	16/12/15	309			
	4	11/1/16	343	2	11/1/16	764
Pleno verano	5	2/2/16	345			
	6	22/2/16	349	3	22/2/16	712
<b>Media</b>			<b>334</b>			<b>710</b>

### 2.5.2. Biomasa área total

La producción de forraje (PF) se determinó cosechando, en cada fecha de corte y unidad experimental, la biomasa aérea (BA). Los cortes se realizaron sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup> con tijeras manuales a una altura sobre de 5 cm sobre el nivel

del suelo. La BA se pesó y se extrajo una sub-muestra que fue colocada en estufa a 60°C durante 72 horas y se obtuvo el peso seco. Con estos valores se determinó el porcentaje de materia seca (%MS). La PF se calculó a partir del BA y el %MS. El mismo día del corte, se removió la biomasa del resto de la parcela utilizando una motosegadora mediante un corte también realizado a 5 cm de altura.

Para contabilizar el material senescente (hojas y tallos) desprendido, en cada una de las sub-parcelas, se colocó en los entresurcos, a ras del suelo, un marco de malla fina (0,4 m<sup>2</sup>) y dicho material se recolectó cada dos o tres días (Figura 5). Éste material senescente (Ms) fue también secado en estufa a 60°C durante 72 horas y se obtuvo el peso seco. El Ms fue llevado a 1 m<sup>2</sup> y fue sumado a la PF cosechada y se obtuvo para cada rebrote la producción de biomasa aérea seca total (BAT) expresada en gMS/m<sup>2</sup>.



**Figura 5.** Marcos de malla fina utilizados para coleccionar material senescente (hojas y tallos) en rebrotes de alfalfa durante su primer año de vida para cuatro arreglos de siembra: (a) líneas paralelas a 20 cm (LP20), (b) paralelas a 10 cm (LP10), (c) cruzadas a 90° (C90) y (d) cruzadas a 45° (C45) en parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA.

### 2.5.1. Radiación interceptada y eficiencia de uso de la radiación ponderada

Para estimar la  $fRFA_i$  entre arreglos el momento de medición se procedió a cuantificar la  $fRFA_i$  en tres momentos del día: cuando se acumuló el 25% (media mañana), el 50% (mediodía o cenit solar) y el 75% (media tarde) de la radiación incidente. Estos momentos fueron: 1) mañana (alrededor de las 10:15 h  $\pm$  15 min; 2) medio día o cenit solar (alrededor de las 12:53 h  $\pm$  15 min) y 3) tarde (alrededor de las 16:15 h  $\pm$  15 min), en los que, respectivamente, se acumula el 25, 50 y 75% de toda la radiación incidente que llega durante el día. Para completar la curva se consideró que al amanecer y al atardecer la  $fRFA_i$  es igual a 1, ya que en esos momentos del día, debido al ángulo de elevación solar, se intercepta el 100% de la radiación incidente.

Así, en días despejados y con una frecuencia semanal se midió la radiación fotosintéticamente incidente sobre y debajo del canopeo. Se utilizó una barra medidora del flujo de fotones de 50 cm de longitud (Cavadevices, Buenos Aires, Argentina). Las mediciones se realizaron colocando la barra en la parte superior de la canopia (1

medición por bloque) y a nivel del suelo en forma perpendicular a las hileras (2 mediciones por unidad experimental). La radiación fotosintéticamente activa incidente ( $RFA_{inc}$ ), expresada en  $MJ/m^2$  se calculó a partir de la radiación global total diaria registrada en casilla meteorológica multiplicada por 0,48 (Gosse *et al.*, 1986). La  $fRFA_i$  en cada momento del día se calculó como:

$$fRFA_i = 1 - \frac{I}{I_0}$$

Donde  $I$  es la  $RFA_{inc}$  medida a nivel del suelo y  $I_0$  es la  $RFA_{inc}$  medida en la superficie de la canopia.

Con la  $fRFA_i$  obtenida en los tres momentos del día más la del amanecer ( $fRFA_i = 1$ ) y el atardecer ( $fRFA_i = 1$ ) se obtuvo, por interpolación lineal, la  $fRFA_i$  para cada hora del día. Con estos valores horarios de  $fRFA_i$  y los valores de  $RFA_{inc}$  promedio para cada hora del día se estimó la  $RFA_{inc}$  interceptada ( $RFA_{int}$ ) para cada hora. Con estos valores se estimó la  $RFA_{int}$  acumulada durante el día de medición ( $RFA_{intac\ día}$ ). Así, mediante el cociente entre  $RFA_{intac\ día}$  y la  $RFA_{inc}$  se estimó la  $fRFA_i$  la cual llamaremos diaria ( $fRFA_{idiaría}$ ) que es un valor ponderado, ya que es una medida que considera la variación de la interceptación que hace la canopia durante el día y, también, la variación de la radiación solar incidente durante el día.

Los valores de  $fRFA_{idiaría}$  de los días entre mediciones se obtuvieron por interpolación lineal. La  $RFA$  interceptada acumulada ( $RFA_{intac}$ ,  $MJ/m^2$ ), en cada rebrote, se calculó a partir de la sumatoria de  $RFA_{inc}$  de cada día multiplicada por la  $fRFA_{idiaría}$  correspondiente. La eficiencia de uso de la radiación (EUR, g MS/MJ) en los cortes se estimó como el cociente entre la BAT ( $g/m^2$ ) y la  $RFA_{intac}$ .

Se estimó la subestimación de la captura de radiación por medir sólo una vez al mediodía respecto del método que contempló cinco momentos del día utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Subestimación (\%)} = (fRFA_i - fRFA_{idiaría}) / fRFA_{idiaría} \times 100$$

Donde  $fRFA_{idiaría}$  es la fracción de la radiación interceptada contemplando las mediciones realizadas en cinco momentos del día y  $fRFA_i$  es la fracción de la radiación medida una vez al mediodía.

Por otro lado, para analizar las diferencias en capacidad de captura en función del tiempo térmico (relación entre  $fRFA_i$  versus los GDA) entre los tratamientos evaluados se realizó el cociente entre la  $fRFA_i$  al momento del corte y los GDA en dicho momento.



### 2.5.2. Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) se determinó a través del producto entre la producción de forraje (PF), la proporción de hojas (pHOJAS) y el área foliar específica (AFE):

$$\text{IAF (m}^2 \text{ hoja/m}^2 \text{ suelo)} = \text{PF (gMS/m}^2\text{)} * \text{pHOJAS (gMShoja/gMS)} * \text{AFE (m}^2 \text{ hoja/gMS hoja)}$$

Al momento del corte, se tomó una sub – muestra de 10 tallos, se los separó en tallo (tallos más pecíolos) y hoja (láminas). El área foliar verde de hoja expresada en m<sup>2</sup> (AFV<sub>hoja</sub>) se determinó mediante un integrador de área foliar (LI-3100; LICOR, Lincoln, Nebraska, USA). Luego los tallos y las hojas se colocaron en estufa a 60°C durante 72 horas y se pesaron para obtener el peso seco de hojas (PS<sub>hoja</sub>) y tallos (PS<sub>tallo</sub>). El AFE se estimó como:

$$\text{AFE (m}^2 \text{ hoja/gMShoja)} = \text{AFV}_{\text{hoja}} \text{ (m}^2 \text{ hoja)} / \text{PS}_{\text{hoja}} \text{ (gMS hoja)}$$

La proporción de hoja pHOJA se obtuvo como:

$$\text{pHOJAS (gMShoja/gMS)} = \text{PS}_{\text{hoja}} / (\text{PS}_{\text{hoja}} + \text{PS}_{\text{tallo}})$$

## 2.6. Componentes del rendimiento

### 2.6.1. Número y peso de tallos

En cada corte se estimó la densidad de tallos, sin diferenciar si provenían de las yemas de corona y axilares. Para ello, se extrajo de cada unidad experimental una muestra de biomasa de una superficie de 400 cm<sup>2</sup>, se contó el número de tallos y se estimó la densidad expresada como tallos/m<sup>2</sup>. Cabe aclarar que los muestreos realizados en los arreglos cruzados (C90 y C45), se realizaron teniendo en cuenta la zona de cruce de las líneas de siembra. El peso promedio por tallo expresado como gMS/tallo surge del cociente entre la biomasa área seca (gMS/m<sup>2</sup>) y la densidad de tallos (tallos/m<sup>2</sup>).

### 2.6.2. Número de nudos por tallo

En el momento del corte se determinó el número de nudos por tallo, sobre una muestra de 20 tallos por unidad experimental; para ello, se contaron la cantidad de nudos desde la base del tallo hasta el extremo superior del mismo.

## 2.7. Densidad de plantas y biomasa perenne

Para estimar el número de plantas/m<sup>2</sup> (número de raíces/m<sup>2</sup>) y la biomasa perenne (raíz más corona) después del último corte (22/2/2016) se realizó, en cada unidad experimental, un muestreo destructivo en una superficie aproximada de 600 cm<sup>2</sup> y hasta una profundidad de 20 cm. En los arreglos cruzados (C90 y C45) se consideraron las zonas de cruce de las líneas de siembra. Las coronas y raíces fueron lavadas y colocadas en estufa a 65°C por 96 horas y se obtuvo el peso seco. Todos los valores se estandarizaron a una misma unidad de superficie (1 m<sup>2</sup>).

## 2.8. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa RStudio v3.3.0 (RStudio Inc). Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con arreglo en parcelas divididas, utilizando modelos lineales mixtos (paquete nlme). Como efectos fijos se incluyó al bloque, el arreglo, la frecuencia y la interacción entre estas últimas dos variables. Para las variables en las cuales también se realizó la comparación entre períodos, se realizó un análisis similar, pero incluyéndose como efectos fijos al bloque, el arreglo, la frecuencia, el período y la interacción entre los últimos tres efectos, incluyendo en el modelo una estructura de correlación por ser mediciones repetidas en el tiempo.

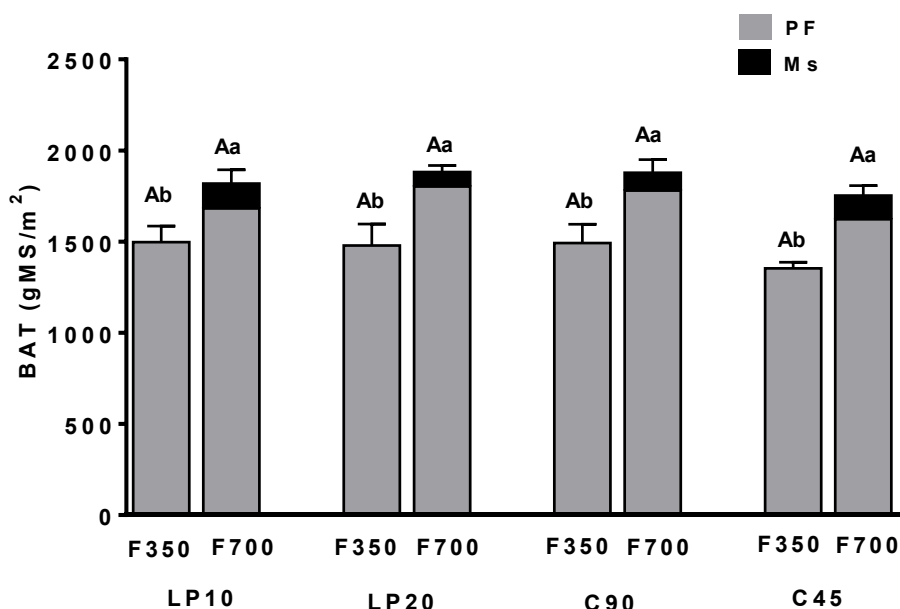
La evaluación de cada frecuencia por separado se efectuó mediante el análisis se realizaron para un diseño en bloques completos aleatorizados con mediciones repetidas en el tiempo. Se emplearon modelos lineales generales (paquete nlme) incluyendo como efectos fijos al bloque, el arreglo, el período y para la interacción entre los últimos dos efectos se asumió una estructura de correlación por ser mediciones repetidas en el tiempo.

Las comparaciones múltiples *post hoc* fueron ajustadas, en el caso de ser necesario, mediante el método HSD de Tukey. Las estructuras de correlación fueron seleccionadas en base al criterio de información de Akaike. La simetría y homocedasticidad de los residuales fue evaluada mediante métodos gráficos, modelándose la heterogeneidad de varianza cuando fue necesario. Se fijó un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

### 3. RESULTADOS

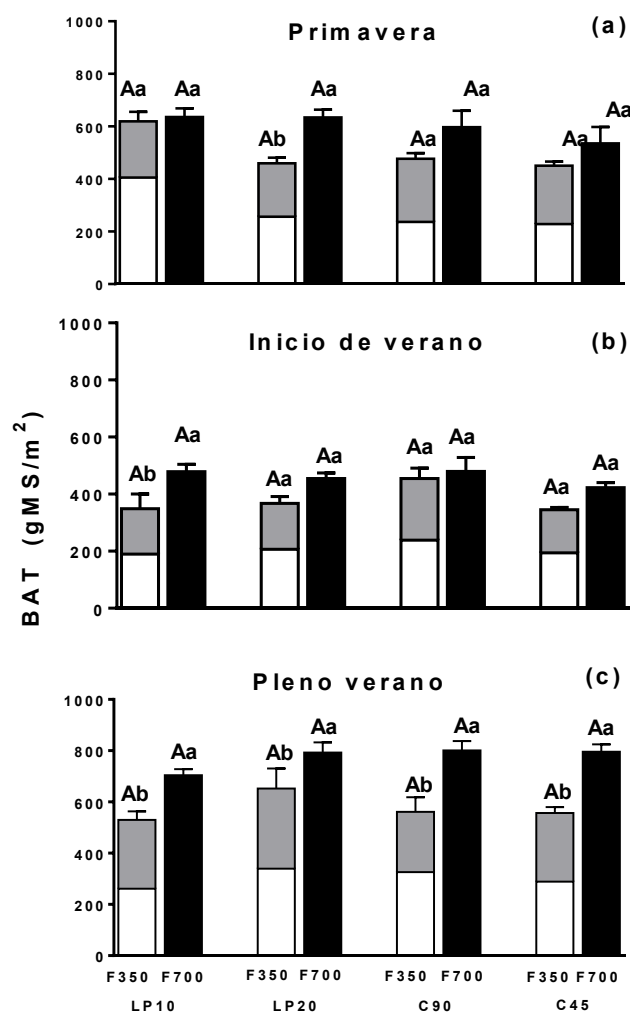
#### 3.1. Biomasa aérea total

No se detectó interacción arreglo\*frecuencia ( $p=0,94$ ) sobre la biomasa aérea total siendo los valores similares entre los arreglos ( $p=0,33$ ) pero diferentes entre frecuencias ( $p<0,0001$ ). La pastura cortada cada 350 GDA generó un 25% menos de biomasa aérea que la pastura cortada cada 700 GDA (Figura 6). Es importante mencionar que mientras en F350 no se detectó material senescente desprendido, dicha fracción representó un 8% de la biomasa aérea producida por F700 (Figura 6). Esto implica que si sólo se considerara la biomasa cosechada, y se desprecia el material muerto desprendido de las plantas la diferencia entre frecuencias, previamente mencionada, se reduce de 25 a 17% siendo aun significativamente diferentes ( $p=0,0004$ ).



**Figura 6.** Biomasa aérea total (BAT, gMS/m<sup>2</sup>) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA. La parte gris de la barra corresponde a la producción de forraje (PF) y la parte negra a material senescente (Ms) recolectado del suelo. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p<0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p<0,05$ ).

Las interacción periodo\*arreglo\*frecuencia ( $p=0,09$ ) y arreglo\*frecuencia ( $p=0,91$ ) fueron no significativas (Figura 7). Por el contrario, se detectó efecto para las interacciones periodo\*arreglo ( $p=0,0042$ ) y periodo\*frecuencia ( $p=0,0049$ ) (Figura 7).



**Figura 7.** Biomasa área total (BAT, gMS/m<sup>2</sup>) por periodo de crecimiento de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzada a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras blancas y barras grises representan la sumatoria de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras, representan el único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. En F350 la barra blanca representa el primer corte de cada período y la barra gris el segundo corte de cada período. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media para el total acumulado por período y por tratamiento. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ).

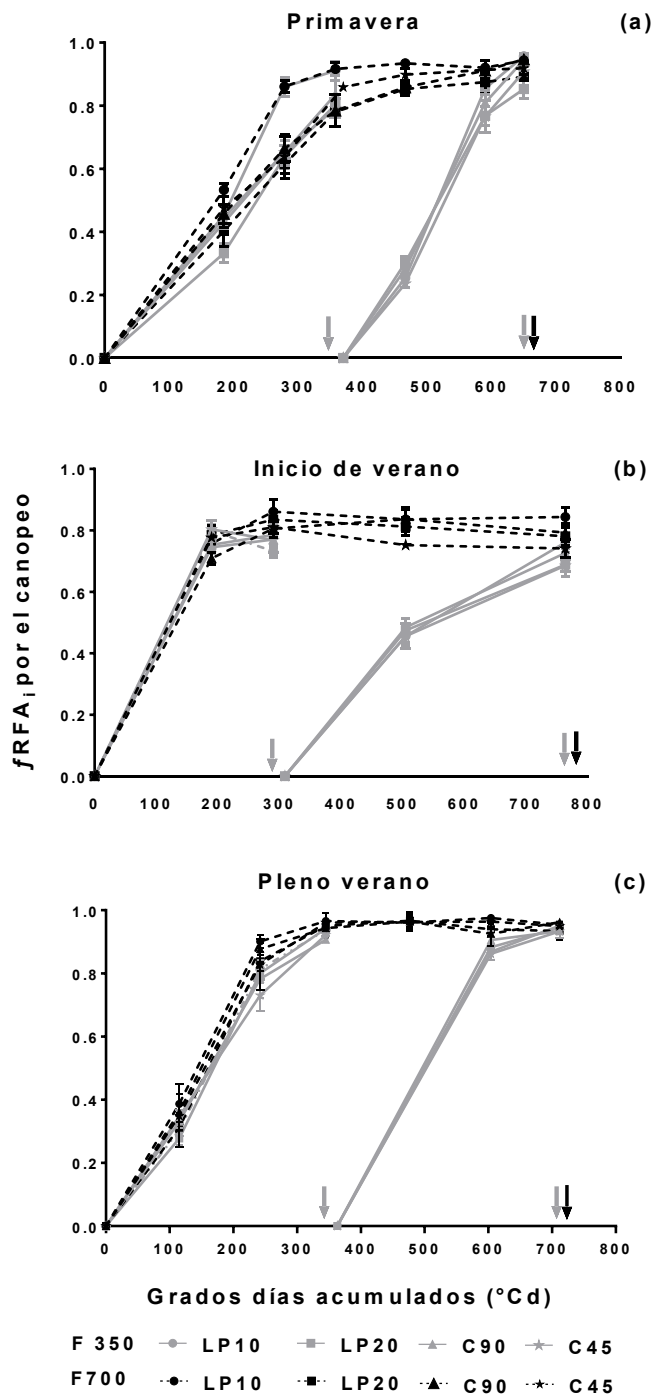
A partir del análisis de la interacción periodo\*arreglo sobre la biomasa aérea total se encontró que en primavera, LP10 produjo más forraje que el resto de los arreglos evaluados, en particular, en el primer corte primaveral de F350 (Figura 7a).

En verano y pleno verano las diferencias entre arreglos desaparecen (Figuras 7b y c). A su vez, la interacción periodo\*frecuencia se debió a que, si bien en todo momento F350700 produjo menos forraje que F700, la magnitud de la diferencia fue mayor en pleno verano (Figura 7c).

### **3.2. Intercepción de la radiación**

La relación entre la  $fRFA_i$  y el tiempo térmico presentó una pendiente acentuada alcanzar valores de 0,80-0,85. Estos valores según el período evaluado, se observaron alrededor de los 200-350 GDA (Figura 8). A partir de dicho momento la pendiente de dicha relación se redujo de manera notable (Figura 8).

El comportamiento previamente mencionado fue similar entre arreglos, salvo al inicio de la primavera (es decir entre 0 y 350 GDA Figura 8a) donde en ambas frecuencias, LP10 mostró mayores ( $p=0,03$ ) valores de  $fRFA_i$  que los demás arreglos. Durante el resto del experimento, la  $fRFA_i$  fue similar ( $p=0,30$ ) entre arreglos en las dos frecuencias evaluadas (Figuras 8a, b y c).



**Figura 8.** Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada ( $fRFA_i$ ) por el canopeo por periodo de crecimiento de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a  $90^{\circ}$  (C90), cruzadas a  $45^{\circ}$  (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, líneas continuas grises) y cada 700 GDA (F700, líneas punteadas negras). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las flechas verticales grises (F350) y negras (F700) indican el momento de corte. Las líneas son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media por momento de medición y por tratamiento.

En primavera, al momento del corte, el cociente entre  $fRFA_i$  y GDA fue similar ( $p=0,51$ ) entre frecuencias de corte, mostrando LP10 un valor más alto ( $p=0,02$ ) que el resto de los arreglos (Tabla 2). Por su parte, durante inicio de verano y pleno verano, el cociente fue similar entre arreglos ( $p>0,05$ ) y aunque se registró una diferencia entre frecuencias a favor de F700 respecto de F350 a inicio de verano y pleno verano ( $p<0,05$ ), las mismas fueron de escasa significancia en términos absolutos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Cociente entre la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada ( $fRFA_i$ ) por el canopeo y grados días acumulados (GDA) al momento del corte y por periodo de crecimiento (primavera, verano y fin de verano) en un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y dos frecuencias de corte: cada 350 GDA (F350) y cada 700 GDA (F700). Para ambas frecuencias comparar los cortes 1,3 y 5 que coinciden con un rebrote de F350 y la primera etapa del rebrote en F700 (valores en negrita).

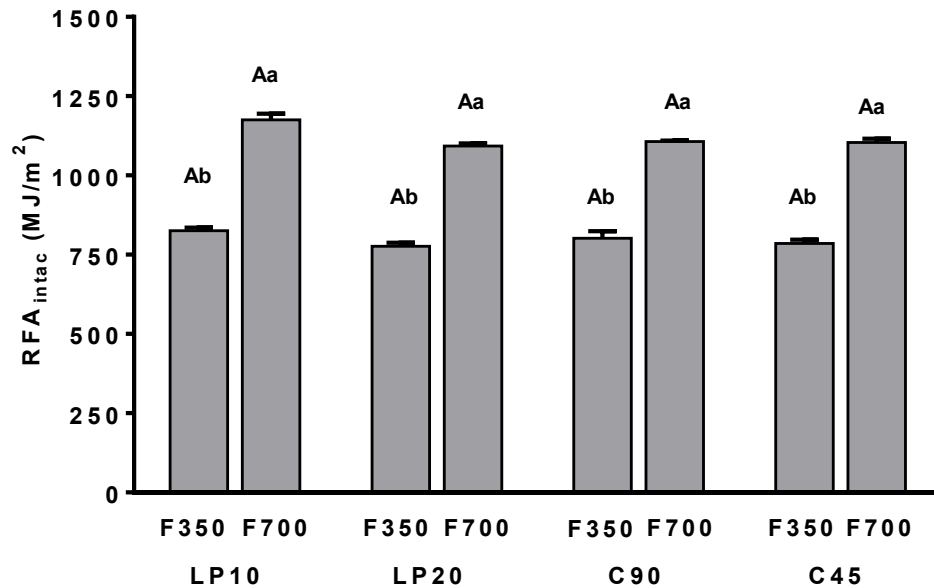
		Periodo de evaluación					
		Primavera		Inicio de verano		Pleno verano	
Frecuencia	Arreglo	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Corte 6
F350	LP10	<b>0,0025</b>	0,0033	<b>0,0024</b>	0,0022	<b>0,0027</b>	0,0027
	LP20	<b>0,0022</b>	0,0029	<b>0,0025</b>	0,0020	<b>0,0027</b>	0,0027
	C90	<b>0,0023</b>	0,0033	<b>0,0025</b>	0,0021	<b>0,0026</b>	0,0027
	C45	<b>0,0021</b>	0,0032	<b>0,0025</b>	0,0020	<b>0,0027</b>	0,0027
F700	LP10	<b>0,0025</b>		<b>0,0028</b>		<b>0,0028</b>	
	LP20	<b>0,0021</b>		<b>0,0027</b>		<b>0,0028</b>	
	C90	<b>0,0021</b>		<b>0,0026</b>		<b>0,0027</b>	
	C45	<b>0,0022</b>		<b>0,0026</b>		<b>0,0028</b>	
Promedios	LP10	<b>0,0025</b>	a	<b>0,0026</b>	a	<b>0,0028</b>	a
	LP20	<b>0,0021</b>	b	<b>0,0026</b>	a	<b>0,0027</b>	a
	C90	<b>0,0022</b>	b	<b>0,0026</b>	a	<b>0,0027</b>	a
	C45	<b>0,0022</b>	b	<b>0,0026</b>	a	<b>0,0027</b>	a
	F350	<b>0,0022</b>	A	<b>0,0025</b>	B	<b>0,0027</b>	B
	F700	<b>0,0022</b>	A	<b>0,0027</b>	A	<b>0,0028</b>	A
FV		ANOVA					
Arreglo*frecuencia	ns <sup>#</sup>			ns		ns	
Frecuencia	ns			s		s	
Arreglo	s <sup>*</sup>			ns		ns	

Letras minúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre arreglos ( $p<0,05$ ). Letras mayúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre frecuencias ( $p<0,05$ ). <sup>#</sup>(ns) no significativo; <sup>\*</sup>(s) significativo.

### 3.3. Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada

La radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $RFA_{intac}$ ) durante el período de evaluación se presenta en la Figura 9. Se encontró efecto de los arreglos, presentando LP10 un 6% más ( $p=0,002$ )  $RFA_{intac}$  que LP20, C90 y C45.

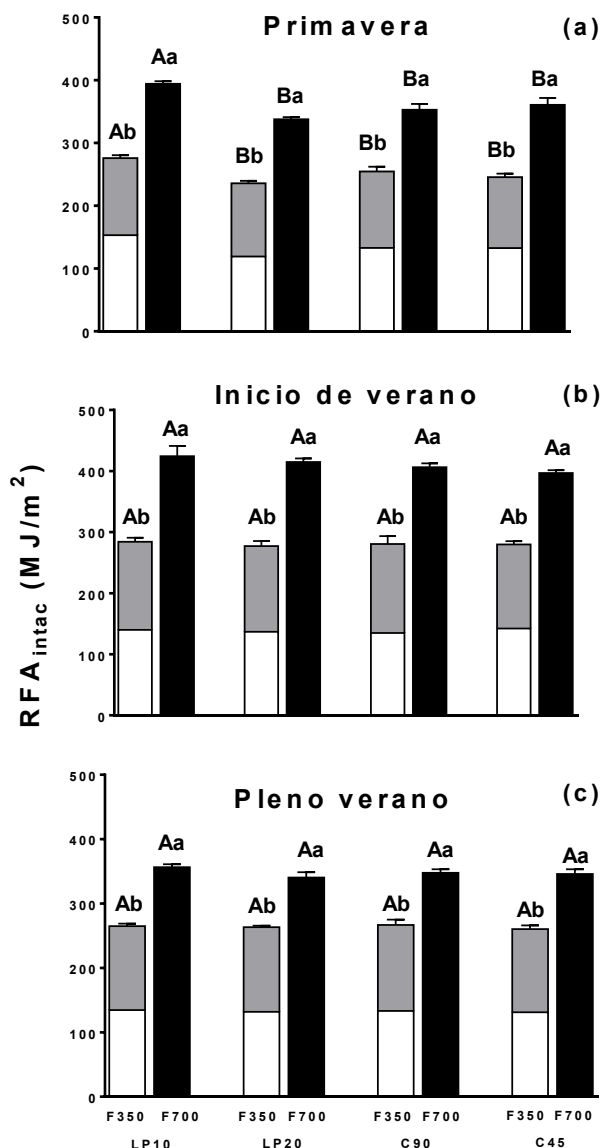
También, se halló efecto ( $p < 0,0001$ ) de la frecuencia ya que F350 mostro un 28% menos de  $RFA_{intac}$  que F700 (Figura 9).



**Figura 9.** Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $RFA_{intac}$ ,  $MJ/m^2$ ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ).

Las interacciones período\*arreglo\*frecuencia ( $p=0,81$ ) y arreglo\*frecuencia fueron no significativas ( $p=0,28$ ) (Figura 10). Se registró interacción período\*arreglo ( $p=0,001$ ) ya que, en primavera, LP10 interceptó más radiación que el resto de los arreglos evaluados. La interacción período\*frecuencia también fue significativa ( $p < 0,0001$ ). Si bien en todo momento las plantas cortadas cada 350 GDA interceptaron menos radiación que las cortadas cada 700 GDA, la magnitud de la diferencia se acentuó a inicios de verano.

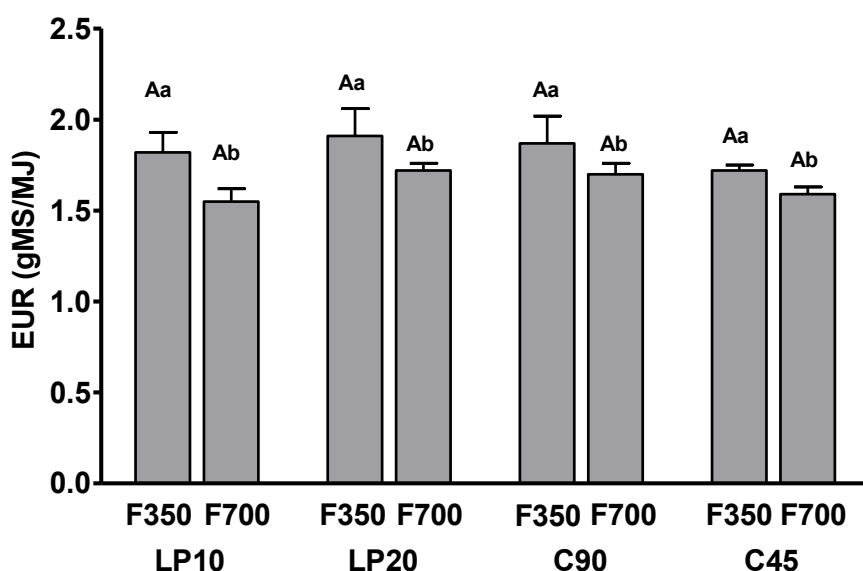




**Figura 10.** Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $RFA_{intac}$ ,  $MJ/m^2$ ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras blancas y barras grises representan la sumatoria de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras, representa un solo corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. En F350 la barra blanca representa el primer corte de cada período y la barra gris el segundo corte de cada período. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media para el total acumulado por período y por tratamiento. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ).

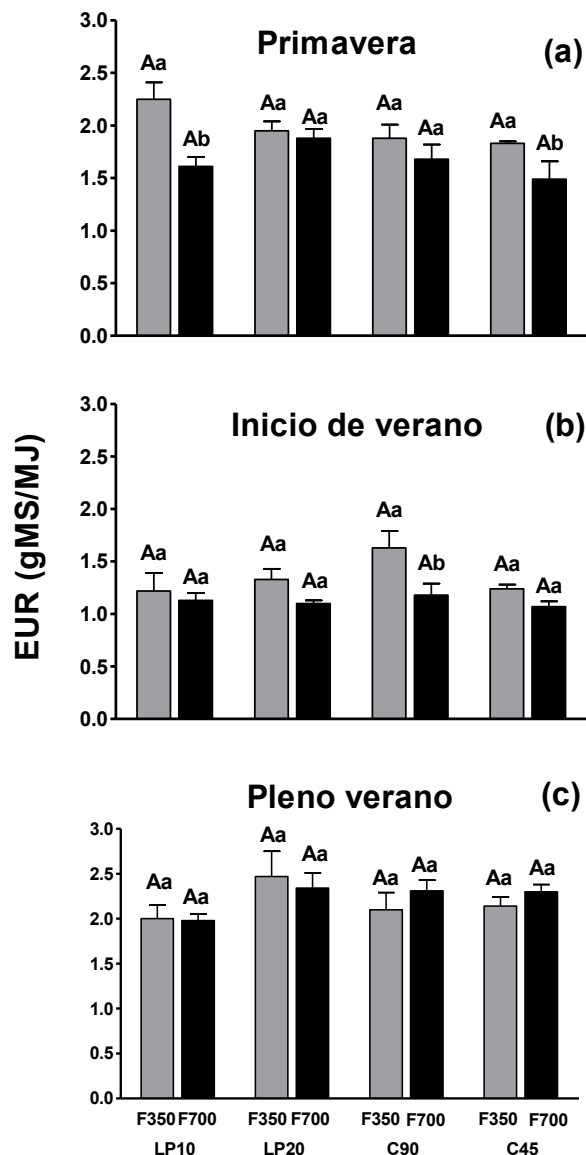
### 3.4. Eficiencia de uso de la radiación

La eficiencia de uso de la radiación (EUR) de todo el período evaluado la interacción arreglo\*frecuencia fue no significativa ( $p=0,89$ ). La EUR fue similar entre arreglos ( $p=0,29$ ) y las plantas cortadas cada 350 GDA presentaron una EUR un 10% mayor ( $p=0,01$ ) que las cortadas cada 700 GDA (Figuras 11).



**Figura 11.** Eficiencia de uso de la radiación (EUR, gMS/MJ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p<0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p<0,05$ ).

Las interacciones entre período\*arreglo\*frecuencia ( $p=0,18$ ); arreglo\*frecuencia ( $p=0,79$ ), período\*arreglo ( $p=0,18$ ) y período\*frecuencia ( $p=0,10$ ) sobre la EUR fueron no significativas (Figura 12). El efecto de los arreglos sobre la EUR fue no significativo ( $p=0,59$ ) y se detectó efecto de la frecuencia ( $p=0,001$ ) a favor de, F350. Por otro lado en pleno verano los valores de la EUR fueron mayores al de los demás periodos ( $p=0,001$ ) (Figura 12).



**Figura 12.** Eficiencia de uso de la radiación (EUR, gMS/MJ) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras grises corresponde al promedio de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras corresponde al promedio de un único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. En el caso F350 (barras grises) es el promedio de dos cortes (Primavera: cortes 1 y 2; Inicio de verano: cortes 3 y 4; Pleno verano: cortes 5 y 6). Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ).

Por otro lado, en la Figura 12 se observa que en primavera LP10-F350 presenta en valor absoluto, un valor más alto de EUR. Así, cuando se analizó cada frecuencia por separado (Tabla 3) se observó que en F350 el primer corte de primavera de LP10, presentó un valor numérico superior al resto de los arreglos y estadísticamente fue similar a LP20 y diferente a C90 y C45 ( $p=0,002$ ). Estas diferencias desaparecen en el resto del periodo de evaluación (Tabla 3)

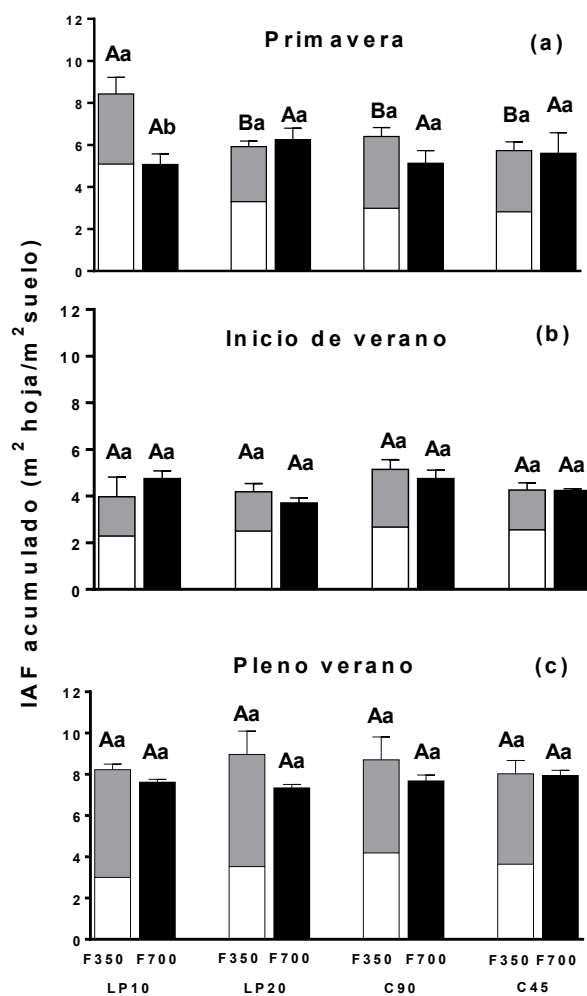
**Tabla 3.** Eficiencia de uso de la radiación (EUR, gMS/MJ) por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal cortada cada 350 GDA (F350), durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45).

Frecuencia	Arreglo	Primavera		Inicio de verano		Pleno verano	
		Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Corte 6
F350	LP10	2,65 a	1,74 a	1,35 a	1,09 a	1,96 a	2,05 a
	LP20	2,15 ab	1,75 a	1,52 a	1,15 a	2,56 a	2,37 a
	C90	1,78 b	1,98 a	1,77 a	1,50 a	2,42 a	1,77 a
	C45	1,72 b	1,97 a	1,37 a	1,10 a	2,19 a	2,08 b

Letras minúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre arreglos ( $p<0,05$ ).

### 3.1. Índice de área foliar acumulado

La interacción periodo\*arreglo\*frecuencia sobre el IAF acumulado, fue significativa ( $p=0,03$ ) (Figura 13), ya que en primavera LP10-F350 presentó un valor de IAF acumulado superior que LP10-F700; mientras que para este mismo periodo, en el resto de los arreglos evaluados el valor IAF acumulado entre frecuencias fue similar (Figura 13 a). La diferencia registrada en IAF durante la primavera en LP10-F350 se debió a que en el primer corte de este periodo LP10 presentó un IAF superior al resto de los arreglos evaluados (Tabla 3, Apéndice). Por otro lado, a inicio de verano (Figura 13 b) y pleno verano (Figura 13 c) los valores de IAF entre arreglos y frecuencias fueron similares.



**Figura 13.** Índice de área foliar (IAF,  $m^2 \text{ hoja}/m^2 \text{ suelo}$ ) acumulado de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a  $90^\circ$  (C90), cruzadas a  $45^\circ$  (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras blancas y barras grises representan la sumatoria de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras, representa un solo corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. En F350 la barra blanca representa el primer corte de cada período y la barra gris el segundo corte de cada período. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media para el total acumulado por período y por tratamiento. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ).

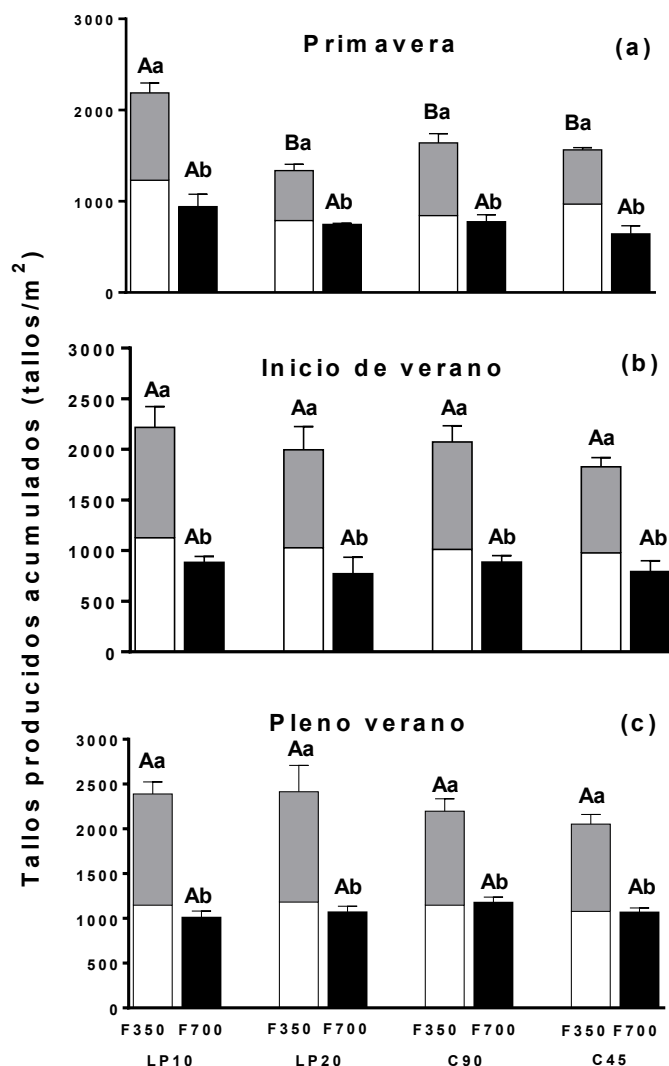
## **3.2. Componentes del rendimiento**

### **3.2.1. Tallos producidos acumulados y peso de tallos promedio por periodo**

La cantidad de tallos producidos acumulados no presentó interacción periodo\*arreglo\*frecuencia ( $p=0,62$ ), periodo\*arreglo ( $p=0,30$ ) y periodo\*frecuencia ( $p=0,11$ ) (Figura 14).

La interacción arreglo\*frecuencia mostró una tendencia a ser significativa ( $p=0,06$ ). En F350 el arreglo LP10 mostró una tendencia a presentar mayor densidad de tallos producidos acumulados que LP20, mientras que en C90 y C45 presentó valores intermedios. En F700 la cantidad de tallos producidos acumulados fue similar entre arreglos y fue 2,2 veces superior en F350 que en F700 (Figura 14).

Es de hacer notar que la cantidad de tallos producidos acumulados de los arreglos LP20, C45 y C90 fueron aumentando con el transcurrir de los periodos, mientras que la densidad de LP10 se mantuvo constante a través del tiempo (Figuras 14b y c).



**Figura 14.** Tallos producidos acumulados (tallos/m<sup>2</sup>) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras grises corresponde al promedio de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras corresponde al promedio de un único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ).

En la Tabla 4 se puede observar que si bien LP10-350 mostró en el primer rebrote de primavera un mayor número de tallos respecto del resto de los arreglos, no se observaron en el número de hojas/tallo, ni en el área/hoja individual.

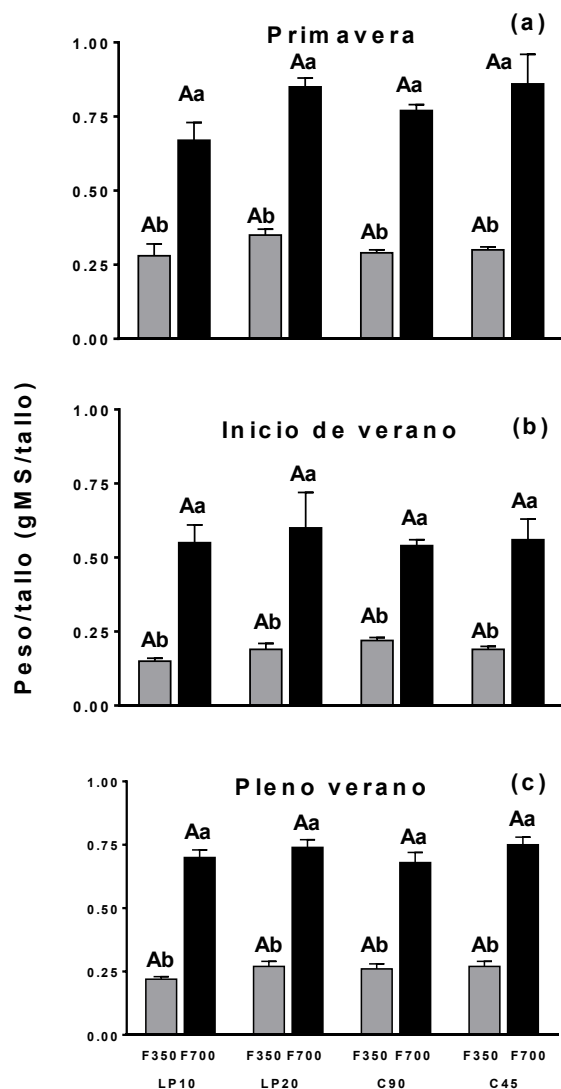
**Tabla 4.** Tallos/m<sup>2</sup>, hojas/tallo y área/hoja de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) para primer corte de primavera temprana en parcelas cortadas cada 350 GDA.

Arreglos	tallos/m <sup>2</sup>	hojas/tallo	área/hoja (m <sup>2</sup> )
<b>LP10</b>	1230 a	9,45 a	0,00044 a
<b>LP20</b>	790 b	9,20 a	0,00045 a
<b>C90</b>	843 b	9,25 a	0,00038 a
<b>C45</b>	969 ab	9,25 a	0,00032 a

Letras minúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre arreglos ( $p < 0,05$ ).

En el peso de tallos promedio las interacciones periodo\*arreglo\*frecuencia ( $p=0,66$ ), arreglo\*frecuencia ( $p=0,18$ ) y periodo\*arreglo ( $p=0,23$ ) fueron no significativas (Figura 14). Entre arreglos el peso fue relativamente similar, mientras que entre frecuencias F350 mostró tallos 3 veces más livianos que F700 (Figura 14). La interacción periodo\*frecuencia fue significativa ( $p=0,02$ ). En F350 el peso por tallo fue mayor en primavera y menor en pleno verano, mientras que a inicio de verano, el peso por tallo, fue intermedio. Por otro lado, en F700 el peso por tallo fue menor a inicio de verano y similar en primavera y pleno verano (Figura 14).





**Figura 15.** *Peso de tallo (gMS/tallo) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras grises corresponde al promedio de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras corresponde al promedio de un único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. En el caso F350 (barras grises) es el promedio de dos cortes (Primavera: cortes 1 y 2; Inicio de verano: cortes 3 y 4; Pleno verano: cortes 5 y 6). Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ).*

Quando se analiza cada frecuencia por separado, se observó que en el primer y segundo corte de F350 hubo diferencias entre el peso de los tallos y conforme avanzó el periodo de evaluación estas diferencias desaparecieron (Figura 1a,

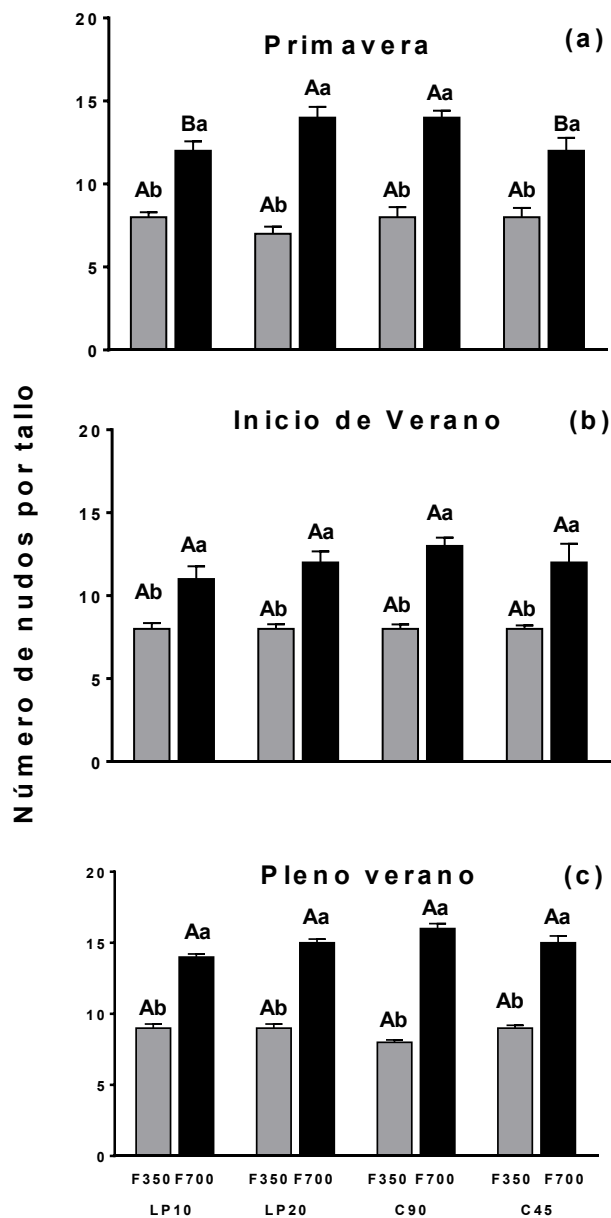
Apéndice). Así en el primer corte LP10 junto con LP20 presentaron tallos más pesados que C45, mientras que C90 presentó valores intermedios a los demás arreglos. En el segundo corte el peso de los tallos de LP10 fue menor a LP20 y C45 e intermedio en C90 (Figura Ia, Apéndice). Por otro lado, en F700 el peso por tallos entre arreglos fue similar (Figura IIa, Apéndice).

### 3.2.2. Número de nudos por tallo

No se detectó interacción periodo\*arreglo\*frecuencia ( $p=0,49$ ), ni periodo\*arreglo ( $p=0,92$ ) sobre el número de nudos (Figura 16).

La interacción arreglo\*frecuencia sobre el número nudos fue significativa ( $p=0,005$ ). Cuando la pastura se cortó cada 350 GDA el número nudos fue similar (8 hojas) para todos los arreglos. Mientras que, cuando se cortó cada 700 GDA la cantidad de nudos fue de 12 en LP10, 13 en C45 y 14 en LP20 y C90.

La interacción periodo\*frecuencia también fue significativa ( $p=0,0001$ ). En todos los periodos evaluados F350 presentó menor número de nudos que F700. Sin embargo, la magnitud de esa diferencia fue mayor en primavera y pleno verano que en inicio de verano (Tabla 16).



**Figura 16.** Número nudos por tallo de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA (F350, barras grises corresponde al promedio de dos cortes consecutivos) y cada 700 GDA (F700, barras negras corresponde al promedio de un único corte). (a) Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; (b) Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; (c) Pleno verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales son valores promedios  $\pm$  el error estándar de la media. En el caso F350 (barras grises) es el promedio de dos cortes (Primavera: cortes 1 y 2; Inicio de verano: cortes 3 y 4; Pleno verano: cortes 5 y 6). Letras mayúsculas distintas denotan diferencias significativas entre los distintos arreglos de siembra para cada frecuencia de corte ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre frecuencia de corte para cada arreglo de siembra ( $p < 0,05$ ).

### 3.3. Densidad de plantas y biomasa de raíces

No hubo interacción arreglos\*frecuencia ( $p=0,88$ ) sobre la densidad de plantas (Tabla 4) evaluada al finalizar el periodo de evaluación (22/2/2016).

Por su parte, LP10 mostró mayor ( $p=0,03$ ) densidad de plantas que C90 y C45, mientras que LP20 presentó, en relación con los demás arreglos, valores intermedios (Tabla 3). Por otro lado, el efecto de las frecuencias sobre la densidad de plantas fue no significativo ( $p=0,92$ ) (Tabla 4).

**Tabla 5.** Número de plantas (plantas/m<sup>2</sup>) al finalizar el período de evaluación (22/02/2016) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y cada 700 GDA.

Frecuencia	Arreglos de siembra				Media
	LP10	LP20	C90	C45	
<b>F350</b>	275	253	218	209	<b>239 A</b>
<b>F700</b>	287	241	214	218	<b>240 A</b>
<b>Media</b>	<b>281 a</b>	<b>247 ab</b>	<b>216 b</b>	<b>214 b</b>	

Letras mayúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre frecuencias ( $p<0,05$ ).  
Letras minúsculas distintas en sentido horizontal denotan diferencias significativas entre arreglos ( $p<0,05$ ).

Se detectó interacción arreglo\*frecuencia ( $p=0,02$ ) para la biomasa perenne (i.e. corona más raíz). La biomasa perenne en las plantas cortadas cada 350 GDA fue similar entre arreglos, mientras que, cuando las plantas se cortaron cada 700 GDA el arreglo LP10 mostro mayor biomasa perenne que C90, siendo intermedios los valores de LP20 y C45 (Tabla 5). En todos los arreglos, la biomasa perenne fue menor en F350 que en F700 (Tabla 5).

**Tabla 6.** Biomasa perenne (corona más raíz, g/m<sup>2</sup>) al finalizar el período de evaluación (22/02/2016) de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas cortadas cada 350 GDA y cada 700 GDA.

Frecuencia	Arreglos de siembra				Media
	LP10	LP20	C90	C45	
<b>F350</b>	<b>187Ba</b>	<b>171Ba</b>	<b>157Ba</b>	<b>149 Ba</b>	166
<b>F700</b>	<b>499Aa</b>	<b>406 Aab</b>	<b>336 Ab</b>	<b>365 Aab</b>	389
<b>Media</b>	343	289	247	257	

Letras mayúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre frecuencias ( $p<0,05$ ).  
Letras minúsculas distintas en sentido horizontal denotan diferencias significativas entre arreglos ( $p<0,05$ ).

#### 4. DISCUSION

La producción de biomasa total del periodo de evaluación fue similar entre arreglos de siembra, y diferente entre frecuencias de corte, sin encontrarse interacción entre ambos tratamientos.

Respecto a los arreglos de siembra, se observó un efecto significativo al inicio de la primavera, el cual desapareció con el transcurrir del período experimental, mientras que el efecto de la frecuencia se mantuvo durante todo el período.

La discusión se dividirá en cuatro secciones. En la primera, se aborda el efecto arreglos de siembra haciendo especial énfasis en lo sucedido en el primer rebrote de primavera. En la segunda sección, se discute el efecto de la frecuencia de corte. En la tercera se discutirá la importancia de algunos aspectos metodológicos para la cuantificación de la biomasa producida, la radiación capturada y la estimación de eficiencia de uso de la radiación. Finalmente, en la cuarta se analizan algunas implicancias agronómicas.

##### 4.1. Arreglos de siembra

Como se mencionó previamente, se detectó efecto del arreglo durante el primer rebrote de primavera temprana (*i.e.* es el primer rebrote de F350, que transcurrió del 29/9/2015 al 4/11/2015). En dicho rebrote, con rangos de temperatura media diaria de entre 10 - 15°C (Figura 1a) consideradas sub-óptimas para el crecimiento de alfalfa (Christian, 1977; Collino *et al.*, 2005), el tratamiento con menor distancia entre hileras y mayor frecuencia (LP10-F350) produjo un 68% más de biomasa área (Tabla 7, Figura 7a) que el resto de los arreglos (LP20-F350, C45-F350, C90-F350). Esta diferencia en producción de biomasa área se explicaría, en parte, porque LP10-F350 acumuló en promedio, un 20% más de  $RFA_{intac}$  que el resto de los arreglos (Tabla 7, Figura 9a y Figura 10a).

**Tabla 7.** Efecto de los arreglos de siembra sobre Biomasa ( $gMS/m^2$ ), Índice de Área Foliar (IAF,  $m^2hoja/m^2suelo$ ), Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $RFA_{intac}$ ;  $MJ/m^2$  y Eficiencia de uso de la radiación ( $gMS/MJ$ ) expresados como variación porcentual de la distancia en líneas paralelas a 10 cm (LP10) respecto de: líneas paralelas a 20 cm (LP20), de cruzadas a 90° (C90) y de cruzadas a 45° (C45), para el primer corte de primavera temprana para una alfalfa cortada cada 350 GDA.

Arreglos	Biomasa	IAF	$RFA_{intac}$	EUR
LP10/LP20	58	54	71	77
LP10/C90	29	71	15	15
LP10/C45	23	80	49	55

Un resultado similar puede observarse en un trabajo realizado a menor latitud, en el cual una pastura de alfalfa sin latencia sembrada a 10 cm, también, muestra una mayor acumulación de biomasa que una sembrada a 20 cm, particularmente en un rebrote de 350 GDA en primavera temprana (Mattera *et al.*, 2013). Coincidentemente con lo observado por Mattera *et al.* (2013) rebrotes posteriores a setiembre la producción fue similar entre arreglos.

La mayor  $RFA_{\text{intac}}$  de LP10-F350 se debió a que presentó un IAF superior al resto de los tratamientos (+53% que LP20-F350; +71% que C45-F350, +80% que C90-F350) (Tabla 7, Figura 13a). Similares resultados fueron reportados por Colabelli *et al.*, (2002), quienes para la misma época y zona, encontraron que la siembra de alfalfa en LP10 generó un mayor IAF respecto a la siembra en LP20.

El mayor IAF de LP10 en la F350 respecto del resto de los arreglos fue consecuencia directa de una mayor cantidad de hojas/m<sup>2</sup> lo que, a su vez, se explicó por una mayor densidad de tallos ya que entre estos tratamientos fue similar tanto el tamaño de las hojas individuales como el número de hojas por tallo (Tabla 4).

Así, la mayor densidad de tallos observada en LP10-F350 en el primer rebrote de primavera, respecto del resto de los arreglos, coincide con reportes previos en alfalfa y soja en donde, también, se encontró un incremento en el número de tallos al acortarse la distancia entre hileras (Ikeda, 1992; Shibles; Weber, 1966; Broad *et al.*, 1990; Norsworth *et al.*, 2005; Mattera *et al.*, 2013). Lo anterior sería consecuencia de un mayor distanciamiento entre pantas dentro de la línea generando así una menor competencia intra-específica y/o una mejor calidad/cantidad de luz (David; Thomas, 1983; Casal *et al.*, 1985; Casal *et al.*, 1990; Board *et al.*, 1994). Esto habría promovido una mayor activación de brotes provenientes de yemas axilares y de corona. Si bien no se encontraron antecedentes en alfalfa, un trabajo realizado con soja demostró que frente a reducciones de la distancia entre hileras la relación rojo/rojo lejano medida en el ápice del tallo principal, fue mayor y esto se asoció a una mayor cantidad de ramificaciones (Board *et al.*, 1994).

Los beneficios de acercar hileras sobre la intercepción de la radiación y el crecimiento, también, han sido reportados en cultivos agrícolas que crecen en ambientes en los que la expansión foliar está restringida (*i.e.* bajas temperaturas; Andrade *et al.*, 2002; Board *et al.*, 1992; Barbieri *et al.*, 2000; Calviño *et al.*, 2003; Calviño *et al.*, 2004). En estos trabajos, el acercamiento entre hileras permitió interceptar adecuados niveles de radiación con un menor IAF; es decir produjo un aumento en el coeficiente de extinción del canopeo (Flenet *et al.*, 1996; Barbieri *et al.*, 2000). En el presente trabajo, el acercamiento entre hileras también permitió una mayor intercepción de radiación, pero esto se debió principalmente a un mayor

desarrollo del área foliar como también fuera reportado para otras especies (Steiner 1986; Morrow; Krieg, 1990; Singels; Smit, 2009; Zhou *et al.*, 2011).

El hecho de que durante el primer rebrote de primavera en F350 los arreglos cruzados hayan mostrado menor número de tallos/m<sup>2</sup> y, también, menor peso/tallo (Figuras I, Apéndice) respecto de LP10-F350, puede ser consecuencia de una mayor competencia intra-específica. Es así que, los arreglos cruzados mostraron al finalizar el experimento un menor número de plantas/m<sup>2</sup> que los demás arreglos (Tabla 5) siendo este indicativo de un mayor proceso de competencia intra-específica en los arreglos cruzados (Weiner; Thomas, 1986; Park *et al.*, 2003).

La EUR, el otro componente del modelo radiativo (Monteith, 1977), también explica las diferencias entre arreglos durante el primer rebrote de primavera ya que fue, en promedio, un 42% superior en LP10-F350 aunque las diferencias fueron significativas respecto de C45-F350 (+55) y C90-F350 (+49%) pero no respecto de LP20-F350 (+23%) (Tabla 3). Estos resultados coinciden con lo reportado en alfalfa por Mattera *et al.* (2013) quienes tampoco observaron diferencias en EUR entre los arreglos a 10 y 20 cm (Mattera *et al.*, 2013). Es de hacer notar que en dicho trabajo la senescencia no fue cuantificada, sin embargo los menores valores de clorofila en hoja reportados en el arreglo a 10 cm permiten suponer una mayor senescencia en este arreglo respecto del arreglo a 20 cm, lo que podría haber generado una subestimación de la EUR en el arreglo a 10 cm en el mencionado trabajo.

El hecho de que, entre los arreglos analizados, las diferencias en IAF hayan sido de mayor magnitud relativa que las diferencias relativas en radiación interceptada acumulada implican que en LP10-F350 una mayor parte del área foliar habría estado sombreada. Además, en consecuencia de los relativamente bajos valores de radiación incidente observados en primavera, dicha área foliar podría haber operado por debajo de la zona de saturación lumínica causando, a nivel de hoja individual y de canopia, una mayor EUR (MacAdam; Nelson, 2017).

La mayor radiación capturada en LP10-F350 indica, como fuera previamente discutido, mayor sombreado en dicha canopia. Por lo tanto, la mayor EUR en biomasa aérea también podría deberse a que las plantas de LP10-F350 hayan estado sujetas a una mayor competencia por luz que habría generado una menor partición del carbono fijado hacia las raíces (Poorter *et al.*, 2012).

En lo que respecta a los componentes del rendimiento la mayor producción de LP10-F350, en ese primer rebrote, se explicó por una mayor densidad y peso/tallo (Figura II, Apéndice). Esto coincide, en parte, con lo hallado por Mattera *et al.* (2013) quienes encontraron también una mayor densidad de tallos al acercarse hileras, pero sin mayores variaciones entre arreglos en el peso/tallo.

En el segundo corte de primavera de F350, la producción de forraje fue similar entre los arreglos, a pesar de que al igual que en el primer corte, LP10-F350 también presentó mayor cantidad de tallos/m<sup>2</sup> (Figura 14a). Sin embargo, en este tratamiento se observó una marcada reducción en el peso/tallo (Figura 1b, Apéndice). En este segundo rebrote, RFA<sub>intac</sub>, el IAF y la EUR fueron similares al resto de los arreglos.

Conforme avanzó la estación de crecimiento (*i.e.* verano y pleno verano) las diferencias entre arreglos en producción de biomasa área total, RFA<sub>intac</sub> y EUR desaparecieron (Figuras 7b, c, 10b, c, 12b, c). ¿Por qué, de verano en adelante no hubo diferencias entre arreglos? Varios autores sostienen que cuando los cultivos se siembran en momentos donde la temperatura y radiación son las óptimas para su crecimiento acercar las hileras no incrementa el rendimiento (Gardner, 1985; Andrade *et al.*, 2002). La mayor oferta térmica y radiativa, de verano y pleno verano, habría contribuido a que el resto de los arreglos lograran generar similares cantidades de tallos/m<sup>2</sup> que LP10-F350 (Figuras 14b), sin observarse diferencias entre tratamientos en el peso/tallo (Figura 1a, Apéndice) eliminándose así las diferencias halladas en primavera temprana.

En el medio productivo existe la suposición de que los arreglos cruzados tendrían una mejor distribución de los individuos y por lo tanto producirían más forraje que arreglos en líneas paralelas distanciadas a 20 cm. Sin embargo, en el presente trabajo, los arreglos cruzados presentaron una similar producción de biomasa que en LP20 (Figura 6). Es de remarcar que esto concuerda con lo previamente reportado en alfalfa (Sardiña; Diez; Ottaviano, 2015), agropiro alargado (Scheneiter *et al.*, 2007; Bertrám, 2008), raigrás perenne y festuca alta (Praat, 1995).

En relación a lo anterior se infiere que si bien en los arreglos cruzados la distancia entre plantas dentro de la línea fue superior, la distancia entre surcos cruzados sigue siendo igual a LP20. Por lo tanto, este tipo de arreglos al no generar una reducción en la distancia entre líneas de siembra, muestra un comportamiento similar a las siembras a 20 cm. Sumado a ello, la  $fRFA_i$  y RFA<sub>intac</sub> entre LP20 y los arreglos cruzados también fue similar (Figura 8 y Figura 10). A su vez, la mayor competencia intra-específica en las zonas de cruce habría anulado los beneficios que se podrían obtener de las plantas que están en las líneas cruzadas/sesgadas y alejadas de la zona de cruce. En consecuencia, tanto para alfalfa como para otras forrajeras, las evidencias encontradas refutan el supuesto previamente mencionado.

#### 4.2. Frecuencia de corte

Al igual que lo reportado en otros trabajos (Sheaffer *et al.*, 2000; Tabacco *et al.*, 2002; Putnam; Orloff, 2003; Teixeira *et al.*, 2006; Ventroni *et al.*, 2010; Testa *et al.*,



2011) disminuir la frecuencia de corte (F700 vs. F350) conllevó a una mayor producción de biomasa aérea total (>25%). Sin embargo, la diferencia entre frecuencias de corte se redujo al 17% cuando se evaluó la producción de forraje (*i.e.* aquella que no tiene en cuenta al material senescente). La mayor producción observada en F700 que en F350 indica que las parcelas de F350 se cortaron antes que se alcanzara la máxima tasa de crecimiento promedio (Parsons, 1988).

La mayor biomasa área producida (>25%) por la pastura cortada con baja frecuencia (F700) se explicó básicamente por una mayor RFA<sub>intac</sub> (>40%), ya que la EUR de F700 fue menor (<10%) que la de F350.

Las diferencias halladas en RFA<sub>intac</sub> entre frecuencias se explicarían principalmente por una frecuente remoción del área foliar en F350 que generan interrupción en la captura de radiación ya que las diferencias entre frecuencias en la capacidad de interceptar radiación por unidad de tiempo térmico luego de un corte, si bien resultaron significativas en dos de tres rebrotes (Tabla 2), fueron de escasa significancia en términos absolutos por lo que se asume un impacto biológico prácticamente nulo. En otras palabras la pastura defoliada frecuentemente (F350) produjo menos biomasa aérea por una más frecuente remoción del área foliar pero no, por una menor capacidad de generar área foliar. Esto sugiere que, la tasa de expansión foliar se habría reducido de manera poco severa al incrementar la frecuencia de 700 a 350 GDA. Esto se contrapone a lo encontrado por Teixeira; Moot; Brown; Pollock (2007), quienes muestran que ante incrementos de la frecuencia la disminución en RFA<sub>intac</sub> se debió no sólo a la remoción del área foliar sino, también, a una reducción en la tasa de expansión del área foliar. Probablemente, la discrepancia entre el presente trabajo y el de Teixeira; Moot; Brown; Pollock (2007) esté relacionada a que estos autores utilizaron un tratamiento de elevada frecuencia, con cortes cada 250 GDA.

La menor EUR para convertir biomasa aérea de F700 difícilmente podría ser explicada por una menor fotosíntesis, ya que trabajos previos demuestran que pasturas de alfalfa defoliadas con baja frecuencia muestran similar o ligeramente mayor capacidad fotosintética que pasturas defoliadas a muy alta frecuencia (Teixeira *et al.*, 2008). Una posible explicación, de la menor EUR en F700, podría ser una mayor partición a raíces y coronas (*i.e.* biomasa perenne) respecto de F350. En pasturas en estado vegetativo los fotoasimilados son asignados principalmente a los órganos aéreos. Mientras que, a partir de inicio de floración y fructificación, se incrementa la asignación a órganos perennes (Cralle, 1983). Del mismo modo, Thibeau *et al.*, (2011) encontraron que a medida que se avanza el tiempo de rebrote la partición a órganos perennes se incrementa. Por lo tanto, en F700 la mayor RFA<sub>intac</sub> respecto a F350 no se

habría reflejado en un similar incremento en producción de biomasa aérea total, ya que a partir del inicio de floración se habría incrementado la partición de fotoasimilados hacia sido los órganos perennes, lo que habría de este modo reducido la EUR en F700. Si bien en el presente trabajo no se dispone de mediciones periódicas de biomasa perenne, esta hipótesis es consistente con el mayor peso de biomasa perenne registrada en F700 que en F350 al finalizar el experimento (Tabla 4). Vale aclarar que una mayor biomasa perenne en pasturas defoliadas con menor frecuencia fueron reportados previamente (Sardiña; Diez; Otaviano; Berone, 2015).

En cuanto a los componentes del rendimiento el número de tallos acumulados promedio fue mayor en F350 que en F700 (Figura 14) pero F350 presentó tallos de mucho menor peso que F700 (Figura 15). El hecho de que la mayor cantidad de tallos generados por F350 no haya alcanzado para compensar el menor peso por tallo que obtuvo respecto de F700 sugiere que en F350 la menor productividad se debió a una limitación por fuente que habría limitado la asimilación de biomasa en cada tallo individual siendo escaso el impacto de la frecuencia de corte en la capacidad de generar destinos (*i.e.* tallos). Esto concuerda en parte con hallado por Teixeira; Moot; Brown; Fletcher, (2007) y por Ventroni *et al.*, (2010), quienes también frente a mayores frecuencias de corte encontraron un menor peso por tallos.

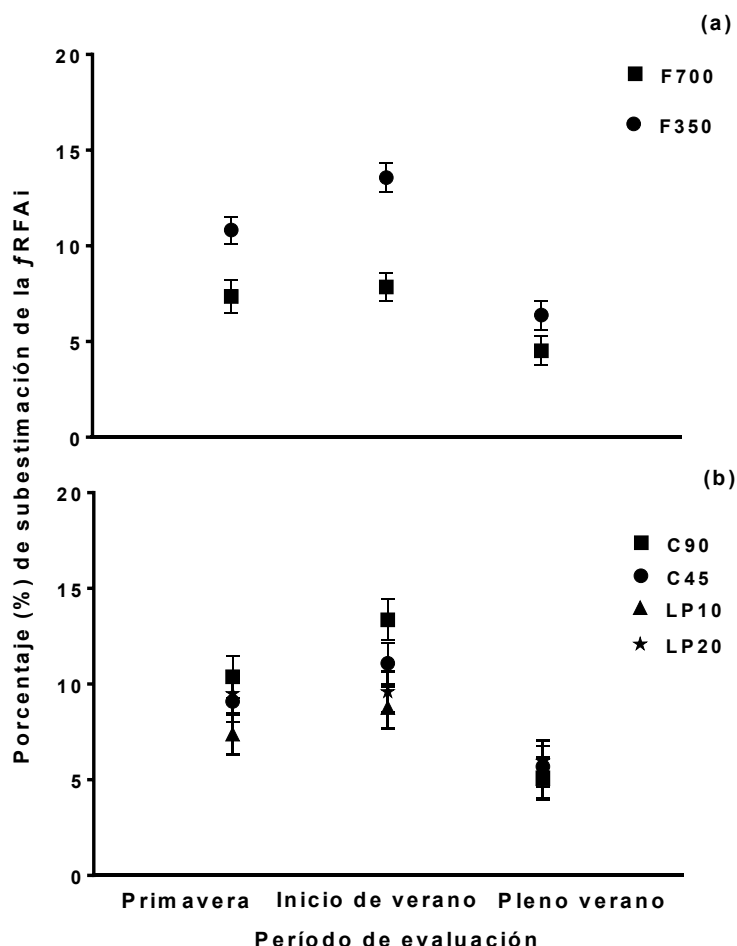
#### **4.3. Implicancias metodológicas en la estimación de la EUR**

La EUR es estimada a partir de mediciones de biomasa y radiación interceptada acumulada (Sinclair; Muchow, 1999) y muchos de los trabajos previos mencionadas en las secciones previas (Board *et al.*, 1994; Mattera *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2011) no cuantificaron la senescencia. Esto conlleva a una subestimación de la producción de biomasa y, por lo tanto, a una subestimación de la EUR (Sinclair; Muchow, 1999), que obviamente será mayor en tratamientos conducentes a mayor senescencia, como por ejemplo aquellos con mayores niveles de sombreado y/o menores niveles de nitrógeno (Hikosaka *et al.*, 1994).

A su vez, los valores de la estimación de la radiación interceptada pueden variar en función del método utilizado y, por ende, generar variaciones sobre la EUR (Sinclair; Muchow, 1999). En el presente trabajo, si se hubiese realizado una sola medición al medio día solar la  $fRFA_i$  hubiese sido subestimada (Figura 17a). Lo anterior coincide con Charles-Edwards; Lawn (1984), quienes encontraron subestimaciones de  $fRFA_i$  del 10% por medir únicamente al medio día solar.

En el presente ensayo, si solo se considera la medición realizada al medio día solar se observa que los valores promedios de  $fRFA_i$  del rebrote fueron en primavera y verano mayores en F700 que en F350; mientras que, en pleno verano estas

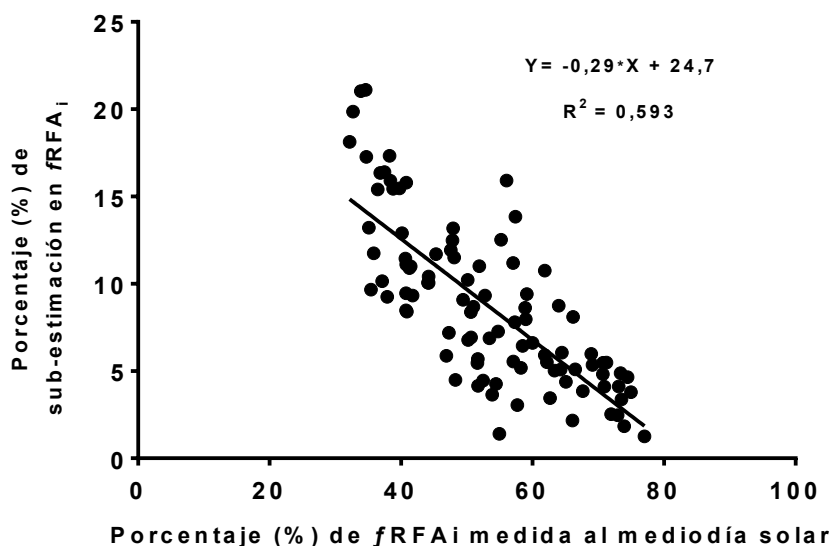
diferencias desaparecen (Figura 17a). Algo similar ocurrió entre los arreglos, mostrando una mayor variabilidad en el porcentaje de sub-estimación en primavera e inicio de verano respecto de pleno verano (Figura 17b). Esto, también remarca la importancia de incrementar el número de mediciones de la  $fRFA_i$  y obtener así la integral diaria de la intercepción de la radiación (Muchow *et al.*, 1982; Tsubo *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2011).



**Figura 17.** Porcentaje (%) de subestimación de la  $fRFA_i$  por medir captura radiativa una vez al día respecto a tres mediciones diarias en un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida en (a) parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA y (b) cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralela a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45). Período de evaluación: Primavera: período comprendido entre el 28/9/15 y el 25/11/15; Inicio de verano: período comprendido entre el 25/11/15 y el 11/1/16; Pleno Verano: período comprendido entre el 11/1/15 y el 22/2/16. Las barras verticales indican  $\pm$  el error estándar de la media.

A su vez, coincidiendo con lo reportado por Muchow, (1985) se encontró que, con mediciones únicamente al medio día, la subestimación disminuye del 15 al 3% cuando la  $fRFA_i$  promedio del rebrote se incrementa de 0,35 a 0,80 (Figura 18). Por lo

tanto, se puede inferir que en situaciones que conducen a bajos niveles de intercepción de la radiación (cortos periodos de rebrotes y/o con canopeos muy abiertos) medir una sola vez al día, conllevaría a mayores subestimaciones de la  $fRFA_i$ . Esto es relevante, como fue comprobado en el presente experimento, cuando se evalúan tratamientos de frecuencia, arreglos y periodos a través del año con ambientes radiativos contrastantes.



**Figura 18.** Relación entre el porcentaje (%) de sub-estimación de la  $fRFA_i$  en función del porcentaje (%)  $fRFA_i$  promedio del rebrote medida al medio día solar de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, en su primer año de vida y durante el periodo de evaluación (primavera, inicio de verano y pleno verano); parcelas cortadas cada 350 GDA y 700 GDA y cuatro arreglos de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45). Se presentan los valores de cuatro repeticiones.  $Y = -0,29 \cdot X + 24,7$   $R^2 = 0,593$  ( $p < 0,001$ ).

La discusión previa remarca la importancia de medir lo más certeramente posible las variables involucradas en la estimación de la EUR (*i.e.* biomasa producida y radiación interceptada acumulada). En periodos de tiempo muy largos (*i.e.* superiores a la vida media foliar de las hojas y/o que involucran sombreado) se acentúa la importancia de una adecuada medición de la biomasa producida mientras que en rebrotes cortos sería más relevante la adecuada medición  $fRFA_i$ .

Otro aspecto de relevancia, analizado sólo parcialmente en esta tesis es la partición a raíces (Tabla 6). La cuantificación de esta variable, junto a estimaciones de fotosíntesis y respiración, permitiría discriminar mejor los mecanismos que determinan las variaciones en EUR.

#### 4.4. Algunas implicancias agronómicas del presente trabajo

Los resultados obtenidos en esta tesis sugieren que acercar las líneas de siembra manteniendo la densidad (*i.e.* generando arreglos más cuadrados) es una vía efectiva para incrementar la producción de forraje, en períodos o sitios en los cuales alfalfa crece bajo un rango de temperaturas sub-óptimos (e.g. mayores latitudes). Sin embargo, estos efectos se anularían en la medida que el intervalo entre cortes se incrementa. Queda por demostrar si esto se reitera en otras estaciones frías del año y en otros sitios.

Otra implicancia del presente trabajo es que, este estudio confirma que, bajo frecuencias de corte muy contrastantes y analizando varios mecanismos (*i.e.* densidad de tallos, peso de tallos, número de plantas, captura de radiación, eficiencia de uso de la radiación) los arreglos cruzados (C45 y C90) no producen mejoras en la producción de forraje respecto de siembras a 20 cm, como fuera demostrado previamente para esta y otras especies en otras regiones (Praat, 1995; Scheneiter *et al.*, 2006; Bertram, 2008; Sardiña; Diez; Ottaviano, 2015). Esto sugiere que un buen manejo de la siembra (*i.e.* densidad de siembra, profundidad de siembra, velocidad de siembra, entre otros) a 20 cm es suficiente para obtener una buena pastura de alfalfa y no habría necesidad de realizar dos pasadas de siembra, lo que reduce costos financieros, tiempos operativos y la logística asociada a la siembra.

Finalmente, este trabajo confirma que para esta región, defoliaciones muy frecuentes y severas en los meses mayor crecimiento de la pastura (*i.e.* octubre-febrero) producen plantas con menor peso de los órganos perennes (*i.e.* raíz más corona) lo que podría derivar en una menor persistencia de la pastura. Si bien, este manejo frecuente permite incrementar la producción animal (Sardiña; Berone, 2017) queda por dilucidar el momento oportuno para comenzar a realizar lo que se denomina “descanso otoñal”, que es un período prolongado sin defoliaciones (o de defoliación infrecuente) que permite la reposición de reservas en raíces de alfalfa (Teixeira *et al.*, 2008).

## 5. CONCLUSIONES

En el presente experimento y en función al periodo de crecimiento evaluado en alfalfa se recopilaron evidencias para:

- **Rechazar parcialmente la hipótesis 1;** la siembra en líneas paralelas distanciadas a 10 cm mostró sólo durante los primeros 350 grados días acumulados del rebrote de primavera una mayor producción que la siembra en líneas paralelas o cruzadas a 20 cm. En dicho rebrote de primavera las diferencias entre arreglos desaparecieron a los 700 grados días. Las diferencias entre arreglos también desaparecieron, en ambas frecuencias de corte, a medida que avanzó la estación de crecimiento (inicios de verano y pleno verano).

- **Rechazar parcialmente la hipótesis 2;** ya que la variación registrada en la producción de biomasa entre arreglos, durante los primeros 350 grados días del rebrote de primavera, se asoció tanto a una mayor radiación interceptada acumulada como a una mayor eficiencia de uso de la radiación.

A modo de conclusión general el presente trabajo demuestra que:

- Acercar las líneas de siembra permitió incrementar la producción de forraje cuando las temperaturas de crecimiento fueron sub-óptimas y la frecuencia de cortes fue alta.

- Bajo frecuencias de corte muy contrastantes los arreglos cruzados (C45 y C90) no producen mejoras en la producción de forraje respecto de siembras a 20 cm.

- Defoliaciones muy frecuentes y severas en los meses mayor crecimiento de la pastura (*i.e* octubre-febrero) producen plantas que ingresan al otoño con un menor peso de los órganos perennes (*i.e*. raíz más corona) lo cual suele derivar en pasturas menos persistentes.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, F.H.; CALVIÑO, P.; CIRILO, A.; BARBIERI, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*. 94: 975–980.
- AVICE, J. C.; LEMAIRE; G.; OURRY, A.; BOUCAUD, J. 1997. Effects of the previous shoot removal frequency on subsequent shoot regrowth in two *Medicago sativa* L. cultivars. *Plant and Soil*. 188 (2): 189-198.
- AVICE, J.C.; LOUAHLIA, S.; KIM, A.; MORVAN-BERTRAND, A.; PRUDHOMME, M.P.; OURRY, A.; SIMON, J.C. 2001. Influence des reserves azotees et caerbonees sur la repousse des especes prairiales. *Fourrages*. 165: 3–22.
- BARBIERI, P.A.; SAINZ ROZAS, H. R.; ANDRADE F.H.; ECHEVERRIA H.E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agronomy Journal*. 92: 283–288.
- BASIGALUP, D. 2017. Producción de heno de alfalfa en Argentina. [en línea] <[www.todoalfalfa.com.ar/documentos/2017/Informe\\_Basigalup.doc](http://www.todoalfalfa.com.ar/documentos/2017/Informe_Basigalup.doc)> [consulta 29 de enero 2018].
- BASIGALUP, D.; ROSSANIGO, R. 2007. Panorama actual de la alfalfa en Argentina. En: BASIGALUP, D. (ed.). *El cultivo de alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA, Buenos Aires Argentina, pp. 15-24.
- BELANGER, 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.
- BERTRAM, N. 2008. Respuesta de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) a la densidad de siembra y al arreglo espacial: desarrollo del área foliar, estructura poblacional e intercepción lumínica en el año de implantación. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 58 p.

- BOARD, J. E.; HARVILLE B. G. 1992b. Explanations for greater light interception in narrow- vs. wide-row soybean. *Crop Science*. 32: 198-202.
- BOARD, J. E.; HARVILLE B. G.; KAMAL, M. 1994. Radiation-use efficiency in relation to row spacing for late-planted soybean. *Field Crops Research*. 36: 13-19.
- BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G.; SAXTON, A. M. 1990. Branch dry weight in relation to yield increases in narrow-row soybean. . *Agronomy Journal*. 82 (3): 540-544.
- BOARD, J. E.; KAMAL, M.; HARVILLE B. G. 1992. Temporal importance of greater light interception to increased yield in narrow - row soybean. *Agronomy Journal*. 84:575-579.
- BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. 59: 39-45.
- 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: 348–358.
- CALVIÑO, P.; SADRAS, V.; ANDRADE, F.H. 2003. Development, growth and yield of late-sow soybean in the southern Pampas. *European Journal of Agronomy*. 19: 265-275.
- CALVIÑO, P.; SADRAS, V.; REDOLATTI, M.; CANEPA, M. 2004. Yield responses to narrow rows as related to interception of radiation and water deficit in sunflower hybrids of varying cycle. *Field Crops Research*. 88: 261–267.
- 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.
- CASAL, J.J.; SANCHEZ R. A.; GIBSON, D. 1990. The significance of changes in the red/far-red ratio, associated with either neighbour plants or twihght, for tillering in *Lolium multiflorum* Lam. *New Phytologist*. 116: 565-572.
- CHARLES-EDWARDS, D. A.; LAWN, R. J. 1984. Light interception by grain legume crops. *Plant Cell Environment*. 7:247-251.



- CHRISTIAN, K. R. 1977. Effects of the environment of the growth of alfalfa. *Advances. Agronomy*. 29:183-227.
- COLABELLI, M. R.; URCOLA, H.; AGNUSDEI M. 2002. Intersiembra de leguminosas en suelos de aptitud agrícola. 1. Efecto de la época de intersiembra y de la distancia entre surcos sobre el establecimiento de las especies intersembradas. *Avances en Producción Animal*. 27: 77–86.
- COLLINO, D.; DARDANELLI, J.; DE LUCCA, M. 2007. Uso del agua y la radiación para producción de forraje. En: BASIGALUP, D. (ed.). *El cultivo de alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA, Buenos Aires. pp. 47-65.
- COLLINO, D.J., DARDANELLI, J.L., DE LUCA, M.J., RACCA, R.W. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa L.*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 45: 383–390.
- CONNOR, D.J.; LOOMIS, R. S.; CASSMAN, K. G. 2011. *Crop ecology. Productivity and management in agricultural systems*. Second edition. Cambridge University Press, United kingdom. 576 p.
- COOPER, J.P. 1969. Potential forage production. Occasional Symposium 5. British Grassland Society. pp 5-13.
- CRALLE, H.T. 1983. Photosynthetic partitioning in alfalfa populations selected for high nitrogen fixation capability. Ph.D. thesis. Univ. Of Minnesota, St. Paul. Diss. Abstr. DA 8329508. 150 p.
- DAVIES, A.; THOMAS, H. 1983. Rates of leaf and tiller production in young spaced perennial rye grass plants in relation to soil temperature and solar radiation. *Annals of Botany*. 51 (5): 591-597.
- EGLI, D. 1984. Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. *Agronomy Journal*. 86:1046-10.
- FICK, G.W.; HOLT, D.A.; LUGG, D.G. 1988. Environmental physiology and crop growth. In: Hanson, A.A.; Barnes, D.K.; Hill Jr., R.R. (eds.), *Alfalfa and Alfalfa Improvement*, vol. 29. American Society of Agronomy, Madison, USA. pp. 163–194.

- FLENET, F.; KINIRY, J.R.; BOARD, J.E.; WESTGATE, M.E.; REICOSKY, D.C. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. *Agronomy Journal*. 88. 185–190.
- GALLO, K. P.; DAUGHTRY, C. S. T. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agronomy Journal*. 78: 752-756.
- GARDNER, F.P., BRENT PEARCE, R.; MITCHEL, R.L. 1985. Carbon fixation by crop canopies. In its: *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. pp. 31-57.
- 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.
- GUZMÁN, C.; SPADA, M. del C.; MOMBELLI, J. C. 2007. Eficiencia del uso de la radiación de cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo en Córdoba, Argentina. 20° Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Cuzco, Perú. En CD.
- HEICHEL, G. H.; DELANEY, R. H.; CRALLE, H. T. 1988. Carbon assimilation, partitioning and utilization. In: Hanson A. A.; Barnes D. K.; Hill Jr. R. R. (eds.). *Alfalfa and alfalfa improvement Vol. 29*. American Society of Agronomy, Madison, U.S.A. pp. 195-228.
- HEITHOLT, J.J; SASSENATH-COLE, G.F. 2009. Inter-plant competition growth responses to plant density and\_row spacing. [en línea] <[https://www.researchgate.net/publication/226891531\\_Inter-Plant\\_Competition\\_Growth\\_Responses\\_to\\_Plant\\_Density\\_and\\_Row\\_Spacing](https://www.researchgate.net/publication/226891531_Inter-Plant_Competition_Growth_Responses_to_Plant_Density_and_Row_Spacing)> [consulta 29 de enero 2018].
- HIJANO, E.H.; BASIGALUP, D.H. 1995. El cultivo de la alfalfa en la República Argentina. En: HIJANO, E.; NAVARRO, A. (eds.). *La alfalfa en la Argentina*. INTA, Argentina. pp. 65-78.
- HIKOSAKA, K.; TERASHIMA, I.; KATOH, S. 1994. Effects of leaf age, nitrogen nutrition and photon flux density on the distribution of nitrogen among leaves of

a vine (*Ipomoea tricolor* Cav.) grown horizontally to avoid mutual shading of leaves. *Oecologia*. 97 (4): 451-457.

IKEDA, T. 1992. Soybean planting patterns in relation to yield and yield components. *Agronomy Journal*. 84: 923-926.

INTA. CIRN. Instituto de suelos. 2018. Hoja 3757-31 "Balcarce" Provincia de Buenos Aires, 4 fotocartas, escala 1:50000. [en línea] <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/3757/Balcarce/index.htm> [consulta 15 de marzo 2018].

KALU, B. A.; FICK, G. W. 1981. Quantifying morphological development of alfalfa for studies of herbage quality. *Crop Science*. 21:267-271.

KHAITI, M.; LEMAIRE, G. 1992. Dynamics of shoot and root growth of lucerne after seeding and after cutting. *European Journal of Agronomy*. 1 (4): 241–247.

KILCHER, M.R.; HEINRICHS, D.H. 1974. Contribution of stems and leaves to the yield and nutrient level of irrigated alfalfa at different stage of development. *Canadian Journal of Plant Science*. 54: 739-742.

LUTZ, E.E.; MORLEY, F.H.W. 1982. Production of alfalfa (*Medicago sativa* L.) I. Influence of row spacing and cultivar. *Turrialba* 32, 1–10.

MACADAM, J. W.; NELSON, C. J. 2017. Physiology of forage plants. In: Collins, M.; Jerry Nelson, C.; Moore K.J.; Barnes, R.F. (eds). *Forages: an Introduction to Grassland Agriculture*. Wiley-Blackwel, Us. pp.51-70.

MADDONNI, G.A.; CIRILO, A.G.; OTEGUI, M.E. 2006. Row width and maize grain yield. *Agronomy Journal*. 98: 1532–1543.

MAGUIRE, W. S. 1981. The influence of seeding rates on yield and stand of alfalfa in Oregon's Willamette valley., *Agricultural Experiment Station Oregon's State University*. Station Bulletin N° 649 pp 1-20.

MAJOR, D.J.; HANNA, M.R.; BEASLEY, B.W. 1991. Photoperiod response characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*. 71:87-93.

- MATTERA, J.; ROMERO, L.A.; CUATRÍN, A.; GRIMOLDI, A.A. 2009. Efectos de la distancia de siembra sobre la producción de biomasa y la persistencia de un cultivo de alfalfa. *Revista Argentina de Producción Animal*. 29: 131–140.
- MATTERA, J.; ROMERO, L.A.; CUATRÍN, A.; GRIMOLDI, A.A.; CORNAGLIA, P.S. 2013. Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. *European Journal of Agronomy*. 45: 87– 95.
- MONTEITH, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 281: 277–294.
- MONTEITH, J.L. 1994. Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agricultural and Forest Meteorology*. 68: 213-220.
- MOOT, D. J.; ROBERTSOEN, M.J.; POLLOCK, K. 2001. Validation of the APSIM-Lucerne model for phenological development in a cool-temperature climate [en línea] . 10<sup>th</sup> Proceedings of the Australian Agronomy Conference. Australian Sc. Of Agronomy .<[https://www.researchgate.net/publication/284261367\\_Validation\\_of\\_the\\_APSIM-Lucerne\\_model\\_for\\_phenological\\_development\\_in\\_a\\_cool-temperate\\_climate\\_10th\\_Australian\\_Agronomy\\_Conference\\_Hobart](https://www.researchgate.net/publication/284261367_Validation_of_the_APSIM-Lucerne_model_for_phenological_development_in_a_cool-temperate_climate_10th_Australian_Agronomy_Conference_Hobart)> [Consulta 20 de agosto 2015].
- MOOT, D. J.; BROWN, H. E.; TEIXEIRA, E. I.; POLLOCK, K. M. 2003. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. *In*:D. J. Moot (ed.). *Legumes for Dryland Pastures Proceedings of a New Zealand Grassland Association* [en línea] <[https://www.researchgate.net/publication/260164594\\_Crop\\_growth\\_and\\_development\\_affect\\_seasonal\\_priorities\\_for\\_lucerne\\_management](https://www.researchgate.net/publication/260164594_Crop_growth_and_development_affect_seasonal_priorities_for_lucerne_management)> [Consulta 20 de agosto 2015].
- MOOT, D. J.; POLLOCK, K. M.; LEWIS, B. 2012. Plant population, yield and water use of lucerne sown in autumn at four sowing rates. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 74:97-102.
- MORROW, M.; KRIEG, D.R. 1990. Cotton management strategies for a short growing season environment: Water-Nitrogen Considerations. *Agronomy Journal*. 84: 52-56.

- MUCHOW, R. C. 1985. An analysis of the effects of water-deficits on grain legumes grown in a semiarid tropical environment in terms of radiation interception and its efficiency of use. *Field Crops Research*. 11: 309-323.
- MUCHOW, R. C.; COATES, D. B.; WILSON, G. L.; FOALE, M. A. 1982. Growth and productivity of irrigated *Sorghum bicolor* (L. Moench) in Northern Australia. I. Plant density and arrangement effects on light interception and distribution, and grain yield, in the hybrid Texas 610SR in low and medium latitudes. *Australian Journal of Agricultural Research*. 33(5): 773-784.
- NORSWORTHY, J. K.; EMERSON, R. S. 2005. Effect of Row Spacing and Soybean Genotype on Mainstem and Branch Yield. *Agronomy Journal*. 97:919–923.
- PARK, S.E.; BENJAMIN, L.R.; WATKINSON, A.R. 2003. The theory and application of plant competition model: an agronomic perspective. *Annals of Botany*. 92: 741–748.
- PARSONS, A.J. 1988. The effects of season and management on the growth of grass swards. In: *The Grass Crop: The Physiological Basis of Production*. (eds. M.B. Jones and A. Lazenby). Chapman and Hall, London. pp. 129-169.
- 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 Phytology*. 193 (1):30-50.
- PRAAT J. P. 1995. Row spacing and seeding rate interactions in perennial ryegrass and tall fescue swards established by direct drilling (no tillage). Tesis Ph.D. Massey University. Palmerston North. New Zealand. 278p.
- PUTNAM, D.; ORLOFF, S. 2003. Using varieties or cutting schedules to achieve quality hay –what are the tradeoff? [en línea] *Proceedings, 33rd California Alfalfa and Forage Symposium, December, 2003, Monterey, CA* <<http://alfalfa.Ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2003/03-201.pdf> > [Consulta 3 de setiembre 2017].
- R Development Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>. Programa computacional.

- RACCA, R.; GONZALES, N. 2007. Nutrición nitrogenada de alfalfa e impacto de la fijación simbiótica del nitrógeno. En: BASIGALUP, D. (ed.). El cultivo de alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 69-78.
- RACHAPUTI, R. C.N.; CHAUHAN, Y.; DOUGLAS, C.; MARTIN, M.; KROSCHE, S.; AGIUS, P.; KING, P. 2015. Physiological basis of yield variation in response to row spacing and plant density of mungbean grown in subtropical environments. *Field Crops Research*. 183: 14–22.
- ROMERO, L.A.; BRUNO, O.A.; FOSSATI, J.L.; QUAINO, O.R. 1991. Densidad de siembra de alfalfa cultivar CUF 101; número de plantas y producción. *Revista Argentina de Producción Animal*. 11: 411-417.
- ROMERO, N.A.; COMERON, E.A.; USTARROZ, E. 1995. Crecimiento y utilización de la alfalfa. En: HIJANO, E.; NAVARRO, A. (eds.). La alfalfa en la Argentina. INTA, Argentina. pp.149-172.
- ROUFAIL, A. 1975. Effect of sowing rate and sowing method on the establishment, yield and survival of irrigated lucerne at Kyabram, Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15: 64–68.
- SANDERSON, M. A.; KARNEZOS, T. P.; AND MATCHES, A G. 1994. Morphological development of alfalfa as a function of growing degree days. *Journal of Production Agriculture*. 7 (2): 239-242.
- SARDIÑA, C.; BERONE G.D. 2017. Aumentos en producción de carne en alfalfa por cambio en el manejo de la defoliación. *Revista Argentina de Producción Animal*. (37) 1: 90
- SARDIÑA, C.; DIEZ, M; OTTAVIANO C. 2015. Densidad de siembra y arreglo espacial de plantas en un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa L.*). [en línea] <<https://inta.gob.ar/documentos/densidad-de-siembra-y-arreglo-espacial-de-plantas-en-un-cultivo-de-alfalfa-medicago-sativa-l>>. [Consulta 3 de marzo 2015].
- SARDIÑA, C.; DIEZ, M.; OTAVIANO, C.; BERONE, G.D. 2015. Producción de materia seca y dinámica de raíces en alfalfa (*Medicago sativa L.*) bajo dos manejos de a defoliación. *Revista Argentina de Producción Animal*. (35) 1: 175.

- SCHENEITER, O. 2006. Efecto del sistema y densidad de siembra sobre la implantación de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkw. and Dewey) En: "Reunión Anual sobre Forrajeras: Novedades en Mejoramiento Genético y Producción de Pasturas". Pergamino. 26 de octubre 2006. 6 p.
- SEVILLA, G. H.; PASINATO, A. M.; GARCÍA, J. M. 2002. Producción de forraje y densidad de plantas de alfalfa irrigada comparando distintas densidades de siembra. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 10 (3): 164-170.
- SHEAFFER, C. C.; MARTIN, N. P.; LAMB, J. F.; CUOMO, G. R.; JEWETT, J. G.; QUERING, S. R. 2000. Leaf and Stem Properties of Alfalfa. Agronomy Journal. 92 (4): 733-739.
- SHIBLES, R. M.; WEBER, C. R. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. Crop Science. 6:55-59.
- 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.
- SINCLAIR, T R.; MUCHOW R. C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy. 65: 215-265.
- SINGELS, A.; SMIT, M.A. 2009. Sugarcane response to row spacing-induced competition for light. Field Crops Research. 113: 149–155.
- SMITH. 1968. The establishment and management of alfalfa. Wis. Agric. Exp. Stn. Bull. 542 p.
- STEINER, J.L. 1986. Dryland grain Sorghum water use, light interception, and growth responses to planting geometry. Agronomy Journal. 78: 720–726.
- TABACCO, E.; BORREANI, G.; ODOARDI, M.; REYNERI, A. 2002. Effect of cutting frequency on dry matter yield and quality of lucerne (*Medicago sativa* L.) in the Po Valley. Italian Journal of Agronomy. 6 (1): 27-34.
- 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: 47–55.

- 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*. 28:103–111.
- 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*. 26:10–20.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; FLETCHER, A.L. 2007. The dynamics of lucerne (*Medicago sativa L.*) yield components in response to defoliation frequency. *European Journal of Agronomy*. 26: 394–400.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; POLLOCK, K.M. 2007. How does defoliation management impact on yield, canopy forming processes and light interception of lucerne (*Medicago sativa L.*) crops? *European Journal of Agronomy*. 27: 154–164.
- TEIXEIRA, E. I. 2006. Understanding growth and development of lucerne (*Medicagosativa L.*) crops with contrasting levels of perennial reserves. Ph.D. thesis, Lincoln University, Lincoln, Canterbury. 274 p.
- TESTA, G.; GRESTA, F. S.; COSENTINO, L. 2011. Dry matter and qualitative characteristics of alfalfa as affected by harvest times and soil water content. *European Journal of Agronomy*. 34: 144–152.
- 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: 255– 268.
- THOM, E. R.; RITCHIE, W. R. 1993. Banded versus blanket spraying and direct drilling. *Pasture Renovation Manual*. AgResearch, Ruakura, Hamilton, New Zealand. pp. 55-58.
- TSUBO, M.; WALKER, S.; MUKHALA, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*. 71(1):17-29.



- VEGA C.R; ANDRADE F.H. 2009. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. En: Andrade, F.H.; Sadras, V.O. (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. E.E.A. Balcarce INTA – FCA, UNMdP. Balcarce, Argentina. pp. 69-97.
- VENTRONI, L.M; VOLENEC J.J.; CANGIANO, C.A; 2010. Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yield components. Field Crops Research. 119: 252-259.
- VOLENEC, J.J.; CHERNEY, J.H.; JOHNSON, K.D. 1987. Yield components, plant morphology, and forage quality of alfalfa as influenced by plant population. Crop Science. 27: 321–326.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-38.
- WEINER, J.; THOMAS, S. C.1986. Size variability and competition in plant monocultures. – Oikos. 47: 211-222.
- WOODWARD, F. I.; SHEEHY, J. E. 1979. Microclimate, photosynthesis and growth of lucerne (*Medicago sativa* L.). II. Canopy structure and growth. Annals of Botany. 44 (6): 709-719.
- ZHOU, X. B.; CHEN, Y. H.; OUYANG, Z. 2011. Row spacing effect on leaf area development, light interception, crop growth and grain yield of summer soybean crops in Northern China. African Journal of Agricultural Research. 6 (6): 1430-1437.

## 7. APÉNDICE

**Tabla II.** *Eficiencia de uso de la radiación (EUR; gMS/MJ) por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal cortada cada 700 GDA (F700), durante su primer año de*

vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45).

Frecuencia	Arreglo	Primavera	Inicio de verano	Pleno verano
		Corte 1	Corte2	Corte 3
F700	LP10	1,61 a	1,13 a	1,98 a
	LP20	1,88 a	1,11 a	2,34 a
	LPC90	1,69 a	1,18 a	2,31 a
	LPC45	1,49 a	1,07 a	2,31 a

Letras minúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre arreglos ( $p < 0,05$ ).

**Tabla III.** Índice de área foliar (IAF,  $m^2$ hoja/ $m^2$ suelo) por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralela a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) y parcelas defoliadas cada 350 GDA. Los signos  $\pm$  indican error estándar de la media.

Frecuencia	Arreglo	Primavera		Inicio de verano		Pleno verano	
		Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Corte 6
F350	LP10	5,10 a	3,34 a	2,28 a	1,69 a	3,00 a	5,22 a
	LP20	3,32 b	2,62 a	2,50 a	1,68 a	3,51 a	5,44 a
	LPC90	2,99 b	3,41 a	2,67 a	2,48 a	4,19 a	4,52 a
	LPC45	2,83 b	3,00 a	2,55 a	1,71 a	3,64 a	4,51 a

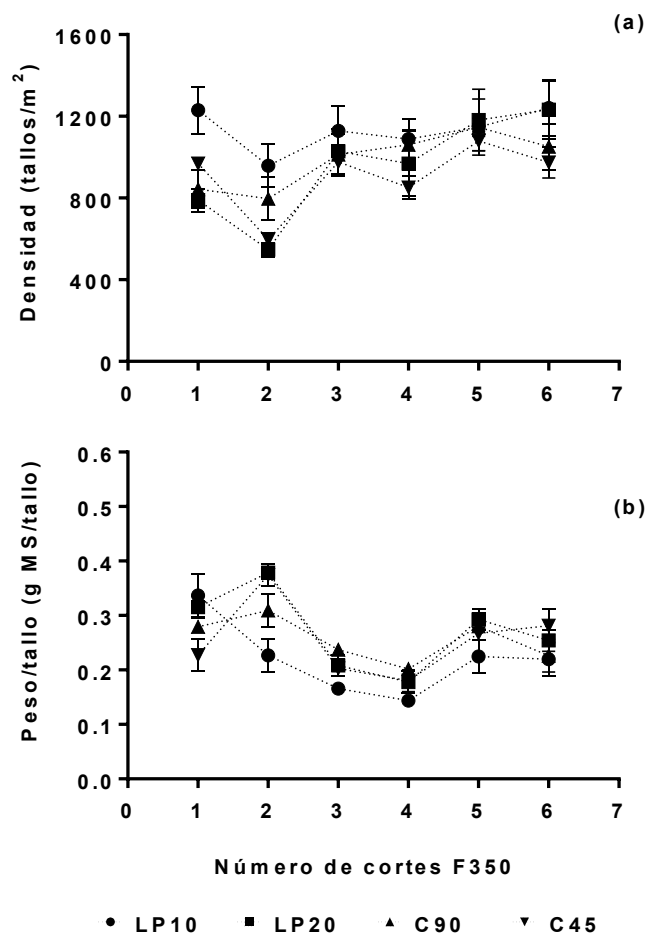
Letras minúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre arreglos ( $p < 0,05$ ).

**Tabla IV.** Índice de área foliar (IAF,  $m^2$ hoja/ $m^2$ suelo) por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal cortada cada 700 GDA (F700), durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45).

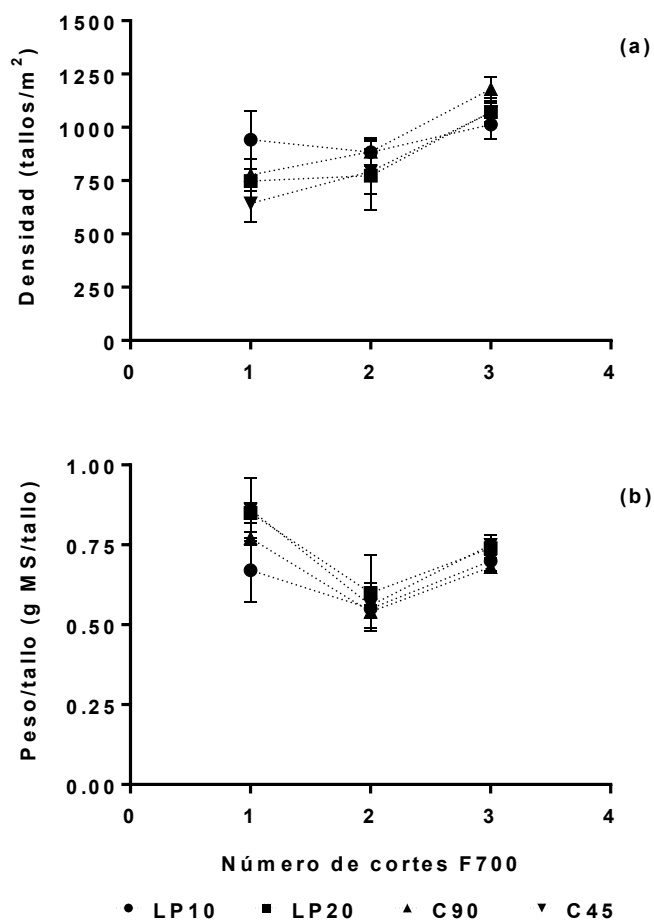
Frecuencia	Arreglo	Primavera	Inicio de verano	Pleno verano	media
		Corte 1	Corte2	Corte 3	
F700	LP10	5,08	4,73	7,63	5,81 A
	LP20	6,25	3,70	7,35	5,76 A
	C90	5,13	4,75	7,68	5,85 A
	C45	5,58	4,23	7,95	5,92 A
	media	5,51 c	4,35 b	7,65 a	

Letras mayúsculas distintas en sentido vertical denotan diferencias significativas entre arreglos ( $p < 0,05$ ).

Letras minúsculas distintas en sentido horizontal denotan diferencias significativas entre periodos ( $p < 0,05$ ).



**Figura 1.** (a) Densidad de tallos (tallos/m<sup>2</sup>) por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) en parcelas cortadas cada 350 GDA. (b) peso/tallo en gMS/tallo por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) en parcelas cortadas cada 350 GDA. Las barras verticales  $\pm$  indican error estándar de la media.



**Figura II.** (a) Densidad de tallos (tallos/m<sup>2</sup>) por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) en parcelas cortadas cada 700 GDA. (b) peso/tallo en gMS/tallo por corte de un cultivar de alfalfa sin reposo invernal, durante su primer año de vida, para cuatro arreglos espaciales de siembra: líneas paralelas a 10 cm (LP10), paralelas a 20 cm (LP20), cruzadas a 90° (C90), cruzadas a 45° (C45) en parcelas cortadas cada 700 GDA. Las barras verticales  $\pm$  indican error estándar de la media.