

**RESPUESTA A LA SEVERIDAD DE CORTE EN DOS CULTIVARES DE ALFALFA  
QUE CONTRASTAN EN SU GRADO DE REPOSO INVERNAL**

**Gabriel Blain**

Trabajo de Tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al Título de

**MAGISTER SCIENTIAE en Producción Vegetal**

Área de Posgrado en Ciencias de las Plantas y Recursos Naturales

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA**

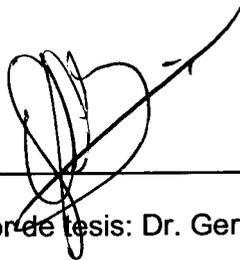
**Balcarce, Argentina**

**Noviembre de 2018**

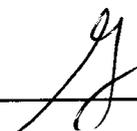
**RESPUESTA A LA SEVERIDAD DE CORTE EN DOS CULTIVARES DE ALFALFA  
QUE CONTRASTAN EN SU GRADO DE REPOSO INVERNAL**

**Gabriel Blain**

**Comité Consejero:**



Director de tesis: Dr. Germán D. Berone



Co-directora: Ing. Agr. PhD. Silvia G. Assuero

Asesor: Ing. Agr. PhD. Pordomingo, Anibal J.

Asesor: † Ing. Agr. Dra. Agnusdei, Mónica G.

**RESPUESTA A LA SEVERIDAD DE CORTE EN DOS CULTIVARES DE ALFALFA  
QUE CONTRASTAN EN SU GRADO DE REPOSO INVERNAL**

**Gabriel Blain**

**Aprobada por:**



---

*p/vc*

Ing. Agr. Dr. Fernando A. Lattanzi

Prof. Liliانا IRIARTE, Mag  
Secretaria de Posgrado  
Facultad de Ciencias Agrarias  
UNMdP



---

*p/vc*

Ing. Agr. Dr. Ariel Odorizzi

Prof. Liliانا IRIARTE, Mag  
Secretaria de Posgrado  
Facultad de Ciencias Agrarias  
UNMdP

---

Lic. Cs. Biol. Dr. Osvaldo R. Vignolio

### **AGRADECIMIENTOS**

A Osvaldo Fernández quien supo, acertadamente, alentarme en mi tarea. A Silvia Assuero que respondió solícitamente a mis requerimientos. Y por supuesto, a mi director de tesis Germán Berone y a mi esposa Melisa.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	7
1.2. Objetivos específicos.....	7
1.3. Hipótesis.....	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
2.1. Sitio, materiales evaluados y diseño experimental.....	9
2.2. Registros meteorológicos.....	11
2.3. Determinaciones.....	12
2.4. Diseño experimental y análisis estadístico.....	15
3. RESULTADOS.....	16
3.1. Biomasa de los cultivares evaluados al momento del corte inicial.....	16
3.2. Biomasa aérea producida acumulada.....	16
3.2.1. Dinámica de la producción de biomasa aérea total durante la aplicación de los tratamientos (entre 03/12/2014 y el 02/09/2015).....	17
3.2.2. Producción de biomasa aérea entre el 02/09/2015 y el 05/10/2015 (“efecto residual”).....	18
3.3. Biomasa seca aérea cosechada acumulada (producción de forraje).....	19
3.3.1. Dinámica de la biomasa aérea cosechada.....	20
3.4. Dinámica del número de hojas totalmente expandidas acumuladas por tallo al momento del corte.....	21
3.5. Dinámica de la altura de plantas al momento del corte.....	22
3.6. Índice de nutrición nitrogenada de cada tratamiento evaluado en cuatro fechas de corte.....	23
3.7. Dinámica del remanente.....	24
3.7.1. Dinámica del índice de área foliar remanente.....	24
3.7.2. Dinámica de la biomasa foliar remanente.....	25
3.7.3. Dinámica de la biomasa verde remanente.....	26
3.7.4. Dinámica del número de tallos jóvenes en el remanente.....	27
3.7.5. Dinámica del número de nudos por tallo joven en el remanente.....	28
3.7.6. Dinámica del número de nudos totales por planta en el remanente.....	29
3.7.7. Concentración de nitrógeno en la biomasa foliar (%), contenido absoluto de nitrógeno foliar y nitrógeno foliar específico.....	30
3.8. Dinámica de la biomasa perenne.....	33
3.8.1. Biomasa perenne registrada el 05/10/2015 (“efecto residual”).....	34

3.8.2. Concentración y contenido absoluto de nitrógeno en biomasa perenne.....	35
3.9. Dinámica de la relación entre la biomasa verde remanente (fuente) y el número de nudos totales por planta en el remanente (destinos).....	37
3.10. Dinámica de la relación entre el contenido de nitrógeno en la biomasa verde remanente (fuente) y el número de nudos totales por planta en el remanente (destinos).....	38
4. DISCUSIÓN.....	40
4.1. Crecimiento aéreo.....	40
4.2. Variables asociadas a la persistencia.....	44
4.3. Algunas implicancias y perspectivas.....	47
5. CONCLUSIONES.....	49
6. ANEXO.....	50
7. BIBLIOGRAFÍA.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de muestreos destructivos realizados en las respectivas fechas de cortes durante el período de ensayo, y las cantidades de cada tipo de contenedor utilizados en cada fecha de corte según el volumen de los mismos.....	10
Tabla 2. Datos históricos y del ciclo de evaluación de los tratamientos. Promedios mensuales de la temperatura mínima, máxima y media diarias y de la radiación incidente diaria.....	12
Tabla 3. Biomasa total y de los componentes aéreos (hoja y tallo) y perennes (corona y raíz) en kilogramos de MS por hectárea para el cultivar con reposo invernal intermedio (G6) y el cultivar sin reposo invernal (G10) el día del corte inicial (05/11/2014).....	16
Tabla 4. Índice de nutrición nitrogenada (mayor o igual a 1= no limitado por nitrógeno; menor a 1 = limitado por nitrógeno) de tratamientos G6-4cm, G6-10cm, G10-4cm y G10-10cm en las fechas de corte del 04/02/2015, 25/02/2015, 20/05/2015.....	24
Tabla 5. Diferencias absolutas de los valores promedio de ambos cultivares entre tratamientos de altura de corte (valor10cm - valor4cm) para la biomasa acumulada al final de los distintos períodos de rebrote (Fecha de corte) y para una selección de variables potencialmente explicativas de la misma al comienzo de los respectivos períodos.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Distribución de la tasa de crecimiento de un cultivar de Alfalfa y dos cultivares de Festuca. Adaptado de Mazzanti *et al.* (1992) y Cangiano y Pece (2005).....2
- Figura 2. Relación entre la biomasa de la totalidad de la raíz y de los 30 cm superiores de la misma para las fechas del 02/09/2015 (círculos) y 05/10/2015 (cuadrados) para el cultivar G6 (símbolos negros) y el cultivar G10 (símbolos blancos) ( $\text{raíz}1\text{eros}30\text{cm} = 0,728 \times \text{raíz total}$ ;  $R^2=0,96$ ).....13
- Figura 3. Relación entre la biomasa perenne (corona + 30 cm superiores de la raíz) y la biomasa de los 30 cm superiores de la raíz en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura ( $\text{biomasa raíz}1\text{eros}30\text{cm} = 0,754 \times \text{biomasa perenne}$ ;  $R^2=0,93$ ). Cada punto de la gráfica es el valor promedio de cada tratamiento en una fecha de muestreo (Muestreos del 1 al 10).....13
- Figura 4. Biomasa seca aérea acumulada entre 03/12/2014 y el 02/09/2015 (kg MS/ha) por cultivares de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....17
- Figura 5. Dinámica de la producción de biomasa seca aérea (kg MS/ha) total entre el 03/12/2014 y el 02/09/2015 de cultivares de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....18
- Figura 6. Biomasa seca aérea acumulada (kg MS/ha), desde 02/09/2015 hasta el 05/10/2015 (“efecto residual”, altura de corte 2 cm) de los tratamientos previos de altura de corte (4 y 10 cm, ver Materiales y métodos) en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10). Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....19
- Figura 7. Biomasa seca aérea cosechada acumulada (kg MS/ha) desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 para un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro cultivar sin reposo invernal (G10) cortados a 4

y 10 cm de altura. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....20

Figura 8. Dinámica de la biomasa seca aérea cosechada (kg MS/ha) desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 de un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014), las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media .....21

Figura 9. Dinámica del número de hojas expandidas acumuladas por tallo desde 05/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....22

Figura 10. Dinámica de la altura de plantas de dos cultivares de alfalfa, uno con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10), previo a ser cortadas a 4 o 10 cm de altura en el período comprendido entre el 05/11/2014 y el 02/09/2015. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014), las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....23

Figura 11. Dinámica del índice de área foliar remanente desde el 05/12/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....25

Figura 12. Dinámica de la biomasa foliar remanente del 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....26

- Figura 13. Dinámica de la biomasa verde remanente desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....27
- Figura 14. Dinámica del número de tallos verde por planta en el remanente desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....28
- Figura 15. Dinámica del número de nudos por tallo verde en el remanente desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....29
- Figura 16. Dinámica número de nudos totales por planta en el remanente desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....30
- Figura 17. Dinámica de la concentración de nitrógeno (%) de la biomasa foliar remanente desde 05/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....31

- Figura 18. Dinámica del contenido de nitrógeno (mg/planta) en la biomasa foliar remanente desde 05/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014) Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....32
- Figura 19. Dinámica del nitrógeno foliar específico (g N/m<sup>2</sup> hoja) desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....33
- Figura 20. Dinámica de la biomasa seca perenne reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10), cortados a 4 y 10 cm de altura entre el 03/12/2014 y el 02/09/2015. Los círculos muestran la biomasa seca perenne de ambos cultivares en la fecha de aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....34
- Figura 21. Biomasa seca perenne (kg MS/ha) registrada el 05/10/2015 (“efecto residual”) en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) que fueron sometidos a dos alturas de corte (4 y 10 cm) entre el 03/12/2014 y el 02/09/2015, fecha esta última en que todas las plantas se cortaron a 2 cm de altura. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....35
- Figura 22. Dinámica del contenido de nitrógeno relativo (%) de la biomasa perenne desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el establecimiento de los tratamientos (05/11/2014), las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....36
- Figura 23. Dinámica del contenido de nitrógeno (mg/planta) de la biomasa perenne desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar con reposo invernal

intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el establecimiento de los tratamientos (05/11/2014), las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....37

Figura 24. Dinámica de la relación fuente : destino\_1 (cociente entre biomasa verde remanente y número de nudos por planta en los tallos jóvenes del remanente) desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....38

Figura 25. Dinámica de la relación fuente : destino\_2 (cociente entre el contenido de nitrógeno en la biomasa verde remanente biomasa verde remanente y el número de nudos por planta en los tallos jóvenes del remanente) desde 05/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....39

Figura A1. Diseño experimental del ensayo establecido, donde se muestra la distancia de separación de 20 cm entre los centros de cada tubo.....49

Figura A2. Dinámica de la concentración de nitrógeno (%) de la biomasa verde remanente desde 5/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....49

Figura A3. Dinámica del contenido de nitrógeno (mg/planta) en la biomasa verde remanente desde 05/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014) Las líneas verticales discontinuas

separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.....50

## RESUMEN

Cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo o latencia invernal difieren, entre otras cosas, en crecimiento otoño-invernal, porte y longitud de entrenudos por lo que es esperable que la respuesta a la altura de corte varíe entre los mismos. El objetivo del trabajo fue evaluar el impacto de la severidad de corte (4 vs. 10 cm altura de corte) y el grado de reposo invernal (G6 vs. G10) sobre el crecimiento aéreo y variables asociadas a la persistencia de plantas de alfalfa defoliadas con una frecuencia más elevada de lo usualmente recomendado. El experimento se desarrolló en la Unidad Integrada Balcarce, en macetas al aire libre y bajo condiciones hídricas y nutricionales no limitantes y se simuló una pastura de 500.000 plantas/ha. Entre el 05/11/2014 y el 02/09/2015 las plantas fueron cortadas aproximadamente cada 370 grados días acumulados (GDA) a las alturas establecidas. El 02/09/2015, se realizó un corte a 2 cm de altura y el 05/10/2015 se evaluó el efecto residual de los tratamientos. En cada corte se registró: altura de plantas, biomasa aérea, biomasa perenne (corona más los 30 cm superiores de raíz), área y biomasa foliar remanente, número de tallos jóvenes y nudos por tallo joven del remanente, concentración y contenido absoluto de nitrógeno. Se empleó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial de dos factores (grado de reposo invernal y altura de corte) con tres repeticiones. Se realizaron ANOVA y prueba de DMS para comparación de medias ( $p=0,05$ ). En ambos cultivares, las plantas cortadas a 10 cm mostraron mayor crecimiento aéreo que las cortadas a 4 cm, debido básicamente a una mayor cantidad (área foliar y biomasa) y calidad (%N) de fuente en el remanente y a una mayor cantidad de destinos (nudos por tallo joven) en el remanente. La biomasa perenne y el contenido de nitrógeno en la misma sólo habrían tenido relevancia al salir de la época fría. Los cultivares no difirieron en biomasa aérea producida acumulada. En otoño-invierno y al analizar el corte residual, el cultivar G6 cortado a 4 cm mostró menores valores de biomasa perenne y menor contenido de nitrógeno en la misma. Esta respuesta estaría asociada a que el tratamiento G6-4cm mostró una menor relación "fuente : destino" (*i.e.* mg de N en remanente por nudo en tallo joven del remanente) y habría priorizado la formación de tejidos aéreos. Bajo las condiciones del presente estudio, ante defoliaciones frecuentes (*i.e.* cada 370 GDA) y severas (*i.e.* 4 cm) la necesidad de un descanso otoñal sería mayor en el cultivar con latencia invernal intermedia. Con defoliaciones frecuentes pero menos severas (*i.e.* 10 cm) la necesidad de

dicho descanso sería, menos relevante. Sin embargo, esto aún debe ser corroborado.

Palabras clave: latencia invernal, altura de corte, biomasa aérea, biomasa radical, nitrógeno.

## ABSTRACT

Cultivars of alfalfa of different degree of dormancy, differ among others things, in autumn-winter growth, growth habit and length of internodes, therefore it is expected that response to the cutting height under frequent defoliation will vary among them. The objective of this work was to evaluate the impact of cutting severity (4 vs. 10 cm cutting height) and the degree of winter dormancy (G6 vs. G10) on aerial growth and variables associated with persistence in alfalfa plants defoliated with a higher frequency than usually recommended. The experiment was carried out in the Balcarce Integrated Unit, in containers, outdoor, under non-limiting water and nutrient conditions and simulating a pasture of 500,000 plants/ha. Between 05/11/2014 and 02/09/2015 the plants were cut approximately every 370 cumulative degree days (GDA) at the established heights. On 02/09/2015, all the plants were cut to 2 cm height and on 05/10/2015 the residual effect of the different treatments was evaluated. Plant height, aerial biomass, perennial biomass (crown plus the top 30 cm of root), leaf surface area and stubble leaf biomass, number of young stems and nodes per young stem of the stubble, N concentration and absolute N content were registered. A completely randomized design with factorial arrangement of two factors (degree of winter dormancy and cutting height) with three replicates was used. ANOVA and LSD test were performed to compare treatment means ( $p = 0.05$ ). In both cultivars, the plants cut at 10 cm height showed higher aerial growth than those cut at 4 cm, basically due to a higher quantity (leaf surface area and biomass) and quality (% N) of the source in the stubble and to a higher sink strength (nodes per young stem) in the stubble. Perennial biomass and N content in perennial biomass were relevant only at the end of the cold season. Cultivars did not differ in aerial accumulated biomass. In autumn-winter and when analyzing the residual effect, the G6 cultivar cut at 4 cm height showed consistently lower values of perennial biomass and N content of perennial biomass, with respect to the other treatments. This response could be associated to the fact that G6-4cm treatment showed a lower "source : sink" ratio (*i.e.* mg of N in stubble per node in the young stems of the stubble) and would have prioritized the formation of aerial tissues. Under the conditions of the present study, under frequent (*i.e.* every 370 GDA) and severe (*i.e.* 4 cm) defoliations, the need for an autumn rest would be higher for the cultivar with intermediate winter dormancy. With frequent but less severe (*i.e.* 10 cm) defoliation the need for such rest would be less relevant. However, this has yet to be demonstrated.

Key words: winter dormancy, cutting height, aerial biomass, radical biomass, nitrogen

## INTRODUCCIÓN

En Argentina, más precisamente en la Región Pampeana, las pasturas perennes base alfalfa (puras y/o consociadas) constituyen el principal aporte de forraje para una gran parte de los sistemas de producción animal de carne y leche. A pesar de ello, la siembra de pasturas perennes como estrategia forrajera ha decrecido fuertemente en los últimos 24 años, mientras que la siembra de cultivos forrajeros anuales se ha incrementado sustancialmente (Ojeda *et al.*, 2018). En consecuencia, es muy probable que la presión de pastoreo sobre el área de pasturas perennes se haya incrementado, particularmente en momentos del año en los que se conjuga una menor capacidad de crecimiento de las pasturas con una gran superficie de barbecho (*i.e.* otoño).

Esta presión excesiva de pastoreo lleva a que las pasturas de alfalfa se hayan visto sometidas a frecuencias e intensidades de defoliación que, posiblemente, afecten severamente su persistencia (Comerón y Romero, 2007). Al respecto, la persistencia de las pasturas perennes en base a alfalfa en la actualidad es de tres años (Basigalup Daniel, comunicación personal). Por lo tanto, la baja superficie de los sistemas productivos ocupada por pasturas perennes de persistencia reducida determina que el componente pastura de dichos sistemas esté constituido por una elevada proporción por praderas jóvenes (*i.e.* de un año o menos de vida).

Los problemas que trae aparejada la baja persistencia de estas pasturas son múltiples: incrementos en la estructura de costos de las empresas agropecuarias (Viglizzo *et al.*, 1995), incrementos en la fragilidad de los sistemas en cuanto a la degradación de los suelos (Studdert *et al.*, 1997), reducciones en el aporte de nitrógeno derivado de fijación biológica (Luscher *et al.*, 2014), incrementos en la necesidad de control de plagas y malezas (Viglizzo *et al.*, 1995), disminución en la capacidad de infiltración de agua de lluvia y en la estabilidad de agregados y, por lo tanto, incrementos en los riesgos de erosión (Viglizzo *et al.*, 1995).

En gran parte de la zona pampeana las pasturas de alfalfa pueden proporcionar elevadas producciones de forraje de alta calidad (Collino *et al.*, 2007). A su vez, debido a su capacidad de asociarse con rizobios que fijan nitrógeno de la atmósfera, es capaz de producir dicho forraje sin la necesidad de agregar nitrógeno

a través del uso de fertilizantes (Racca y González, 2007). Esta virtud no sólo es importante para la alfalfa en sí, sino que la convierte en una especie muy atractiva para esquemas de rotaciones agrícolas-ganaderas. Es de esperar que los cultivos agrícolas que se realicen en un suelo donde previamente hubo una pastura de alfalfa se vean beneficiados por el nitrógeno residual que la alfalfa deja en el suelo. Esto favorece la disminución del uso de fertilizantes nitrogenados, haciendo al sistema más amigable, no sólo desde un punto de vista económico, sino también ambiental (Luscher *et al.*, 2014).

Otra ventaja adicional de esta especie es su sistema radical. Si la siembra, el manejo de la defoliación y las condiciones meteorológicas permiten un adecuado crecimiento, esta especie es capaz de desarrollar un sistema radical que llega hasta los 2 metros de profundidad entre los 10 y 20 meses posteriores a su siembra (Collino *et al.*, 2007). Este sistema radical le permite utilizar agua almacenada en horizontes profundos del suelo, lo que puede ser altamente relevante en períodos en los cuales los horizontes superficiales están más secos (Collino *et al.*, 2007; Racca y González, 2007). Así, la especie cubre un rol muy relevante como estabilizadora de la oferta forrajera, ofreciendo forraje en momentos del año en los que otros componentes de la cadena están disminuidos. En la Figura 1 puede apreciarse cómo el crecimiento estival de alfalfa cubre el bache forrajero de verano de *Festuca arundinacea*.

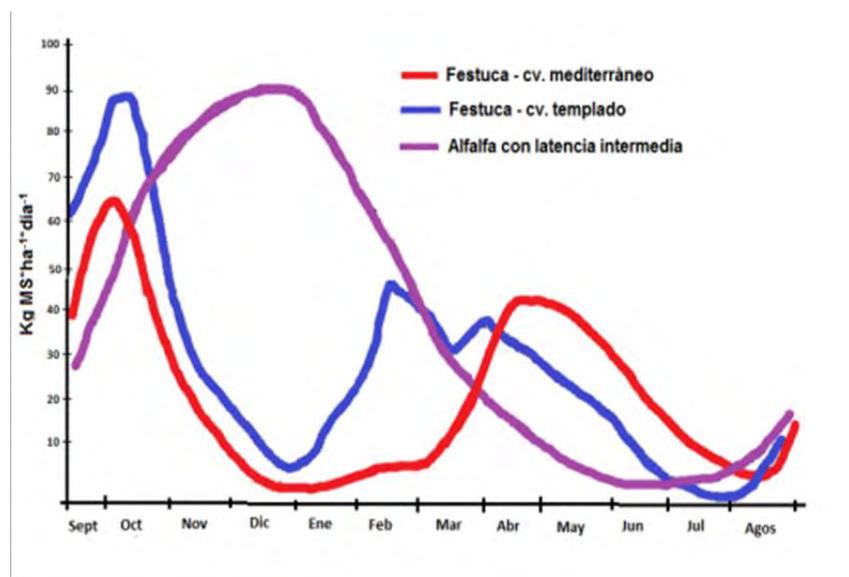


Figura 1. Distribución de la tasa de crecimiento de un cultivar de Alfalfa y dos cultivares de Festuca. Adaptado de Mazzanti *et al.* (1992) y Cangiano y Pece (2005).

A su vez, y no menos importante, la capacidad de extraer agua de horizontes profundos la convierte en una especie capaz de mantener la napa freática (y sus sales) alejada de los horizontes superficiales del suelo. Trabajos que combinaron mediciones de campo y uso de modelos de simulación muestran que, para la región centro/oeste de la provincia de Buenos Aires, suelos ocupados de manera permanente por rotaciones de uno o dos cultivos anuales mantuvieron muy elevado el nivel de la napa freática mientras que, los suelos ocupados de manera casi permanente por pasturas de alfalfa, mantuvieron el nivel de la napa freática entre 2,5 y 5,0 m de profundidad y, a su vez, permitieron bajar el nivel de la napa freática de zonas circundantes (Nosetto *et al.*, 2015; García *et al.*, 2017). Este aspecto no es menor, ya que en muchos sitios de la pampa Húmeda el ascenso de napas puede generar no sólo anegamientos sino también ascenso de sales que suelen ser altamente perjudiciales.

En función de lo previamente mencionado el manejo de la defoliación de pasturas de alfalfa debiera, al menos en parte, estar guiado por el objetivo de lograr un sistema radical profundo y vigoroso. Para ello debemos utilizar a nuestro favor el hecho de que la planta de alfalfa destina durante el primer año de su vida gran parte de los recursos capturados (luz, agua y nutrientes) hacia órganos perennes, como la corona y las raíces (Lemaire *et al.*, 1992; Thiébeau *et al.*, 2011; Sim *et al.*, 2015). En ese sentido, se considera que la máxima capacidad de crecimiento aéreo se obtendría una vez que la pastura alcanza una acumulación de biomasa perenne (corona + 30 cm superiores de raíz principal) de unas 4-5 t/ha de materia seca y, ese momento, podría ser considerado como el final de la etapa de implantación (Sim *et al.*, 2015).

El manejo de la defoliación es un factor preponderante sobre la producción y la persistencia de las pasturas (Gramshaw *et al.*, 1993; Parsons *et al.*, 2011). La defoliación puede ser categorizada según varios parámetros siendo los de mayor relevancia, e implicancias prácticas, la frecuencia y la severidad. La frecuencia se refiere al intervalo de tiempo entre defoliaciones mientras que la severidad (usualmente caracterizada a través de la altura de corte) hace referencia a la cantidad de área foliar removida o al remanente foliar luego del pastoreo.

Dentro de cierto rango (Parsons *et al.*, 1988) incrementos en el intervalo entre cortes determinan incrementos en la biomasa acumulada y disminuciones en la calidad del forraje debido a aumentos en la proporción, edad y lignificación de los tallos (Marble, 1971; 1974). En alfalfa, la recomendación habitual es realizar el corte o pastoreo cada vez que se logra el 10% de floración. En rebrotes de primavera-verano dicho momento se logra una vez que transcurrieron entre 550-650 grados días considerando una temperatura base de 5°C (Thiébeau *et al.*, 2011) acumulados luego del corte lo que coincide con unas 14-16 hojas desplegadas en los tallos principales (Teixeira *et al.*, 2011; Baldissera *et al.*, 2014).

La recomendación del 10% de floración está basada en investigación y literatura norteamericana, la cual pone énfasis en sistemas que utilizan la alfalfa para la confección de reservas forrajeras y por lo tanto pueden cortar una gran parte de la superficie de alfalfa en muy poco tiempo (Moot *et al.*, 2014). Bajo condiciones de pastoreo rotativo y bajo condiciones que propician altas tasas de crecimiento y desarrollo, esperar el 10% de floración para comenzar a pastorear implica que una gran parte de la superficie será pastoreada con niveles de floración superiores a dicho valor (*e.g.* 50% de floración); lo que comúnmente se conoce como pasturas “pasadas” o de mala calidad (Moot *et al.*, 2014) y que deriva en importantes mermas en la producción secundaria (Sardiña y Berone, 2017).

Para evitar que los animales tengan que consumir pasturas de menor calidad, las pasturas de alfalfa son pastoreadas con elevada frecuencia, siendo los intervalos entre pastoreos cada vez menores (Moot *et al.*, 2003; 2014). Este efecto, adicionado a la baja proporción de pasturas de alfalfa en los sistemas productivos trae como consecuencia elevadas presiones de pastoreo, sobre todo en momentos del año como el otoño en los cuales las plantas de alfalfa deberían ser defoliadas de manera menos frecuente (Belanger *et al.*, 1992; 1999) para permitir la recuperación de reservas en raíces y corona que serán utilizadas durante el invierno y el rebrote primaveral (Volenc *et al.*, 1996).

La combinación de alta frecuencia y elevada severidad de defoliación genera disminuciones en la productividad aérea y una mayor, y más frecuente, dependencia de las reservas de carbono y, principalmente, nitrógeno ubicadas en raíces y corona (Langer y Steinke, 1965; Brink y Marten 1989; Avice *et al.*, 1996).

Esto suele determinar severas reducciones de la biomasa perenne (corona y raíz) de las plantas de alfalfa lo cual se ha asociado con reducciones en la persistencia de las pasturas (Teixeira *et al.*, 2007). Trabajos previos sugieren que esto podría ser atenuado dejando una mayor cantidad área foliar residual (Hildebrand y Harrison, 1939; Kust y Smith, 1961; Langer y Steinke, 1965; Smith y Nelson, 1967; Leach, 1968; Hogdkinson *et al.*; 1972; 1973; Simon *et al.*, 2004; Meuriot *et al.*, 2005).

En concordancia a lo reportado para otras especies, en la medida que la frecuencia de defoliación se incrementa el crecimiento aéreo y la biomasa perenne (corona y raíz) se reducen (Smith y Nelson, 1967, Gramshaw *et al.*, 1993; Sheaffer *et al.*, 1988 y 2000; Putnam *et al.*, 2003; 2005; Teixeira *et al.*, 2007; Teixeira, Moot, Brown *et al.*, 2007). Los trabajos existentes en alfalfa que analizan el impacto de la severidad de defoliación también muestran resultados similares a los observados para otras especies; a mayor severidad de defoliación menor crecimiento aéreo y menor biomasa radical (Hildebrand y Harrison, 1939; Kust y Smith, 1961; Langer y Steinke, 1965; Monson, 1966; Smith y Nelson, 1967; Leach, 1968; Hogdkinson *et al.*, 1972; 1973; Simon *et al.*, 2004; Meuriot *et al.*, 2005). Para pasturas defoliadas muy frecuentemente, la severidad o altura de defoliación es de mayor relevancia que para pasturas defoliadas con menor frecuencia (Kurst y Smith, 1965; Langer y Steinke, 1965; Smith y Nelson, 1967; Brink y Marten, 1989).

La elección del cultivar es otro de los factores de relevancia a considerar cuando se busca maximizar el rendimiento y la persistencia de las pasturas de alfalfa. En esta especie, los cultivares se clasifican en grupos del 1 al 11, en función de su grado de latencia o reposo invernal (G1= mayor latencia invernal, G11= menor latencia invernal). La determinación del grado de latencia se suele basar en la altura de rebrote medido a los 25-30 días del último corte de otoño, de acuerdo con una escala que contempla incrementos de 5 cm entre grados y que utiliza cultivares testigo debidamente definidos para cada grado (Teuber *et al.*, 1988; Spada, 2007). Según Basigalup (2007), en nuestro país, aproximadamente el 80% de la siembra de alfalfa corresponde a cultivares sin reposo invernal (G8, G9 y G10), mientras que el 20% restante a cultivares con reposo invernal intermedio (G5, G6 y G7).

En los cultivares de mayor latencia invernal, la expresión de dicha latencia se potencia con el acortamiento del fotoperíodo combinado con temperaturas decrecientes, mientras que en los cultivares de menor latencia invernal dicha expresión sólo depende de la temperatura (McKenzie *et al.*, 1988; Castonguay *et al.*, 2006). Entonces, para ambientes con inviernos húmedos y templados (es decir, regiones subtropicales y templadas) los cultivares con menor latencia invernal generalmente muestran un rendimiento anual más alto que los cultivares con mayor latencia invernal, principalmente debido a un rendimiento superior en las estaciones de otoño e invierno, mientras que esto no es lo que ocurre en regiones con inviernos más fríos (Lodge, 1986; Lowe *et al.*, 1985; Gramshaw *et al.*, 1993; Márquez-Ortiz *et al.*, 1999; Ventroni *et al.*, 2010).

Aparte de las diferencias productivas mencionadas anteriormente, los cultivares con latencia o reposo invernal presentan mayor resistencia a las heladas, tallos con entrenudos más largos y porte más erecto que los cultivares con menor latencia o reposo invernal (Cunningham *et al.*, 2001; Basigalup y Rossanigo, 2007). Las diferencias en porte y longitud de entrenudos entre plantas que difieren en su grado de latencia invernal sugieren que, ante una altura de corte similar, una mayor cantidad de nudos y/o de área foliar podrían quedar por debajo de la altura de corte en un cultivar de mayor latencia invernal (*i.e.*: G6 con menor porte y longitud de entrenudos) respecto de un cultivar de menor latencia invernal (*i.e.*: G10 con mayor porte y longitud de entrenudos). De hecho, el menor porte y hábito más postrado de los cultivares de mayor latencia invernal se ha asociado con una mayor resistencia al pastoreo (Sledge *et al.*, 2003; Pecetti y Annichiarico, 2017) debido posiblemente a que dicha estructura les permite mantener una mayor cantidad de área foliar residual por debajo de la altura de corte o pastoreo; es decir que dicha resistencia se explicaría por un mecanismo de escape (Briske, 1991).

Hasta donde se revisó, es más abundante la literatura que compara la respuesta de distintos cultivares de alfalfa ante cambios en la frecuencia de defoliación (Smith, 1968; Marble, 1971; 1974; Berger y León, 1983; Gramshaw *et al.*, 1993; Avice *et al.*, 1997; Ventroni *et al.*, 2010) que la que compara el impacto de la severidad también sobre distintos cultivares (Leach, 1969; Favero *et al.*, 2008). A su vez, los trabajos que analizaron el impacto de la frecuencia fueron en general de mediano-largo

plazo (e.g. más de 6 meses) mientras que los que analizaron el impacto de la severidad fueron en general de corto plazo (e.g. menos de 6 meses).

Con respecto a los trabajos que estudiaron el impacto de la severidad sobre distintos cultivares, en el de Leach (1969) se analizó un rebrote de 30 días a fin de verano-inicios de otoño en una región templada ( $34^{\circ} 56' \text{L.S.}$ ,  $138^{\circ} 35' \text{L.E.}$ ) de Australia. Las plantas defoliadas con menor severidad mostraron mayor crecimiento aéreo que las sometidas a cortes más severos, siendo este efecto más notorio en el cultivar con marcada latencia invernal (cv. Rhizoma) que en el cultivar con latencia invernal intermedia (cv. Hunter River) y el cultivar sin latencia invernal (cv. Totana). En los tres cultivares, las plantas cortadas más severamente mostraron menor biomasa de raíz, y aunque estas diferencias no alcanzaron a ser significativas las mayores diferencias entre alturas de corte fueron observadas en el cultivar sin latencia invernal (i.e. cv. Totana).

En el segundo trabajo mencionado (Favero *et al.*, 2008), también se analizaron tres cultivares y dos severidades de defoliación, y la evaluación duró 112 días en condiciones relativamente controladas en una región subtropical ( $28^{\circ} 15' \text{L.S.}$ ,  $52^{\circ} 24' \text{L.O.}$ ). Nuevamente, cuando los cortes fueron menos severos los tres cultivares produjeron mayor biomasa aérea. Cortes menos severos también derivaron en una mayor biomasa radical en los cultivares sin latencia invernal, mientras que la biomasa radical del cultivar con mayor latencia (cv. Alfagrazo) no fue afectada por efecto de la altura de corte.

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar el impacto de la severidad de corte y el grado de reposo invernal sobre el crecimiento aéreo y aspectos asociados a la persistencia (biomasa y contenido de nitrógeno en raíces y corona) en plantas de alfalfa defoliadas con elevada frecuencia.

### **1.2. Objetivos específicos**

Evaluar en dos cultivares de alfalfa que contrastan en su grado de reposo invernal el impacto de dos severidades de cortes sobre:

- la biomasa aérea producida, la biomasa cosechada, la biomasa perenne (corona más 30 cm superiores de raíz principal), la biomasa remanente y el área foliar remanente,
- el número de tallos jóvenes, los nudos por tallo joven del remanente y la altura de plantas,
- la concentración y el contenido absoluto de nitrógeno en biomasa aérea y biomasa perenne.

### **1.3. Hipótesis**

En alfalfas defoliadas con una frecuencia de defoliación superior a la usualmente recomendada (*i.e.* defoliaciones muy anticipadas al estado del 10% de floración):

- 1) Cortes menos severos, respecto de cortes más severos, muestran mayor producción aérea, mayor biomasa perenne y mayores contenidos de nitrógeno en biomasa perenne.
- 2) El efecto de la severidad de defoliación será mayor en el cultivar con reposo invernal intermedio que en el cultivar sin reposo invernal.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Sitio, materiales evaluados y diseño experimental

La experiencia se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce provincia de Buenos Aires, Argentina (37° 45' L.S., 58° 18' L.O; 130 m.s.n.m.). Los cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.) utilizados fueron: cv. WL611 con reposo invernal intermedio (G6) y cv. WL1058 con escaso reposo invernal (G10). Estos cultivares fueron elegidos por sus características contrastantes en cuanto a grado de dormancia, altura de plantas y longitud de entrenudos.

Los tratamientos experimentales resultaron de la combinación factorial de dos cultivares de alfalfa de diferente grado de reposo invernal (G6 y G10) y dos alturas de corte (4 y 10 cm) desde la superficie del suelo (G6-4cm, G6-10cm, G10-4cm y G10-10cm). La siembra se realizó en un invernáculo el 24/07/2014. Se utilizaron 84 contenedores de PVC de 16 L (0,16 m de diámetro y 0,78 m de altura) y 180 contenedores de 6 L (0,11 m de diámetro y 0,65 m de altura) perforados en la base para facilitar el drenaje. Todos los contenedores de 16 L se utilizaron para tomar datos en muestreos destructivos mientras que los contenedores de 6 L fueron empleados tanto para muestreos destructivos como para bordura. Los contenedores de 6 L sólo se utilizaron para muestreos destructivos hasta la 7<sup>ma</sup> fecha de corte ya que luego de la misma el tamaño total de planta por unidad de volumen de contenedor (g MS/L) fue superior al límite de 2 g MS/L que se considera limitante para el crecimiento radical (Poorter *et al.*, 2012). En el Cuadro 1 se indica el tipo y número de contenedores empleados en cada fecha de muestreo.

Los contenedores contenían partes iguales de suelo Argiudol típico y de arena de río (2,7 ppm P; 31,2 ppm N-NO<sub>3</sub>; 0,9 % MO). Se colocaron 10 y 5 semillas en la línea central de los contenedores de 16 L y 6 L, respectivamente. Se realizó un primer raleo de plantas en estado de una hoja verdadera totalmente desplegada, dejando sólo tres plantas por contenedor. El 24/09/2014 las plantas fueron defoliadas con tijera a 4 cm de altura y los contenedores fueron ubicados al aire libre en forma equidistante. Para ello, entre el centro de un tubo y el centro de otro tubo se mantuvo una distancia aproximada de 20 cm (ver Anexo Figura A1 en Anexo). Diez días después de la defoliación se realizó un segundo raleo de plantas, dejando finalmente una densidad de una y dos plantas de un mismo cultivar por

contenedor de 6 L y 16 L, respectivamente. A partir de dicho raleo el arreglo de los contenedores descrito precedentemente permitió simular una condición de pastura (Brown *et al.*, 2006) con una densidad de 500.000 plantas/ha.

Tabla 1. Número de muestreos destructivos realizados en las respectivas fechas de cortes durante el período de ensayo, y las cantidades de cada tipo de contenedor utilizados en cada fecha de corte según el volumen de los mismos.

Muestreo Destructivo	Fecha	Tipo de contenedor
1	05/11/2014	Dos de 16 L y uno de 6 L
2	03/12/2014	Uno de 16 L y dos de 6 L
3	22/12/2014	Uno de 16 L y dos de 6 L
4	13/01/2015	Dos de 16 L y uno de 6 L
5	04/02/2015	Dos de 16 L y uno de 6 L
6	25/02/2015	Dos de 16 L y uno de 6 L
7	18/03/2015	Dos de 16 L y uno de 6 L
8	20/05/2015	Tres de 16 L
9	02/09/2015	Tres de 16 L
10	05/10/2015	Tres de 16 L

Desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 se realizaron 9 cortes con una frecuencia promedio de 370 grados días acumulados (GDA), considerando una temperatura base de 5°C (Thiébeau *et al.*, 2011). El 02/09/2015, se removió la biomasa aérea (tallos y hojas) por encima de la corona ( $\approx$ 2 cm de altura desde la superficie del suelo de cada contenedor) en todos los tratamientos y las plantas crecieron hasta el 05/10/2015. Esta práctica se realizó para evaluar el efecto residual de los distintos tratamientos sobre el crecimiento posterior. El material cosechado se mantuvo en conservadora con hielo hasta su traslado al laboratorio donde se mantuvo en heladera a 5°C hasta su posterior procesamiento.

El experimento se llevó a cabo sin limitantes nutricionales, ni hídricas. Previo a la siembra, los contenedores fueron regados permitiendo que el agua drene por la base de los mismos. Luego cada dos días se aplicaron entre 1 y 2 litros de agua por contenedor simulando precipitaciones de 15-20 mm, para evitar deficiencias hídricas. Para evitar deficiencias de nitrógeno (N) se fertilizó con urea aplicando semanalmente una dosis de 100 kg/ha de N. Para evitar deficiencias de fósforo (P)

se aplicó, luego de cada corte, superfosfato triple a una dosis de 20 kg/ha de P. Las malezas se controlaron semanalmente de forma manual. El 28/05/2015 y 03/09/2015 se aplicaron (con jeringa sobre toda la superficie de tierra de cada maceta sin tocar las plantas) 20 cm<sup>3</sup> y 40 cm<sup>3</sup> de solución de 5 cm<sup>3</sup> de clorpirifós (48% i.a.) por litro de agua a los tubos de 6L y 16L respectivamente, para el control del gusano del arroz (*Pantomorus leucoloma*), luego de lo cual se regó con abundante agua para que el producto llegue a la base del contenedor. El mismo insecticida se utilizó para el control de pulgones y trips el 08/01/2015 con una dosis 0,4 L/ha, y para el control de hormigas (el 28/01/2015) mediante la aplicación directa de una solución con 70 cm<sup>3</sup>/L en el suelo circundante a los contenedores.

## **2.2. Registro meteorológico**

Los datos de radiación incidente durante el período experimental se obtuvieron de la Estación Agrometeorológica de la EEA INTA Balcarce, ubicada a 500 m del experimento. La temperatura del aire se registró cada 15 minutos con sensores térmicos (TC1047) conectados a un data logger de cuatro canales. En la Tabla 2 se puede observar que la temperatura media diaria mensual fue superior a lo observado en el ciclo 2004-2014 (en promedio +0,7 °C), siendo estas diferencias explicadas principalmente por un aumento de las temperaturas máximas. La radiación solar incidente fue muy similar a la reportada históricamente.

Tabla 2. Datos históricos y del ciclo de evaluación de los tratamientos. Promedios mensuales de la temperatura mínima, máxima y medias diarias y de la radiación incidente diaria.

	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
Temperatura mínima (°C)												
2004-2014	10,4	12,9	14,6	14,5	12,6	9,3	6,3	4,0	3,3	3,9	5,3	7,9
2014-2015	12,0	12,8	11,8	14,2	15,0	8,1	6,7	2,9	2,1	4,7	2,9	5,9
Temperatura máxima (°C)												
2004-2014	23,6	27,0	28,5	27,0	24,6	21,5	16,8	13,7	12,7	14,2	16,5	19,9
2014-2015	23,4	28,9	30,2	29,7	24,8	24,6	21,2	16,6	15,7	17,5	18,6	17,1
Temperatura media (°C)												
2004-2014	17,0	20,0	21,6	20,8	18,6	15,4	11,6	8,9	8,1	9,1	10,9	13,9
2014-2015	17,7	20,9	21,0	22,0	19,9	16,3	13,9	9,7	8,9	11,1	10,8	11,5
Radiación incidente (MJ/m <sup>2</sup> .día)												
2004-2014	20,6	22,8	22,3	19,4	15,1	11,2	7,5	5,8	6,4	8,5	12,3	16,5
2014-2015	20,6	23,2	21,1	19,7	15,5	11,3	8,2	5,9	6,4	8,6	12,7	14,6

### 2.3. Determinaciones

En cada fecha de corte se realizaron las siguientes mediciones:

-Biomasa de planta y sus componentes: cada planta fue separada en raíz, corona principal y parte aérea. Una vez cortada la parte aérea (tallos y hojas), la corona y la raíz fueron lavadas en agua fresca para remover restos de suelo y ambos componentes separados luego de determinar visualmente la zona de transición entre ambos tipos de tejido, que coincide con la ubicación de la última yema (Teixeira *et al.*, 2007). En algunas ocasiones y contenedores no fue posible extraer la raíz completa por lo que se decidió considerar para los análisis únicamente los primeros 30 cm superiores de la raíz principal. En las fechas 02/09/2015 y 05/10/2015, utilizando las raíces que habían sido extraídas en su totalidad se obtuvo la relación entre estos 30 cm superiores de raíz y la totalidad de la misma, y se determinó que dicha fracción representó el 73% de la biomasa total de raíz (Figura 2), valor similar al reportado previamente por otros autores (Thiébeau *et al.*, 2011). La suma de la biomasa de la corona y de la biomasa de los 30 cm superiores de raíz es lo que se conoce como biomasa perenne (Teixeira *et*

al., 2007a). En todos los tratamientos la biomasa perenne estuvo compuesta en un 75% por biomasa radical (Figura 3), con lo cual los valores de corona y raíz fueron sumados y tratados como una única variable.

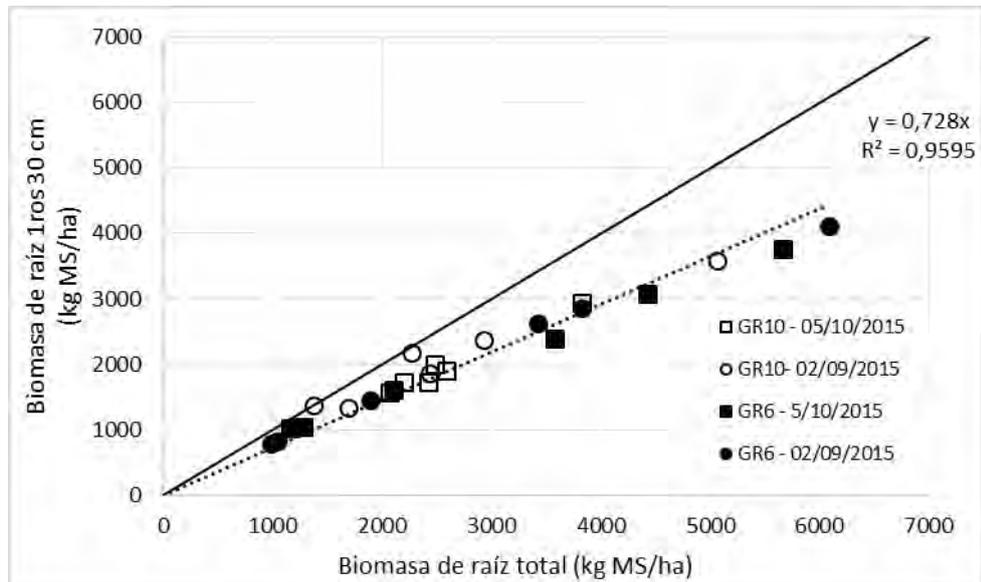


Figura 2. Relación entre la biomasa de la totalidad de la raíz y de los 30 cm superiores de la misma para las fechas del 02/09/2015 (círculos) y 05/10/2015 (cuadrados) para el cultivar G6 (símbolos negros) y el cultivar G10 (símbolos blancos).

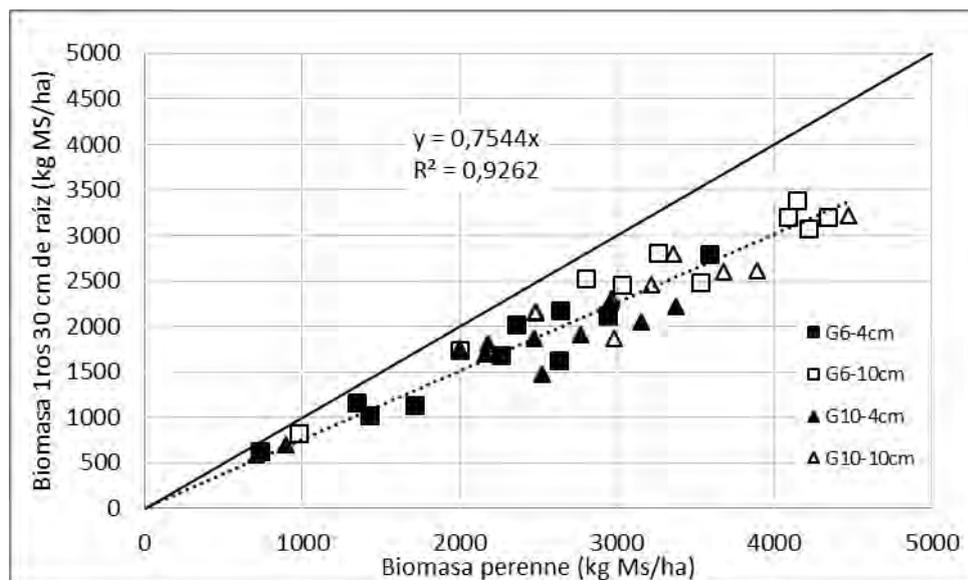


Figura 3. Relación entre la biomasa perenne (corona + 30 cm superiores de la raíz) y la biomasa de los 30 cm superiores de la raíz en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10

cm de altura. Cada punto del gráfico corresponde al valor promedio de cada tratamiento en cada una de las diez fechas de muestreo.

La biomasa aérea fue separada en biomasa “remanente” (biomasa comprendida entre el nivel superior de la corona y el nivel de corte, *i.e.* 4 ó 10 cm) y biomasa “cosechada” por encima del nivel de corte (4 ó 10 cm de altura según corresponda). Por su parte, la biomasa aérea remanente fue separada en hojas (láminas + pecíolos) y tallos. Se consideró biomasa total de la planta a la suma de la biomasa perenne y la aérea. Las fracciones de la biomasa aérea se mantuvieron en freezer a -20°C hasta su secado en estufa de aire forzado a 65°C durante 72 horas para obtener la biomasa seca. El material perenne (corona y raíz) se mantuvo en freezer a -20°C y luego se secó por medio de un liofilizador (Rificor LA-B4, Rificor SH, Buenos Aires, Argentina) durante 72 horas. Los valores de materia seca de cada contenedor (g/planta) fueron convertidos a kg/ha (500.000 plantas/ha).

-Altura de plantas: antes de cada corte se midió la longitud (cm) de las plantas desde la superficie del suelo a la altura promedio de la canopia.

-Área foliar específica del remanente: una muestra de hojas de la fracción remanente se dispuso de manera que las hojas no se superpusieran sobre una superficie plana y se fotografiaron con una cámara digital de 14,1 Megapíxeles (SONY Cyber-shot, Japón). Luego la biomasa de hoja fue secada en estufa a 60°C hasta peso constante. Las imágenes obtenidas se procesaron utilizando el programa ImageJ (v. 1.46r; National Institute of Health; EEUU) para obtener el área foliar total por muestra. El área foliar específica se calculó como el cociente entre el área foliar de la muestra y su peso seco.

-Índice de área foliar remanente: se calculó como el producto del área foliar específica de las hojas del remanente y la biomasa foliar del remanente en la planta, dividido por la superficie que ocupa cada planta a la densidad estipulada (500.000 plantas/ha).

-Número de tallos y nudos del remanente: en cada planta, los tallos de la biomasa aérea remanente fueron clasificados en viejos (duro al tacto, huecos y de color en la gama del amarillo-marrón) y jóvenes (flexibles al tacto, macizos y de color verde). Se determinó el número de tallos jóvenes y el número de nudos por tallo joven, y se calculó el número de nudos totales por planta en el remanente como el producto de ambos.

-Concentración y contenido absoluto de nitrógeno del material aéreo y subterráneo: se determinó la concentración de nitrógeno en la materia seca del

material aéreo (hojas y tallos del material remanente y del material cosechado) y del material subterráneo (raíz y corona) mediante la combustión total de la muestra en atmósfera de oxígeno ultrapuro (Horneck y Miller, 1998) en un equipo LECO (LECO-FP528, Michigan, USA). El contenido absoluto de nitrógeno de cada componente se calculó como el producto del peso seco del mismo y su respectiva concentración. Para cuantificar el estado de nutrición nitrogenada se calculó el índice de nutrición nitrogenada (INN), como el cociente entre la concentración de nitrógeno de la biomasa aérea (BA) y la mínima concentración requerida en biomasa aérea, BA ( $\%N_{crit} = 4,8 BA^{-0,33}$ ) para obtener las máximas tasas instantáneas de crecimiento aéreo (Lemaire y Gastal, 2009). Debido a restricciones presupuestarias, esto sólo pudo realizarse en algunos muestreos (Cortes 5, 6, 7 y 8 de la Tabla 1). Los mismos se eligieron *a posteriori* de conocer el impacto diferencial que tuvo el incremento de la severidad de defoliación sobre la biomasa perene de los cultivares.

#### **2.4. Diseño experimental y análisis estadístico**

Para cada fecha de muestreo se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo factorial de dos factores: grado de reposo invernal (GRI 6 y GRI 10) y altura de corte (4 y 10 cm), y tres repeticiones. El análisis de los datos de cada fecha se llevó a cabo mediante un análisis de la varianza empleando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015). Cuando fue necesario se compararon las medias con el test de LSD con un nivel de significancia de 0,05.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Biomasa de los cultivares evaluados al momento del corte inicial.

Al momento de establecer los tratamientos ambos cultivares mostraron similares valores de biomasa total y sus componentes, biomasa aérea y biomasa perenne. Lo mismo ocurrió a nivel de los componentes de éstas dos últimas fracciones (hoja y tallo, y raíz y corona, respectivamente) (Tabla 3).

Tabla 3. Biomasa total y de los componentes aéreos (hoja y tallo) y perennes (corona y raíz) en kilogramos de MS por hectárea para el cultivar con reposo invernal intermedio (G6) y el cultivar sin reposo invernal (G10) el día del corte inicial (05/11/2014).

Cultivar	Total (kg/ha)	Aérea (kg/ha)	Hoja (kg/ha)	Tallo (kg/ha)	Perenne (kg/ha)	Raíz (kg/ha)	Corona (kg/ha)
G6	3143	2287	1056	742	856	725	131
G10	3024	2222	1018	811	801	647	155
Valor p	0,84	0,9	0,87	0,78	0,73	0,53	0,57

#### 3.2. Biomasa aérea producida acumulada

Independientemente del cultivar evaluado, el crecimiento aéreo acumulado (material por encima de la altura de corte más los tallos nuevos por debajo de la misma) de las plantas cortadas a 10 cm de altura fue 25% superior ( $p < 0,05$ ) al de las cortadas a 4 cm de altura, y no se detectaron diferencias entre cultivares (Figura 4).

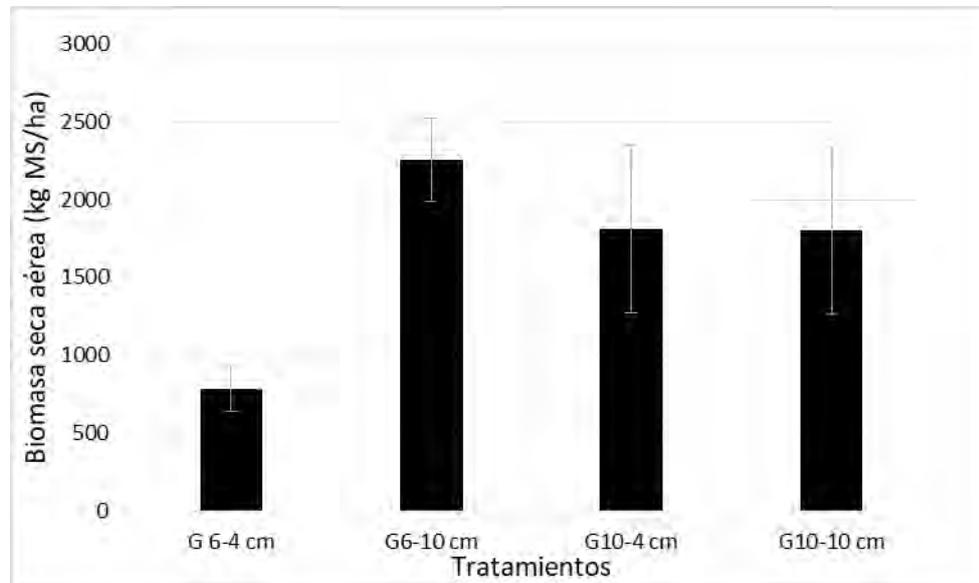


Figura 4. Biomasa seca aérea acumulada entre 03/12/2014 y el 02/09/2015 (kg MS/ha) por cultivares de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.2.1. Dinámica de la producción de biomasa aérea total durante la aplicación de los tratamientos (entre 03/12/2014 y el 02/09/2015)

Independientemente de los tratamientos, aproximadamente el 87% de la biomasa aérea se produjo durante la primavera y el verano, mientras que el 13% restante se produjo en otoño-invierno (Figura 5).

Las plantas cortadas a 10 cm de altura generaron más biomasa aérea que las cortadas a 4 cm de altura sólo en determinados cortes. Las diferencias más relevantes, en términos cuantitativos, se hallaron en: el primer corte luego del establecimiento de los tratamientos (4.904 vs. 2.960 kg MS/ha), el 13/01/2015 (4.120 vs. 2.977 kg MS/ha), el corte de otoño (1.390 vs. 985 kg MS/ha) y el corte a fin de invierno (1.838 vs. 732 kg MS/ha) (Figura 5).

En el 04/02/2015 el cultivar G6 con reposo invernal intermedio produjo un 26% más que el cultivar G10 con mayor actividad invernal (3.172 vs. 2.518 kg MS/ha, respectivamente,  $p < 0,05$ ). Por el contrario, el cultivar G10 produjo 41% más biomasa aérea que G6 en el acumulado de los dos últimos cortes del verano (5.191 vs. 3.675 kg MS/ha, respectivamente,  $p < 0,05$ ), siendo mayor la diferencia en el

último corte estival (Figura 5). En el resto de las fechas evaluadas no se detectaron diferencias significativas entre cultivares para esta variable.

Un aspecto resaltable, debido al impacto a largo plazo (ver punto 3.2.2 “efectos residuales”), se observó al finalizar el verano. Tanto el cultivar G6 cortado menos severamente (G6-10cm) como ambos tratamientos del cultivar G10 (G10-4cm y G10-10cm) mostraron un aumento en la producción de biomasa aérea con respecto a la fecha de corte anterior (25/02/2015, Figura 5), mientras que lo contrario tendió a ocurrir en el cultivar G6 cortado con mayor severidad (G6-4cm).

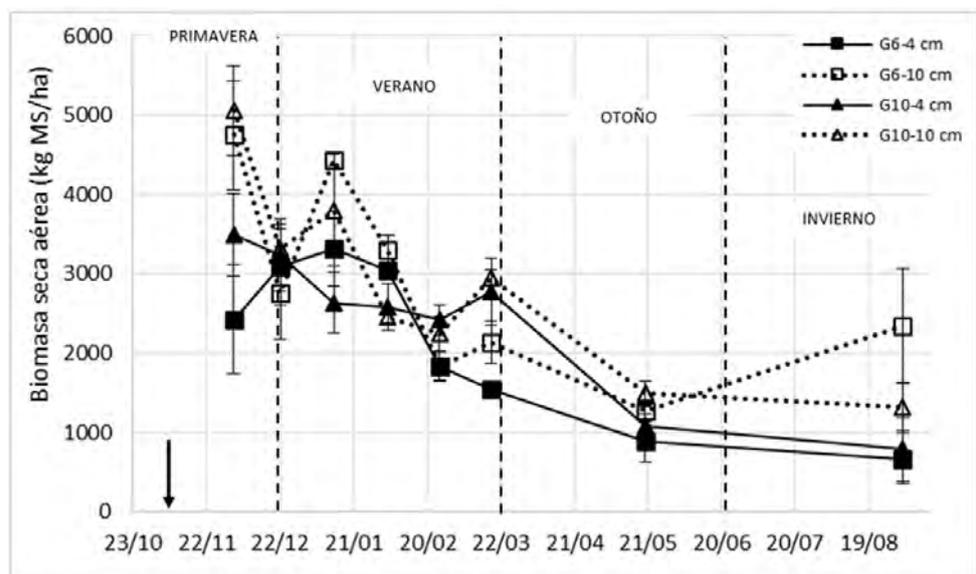


Figura 5. Dinámica de la producción de biomasa seca aérea (kg MS/ha) total entre el 03/12/2014 y el 02/09/2015 de cultivares de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.2.2. Producción de biomasa aérea entre el 02/09/2015 y el 05/10/2015 (“efecto residual”)

La biomasa aérea producida por el cultivar G6 que había sido cortado con mayor severidad (G6-4cm) fue inferior a la del resto de los tratamientos evaluados (Figura 6).

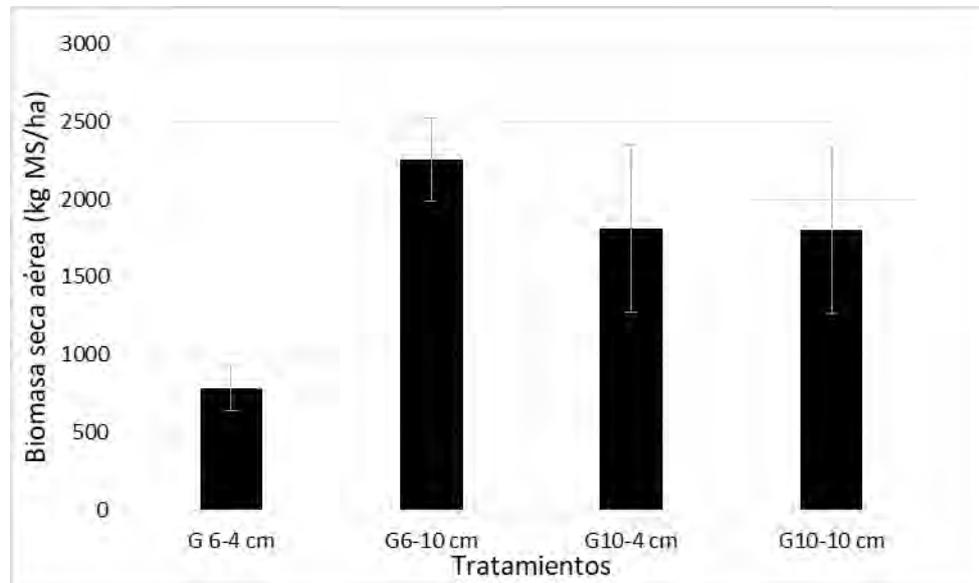


Figura 6. Biomasa seca aérea acumulada (kg MS/ha), desde 02/09/2015 hasta el 05/10/2015 (“efecto residual”, altura de corte 2 cm) de los tratamientos previos de altura de corte (4 y 10 cm, ver Materiales y métodos) en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10). Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.3. Biomasa seca aérea cosechada acumulada (producción de forraje)

En la biomasa aérea cosechada acumulada, por encima de la altura de corte, no se detectaron diferencias significativas ni entre cultivares ni entre alturas de corte, y tampoco fue significativa su interacción ( $p > 0,05$ ) (Figura 7). Similar resultado se observó para los componentes hojas y tallos, los cuales en promedio acumularon 9.853 y 8.657 kg MS/ha, respectivamente.

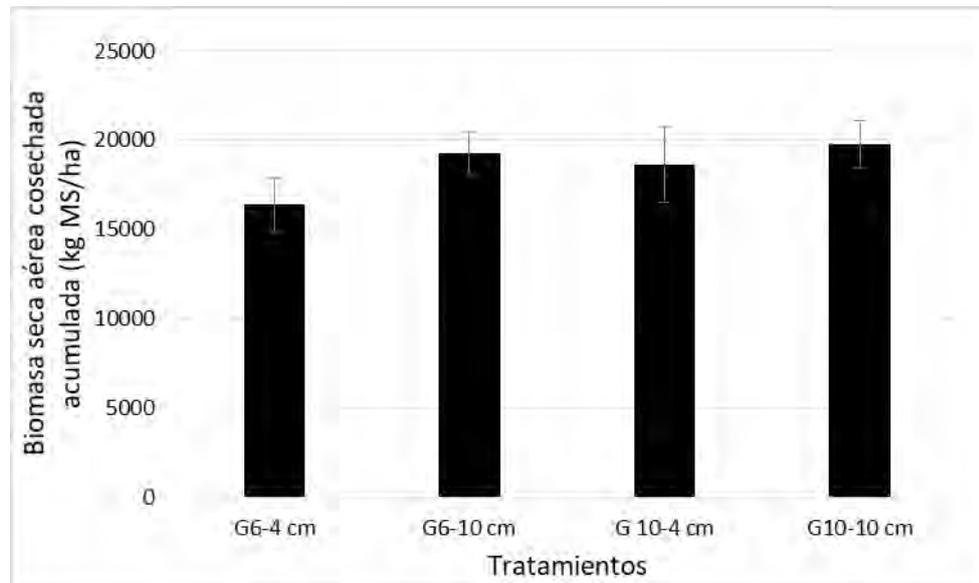


Figura 7. Biomasa seca aérea cosechada acumulada (kg MS/ha) desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 para un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro cultivar sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.3.1. Dinámica de la biomasa aérea cosechada

En líneas generales la biomasa aérea de alfalfa cosechada por encima de la altura de corte siguió la tendencia de la biomasa aérea total producida. La biomasa cosechada fue mayor en las plantas cortadas a 10 cm de altura que en aquellas cortadas a 4 cm a inicios de diciembre, mediados de enero y a principios de septiembre (Figura 8).

El cultivar G6 superó en biomasa cosechada al cultivar G10 en el corte del 04/02/2015 (Figura 8). Por su parte el cultivar G10 superó al cultivar G6 en los dos cortes de fines de verano y en el corte de otoño (Figura 8).

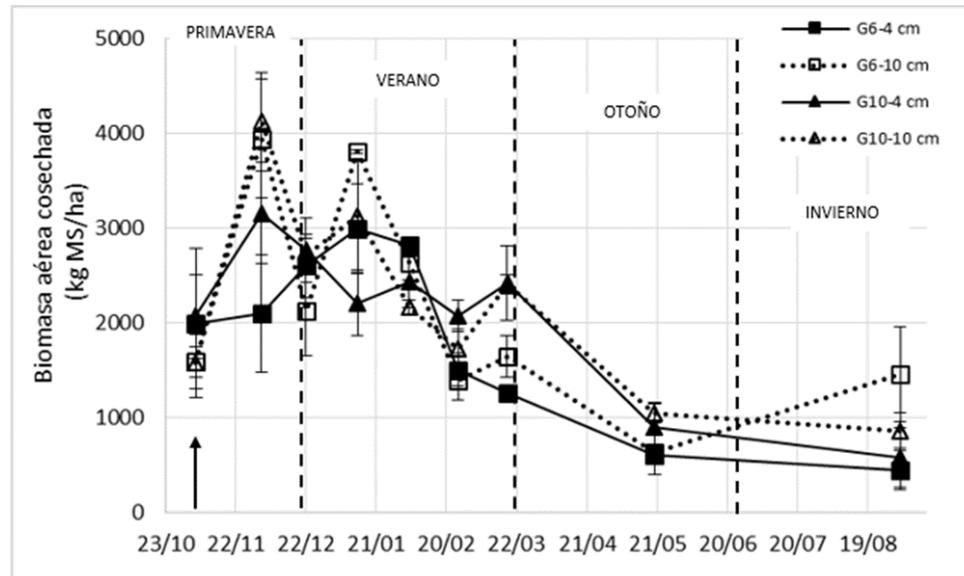


Figura 8. Dinámica de la biomasa seca aérea cosechada (kg MS/ha) desde el 05/11/2014 hasta el 02/9/2015 de un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014), las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.4. Dinámica del número de hojas totalmente expandidas acumuladas por tallo al momento del corte

En general Sólo se observaron diferencias ( $p < 0,05$ ) en el número de hojas expandidas por tallo en las fechas de corte del 22/12/2014 y del 18/03/2015, cuando las plantas cortadas a 10 cm superaron a las cortadas a 4 cm (Figura 9). Cabe resaltar, que el menor número de hojas expandidas (entre 8 y 9 hojas) se registró en la fecha de corte del 22/12/2014. Si bien, en casi todas las fechas de corte el cultivar G6 mostró mayor número de hojas expandidas por tallo, las diferencias fueron significativas ( $p < 0,05$ ) en la fecha de corte del 04/02/2015 y la fecha de corte de invierno (02/09/2014) (Figura 9).

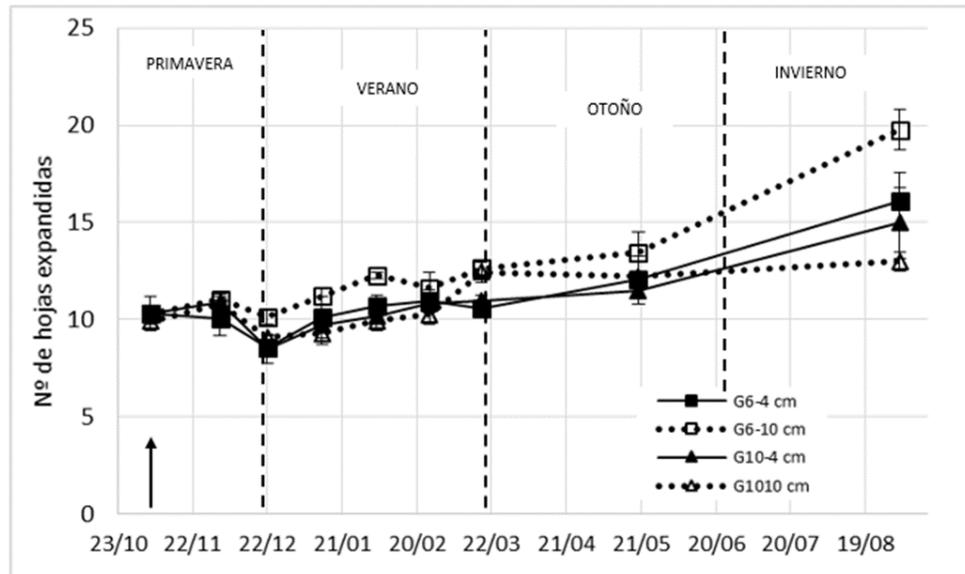


Figura 9. Dinámica del número de hojas expandidas acumuladas por tallo desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.5. Dinámica de la altura de plantas al momento del corte

En general, la altura máxima de las plantas se alcanzó a inicio de diciembre, luego de lo cual disminuyó hasta principios de mayo con un par de picos secundarios registrados a mediados y finales del verano (Figura 10).

En líneas generales se observó que las plantas del cultivar G6 cortadas a 10 cm fueron significativamente más altas que aquellas plantas del mismo cultivar cortadas a 4 cm a partir del inicio del verano. Por el contrario, en el cultivar G10, las diferencias entre alturas de corte fueron de menor cuantía y sólo fueron significativas en las dos últimas fechas de corte de verano y la fecha de corte de otoño (Figura 10).

La altura de las plantas fue superior en el cultivar G10 que en el G6 durante todo el período de crecimiento evaluado. Las diferencias más importantes entre cultivares se observaron en las plantas cortadas a 4 cm de altura, particularmente en las últimas tres fechas de corte, cuando el cultivar G10 mostró, en promedio, una altura 90% superior a la del cultivar G6.

Es interesante resaltar que, al igual que lo sucedido con la producción aérea de biomasa, el cultivar G6 cortado menos severamente (G6-10cm) y ambos

tratamientos del cultivar G10 (G10-4cm y G10-10cm) mostraron, respecto del cultivar G6 cortado con mayor severidad (G6-4cm) un incremento de altura entre las últimas dos fechas del verano (25/02/2015 y 18/03/2015; Figura 10). En la última fecha de corte luego de la salida del invierno el cultivar G10 bajo ambas alturas de corte y el tratamiento (G6-10 cm) mostraron más del doble de altura de plantas que el cultivar G6 cortado a 4 cm (Figura 10).

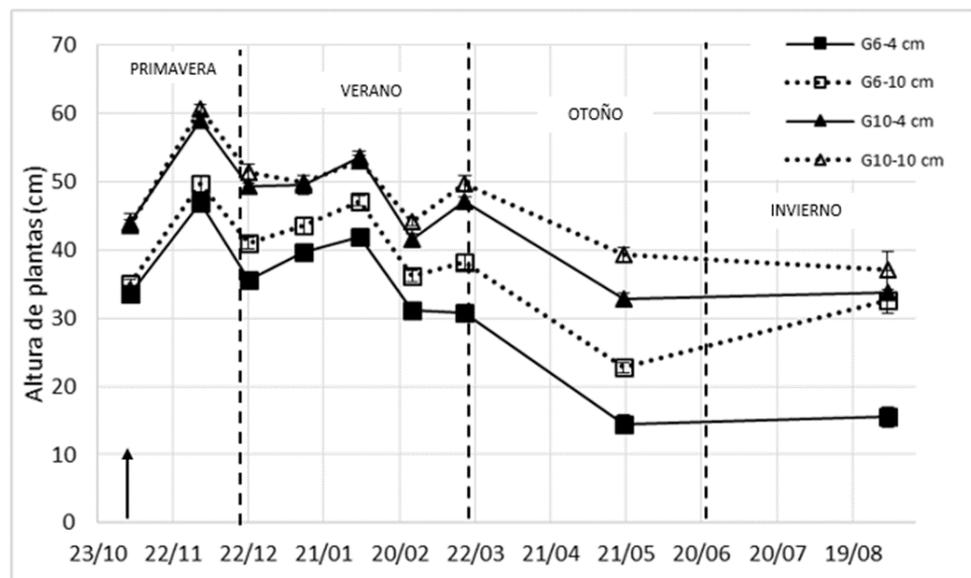


Figura 10. Dinámica de la altura de plantas de dos cultivares de alfalfa, uno con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10), previo a ser cortadas a 4 o 10 cm de altura en el período comprendido entre el 05/11/2014 y el 02/09/2015. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014), las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.6. Índice de nutrición nitrogenada de cada tratamiento evaluado en cuatro fechas de corte.

En la tabla 4 se puede observar que ninguno de los tratamientos evaluados estuvo limitado por nitrógeno a través de las fechas de cortes analizadas. Por lo que el crecimiento aéreo diferencial entre tratamientos luego de cada corte (específicamente en las fechas de corte del 25/02/2015 y 18/03/2015, ver Figura 5) no se debió a un déficit de nitrógeno endógeno en planta.

Tabla 4. Índice de nutrición nitrogenada (mayor o igual a 1= no limitado por nitrógeno; menor a 1 = limitado por nitrógeno) de tratamientos G6-4cm, G6-10cm, G10-4cm y G10-10cm en las fechas de corte del 04/02/2015, 25/02/2015, 18/03/2015 y 20/05/2015.

	04/02/2015	25/02/2015	18/03/2015	20/05/2015
G6-4 cm	1,2	1,1	1,2	1,0
G6-10 cm	1,3	1,1	1,3	1,1
G10-4 cm	1,2	1,0	1,2	1,0
G10-10 cm	1,2	1,1	1,3	1,2
Valor p cultivar	0,05	0,45	0,99	0,54
Valor p altura	0,05	0,80	0,05	0,09
Valor p (altura * cultivar)	0,80	0,45	0,99	0,09

### 3.7. Dinámica del remanente

#### 3.7.1. Dinámica del índice de área foliar remanente

El índice de área foliar remanente (IAFr) mostró un comportamiento similar al observado en la biomasa foliar remanente. En líneas generales, las plantas cortadas a 10 cm mostraron significativamente ( $p < 0,05$ ) mayores IAFr que aquellas cortadas a 4 cm en todas las fechas de corte, aunque la diferencia fue mucho más marcada en el cultivar G6 que en el cultivar G10 (Figura 11). Más aún, de enero en adelante el cultivar G6 cortado a 10 cm de altura mostró los mayores valores de IAFr (Figura 11).

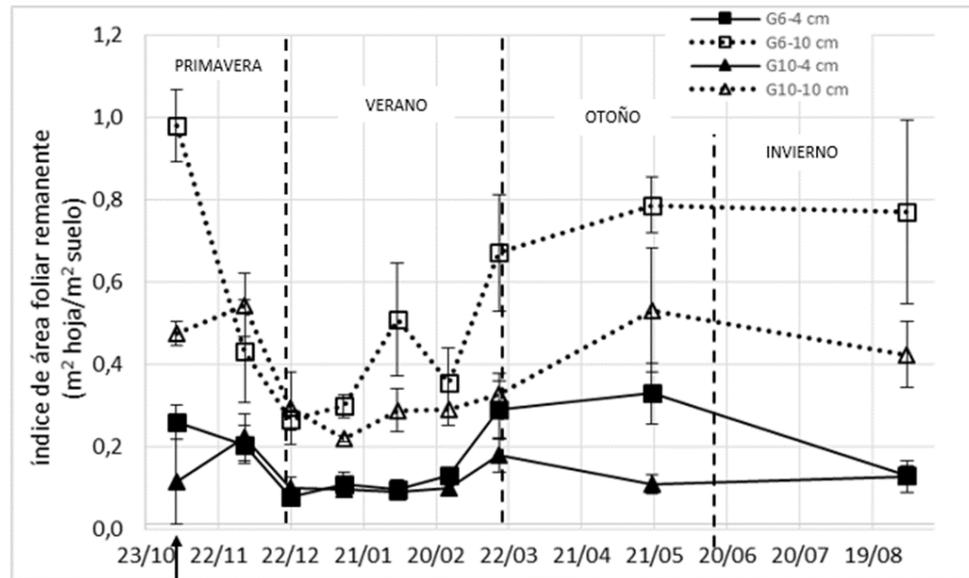


Figura 11. Dinámica del índice de área foliar remanente desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.7.2. Dinámica de la biomasa foliar remanente

Las plantas cortadas a 10 cm de altura mostraron, en todas las fechas de corte, una biomasa foliar remanente significativamente mayor que aquellas cortadas a 4 cm (Figura 12), siendo las diferencias de mayor magnitud en el cultivar G6 que en el G10 (interacción cultivar x altura de corte  $p < 0,05$ ).

En la primera fecha de evaluación, independientemente de la altura de corte, el cultivar G6 mostró mayor biomasa foliar remanente que el cultivar G10 (Figura 12). Sin embargo, esta diferencia se modificó con el transcurrir del experimento. Con cortes a 10 cm de altura el cultivar G6 mostró, de enero en adelante, consistentemente mayor biomasa foliar remanente que el resto de los tratamientos (Figura 12). Por su parte, en las plantas cortadas a 4 cm de altura las diferencias entre cultivares desaparecieron durante prácticamente todo el verano y reaparecieron, nuevamente a favor del cultivar G6, en el último corte de verano y en el de otoño (Figura 12). Es interesante resaltar que en las fechas de corte de otoño e invierno la biomasa foliar remanente del cultivar G6 cortado severamente (G6-4cm) fue similar a la del cultivar G10 cortado menos severamente (G10-10cm).

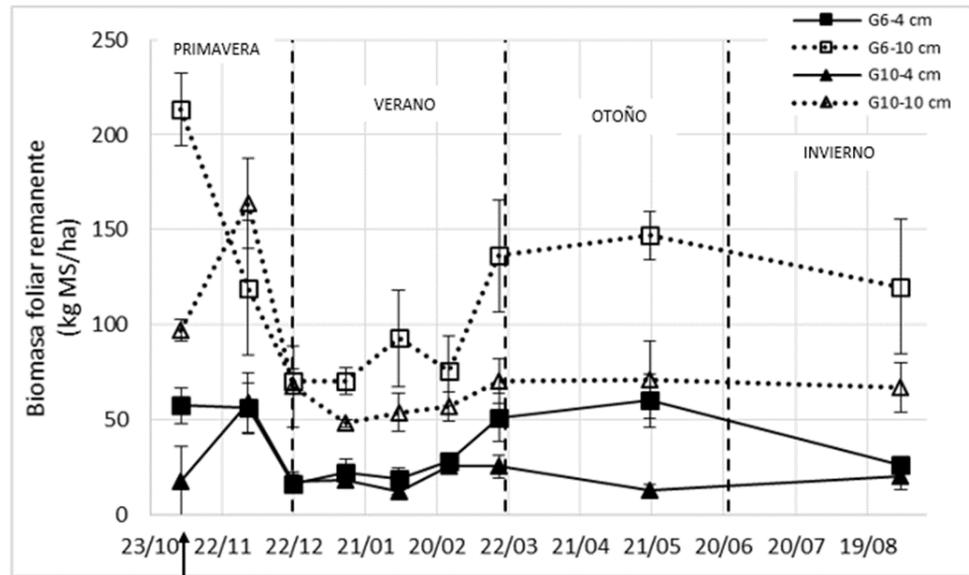


Figura 12. Dinámica de la biomasa foliar remanente del 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.7.3. Dinámica de la biomasa verde remanente

Se consideró biomasa verde remanente a la suma de la biomasa foliar remanente (aprox. 13%) y del tallo verde del remanente (aprox. 87%). Las plantas cortadas a 10 cm mostraron mayor biomasa verde remanente que aquellas cortadas a 4 cm en todas las fechas de corte, siendo notoria las diferencias a favor de G6 respecto de G10 en las fechas de otoño e invierno en plantas cortadas a 10 cm (Figura 13).

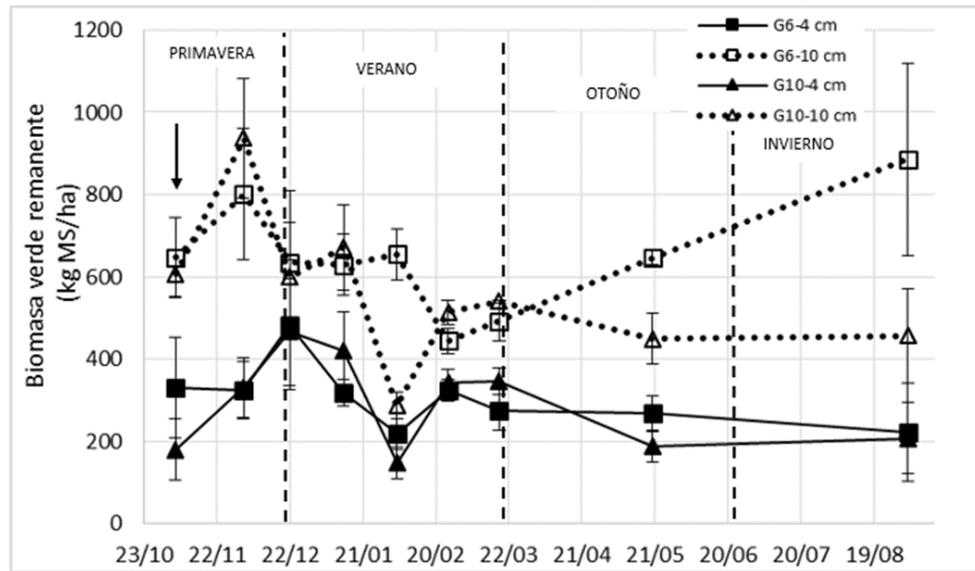


Figura 13. Dinámica de la biomasa verde remanente desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

#### 3.7.4. Dinámica del número de tallos jóvenes en el remanente

Hasta mediados de enero no se detectaron diferencias significativas ni entre cultivares ni entre alturas de corte ( $p > 0,05$ ). En general, plantas cortadas a 10 cm tuvieron mayor número de tallos nuevos por planta que aquellas cortadas a 4 cm, siendo sólo significativa la diferencia entre ambas alturas en la fecha de corte de inicio de febrero. De febrero en adelante, independientemente de la altura de corte, las plantas del cultivar G6 mostraron más cantidad de tallos nuevos por planta que las plantas del cultivar G10 (Figura 14).

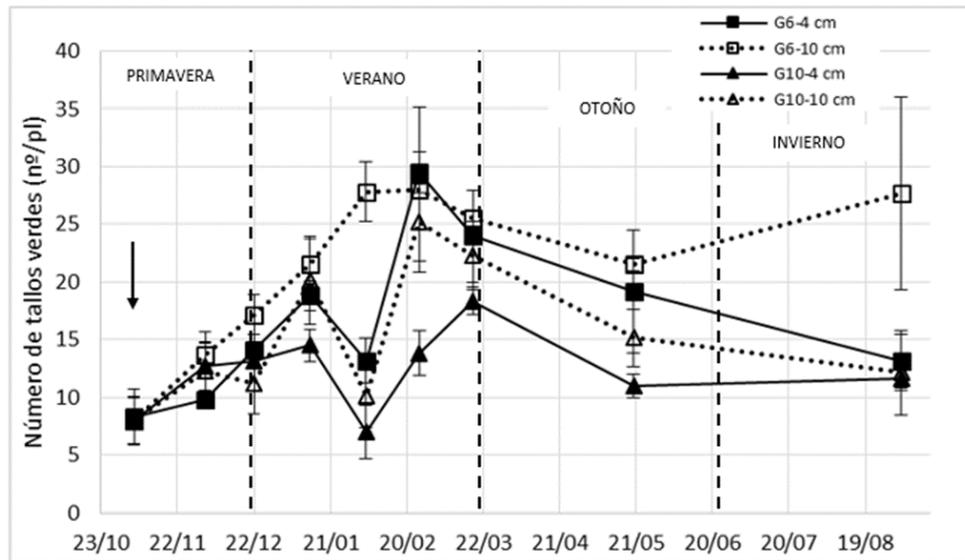


Figura 14. Dinámica del número de tallos verde por planta en el remanente desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.7.5. Dinámica del número de nudos por tallo joven en el remanente

Como era de esperar, en todas las fechas evaluadas las plantas cortadas a 10 cm mostraron mayor cantidad de nudos por tallo verde remanente que aquellas cortadas a 4 cm (Figura 15). Independientemente de la altura de corte, y excepto en las 2 fechas de diciembre (03/12/2014 y 22/12/2014), las plantas del cultivar G6 mostraron más nudos por tallo verde remanente ( $p < 0,05$ ) que las del cultivar G10 (Figura 15). Es interesante resaltar que, salvo para las fechas mencionadas de diciembre, el número de nudos por tallo verde remanente del cultivar G6 cortado severamente (G6-4cm) fue prácticamente el mismo que el del cultivar G10 cortado menos severamente (G10-10cm) siendo incluso superior en la última fecha evaluada (Figura 15).

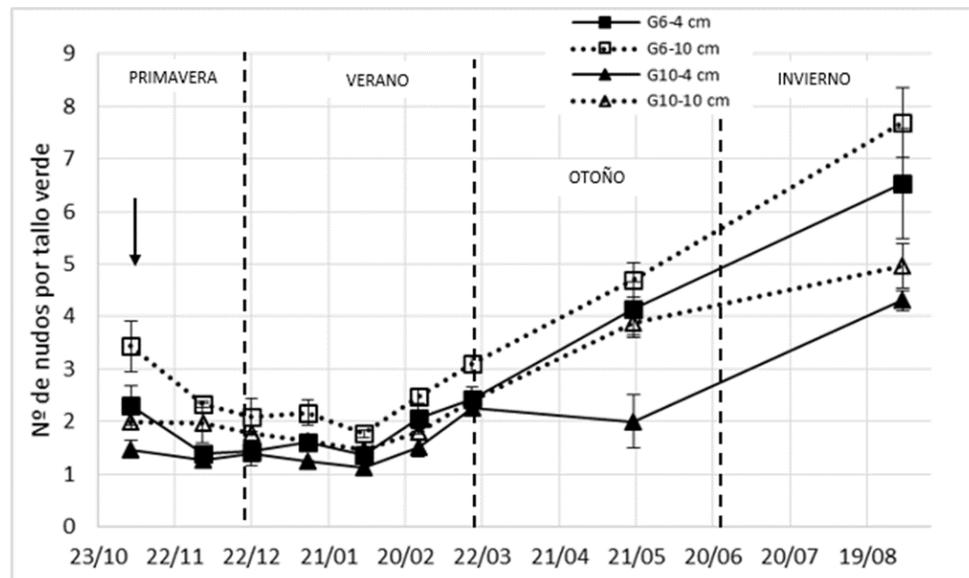


Figura 15. Dinámica del número de nudos por tallo verde en el remanente desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.7.6. Dinámica del número de nudos totales por planta en el remanente

Esta variable surge de multiplicar las dos anteriores (el número de tallos verdes en el remanente por el número de nudos por tallo verde remanente) y da idea del número potencial de yemas axilares y de entrenudos disponibles para generar biomasa aérea durante el rebrote.

Se observaron diferencias entre alturas de corte y cultivares siendo notoria, de febrero de 2015 en adelante, la mayor cantidad de nudos totales en el remanente del cultivar G6 (Figura 16). Más aún, de enero en adelante el valor observado en el cultivar G6 cortado severamente (G6-4cm) fue prácticamente el mismo que el del cultivar G10 cortado menos severamente (G10-10cm) siendo incluso superior a partir de marzo de 2015 (Figura 16).

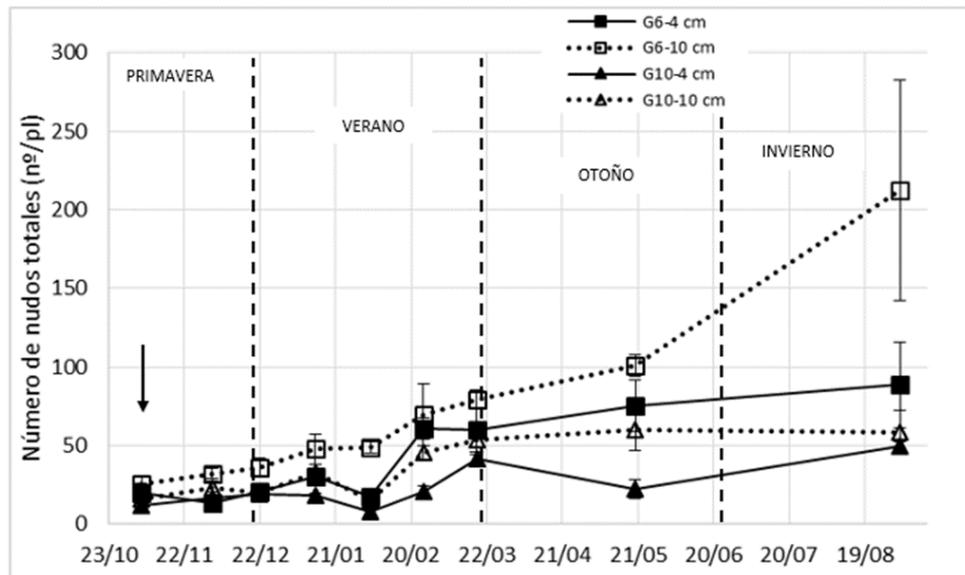


Figura 16. Dinámica número de nudos totales por planta en el remanente desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.7.7. Concentración de nitrógeno en la biomasa foliar (%), contenido absoluto de nitrógeno foliar y nitrógeno foliar específico

Las plantas cortadas a 10 cm de altura mostraron, en ambos cultivares, mayor concentración de nitrógeno durante el verano (Figura 17), siendo escasas las diferencias en el resto del experimento. El 04/02/2015 y el 25/02/2015 el cultivar G6 defoliado severamente (G6-4cm) tendió a mostrar ( $p < 0,07$ ) menores valores respecto de los demás tratamientos (interacción altura x cultivar:  $p = 0,06$ ).

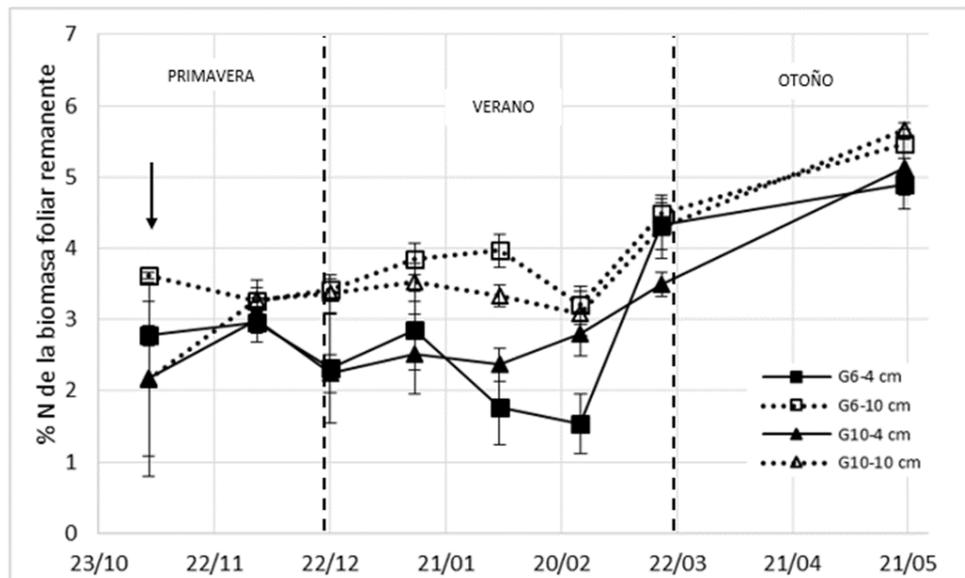


Figura 17. Dinámica de la concentración de nitrógeno (%) de la biomasa foliar remanente desde 5/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

Respecto del contenido de nitrógeno en la biomasa foliar remanente, las plantas cortadas a 10 cm mostraron significativamente ( $p < 0,05$ ) mayores valores que aquellas cortadas a 4 cm (Figura 18). Las diferencias entre cultivares fueron más notorias y a favor del cultivar G6 en las plantas cortadas a 10 cm de altura a partir del verano, mientras que en las plantas cortadas a 4 cm de altura sólo existieron diferencias a favor del cultivar G6 en el último corte de verano y en el corte de otoño (Figura 18).

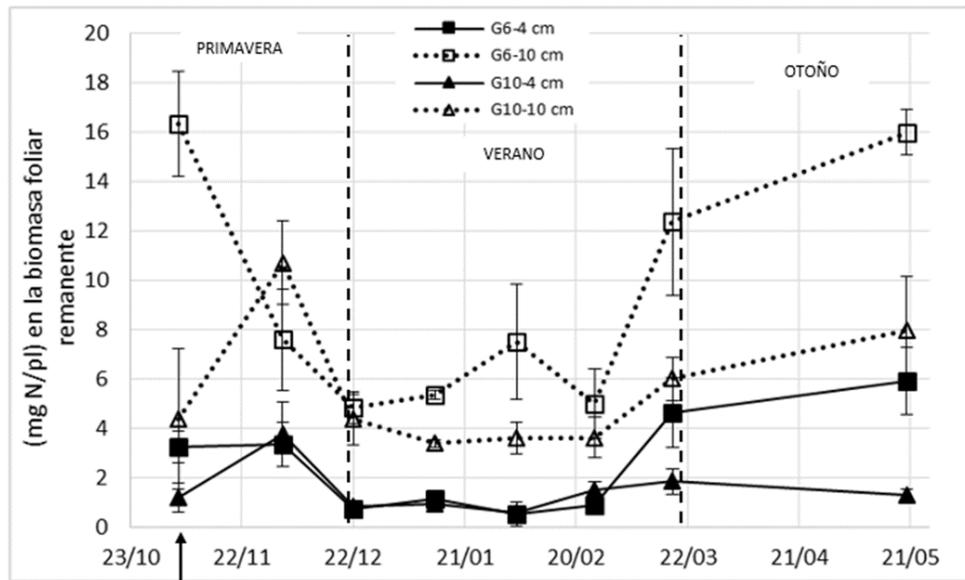


Figura 18. Dinámica del contenido de nitrógeno (mg/planta) en la biomasa foliar remanente desde 05/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

Exceptuando un par de fechas (05/11/2014 y 25/02/2015) el contenido de nitrógeno foliar específico de las plantas cortadas a 10 cm fue, para ambos cultivares, significativamente superior al de las plantas cortadas a 4 cm (Figura 19). En la anteúltima fecha de verano (25/02/2015) el tratamiento G6-4cm mostró los menores valores de nitrógeno foliar específico mientras que el tratamiento G10-4cm mostró los menores valores en la última fecha de verano (18/03/2015) (Figura 19). Por su parte, el cultivar G6 mostró mayor nitrógeno foliar específico que el G10 en la primera fecha de primavera (05/11/2014) y en la fecha de corte de otoño (20/05/2015) (Figura 19).

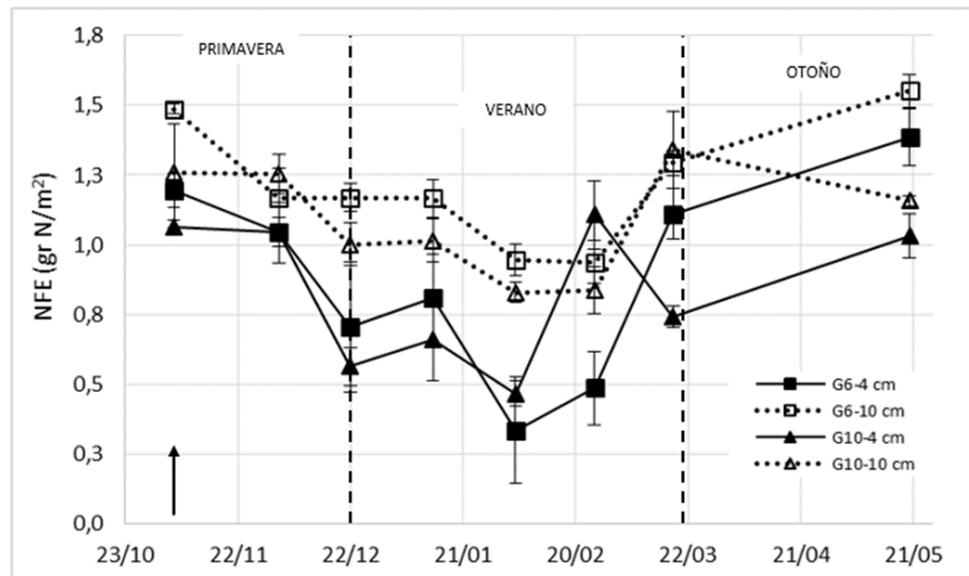


Figura 19. Dinámica del nitrógeno foliar específico ( $\text{g N/m}^2$  hoja) desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.8. Dinámica de la biomasa perenne

En ambos cultivares las plantas cortadas a 10 cm de altura mostraron más biomasa perenne que las plantas cortadas a 4 cm de altura, siendo las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la segunda fecha de corte de primavera, la segunda de verano, y en la fecha de corte de invierno. La diferencia entre alturas de corte tendió a ser mayor en el cultivar G6 que en el G10 (Figura 20). La biomasa perenne se incrementó hasta la anteúltima fecha de corte de verano.

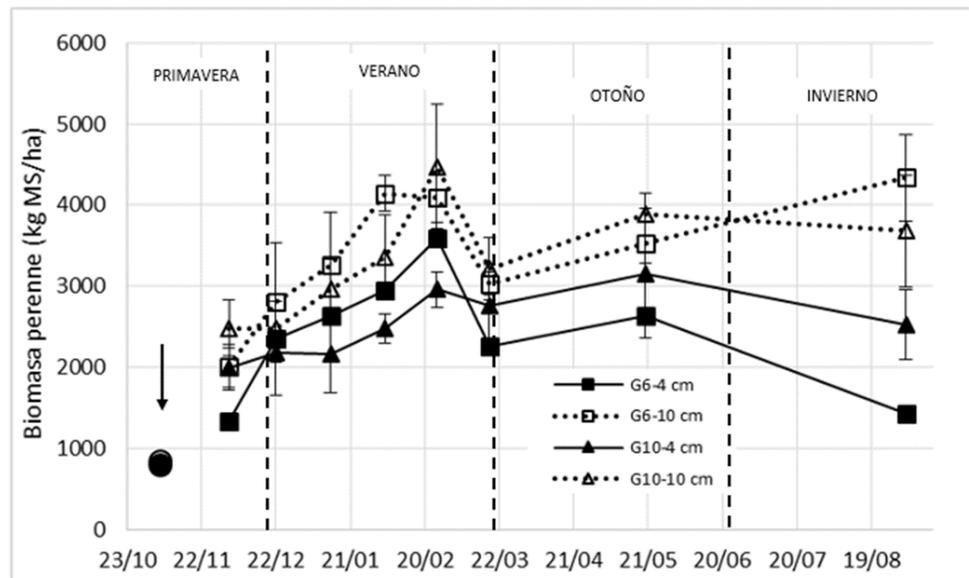


Figura 20. Dinámica de la biomasa seca perenne reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10), cortados a 4 y 10 cm de altura entre el 03/12/2014 y el 02/09/2015. Los círculos muestran la biomasa seca perenne de ambos cultivares en la fecha de aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.8.1. Biomasa perenne registrada el 05/10/2015 (“efecto residual”)

La biomasa perenne registrada el 05/10/2015 para determinar el “efecto residual” fue superior en el cultivar G6 cortado a 10 cm, intermedia en el cultivar G10 independientemente de la altura de corte e inferior en el cultivar G6 cortado a 4 cm de altura (Figura 21).

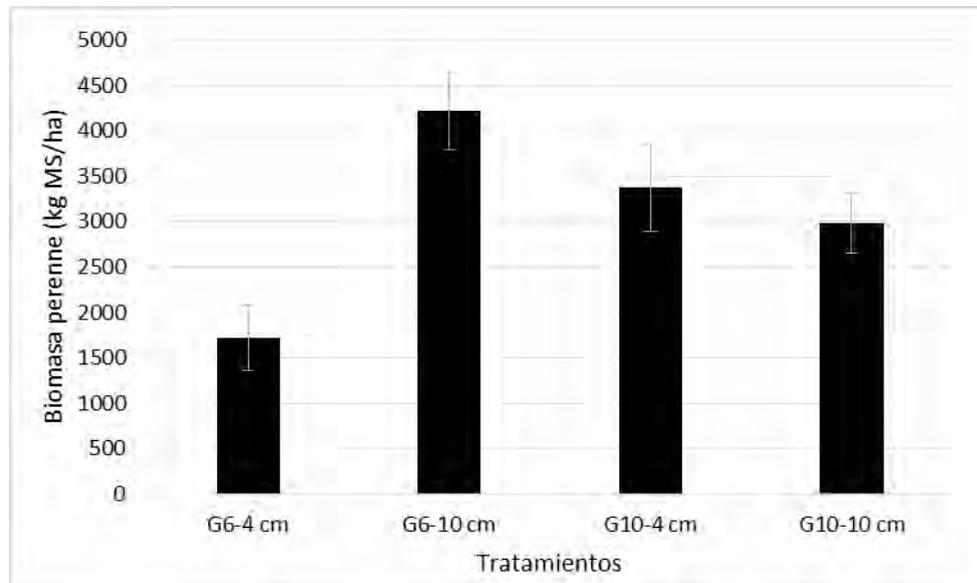


Figura 21. Biomasa seca perenne (kg MS/ha) registrada el 05/10/2015 (“efecto residual”) en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) que fueron sometidos a dos alturas de corte (4 y 10 cm) entre el 03/12/2014 y el 02/09/2015, fecha esta última en que todas las plantas se cortaron a 2 cm de altura. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.8.2. Concentración y contenido absoluto de nitrógeno en biomasa perenne

Las plantas del cultivar G6 cortadas a 10 cm mostraron mayor concentración de nitrógeno en biomasa perenne respecto de aquellas cortadas a 4 cm en las fechas de corte de otoño e invierno. En las plantas del cultivar G10 no existieron diferencias en la concentración de nitrógeno en biomasa perenne entre alturas de corte.

Con cortes de plantas a 10 cm, el cultivar G10 mostró mayor concentración de nitrógeno que el cultivar G6 en las primeras dos fechas de corte de verano. Por su parte, con cortes a 4 cm de altura sólo se observó significativamente mayor concentración de nitrógeno en la fecha de corte de otoño en el cultivar G10 respecto del cultivar G6 (Figura 22).

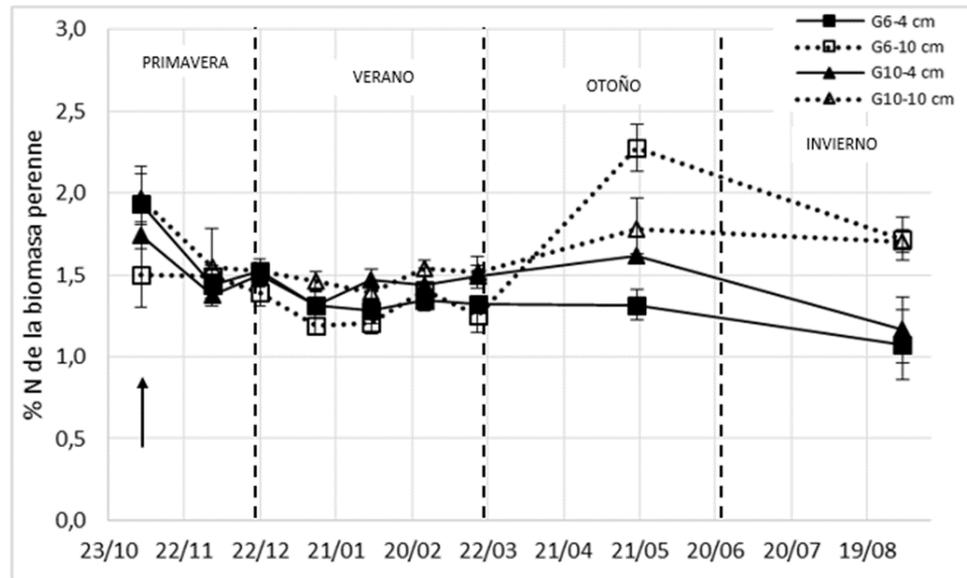


Figura 22. Dinámica de la concentración de nitrógeno (%) de la biomasa perenne desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el establecimiento de los tratamientos (05/11/2014), las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

El contenido absoluto de nitrógeno de la biomasa perenne de plantas cortadas a 10 cm también resultó mayor que aquellas plantas cortadas a 4 cm, sólo siendo significativas ( $p \leq 0,05$ ) las diferencias en la segunda fecha de corte de primavera, la segunda y tercera fecha de corte de verano, y en las dos últimas fechas de corte evaluadas, es decir en otoño e invierno (Figura 23). No se detectaron diferencias significativas entre cultivares.

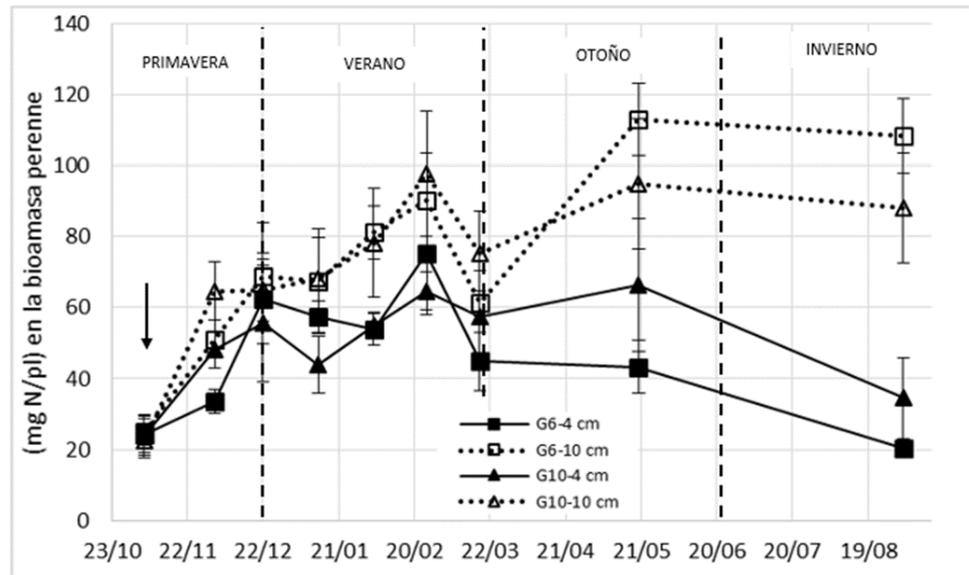


Figura 23. Dinámica del contenido de nitrógeno (mg/planta) de la biomasa perenne desde 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el establecimiento de los tratamientos (05/11/2014), las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.9. Dinámica de la relación entre la biomasa verde remanente (fuente) y el número de nudos totales por planta en el remanente (destinos)

En ambos cultivares la relación fuente : destino fue superior en las plantas cortadas a 10 cm de altura respecto de las cortadas a 4 cm de altura sólo en las primeras dos fechas de corte y luego no se detectaron diferencias (Figura xx). Durante el verano, la relación fuente : destino del cultivar G10 fue significativamente superior ( $p < 0,05$ ) a la del cultivar G6, independientemente de la altura de corte (Figura xx). Si bien el cultivar G10 continuó con mayores valores que el G6 durante el otoño e invierno, dichas diferencias no fueron significativas. La menor relación fuente : destino observada en el G6 respecto del G10 de mediados de verano en adelante se explicaría porque el cultivar G6 aumentó en mucho mayor medida que el G10 el número de nudos totales por planta en el remanente (es decir el denominador de dicha relación; ver Figura 16) mientras que las biomásas remanentes (es decir el numerador de dicha relación) fue similar entre los cultivares (ver Figura 13).

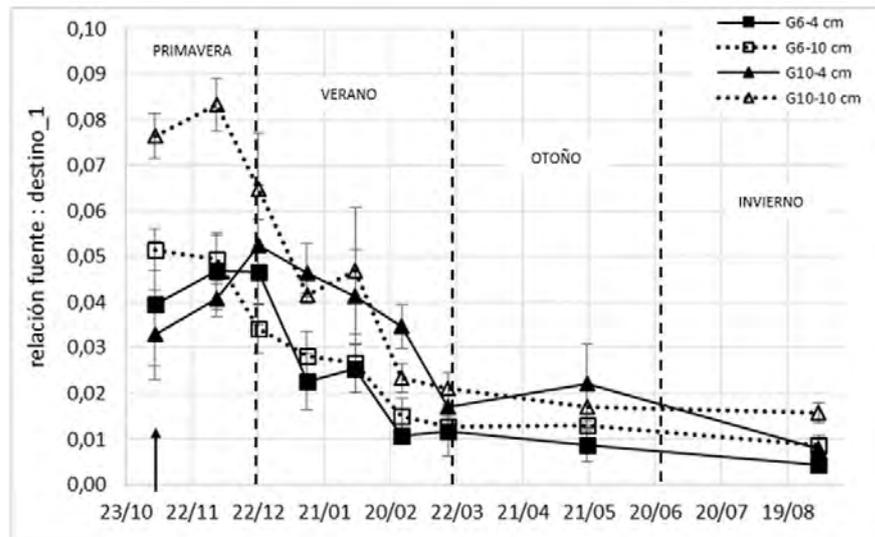


Figura 24. Dinámica de la relación fuente : destino<sub>1</sub> (cociente entre biomasa verde remanente y número de nudos por planta en los tallos jóvenes del remanente) desde el 05/11/2014 hasta el 02/09/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

### 3.10. Dinámica de la relación entre el contenido de nitrógeno en la biomasa verde remanente (fuente) y el número de nudos totales por planta en el remanente (destinos)

La disponibilidad de nitrógeno por cada nudo en el remanente verde fue mayor cuando las plantas se cortaron a 10 cm en todas la fechas de corte pero las diferencias sólo fueron significativas ( $p < 0,05$ ) en las dos fechas de corte de primavera (05/11/2014 y 03/12/2014). Por su parte el cultivar G10 mostró mayores valores ( $p < 0,05$ ) respecto del cultivar G6 en las fechas de corte del 13/01/2015, 04/2/2015 y el 25/02/2015. Es interesante resaltar que a partir del verano el cultivar G6 cortado a 4 cm mostró consistentemente los menores valores para esta variable (Figura xx), mientras que el G10 cortado a 4 cm mostró similares valores a los observados en el cultivar G6 cortado a 10 cm.

La menor relación fuente : destino observada en el G6 respecto del G10 de inicios de verano en adelante se explicaría porque el cultivar G6 aumentó en mucho mayor medida que el G10 el número de nudos por planta en el remanente (i.e. el denominador de dicha relación; ver Figura 16) mientras que el contenido de nitrógeno en la biomasa verde remanente (i.e. es decir el numerador de dicha relación) fue similar entre los cultivares (ver Anexo Figuras A2 Y A3).

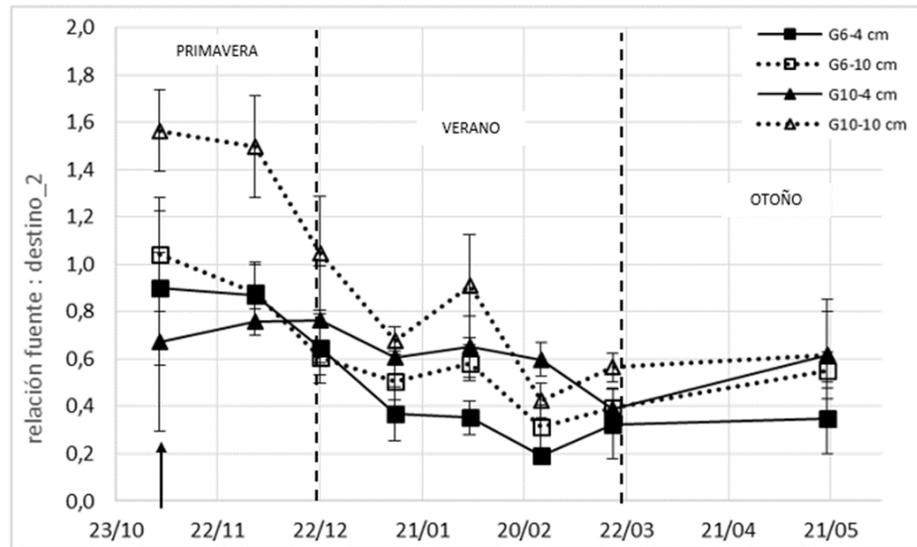


Figura 25. Dinámica de la relación fuente : destino\_2 (cociente entre el contenido de nitrógeno en la biomasa verde remanente y el número de nudos por planta en los tallos jóvenes del remanente) desde 05/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

## 4. DISCUSIÓN

En esta tesis se analizó el impacto de la altura de corte (4 cm vs. 10 cm) sobre el comportamiento de dos cultivares de alfalfa, que contrastan en su grado de reposo invernal (G6 vs. G10), sometidos a defoliaciones frecuentes.

En ambos cultivares, la biomasa aérea cosechada por encima de la altura de corte establecida (*i.e.* la producción de forraje) no fue afectada por realizar cortes a mayor altura (10 cm) que lo usualmente recomendado (4 cm). Sin embargo, el crecimiento aéreo (*i.e.* biomasa producida desde el ras del suelo) fue superior en las plantas cortadas a 10 cm que en plantas cortadas a 4 cm. En consecuencia, las plantas cortadas a 10 cm de altura tuvieron mayor producción de forraje debajo de la altura de corte resultando en una mayor biomasa remanente post-corte. Por su parte, la aplicación prolongada de cortes frecuentes y severos (4 cm) afectó negativamente la biomasa perenne (*i.e.* corona y raíz) y la capacidad de rebrote de salida de invierno en el cultivar con reposo invernal intermedio.

En adelante, se discute el impacto generado por los tratamientos sobre el crecimiento aéreo (*i.e.* biomasa producida desde el ras del suelo) y sobre variables asociadas con la persistencia productiva (*i.e.* biomasa y nitrógeno en biomasa perenne) de las pasturas de alfalfa.

### 4.1. Crecimiento aéreo

La biomasa aérea producida acumulada durante casi un año fue, en ambos cultivares, superior en plantas cortadas a 10 cm que en plantas cortadas a 4 cm. Estos resultados, son similares a los obtenidos en otros trabajos en los que se evaluó el impacto de la altura de corte sobre la productividad de alfalfas defoliadas con alta frecuencia (Hildenbrand y Harrison, 1939; Kust y Smith, 1961; Langer y Steinke, 1965; Smith y Nelson, 1967; Leach, 1969).

Las diferencias observadas en producción entre las alturas de corte evaluadas se discuten en función de la fuente aérea (*i.e.* biomasa verde y área foliar remanente), fuente subterránea (*i.e.* biomasa y nitrógeno en corona y raíz) y de los destinos disponibles en el remanente aéreo (*i.e.* número de nudos totales en tallos jóvenes del remanente).

Numerosos trabajos han demostrado que plantas de alfalfa con mayor biomasa verde remanente (hojas y tallos jóvenes) y/o área foliar remanente muestran un mayor crecimiento aéreo post-corte (Leach, 1968; Hodgkinson *et al.*, 1972; Simon *et al.*, 2004; Meuriot *et al.*, 2005). Similarmente, en el presente trabajo se observó que los rebrotes en los cuales las plantas cortadas a 10 cm presentaron mayor crecimiento aéreo se correspondieron con una mayor cantidad de remanente al inicio del rebrote (*i.e.* mayor biomasa y área foliar remanente) que en las cortadas a 4 cm de altura (Tabla 4). Dicho remanente a su vez mostró mayor concentración de nitrógeno, lo que sugiere que las plantas cortadas a 10 cm de altura no sólo tuvieron mayor superficie fotosintética para capturar radiación luego del corte, sino que también pudieron haber tenido mayor capacidad fotosintética por unidad de área foliar. En este sentido el mayor contenido de nitrógeno por unidad de área foliar (*i.e.* nitrógeno foliar específico) observado en el remanente de las plantas cortadas a 10 cm de altura podría estar relacionado con una mayor capacidad fotosintética del área foliar remanente (Teixeira *et al.*, 2008) en dichas plantas respecto de aquellas cortadas a 4 cm de altura.

Aparte del tejido remanente aéreo, otra fuente que contribuye en el rebrote de alfalfa son las reservas, principalmente de nitrógeno, almacenadas en raíz y corona (Avice *et al.*, 1996). En la Tabla 4, puede observarse que la mayor producción de biomasa por parte de plantas cortadas a 10 cm sólo se asoció con una mayor cantidad de nitrógeno en raíz y corona en la salida del invierno. Estos resultados, inducen a concluir que las mayores cantidades de reservas nitrogenadas en raíz y corona cobraron relevancia sólo al inicio de la primavera, tal como ha sido sugerido por diversos autores (Volenc *et al.*, 1996; Teixeira *et al.*, 2007).

Aparte de la fuente, otro factor que puede explicar diferencias en la capacidad de crecimiento aéreo entre las plantas cortadas a diferente altura es la cantidad de destinos disponibles para el crecimiento aéreo (Leach, 1968; 1969). El número de nudos por planta en los tallos jóvenes del remanente (que incluye tallos axilares y de corona) se determina a partir del producto entre el número de tallos jóvenes por planta y el número de nudos por tallo joven. Esta variable da una idea del número de yemas axilares y de entrenudos disponibles para generar biomasa aérea durante el rebrote y, por lo tanto, fue considerado el destino aéreo en el remanente. Es importante mencionar que en todas las fechas en las que hubo diferencias en

producción de biomasa aérea entre alturas de corte también hubo, al inicio del rebrote, diferencias en el número de nudos por tallo joven en el remanente, mientras que para el número de tallos jóvenes por planta sólo se detectaron diferencias en dos fechas, la primera de verano y la segunda en la salida de invierno (Tabla 5).

En función de lo discutido previamente se puede concluir que, para los cultivares de alfalfa evaluados, el mayor crecimiento aéreo de las plantas cortadas a 10 cm se explicó principalmente por una mayor cantidad de fuente fotosintética remanente (*i.e.* mayor área foliar residual), y una mayor cantidad de destinos (*i.e.* mayor cantidad de nudos en tallos jóvenes). Como se mencionó previamente las reservas habrían jugado un rol menor, sólo a la salida del invierno.

Tabla 5. Diferencias absolutas de los valores promedio de ambos cultivares entre tratamientos de altura de corte (valor10cm - valor4cm) para la biomasa acumulada al final de los distintos períodos de rebrote y para una selección de variables potencialmente explicativas de la misma al comienzo de los respectivos períodos. Las fechas de corte corresponden al período comprendido entre el 03/12/2015 (3/12) y el 02/09/2015 (2/9).

Fecha de corte	3/12	22/12	13/1	4/2	25/2	18/3	20/5	2/9
BA (kgMS/ha)	<b>+1944</b>	NS	<b>+1144</b>	NS	NS	NS	<b>+405</b>	<b>+1106</b>
IAFrem (m <sup>2</sup> hoja/m <sup>2</sup> suelo)	<b>+0,29</b>	<b>+0,22</b>	<b>+0,15</b>	<b>+0,13</b>	<b>+0,24</b>	<b>+0,16</b>	<b>+0,19</b>	<b>+0,29</b>
NFE (gN/m <sup>2</sup> hoja)	NS	<b>+0,17</b>	<b>+45</b>	<b>+0,36</b>	<b>+0,49</b>	NS	<b>+0,39</b>	<b>+0,14</b>
BPer (kgMS/ha)	NS	<b>+573</b>	NS	NS	<b>+1041</b>	NS	<b>NS</b>	<b>+713</b>
%NBPer	NS	<b>+0,56</b>						
NBPer (mgNBPer/pl)	NS	<b>+19</b>	NS	NS	<b>+26</b>	<b>+33</b>	NS	<b>+64</b>
TallosjovRem/planta	NS	NS	NS	NS	+8,9	NS	NS	NS
Nudos/TallosjovRem	<b>+0,83</b>	<b>+0,82</b>	<b>+0,52</b>	<b>+0,48</b>	<b>+0,37</b>	<b>+0,36</b>	<b>+0,40</b>	<b>+1,22</b>

NS: diferencias no significativas. BA: biomasa aérea, IAFrem: índice de área foliar remanente, NFE: nitrógeno (N) foliar específico, BPer: biomasa perenne, %NBPer: concentración de N en biomasa perenne, NBPer: contenido absoluto de N en biomasa perenne, TallosjovRem/planta: número de tallos jóvenes en el remanente por planta, Nudos/TallosjovRem: número de nudos por tallo joven en el remanente.

En este trabajo hubo fechas en las que las diferencias en área foliar remanente entre alturas de corte no se tradujeron en diferencias en producción de biomasa aérea. A continuación se mencionan algunas de las probables razones de esta respuesta.

- En la fecha del 22/12/2014 pudo haberse debido a que el período de rebrote (del 03/12/2014 y el 22/12/2014) no tuvo la longitud suficiente como para que se marquen diferencias entre tratamientos. En ese rebrote los tratamientos alcanzaron a expandir completamente 8-10 hojas por tallo principal, lo que pudo haber reducido el mayor impacto que tendrían en la biomasa producida las hojas de los nudos más altos del tallo principal (aprox. del nudo 6 en adelante) y, a su vez, limitado la expresión de diferencias en el número de ramificaciones (Teixeira, Moot, Brown, Pollock *et al.*, 2007; Baldissera *et al.*, 2014).
- Para las fechas del 04/02/2015 y del 25/02/2015 es posible que las plantas cortadas a 4 cm hayan priorizado el crecimiento aéreo por sobre el de las raíces. Entre el 13/01/2015 y el 04/02/2015, a diferencia de lo ocurrido en las plantas cortadas a 10 cm, las cortadas a 4 cm no incrementaron la biomasa perenne (Figura 20). Algo similar parece haber ocurrido en el período de rebrote finalizado el 25/02/2015, ya que en dicha fecha las plantas cortadas a 4 cm también mostraron menor biomasa perenne.

No se detectaron diferencias entre cultivares en biomasa producida acumulada (Figura 4) y este resultado coincide con lo reportado previamente para trabajos realizados en Balcarce (Pece y Cangiano, 2003; Cangiano y Pece, 2005; Ventroni *et al.*, 2010). Esto fue así porque la mayor producción de biomasa del cultivar G6 en una fecha de corte (04/02/2015) se compensó por la mayor producción del cultivar G10 en las dos últimas fechas de verano (25/02/2015 y 18/03/2015; Figura 5). Esta última respuesta se podría explicar por la entrada en latencia del cultivar G6, tal como lo sugiere la mayor pérdida de altura de planta (Haagenson *et al.*, 2003) registrada en el cultivar G6 en relación al G10 en dicho momento del año (Figura 10, ver cambio de altura entre el 04/02/2015 y el 18/03/2015). Es importante mencionar que en dicho período los cultivares no difirieron ni en cantidad de fuente remanente ni en cantidad de destinos en el remanente. Por su parte, la mayor productividad del cultivar G6 respecto del G10 observada el 04/02/2015 se podría explicar por una mayor fuente en el remanente (*i.e.* mayor IAF y biomasa foliar

remanente y mayor %N) y por una mayor cantidad de destinos en el remanente (mayor cantidad nudos por tallo joven).

¿Por qué no se hallaron diferencias entre cultivares en producción de biomasa aérea en el resto de las fechas evaluadas? Por ejemplo, en función de la mayor cantidad de fuente remanente y de la mayor cantidad de destinos en el material remanente del cultivar G6, en plena primavera (*i.e.* rebrote del 05/11/2014 al 03/12/2014) se esperaría que dicho cultivar hubiera superado la producción de biomasa del cultivar G10, sin embargo, esto no fue así. Quizás una marcada latencia le haya impedido al cultivar G6 aprovechar dicha ventaja. Un indicativo de ello es que, en ese primer rebrote, la producción de biomasa de las plantas cortadas a 4 cm de altura (*i.e.* tratamiento con escasas diferencias en área foliar residual entre cultivares) tendió a ser superior en el cultivar G10 (diferencia de aprox. 1000 kg MS/ha), corroborando resultados de estudios previos realizados en la región de Balcarce (Cangiano y Pece, 2005).

Similarmente, en el periodo de fin de primavera-verano, época en la cual la latencia no es relevante ya que los días son largos (Teuber *et al.*, 1998) y en la que el cultivar G6 mostró mayor cantidad de destinos (salvo al inicio del rebrote comprendido entre el 13/01/2015 y el 04/02/2015), la falta de diferencias en la cantidad de fuente remanente habría sido el factor que limitó la expresión de diferencias entre cultivares.

#### **4.2. Variables asociadas a la persistencia**

Debido a que la biomasa perenne (30 cm superiores de raíz más la corona) estuvo compuesta en un 75% por biomasa radical (Figura 3), en esta sección se hará alusión a trabajos que hagan referencia tanto a la biomasa perenne, como a aquellos que sólo consideren la biomasa radical.

De manera similar a lo observado en la biomasa aérea, las plantas cortadas a 10 cm de altura mostraron más biomasa perenne que las plantas cortadas a 4 cm. Esto coincide con lo reportado en la literatura, que generalmente muestra que plantas que mantienen mayor remanente foliar post-corte muestran mayor biomasa radical que las plantas con un remanente foliar menor (Hildebrand y Harrison, 1939;

Langer y Steinke, 1965; Smith y Nelson, 1967; Leach, 1968; 1969; 1970; Hodgkinson, 1972; 1973; Meuriot *et al.*, 2005).

La menor cantidad de biomasa perenne observada en las plantas cortadas a 4 cm podría explicarse por una menor disponibilidad de área foliar remanente, lo que generaría un menor aporte de carbohidratos hacia la biomasa perenne como fue sugerido por diversos autores (Hodgkinson, 1972; Meuriot *et al.*, 2005). Esto determinaría un balance de carbono más negativo, entre la entrada (vía fotosíntesis) y la salida (vía respiración) de carbohidratos (Davidson *et al.*, 1990), en la biomasa perenne de las plantas cortadas a 4 cm respecto de las plantas cortadas a 10 cm.

Con referencia a los cultivares, es importante notar que de fin verano (18/03/2015) en adelante la biomasa perenne del cultivar G6 se afectó mucho más por cortes a 4 cm que la del cultivar G10, lo que puede observarse en la Figura 20.

¿Por qué ante cortes más severos (4 cm de altura) el cultivar con mayor dormancia o reposo invernal, G6, mostró mayores reducciones en biomasa perenne que el cultivar G10 a partir del final del verano?

Variaciones en el área foliar remanente (y en la biomasa verde remanente) suelen generar modificaciones en el uso de las reservas de corona y raíz, especialmente durante los primeros 15-21 días del rebrote post-corte (Avice *et al.*, 1996; Meuriot *et al.*, 2005). Así, en las plantas cortadas a 4 cm, la menor biomasa perenne observada en las plantas de G6 respecto de G10 podría explicarse por menor área foliar remanente en el cultivar G6. Sin embargo, esto no fue lo que sucedió en el presente trabajo ya que G6 presentó, en general mayor o igual área foliar y biomasa foliar remanente que G10 (Figuras 11 y 12). Una posible explicación es que de finales de verano en adelante, bajo la mencionada altura de corte, el área foliar remanente de G6 haya tenido menor capacidad fotosintética que la de G10. La falta de diferencias en contenido de nitrógeno foliar específico observadas entre tratamientos, o incluso las diferencias a favor de G6, ponen en duda esta hipótesis.

Descartado el remanente aéreo como factor que explique las diferencias en biomasa perenne entre los cultivares cortados a 4 cm, se podría especular que la

entrada en latencia del cultivar G6 provocó un menor crecimiento aéreo en dicho período (Figura 5) y, consecuentemente, implicó una menor captura de radiación, lo que habría derivado en una menor cantidad de asimilados disponibles para la biomasa perenne respecto del G10. Estos resultados concuerdan con trabajos previos que demuestran que cultivares con menor velocidad de rebrote capturan menos radiación y, por lo tanto, presentan menor capacidad de recuperación de la biomasa de raíces y de reservas (Avice *et al.*, 1997).

Otro aspecto posible de ser explorado es la relación entre los aportes de C y N del remanente aéreo y la cantidad de destinos aéreos a suplir en el rebrote. Durante los primeros días del rebrote, la presencia de biomasa verde remanente reduce el uso de reservas, básicamente nitrogenadas, almacenadas en la raíz y corona (Avice *et al.*, 1996; Meuriot *et al.*, 2005). Teniendo esto presente, tanto la biomasa verde remanente como la cantidad total de nitrógeno en tejidos aéreos del remanente fueron considerados como tejidos “fuente”, mientras que el número de nudos por planta en los tallos jóvenes del remanente fueron considerados como los “destinos aéreos” a ser suplidos por la “fuente” (Figuras 24 y 25).

De mediados de verano, en las plantas cortadas a 4 cm, ambas relaciones “fuente : destino” analizadas fueron inferiores en G6 respecto de G10 (Figuras 24 y 25) y esto se debió a que el número de “destinos” (es decir los nudos totales por planta en el remanente) aumentó en mayor medida en el primero (Figura 16), mientras que no se registraron diferencias entre cultivares en la “fuente” (*i.e.* lo cultivares no difirieron ni en la biomasa verde total remanente ni en la cantidad absoluta de nitrógeno en el remanente) (ver Anexo Figuras A2 y A3). Esta menor relación “fuente : destino” en el G6 muestra que dicho cultivar disponía de menor cantidad de “fuente” (*i.e.* biomasa y nitrógeno) por unidad de destino que G10 y, por lo tanto, habría requerido usar una mayor cantidad de reservas para la expansión foliar del rebrote, proceso altamente demandante y dependiente del nitrógeno endógeno (Kim *et al.*, 1991).

De inicios de verano en adelante el crecimiento aéreo de G6 fue similar al de G10 (excepto para las fechas del 25/02/2015 y 18/03/2015, Figura 5). Interesantemente, el índice de nutrición nitrogenada muestra que el crecimiento

aéreo no estuvo limitado por nitrógeno en ninguno de los tratamientos evaluados (Tabla 4). La menor relación “fuente : destino”, el similar crecimiento aéreo, el similar estado de nutrición nitrogenado y la menor biomasa perenne observados en G6 respecto de G10 sugieren que el nitrógeno necesario para el crecimiento de G6 habría sido aportado por las raíces y/o la biomasa perenne. De todo este análisis puede concluirse que la menor biomasa perenne de G6 respecto de G10 no sólo se habría debido a una menor relación “fuente : destino” en G6 sino también a que dicho tratamiento en verano-otoño habría priorizado la formación de tejidos aéreos, a expensas de las reservas en la biomasa perenne. Esto es esperable ya que luego de un corte, las plantas priorizan los tejidos aéreos por sobre los tejidos subterráneos (Ryle y Powell, 1975) y como fuera demostrado previamente existe un alto control de la parte aérea sobre el rebrote y el metabolismo del carbono en alfalfa (Frankhauser y Volenec, 1989).

#### **4.3. Algunas implicancias y prospectivas**

En la presente tesis se planteó que una mayor severidad de corte tendría mayor impacto negativo en la producción de biomasa aérea y en la biomasa perenne en el cultivar con reposo invernal intermedio (*i.e.* en el cultivar G6) que en el cultivar sin reposo invernal (*i.e.* en el cultivar G10). Este efecto se observó al finalizar el período de imposición de tratamientos (corte del 02/09/2015) y, también, cuando se analizó el efecto residual de los tratamientos (rebrote entre el 02/09/2015 y el 05/10/2015). De hecho, el análisis del efecto residual mostró que el cultivar G6 previamente cortado a 4 cm presentó menor capacidad de crecimiento aéreo y muy bajos valores de biomasa perenne (Sim *et al.*, 2016).

Lo anterior demuestra que para que el cultivar con reposo invernal intermedio se vea afectado fue necesaria una repetida imposición de cortes frecuentes y severos durante primavera, verano y parte del otoño. Esto lleva a hipotetizar que defoliaciones frecuentes y severas no habrían afectado negativamente a dicho cultivar si las mismas no hubiesen ocurrido consistentemente durante todo el período mencionado. Adicionalmente, este efecto no se habría detectado en un trabajo de corto plazo.

Debido a que el hábito de crecimiento es más postrado en los cultivares con mayor latencia o reposo invernal, y a que dichas características suelen asociarse de

manera positiva con una mayor resistencia al corte o pastoreo (Sledge *et al.*, 2003; Pecetti y Annichiarico, 2017), sería esperable que los cultivares con mayor latencia invernal (*i.e.* G6) toleraran mejor el corte/pastoreo que los cultivares con menor latencia invernal (*i.e.* G10). Sin embargo, en el presente trabajo ocurrió exactamente lo contrario, es decir que los cortes severos y frecuentes (4 cm de altura, cortes cada 9-10 nudos) durante el verano-otoño afectaron marcadamente la biomasa de los órganos asociados a la persistencia en el cultivar G6.

De acuerdo a Briske (1991) las plantas poseen dos vías para mostrar resistencia al pastoreo, por un lado, aquella que reduce la probabilidad y la severidad de defoliación (*i.e.* mecanismos de escape) y por otro lado aquella que facilita el crecimiento luego de la defoliación (*i.e.* mecanismos de tolerancia). Así, los resultados del presente trabajo muestran que cuando se dan condiciones para la expresión de la latencia invernal (fin de verano-otoño) los cultivares sin latencia invernal resistirían mejor la defoliación debido a su mayor capacidad de expansión foliar luego del corte, es decir a través de una mayor tolerancia (Briske, 1991).

Un interrogante que surge de este experimento es sobre la necesidad de que las pasturas de alfalfa se sometan a un descanso otoñal, es decir a un período prolongado sin defoliaciones ( $\approx 600$  GDA), con el objeto de recuperar la biomasa perenne y las reservas de nitrógeno previo a la estación fría (*i.e.* el invierno). Teniendo en cuenta las condiciones en las que se llevó a cabo este trabajo (*i.e.* sudeste bonaerense, pasturas de un año, sin limitantes de agua y nutrientes) cuando las defoliaciones son frecuentes (*i.e.* cada 370 GDA, 9-10 nudos) y severas (*i.e.* 4 cm) durante la primavera, verano y parte del otoño la necesidad de dicho descanso sería mayor en el cultivar con latencia invernal intermedia (*i.e.* en el cultivar G6). Sin embargo, si las defoliaciones son frecuentes, pero no muy severas (*i.e.* 10 cm de altura de corte) los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que, para los cultivares evaluados, la necesidad de dicho descanso sería menos relevante. Sin embargo, este hallazgo debe ser corroborado.

## 5. CONCLUSIONES

Para las condiciones del presente trabajo, se recopilaron evidencias para:

- 1) aceptar la Hipótesis 1 debido a que en plantas de alfalfa defoliadas a una frecuencia mayor a la usualmente recomendada (*i.e.* 10% de floración) cortes menos severos mostraron, respecto de cortes más severos, mayor producción aérea, mayor biomasa perenne y mayor contenido de nitrógeno en la biomasa perenne.
- 2) rechazar parcialmente la Hipótesis 2 ya que a mayor severidad de corte, el cultivar con reposo invernal intermedio se vio más afectado negativamente que el cultivar sin reposo invernal, sólo en su biomasa perenne. En lo que respecta a producción de biomasa aérea, también resultó más negativamente afectado el cultivar con reposo invernal intermedio, pero dicho efecto se observó solamente cuando se analizó el efecto residual (*i.e.* post-aplicación de los tratamientos).

## 6. ANEXO

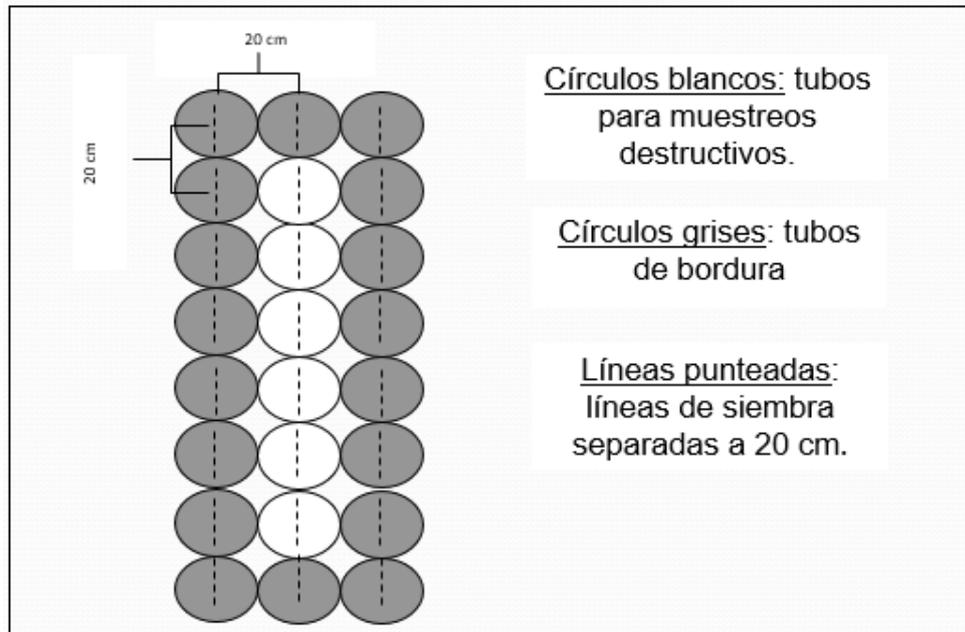


Figura A1. Diseño experimental del ensayo establecido, donde se muestra la distancia de separación de 20 cm entre los centros de cada tubo.

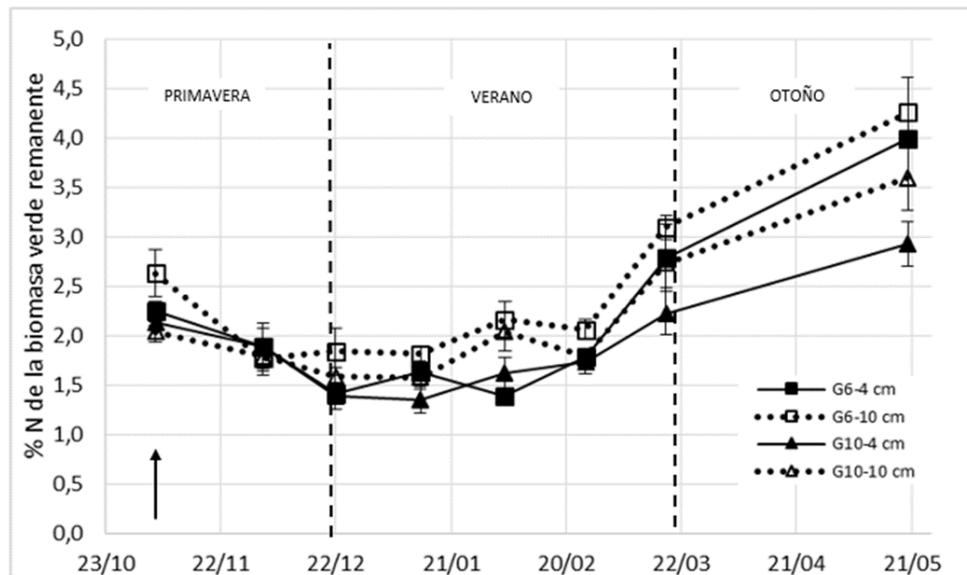


Figura A2. Dinámica de la concentración de nitrógeno (%) de la biomasa verde remanente desde 5/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014). Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

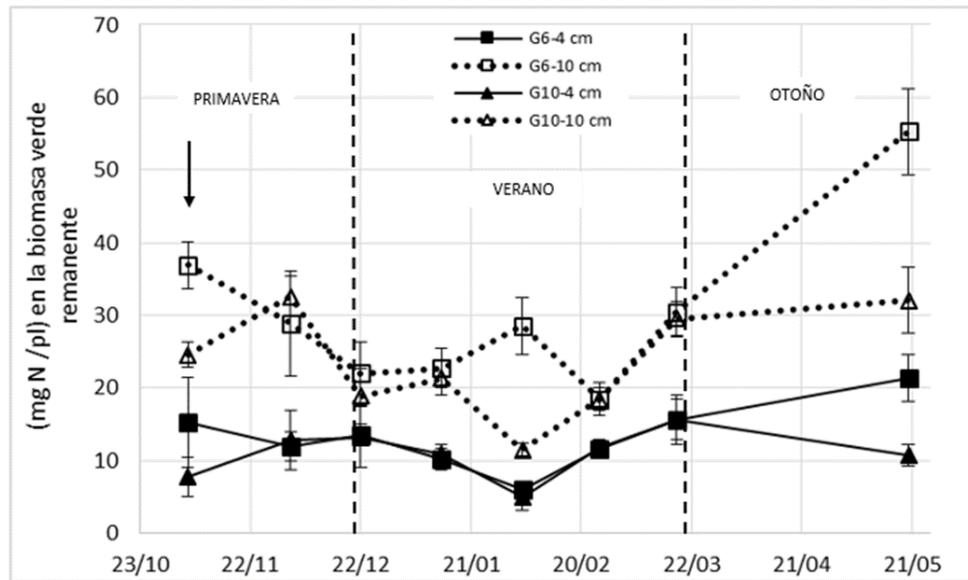


Figura A3. Dinámica del contenido de nitrógeno (mg/planta) en la biomasa verde remanente desde 05/11/2014 hasta el 20/05/2015 en un cultivar de alfalfa con reposo invernal intermedio (G6) y otro sin reposo invernal (G10) cortados a 4 y 10 cm de altura. La flecha indica el inicio de la aplicación de los tratamientos de corte (05/11/2014) Las líneas verticales discontinuas separan las distintas estaciones del año. Las barras verticales indican  $\pm$  un error estándar de la media.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- 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: 189-198.
- AVICE, J.C.; OURRY, A.; LEMAIRE, G.; BOUCAUD, J. 1996. Nitrogen and carbon flows estimated by <sup>15</sup>N and <sup>13</sup>C pulse-chase labelling during regrowth of alfalfa. *Plant Physiology*. 112: 281-290.
- BASIGALUP, H.; ROSSANIGO, R. 2007. Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. En: Basigalup D. H. (ed). *El cultivo de la alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 13-25.
- BALDISSERA, T.C.; FRAK, E.; CARVALHO, C.F.; LOUARN, G. 2014. Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. *Annals of Botany*. 113: 145-147.
- BELANGER, G.; RICHARDS, J.E.; McQUEEN, R.E. 1992. Effect of harvesting system on yield, persistence and nutritive value of alfalfa. *Canadian Journal of Plant Science*. 72(3): 793-799.
- BÉLANGER G.; KUNELIUS, T.; MCKENZIE, D.; PAPADOPOULOS, Y.; THOMAS, B.; MCRAE, K.; FILLMORE, S.; CHRISTIE, B. 1999. Fall cutting management affects yield and persistence of alfalfa in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. 79: 59-63.
- BERGER, M.E.; LEÓN, R.J. 1983. Carbohidratos de reserva y persistencia de la alfalfa en dos frecuencias de corte y seis descansos. *Revista Argentina de Producción Animal*. 10: 325-331.
- BRINK, G.E.; MARTEN, G.C. 1989. Harvest management of alfalfa: nutrient yield, forage quality and relationship to persistence. *Journal of Production Agriculture*. 2: 32-36.
- BROWN, H.E.; MOOT D.J.; TEIXEIRA, E.I. 2006. Radiation use efficiency and biomass partitioning of lucerne (*Medicago sativa*) in a temperate climate. *European Journal of Agronomy*. 25: 319-327.
- BRISKE, D.D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. *In*: Heitschmidt, R.K.; Stuth, J.W. (eds.) *Grazing management – An ecological perspective* Timber Press, Portland, Oregon, USA. pp 85-108.

- DAVIDSON, I.A.; CULVENOR, R.A.; SIMPSON, R.J. 1990. Effect of previous defoliation regime and mineral nitrogen on regrowth in white clover swards: photosynthesis, respiration, nitrogenase activity and growth. *Annals of Botany*. 65: 665-677.
- CASTONGUAY, Y.; LABERGE, S.; BRUMMER, E.C.; VOLENEC, J.J. 2006. Alfalfa winter hardiness: a research retrospective and integrated perspective. *Advances in Agronomy*. 90: 203-265.
- CANGIANO, C.A.; PECE, M.A. 2005. Acumulación de biomasa aérea en rebrotes de alfalfa en Balcarce. *Revista Argentina de Producción Animal*. 25:39-52.
- COLLINO, D.; DARDANELLI, J.; DE LUCA, M. 2007. Uso del agua y de la radiación para producción de forraje. En: Basigalup, D.H. (ed.) *El Cultivo de la alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA, Buenos Aires, pp. 45-65.
- COMERON, E.A.; ROMERO, L.A. 2007. Utilización de la alfalfa por vacas lecheras en pastoreo. En: Basigalup, D.H. (ed.) *El Cultivo de la alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA, Buenos Aires, pp. 303-331.
- CUNNINGHAM, S.M.; GANA, J.A.; VOLENEC, J.J.; TEUBER, L.R. 2001. Winter hardiness, root physiology, and gene expression in successive fall dormancy selections from 'Mesilla' and 'CUF 101' alfalfa. *Crop Science*. 41: 1091-1098.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2015. InfoStat versión 2015. Universidad Nacional de Córdoba. [en línea]. <http://www.infostat.com>. [consulta: febrero 2015 ].
- FANKHAUSER, J.J.; VOLENEC, J.J. 1989. Root vs shoot effects on hebage regrowth and carbohydrate metabolism of alfalfa. *Crop Science*. 29: 735-740.
- FAVERO, D.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; DALL'AGNOL, M.; SECO, D. 2008. Desempenho de populações de alfafa sob desfolhação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37(4): 589-595.
- GRAMSHAW, D.; LOWE, K.F.; LLOYD, D.L. 1993. Effect of cutting interval and winter dormancy on yield, persistence, nitrogen concentration and root reserves of irrigated lucerne in the Queensland subtropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 33: 847-854.
- GARCÍA, P. E.; MENENDEZ, A. N.; PODESTÁ, G.; BERT, F.; ARORA, P.; JOBBAGY, E. 2018. Land use as possible strategy for managing water table depth in flat basins with shallow groundwater. *International Journal of River Basin Management* 16, 79-92

- HAAGENSON, D.M.; CUNNINGHAM, S.M.; JOERN, B.C.; VOLENEC, J.J. 2003. Autumn defoliation effects on alfalfa winter survival, root physiology, and gene expression. *Crop Science*. 43: 1340-1348.
- HILDEBRAND, S.C; HARRISON, C.M. 1939. The effect of height and frequency of cutting alfalfa up on consequent top growth and root development. *Journal of the American Society of Agronomy*. pp.790-799.
- HODGKINSON, K.C.; SMITH, N.G.; MILES, G.E. 1972. The photosynthetic capacity of stubble leaves and their contribution to growth of the lucerne plant after high level cutting. *Australian Journal of Agricultural Research* 23: 225-238.
- HODGKINSON, K.C. 1973. Establishment and growth of shoots following low and high cutting of lucerne in relation to the pattern of nutrient uptake. *Australian Journal of Agricultural Research* 24:497-510.
- KIM, T.H.; OURRY, A.; BOUCAUD, J.; LEMAIRE, G. 1991. Changes in source-sink relationship for nitrogen during regrowth of lucerne (*Medicago sativa* L.) following removal of shoot. *Australian Journal Plant Physiology*. 18: 593-602.
- KUST, C.A.; SMITH, D. 1961. The influence of harvest management on the level of carbohydrate reserves, longevity of stand, and yields of hay and protein from Vernal alfalfa. *Crop Science*. 1: 267-269.
- LANGER, R.H.M; STEINKE, T.D. 1965. Growth of lucerne in response to height and frequency of defoliation. *Journal Agricultural Scientist* 69: 291-294.
- LEACH, G.J. 1968. The growth of the lucerne plant after cutting: the effects of cutting at different stages of maturity and at different intensities. *Australian Journal of Agricultural Research* 19: 517-30.
- LEACH, G.J. 1969. Shoot numbers, shoot size and yield of regrowth in three lucerne cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 20: 425-34-30.
- LEACH, G.J. 1970. Shoot growth on lucerne plants cut at different heights. *Australian Journal of Agricultural Research* 21: 583-591.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F. 2009. Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In: Sadras, V.O. ; Calderini, D.F. (eds.) *Crop physiology: Applications for genetic improvement and agronomy*. Elsevier, Burlington, Massachusetts. pp171–211.

- LEMAIRE, G.; KHAITY, M.; ONILLON, B.; ALLIRAND, J.M.; CHARTIER, M.; GOSSE, G. 1992. Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in a dense canopy. *Annals of Botany* 70: 429-435.
- LODGE, G.M. 1986. Yield and persistence of irrigated lucernes cut at different frequencies, at Tamworth, New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 26(2): 165-172.
- LOWE, K.F.; GRAMSHAW, D.; BOWDLER, T.M.; LUDKE, D.H. 1985. Performance of North American and Australian lucernes in the Queensland subtropics. 2. Yield and plant survival in irrigated stands. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 25: 82-90.
- LUSCHER, A.; MULLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J. F.; REES, R.M.; PEYRAUD, J.L. 2014. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*. 69: 206–228.
- MARBLE, V.L. 1971. Relating alfalfa yields, quality and stand persistence to harvested frequency. *Proc. California Alfalfa Production Symposium*. Fresno, California. pp. 19-28.
- MARBLE, V.L. 1974. How cutting schedules and varieties affect yield, quality and stand life. Rep. 4<sup>th</sup>. *California Alfalfa Production Symposium*. Fresno, California. pp. 47-54.
- MAZZANTI, A.; CASTAÑO, J.; ORBEA, J.R.; SEVILLA, G.H. 1992. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al sudeste bonaerense. *Manual de descripción*. INTA. CERBAS.EEA Balcarce. Argentina 73 p.
- MCKENZIE, J.C.; PAQUIN, R.; DUKE, S. H. 1988. Cold and heat tolerance. *In*: Hanson, A. A.; Barnes, D. K. ; Hill, Jr. R.R. (eds.) *Alfalfa and alfalfa improvement*. ASA/CSSA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA *Agronomy Monograph* 29. pp. 259-302.
- MEURIOT, F.; DECAU, M.L.; MORVAN-BERTRAND, A.; PRUD'HOME, M.P.; GASTAL, F.; SIMON, J.C, VOLONEC, J.; AVICE, J.C. 2005. Contribution of initial C and N reserves in *Medicago sativa* recovering from defoliation: impact of cutting height and residual leaf area. *Functional Plant Biology* 32: 321-334.

- MOOT, D.J.; .2014. A review of recent research and extension on dryland lucerne in New Zealand. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production. 74: 86-93.
- MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; TEIXEIRA, E.I.; POLLOCK, K.M. 2003. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. In: Moot, D. J. (ed.), Legumes for dryland pastures. New Zealand Grassland Association, Lincoln, Canterbury, New Zealand. pp. 201-208.
- NOSETTO, M.D., PAEZA, R.A.; BALLESTEROSA, S.I.; JOBBÁGYA, E.G. 2015. Higher water-table levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the subhumid plains of the Pampas. Agriculture, Ecosystems and Environment. 206: 60-70.
- OJEDA, J.J.; PEMBLETON, K.G.; CAVIGLIA O.P.; ISLAME, M.R.; AGNUSDEI, M.G.; GARCIA, S.C. 2018. Modelling forage yield and water productivity of continuous crop sequences in the Argentinian Pampas. European Journal of Agronomy. 92: 84-96.
- PARSONS, A.J. 1988. The effects of season and management on the growth of grass swards. In Jones, M.B.; Lazemby, A. (eds.) 'The grass crop: the physiological basis of production'. Chapman and Hall, London, pp. 129-177.
- PARSONS, A.J.; EDWARDS, G. R.; NEWTON P. C. D.; CHAPMAN, D. F.; CARADUS, J. R.; RASMUSSEN S.; ROWARTH, J. S. 2009. Past lessons and future prospects: plant breeding for yield and persistence in cool-temperate pastures. Grass and Forage Science. 66 (2): 153-172.
- PECE, M.A.; CANGIANO, C.A. 2003. Tasa de acumulación de la biomasa aérea en dos cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Balcarce. Revista Argentina de Producción Animal. 23(1):33-43.
- PECETTI, L.; ANNICCHIARICO, P. 2017. Assessing and overcoming genetic trade-offs in breeding grazing-tolerant lucerne. Crop and Pasture Science. 68(10-11):952-957.
- PUTNAM, D.; ORLOFF, S. 2003. Using varieties or cutting schedules to achieve quality hay-what are the tradeoffs?. Proceedings, 33<sup>rd</sup>. California Alfalfa and Forage Symposium. December, 17-18 Monterrey, CA. UC Cooperative Extension University of California. [en línea] <<https://pdfs.semanticscholar.org/4764/27f6322e8dd436a355d8bb53ff63e6666027.pdf>> [consulta: 10 de julio 2015].

- PUTNAM, D.; ORLOFF, S.; TEUBER, L. 2005. Strategies for balancing quality and yield in alfalfa using cutting schedules and varieties. In: Proceedings, 35<sup>th</sup>. California Alfalfa and Forage Symposium, Visalia, CA 12-14 December, 2005, UC Cooperative Extension, Agronomy Research and Extension Center, Plant Sciences Department, University of California, [en línea] <<https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2005/05-237.pdf> > [consulta: 10 de julio 2015].
- RACCA, R.W.; GONZÁLEZ, N. 2007. Nutrición nitrogenada de la alfalfa e impacto de la fijación biológica del nitrógeno. En: Basigalup, D.H. (ed.) El Cultivo de la alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA, Buenos Aires, pp. 67-79.
- 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.
- SHEAFFER, C.C.; LACEFIELD, G.D.; MARBLE, V.L. 1988. Cutting schedules and stands .In: Alfalfa and alfalfa improvement. ASA. CSSA. SSSA: Madison, WI. Agronomy Monographs. 29: pp. 259-302.
- SLEDGE, M.K.; BOUTON J.H.; KOCHERT, G. 2003. Shifts in pest resistance, fall dormancy, and yield in 12-, 24-, and 120-parent grazing tolerant synthetics derived from CUF101 alfalfa. Crop Science. 43 (5): 1736–1740.
- SMITH, D.; NELSON, C.J. 1967. Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. 1. Response to height and frequency of cutting. Crop Science. 7: 130-133.
- SMITH, D. 1968. The establishment and management of alfalfa. University of Wisconsin, Agricultural Experiment Station. **Bulletin. 542 p.**
- SIM, R.E.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; TEIXEIRA, E.I. 2015. Sowing date affected shoot and root biomass accumulation of lucerne during establishment and subsequent regrowth season. European Journal of Agronomy 68: 69-77.
- SIMON, J.C; DECAU, M.L; AVICE, J.C; JACQUET, A; MEURIOT, F; ALLIRAND, J.M. 2004. Effects of initial N reserve status and residual leaf area after cutting on leaf area and organ establishment during regrowth of alfalfa. Journal Plant Scientist. 84: 1059–1066.
- SPADA, M.C.2007. Evaluación de cultivares y panorama varietal. En: Basigalup, D.H. (ed.) El Cultivo de la alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA, Buenos Aires, pp. 131-151.

- STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; CASANOVAS, E.M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Science Society of America Journal*. 61:1466–1472.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; MICKELBART, M.V. 2007. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. *European Journal of Agronomy*. 26 (1): 10–20.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; 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., 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.; BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; MEENKEN, E.D. 2011. Growth and phenological development patterns differ between seedling and regrowth lucerne crops (*Medicago sativa* L.). *European Journal of Agronomy*. 35: 103-111.
- TEUBER, L.R.; TAGGARD, K.L.; GIBSS, L.K; McCASLIN, M.H.; PETERSON, M.A.; BARNES, D.K. 1998. Fall dormancy. In: Fox, C.; Berberet, R.; Gray, F.; Grau, C.; Jessen, D.; Peterson, M. (eds.). *Standar test to characterize alfalfa cultivars 3<sup>rd</sup>. ed.* North American Alfalfa Improvement Conference. Agronomic Test. pp. A-1.
- THIEBEAU, P.; BEAUDOIN, N.; JUSTES, E.; ALLIRAND, J.M.; MARON, P.A. 2011. Radiation use efficiency and 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.
- VENTRONI, L.M.; VOLENEC, J.J.; CANGIANO, C.C. 2010. Fall dormancy and cutting frequency impact of alfalfa yield and yield components. *Fields Crops Research*. 119: 252-259.

- VIGLIZZO, E. F. 1995. El rol de la alfalfa en los sistemas de producción. En: Hijano, E. H. ; Navarro, A. La alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA, Buenos Aires, pp. 259-272.
- VOLENEC, J.J.; OURRY, A. ; JOERN, B.C. 1996. A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. *Physiologia Plantarum*. 97: 185-193.